ARBEITSBERICHT

aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie

Nr. 2008/5

ÖKOLOGISCHE POTENZIALE DURCH HOLZNUTZUNG GEZIELT FÖRDERN

Albrecht, S. Rüter, S. Welling, J. Knauf, M. Mantau, U. Braune, A. Baitz, M. Weimar, H. Sörgel, S. Kreissig, J. Deimling, J. Hellwig, S.

Zentrum Holzwirtschaft

Universität Hamburg

BMBF-Förderschwerpunkt
Nachhaltige Waldwirtschaft

Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette

Verbundprojekt: ÖkoPot

ÖKOLOGISCHE POTENZIALE DURCH HOLZNUTZUNG GEZIELT FÖRDERN

ENDBERICHT

Kritische Prüfung (Critical Review) gemäß DIN ISO 14040 / 14044

Erstellt durch:

Universität Hamburg

Fachbereich Biologie
Zentrum Holzwirtschaft

Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)

.knauf consulting
BERATEN UND FORSCHEN FÜR MEHR KOMPETENZ

PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

ptJ
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

STUTTGART / HAMBURG 2008

Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S. (2008): ÖkoPot - Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 298 S.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Zuwendungsempfänger:

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik

Abteilung: Ganzheitliche Bilanzierung

Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft

Arbeitsbereiche:

- Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft
- Mechanische Holztechnologie

Förderkennzeichen: FKZ 0330545

Vorhabensbezeichnung: Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern

Laufzeit des Vorhabens: 28 Monate

Berichtszeitraum: 01.09.2005 – 31.12.2007

Autoren	
Universität Stuttgart **Lehrstuhl für Bauphysik** **Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung** (Verbund-Koordination) Dipl.-Ing. Stefan Albrecht Dipl.-Ing. Anna Braune	Universität Stuttgart Lehrstuhl für Bauphysik (LBP) Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) Hauptstraße 113 D – 70771 Leinfelden – Echterdingen Telefon +49 (0) 711 / 48 99 99 – 0 Fax +49 (0) 711 / 48 99 99 – 11 E-Mail stefan.albrecht@lbp.uni-stuttgart.de anna.braune@lbp.uni-stuttgart.de Internet www.lbpgabi.uni-stuttgart.de
Universität Hamburg **Zentrum Holzwirtschaft** ***Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft*** Prof. Dr. Udo Mantau Dr. Christian Sörgel Dipl.-Holzwirt Holger Weimar ***Mechanische Holztechnologie*** Dr. Johannes Welling Dipl.-Ing. Sebastian Rüter Dipl.-Ing. Steffen Hellwig	Universität Hamburg Leuschnerstraße 91 D - 21031 Hamburg Telefon +49 (0) 40 / 739 62 – 0 Fax +49 (0) 40 / 739 62 – 299 E-Mail mantau@holz.uni-hamburg.de Internet www.holzwirtschaft.org
PE International GmbH Dr. Martin Baitz Dr. Sabine Deimling Dipl.-Ing. Johannes Kreißig	PE INTERNATIONAL Hauptstraße 111 – 113 D – 70771 Leinfelden – Echterdingen Telefon +49 (0) 711 34 18 17 – 0 Fax +49 (0) 711 34 18 17 – 25 E-Mail m.baitz@pe-international.com Internet www.pe-international.com
Knauf Consulting GbR Dr. Marcus Knauf	.knauf consulting BERATEN UND FORSCHEN FÜR MEHR KOMPETENZ Dorotheenstraße 7 D-33615 Bielefeld Tel.: +49 (0) 521 / 8973697 Fax.: +49 (0) 521 / 8973996 E-mail: mknauf@knauf-consulting.de Internet www.knauf-consulting.de

ABSTRACT

Current ecological assessments of products are usually carried out for single products, enabling distinct statements for product improvement to be made as well as a comparison of different options. Product-specific analyses lack a broader view about their relevance from a societal or market perspective. To achieve the highest possible ecological benefit in a whole market segment, a wider appreciation of the entire product market is necessary.

“As a contribution to ecological forestry, to the forest-timber value chain and products and their production systems, the objective of the federal ministry of education and research (BMBF) is to foster transdisciplinary research, technological developments and innovations. The aim of the promotion is to strengthen the national and international competitiveness of the forest-timber sector. Beyond this it aims at contributing to the national sustainability strategy as well as to the wood charter of the federal government” /89/.

The “product-related ecological potential analysis”, which was developed within the OekoPot project, focuses on the identification of ecological potentials and environmental effects of shifts in the market. The method represents a new approach to the eco-efficiency concept, scientifically combining LCA with market analysis. The procedure identifies the most relevant products and their principle competitors in combination with market shares and the product group’s market volume. Technical and economical criteria lead to pre-selection. Together with information from the market analysis, the ecological performance of the whole market segment can be assessed. This new approach is applied exemplarily for wood products within the OekoPot-Project, which is funded by the German Ministry for Education and Research (BMBF), aims to promote the environmentally friendly use of timber products through an analysis of the ecological potentials of the timber and wood value chain. Thus, a scientifically sound method and information on the ecological benefits and improvement of wood products is provided.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Hintergrund und Motivation 15

2 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen 16

2.1 Zielsetzung der Studie 16
2.1.1 Gründe für die Durchführung der Studie 17
2.1.2 Anwendung und Zielgruppe 18
2.2 Untersuchungsrahmen 19
2.2.1 Untersuchte Produktsysteme und Funktionen des Systems 20
2.2.2 Funktionelle Einheit 20
2.2.3 Untersuchte Szenarien 21
2.2.4 Systemgrenzen 21
2.2.5 Allokationsverfahren 23
2.2.6 Wahl der Wirkungskategorien 23
2.2.6.1 Faktoren und Wirkungskategorien 24
2.2.7 Datensammlung und Datenherkunft 27
2.2.7.1 Forst 28
2.2.7.2 Holzprodukte 30
2.2.7.3 Weitere Materialien und Energie 36
2.2.7.4 Entsorgung 36
2.2.7.5 Transporte 37
2.2.7.6 Betrachtete Zeiträume 38
2.2.8 Datenqualität und –validierung 39
2.2.9 Kritische Prüfung (Critical Review) 39

3 Das ÖkoPot-Projekt: Partner und Vorgehen 41

3.1 Partner und Vorgehen 41
3.2 Branchenspezifische Marketing-Blätter 43
3.3 Handlungsempfehlungen 43
3.4 Aus- und Weiterbildung und Multiplikation 43
3.5 Veröffentlichungen 44
3.5.1 ÖkoPot-Arbeitsworkshop Würzburg November 2006 44
3.5.2 ÖkoPot-Abschlussworkshop Hamburg Oktober 2007 44
3.5.3 Statuskolloquium II „Forst-Holz-Kette“ des BMBF Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“ 44
3.5.4 Newsletter Nachhaltige Waldwirtschaft 44
3.5.5 Konferenzen 45
3.5.5.1 2nd International Conference on Eco-Efficiency Modelling and Evaluation for Sustainability 2006 45
3.5.5.2 5. Internationales Branchenseminar für Frauen – Holz- und Bauwirtschaft (IBF07) 45
3.5.5.3 SETAC-Europe 18th Annual Meeting 2008 45
3.5.5.4 BauSIM 2008 “Nachhaltiges Bauen“ - Zweite deutsch-österreichische IBPSA Konferenz, 08. - 10. September 2008, Universität Kassel 45

4 Die Methode der ökologischen Potenzialanalyse 46

4.1 Motivation und Nutzen 46
4.2 Anforderungen und Basiswissen 48
4.3 Adressierte Fragestellungen 50
4.4 Die ÖkoPot-Methode: Generelles Vorgehen 51
4.4.1 Modul: Marktanalyse 52
4.4.2 Modul: Technische Charakterisierung 53
4.4.3 Modul: Ökobilanz 53
4.4.4 Modul: Produktbezogene ökologische Potenzialanalyse 54
4.5 Anwendung der ÖkoPot-Methode für Holzprodukte 54

5 Ausgewählte Holzprodukte und ihre Konkurrenten 69

5.1 Die Marktsituation 69
5.1.1 Detaillierter betrachtete Holz- und Konkurrenzprodukte 74
5.1.1.1 Innenwände 75
5.1.1.2 Außenwände 77
5.1.1.3 Hallenträger 78
5.1.1.4 Fußböden 79
5.1.1.5 Fenster 81
5.2 Die technischen Eigenschaften 85
5.2.1 Die Innenwände 87
5.2.1.1 Holzständerwand 88
5.2.1.2 Metallständerwand 89
5.2.1.3 Kalksandsteinwand (KS-Stein) 90
5.2.1.4 Porenbetonwand 92
5.2.1.5 Schwächen- und Stärkenanalyse 94
5.2.2 Außenwände 98
5.2.2.1 Holzrahmen-Außenwand A 99
5.2.2.2 Holzrahmen-Außenwand B (mit Installationsebene) 101
5.2.2.3 Außenwand aus Hohlziegeln A1 (zweischalig) 103
5.2.2.4 Außenwand aus Hohlziegeln A2 (mit Kerndämmung) 104
5.2.2.5 Außenwand aus Porenbetonsteinen B1 (einschalig) 105
5.2.2.6 Außenwand aus Porenbetonsteinen B2 (zweischalig) 107
5.2.2.7 Schwächen- und Stärkenanalyse 108
5.2.3 Hallenträger 113
5.2.3.1 Brettschichtholzträger nach DIN 1052 /24/ und EC5 115
5.2.3.2 Stahlträger nach DIN 1025-3 117
5.2.3.3 Stahlbetonbalken nach DIN 1045 /23/ 118
5.2.3.4 Schwächen und Stärkenanalyse 120
5.2.4 Fußböden 122
5.2.4.1 Kunstfaserteppichboden 123
5.2.4.2 PVC-Belag 125
5.2.4.3 Laminatfußboden 126
5.2.4.4 Mehrschicht- bzw. Fertigparkett 127
5.2.4.5 Stabparkett 128
5.2.4.6 Keramikfliesen 131
5.2.4.7 Schwächen und Stärkenanalyse /106/ 133
5.2.5 Fenster 139
5.2.5.1 Holzfenster 141
5.2.5.2 PVC-Fenster 142
5.2.5.3 Aluminiumfenster 143

5.2.5.4 Holz-Aluminium-Fenster 143
5.2.5.5 Schwächen und Stärkenanalyse 144
5.3 Die ökologischen Eigenschaften 148
5.3.1 Innenwände 148
5.3.1.1 Herstellung und Nutzung/Instandhaltung 149
5.3.1.2 Entsorgung 153
5.3.1.3 Primärenergiebedarf 154
5.3.1.4 Treibhauspotenzial 157
5.3.1.5 Weitere Wirkungskategorien 159
5.3.2 Außenwände 160
5.3.2.1 Primärenergiebedarf 163
5.3.2.2 Treibhauspotenzial 165
5.3.2.3 Weitere Wirkungskategorien 167
5.3.3 Hallenträger / Dachkonstruktion für Hallen 168
5.3.3.1 Primärenergiebedarf 170
5.3.3.2 Treibhauspotenzial 172
5.3.3.3 Weitere Wirkungskategorien 174
5.3.4 Fußböden 175
5.3.4.1 Primärenergiebedarf 180
5.3.4.2 Treibhauspotenzial 182
5.3.4.3 Weitere Wirkungskategorien 184
5.3.5 Fenster 185
5.3.5.1 Primärenergiebedarf 189
5.3.5.2 Treibhauspotenzial 191
5.3.5.3 Weitere Wirkungskategorien 193

6 Die ökologischen Potenziale der Holzprodukte 195
6.1 Innenwände 196
6.1.1 Marktszenarien Innenwände 196
6.1.2 Ökologische Potenziale Innenwände 197
6.1.2.1 Ökologisches Potenzial Innenwände: Primärenergiebedarf 197
6.1.2.2 Ökologisches Potenzial Innenwände: Treibhauspotenzial 198
6.1.3 Detailanalyse Innenwand in Holzständerbauweise 199
6.2 Außenwände 200
6.2.1 Marktszenarien Außenwände 201
6.2.2 Ökologische Potenziale Außenwände 202
6.2.2.1 Ökologische Potenziale Außenwände: Primärenergiebedarf 202
6.2.2.2 Ökologische Potenziale Außenwände: Treibhauspotenzial 203
6.2.3 Detailanalyse Außenwände in Holzbauweise 204
6.3 Hallenträger 205
6.3.1 Marktszenarien Hallenträger 205
6.3.2 Ökologische Potenziale Hallenträger 206
6.3.2.1 Ökologische Potenziale Hallenträger: Primärenergiebedarf 207
6.3.2.2 Ökologische Potenziale Hallenträger: Treibhauspotenzial 208
6.3.3 Detailanalyse Hallenträger in Holzbauweise 209
6.4 Fußböden 210
6.4.1 Marktszenarien Fußböden 210
6.4.2 Ökologische Potenziale Fußböden 211
6.4.3 Ökologische Potenziale Laminat- und Parkettfußböden: Primärenergiebedarf 211

6.4.4 Ökologische Potenziale Laminat- und Parkettfußböden: Treibhauspotenzial 212
6.4.5 Detailanalyse Fußböden in Holzbauweise 212
6.4.5.1 Detailanalyse Laminatfußboden und Direktdruckboden (Wohnbereich) 213
6.4.5.2 Detailanalyse Mehrschichtparkett 216
6.5 Fenster 218
6.5.1 Marktszenarien Fenster 218
6.5.2 Ökologische Potenziale Fenster 220
6.5.3 Ökologische Potenziale Fenster: Primärenergiebedarf 220
6.5.4 Ökologische Potenziale Fenster: Treibhauspotenzial 221
6.5.5 Detailanalyse Fenster in Holzbauweise 221
6.5.6 Detailanalyse Fenster in Holz-Alu-Bauweise 222

7 Kommunikation 225
7.1 Zielgruppen der Kommunikation: Ergebnistransfer innerhalb und außerhalb der Fachöffentlichkeit 225
7.2 Partizipation der Stakeholder 226
7.2.1 Laufende Kommunikation der Ergebnisse während des Forschungsprozesses 226
7.2.2 Workshop und Abschlussveranstaltung 226
7.2.2.1 Expertenworkshop in Würzburg 227
7.2.2.2 Transferveranstaltung/Abschlussveranstaltung in Hamburg 228
7.3 Vorgehensweise bei der Kommunikation der ÖkoPot-Ergebnisse 229
7.3.1 ÖkoPot als Meilenstein, Verbraucherinformationen über Umweltwirkungen auch für Bauprodukte zu entwickeln 229
7.3.2 Einfache Kennzeichnung für komplexe Ergebnisse 230
7.3.3 Kommunikationsmaßnahmen für das politische Umfeld 232
7.3.4 Exemplarische Ableitung spezieller Kommunikationsmaßnahmen für das Produkt des Fußbodens 234
7.3.4.1 Politisches Umfeld 234
7.3.4.2 Handel/Architekten/Planer 235
7.3.4.3 Hersteller/Industrie 236
7.4 Handreichungen (Marketingblätter, Argumentations- und Handlungshilfen) für Handel und Hersteller 237
7.4.1 Handreichung exemplarisch: Fußboden 237
7.4.2 Handreichung exemplarisch: Außenwand 238
7.5 Die Projekthomepage als nachhaltige Informationsplattform 240
7.6 Eingang der Ergebnisse in die Bildung 241

8 Zusammenfassung und Ausblick 245

9 Literatur 248

Anhang A 257
Biologische Produktion 257
Pflanzung 257

Kulturpflege 258
Jungwuchspflege 258
Läuterung 258
Durchforstung 259
Endnutzung 259
Wegebau 260
Kalkung 260
Nasslagerung 260
Transport 261
Emissionen 261

Anhang B: Beschreibung der Wirkungskategorien 263

Anhang C: Lebensdauer von Wandaufbauten und deren Komponenten 269

Anhang D: Kommunikation - Handreichungen 270

Anhang E: Kritische Prüfung (Critical Review) 295

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Übersicht zur Vorgehensweise im Forschungsvorhaben 18
Abbildung 2-2: generisches Forstmodell, GaBi 4 Softwaresystem 29
Abbildung 2-3: Der Bilanzraum des Moduls Schnittholzherstellung 31
Abbildung 2-4: Generisches Modell der Schnittholzherstellung, GaBi 4 Softwaresystem 31
Abbildung 2-5: Generisches Modell der Spanplattenherstellung, GaBi 4 Softwaresystem 32
Abbildung 2-6: Modell der OSB-Plattenherstellung, GaBi 4 Softwaresystem 33
Abbildung 2-7: Modell der Herstellung HDF-Platte nach /47/ 34
Abbildung 2-8: Modell der Herstellung Mehrschichtparkett nach /90/ 35
Abbildung 2-9: Modell der Herstellung Stabparkett Eiche und Buche nach /90/ 35
Abbildung 3-1: Projektpartner und Zuordnung zu Arbeitsgebieten 41
Abbildung 4-1: Basis der Ökologischen Potenzialanalyse: Analyse des Holzmarktes und der wesentlichen Konkurrenten, technische Produkt-Charakterisierung und Ökobilanzen der Produkte 47
Abbildung 4-2: Ansatz der Ökologischen Potenzialanalyse - Zusammenspiel der Methoden Marktanalyse, Technische Charakterisierung und Ökobilanz 52
Abbildung 4-3: Treibhauspotenziale verschiedener Innenwandtypen über den gesamten Lebensweg63
Abbildung 4-4: Das ökologische Profil der Herstellung einer Holzständerwand (Detailanalyse) 64
Abbildung 5-1: Marktanteile der Holzprodukte in Deutschland 70
Abbildung 5-2: Verbrauchsmengen von Holzprodukten in den Verwendungssektoren 71
Abbildung 5-3: Marktanteile verschiedener Fenstermaterialien (2005) /111/ 82
Abbildung 5-4: Entwicklung des Fenstermarktes und der Marktanteile der Fenstermaterialien /111/ .. 83
Abbildung 5-5: Marktanteile verschiedener Holzmaterialien am Holzfenstermarkt 2002 /67/ 84
Abbildung 5-6: Schema zur Herstellung keramischer Fliesen 131
Abbildung 5-7: Querschnitt eines Holzfensters /76/ 141
Abbildung 5-8: Querschnitt eines Kunststofffensters /76/ 142
Abbildung 5-9: Querschnitt eines Holz/Aluminiumfensters /76/ 143
Abbildung 5-10: Modellierung Lebenszyklus Holzständerinnenwand 149
Abbildung 5-11: Modellierung Herstellung Holzständerinnenwand 151
Abbildung 5-12: Modellierung Herstellung Massivwand 151
Abbildung 5-13: Modellierung Herstellung Metallständerinnenwand 152
Abbildung 5-14: Modellierung Herstellung und Instandhaltung Holzständerwand 153
Abbildung 5-15: Modellierung Entsorgung Holzständerwand 154
Abbildung 5-16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (fossil) für den Gesamtlebenszyklus Innenwände 155
Abbildung 5-17: Primärenergiebedarf erneuerbar (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Innenwände .. 156
Abbildung 5-18: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Innenwände 157
Abbildung 5-19: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Innenwände 159
Abbildung 5-20: Weitere Wirkungskategorien Innenwände Gesamtmarkt und Gesamtlebenszyklus normalisiert auf Deutschland 2001 160
Abbildung 5-21: Modellierung Herstellung Holzrahmenaußenwand A 161

Abbildung 5-22: Modellierung Herstellung Holzrahmenaußenwand B 162
Abbildung 5-23: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (fossil) Gesamtlebenszyklus Außenwände.. 163
Abbildung 5-24: Primärenergiebedarf erneuerbar (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Außenwände 164
Abbildung 5-25: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Außenwände 166
Abbildung 5-26: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Außenwände 167
Abbildung 5-27: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Außenwände normalisiert Deutschland 2001 168
Abbildung 5-28: Modellierung Herstellung BSH-Hallenträger 169
Abbildung 5-29: Primärenergiebedarf (fossil) Gesamtlebenszyklus Hallenträger 170
Abbildung 5-30: Primärenergiebedarf erneuerbar (reg.) Hallenträger Gesamtlebenszyklus 171
Abbildung 5-31: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Hallenträger 173
Abbildung 5-32: Weitere Wirkungskategorien Hallenträger Gesamtlebenszyklus 174
Abbildung 5-33: Weitere Wirkungskategorien Hallenträger Gesamtlebenszyklus normalisiert auf Deutschland 2001 175
Abbildung 5-34: Modellierung Herstellung Mehrschichtparkett 177
Abbildung 5-35: Modellierung Herstellung Stabparkett Laubholz (Eiche / Buche) 178
Abbildung 5-36: Modellierung Herstellung Laminatfußboden (Wohnbereich) 179
Abbildung 5-37: Modellierung Herstellung Direktdruckboden (Lackboden) (Wohnbereich) 180
Abbildung 5-38: Primärenergiebedarf (fossil) Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² 181
Abbildung 5-39: Primärenergiebedarf (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² 182
Abbildung 5-40: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² 183
Abbildung 5-41: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² 184
Abbildung 5-42: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² (normalisiert Deutschland 2001) 185
Abbildung 5-43: Modellierung Herstellung Holzfenster 187
Abbildung 5-44: Modellierung Herstellung Holz-Alu-Fenster 188
Abbildung 5-45: Primärenergiebedarf (fossil) Fenster Gesamtlebenszyklus 189
Abbildung 5-46: Primärenergiebedarf erneuerbar (reg.) Fenster Gesamtlebenszyklus 190
Abbildung 5-47: Treibhauspotenzial Fenster Gesamtlebenszyklus 192
Abbildung 5-48: Weitere Wirkungskategorien Fenster Gesamtlebenszyklus 193
Abbildung 5-49: Weitere Wirkungskategorien Fenster Gesamtlebenszyklus normalisiert Deutschland 2001 194
Abbildung 6-1: Marktanteile Innenwände 2004 (Bestand + Neubau) 197
Abbildung 6-2: Ökologisches Potenzial Primärenergiebedarf bei Substitution und Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30% bezüglich des Gesamtmarkts Deutschland 2005 . 198
Abbildung 6-3: Ökologisches Potenzial in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial bei Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30% 199
Abbildung 6-4: Ökoprofil Holzständerinnenwand (Herstellung) 200
Abbildung 6-5: Marktanteil Außenwände Deutschland 2005 202
Abbildung 6-6: Ökologische Potenziale Außenwände: Primärenergiebedarf 203
Abbildung 6-7: Ökologische Potenziale Außenwände: Treibhauspotenzial 204
Abbildung 6-8: Ökoprofil Holzrahmenaußenwand (Herstellung) 204
Abbildung 6-9: Marktanteile Hallenträger Deutschland 2005 206

Abbildung 6-10: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Hallenträger 207
Abbildung 6-11: Ökologische Potenziale (Substitution): Treibhauspotenzial Marktsegment Hallenträger 208
Abbildung 6-12: Ökoprofil Hallenträger aus Holz (Herstellung) 209
Abbildung 6-13: Anteile am Fußbodenmarkt 2005 210
Abbildung 6-14: Ökologisches Potenzial: Primärenergiebedarf Fußböden pro 20 m² 211
Abbildung 6-15: Ökologisches Potenzial: Treibhauspotenzial Fußböden 212
Abbildung 6-16: Herstellungsschema Laminatfußboden 214
Abbildung 6-17: Detailanalyse Laminatfußboden (Wohnbereich) 214
Abbildung 6-18: Detailanalyse Direktdruckboden (Wohnbereich) 216
Abbildung 6-19: Modellierung Herstellung Mehrschichtparkett 217
Abbildung 6-20: Detailanalyse Ökoprofil Mehrschichtparkett (Herstellung) 218
Abbildung 6-21: Marktanteil Fenster Deutschland 2005 219
Abbildung 6-22: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Fenstersysteme 220
Abbildung 6-23: Ökologische Potenziale (Substitution): Energiebedarf Marktsegment Fenstersysteme 221
Abbildung 6-24: Ökoprofil (Herstellung) Fenster in Holzbauweise 222
Abbildung 6-25: Ökoprofil (Herstellung) Fenster in Holz-Alu-Bauweise 223
Abbildung 7-1: Zielgruppen der Kommunikation im Projekt ÖkoPot 225
Abbildung 7-2: Darstellung der ökologischen Potenziale (Treibhauspotenzial): Zusammenschau aller im Projekt ÖkoPot betrachteten Produktgruppen 232
Abbildung 7-3: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Kaufberatung Fußboden 237
Abbildung 7-4: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Detailanalyse Laminatfußboden 238
Abbildung 7-5: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Planungshilfe Außenwand 239
Abbildung 7-6: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Detailanalyse Außenwand 239
Abbildung 7-7: Projekthomepage als nachhaltige Informationsplattform 240

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Baumartspezifische Parameter 30
Tabelle 2-2: Betrachtungszeiträume der gewählten Produkte 38
Tabelle 4-1: Verbrauch und Anteile im Marktsegment Innenwand (neue Gebäude) 57
Tabelle 4-2: Verbrauch und Anteile im Marktsegment Innenwand (Maßnahmen am Bestand) 57
Tabelle 4-3: Treibhauspotenzial Lebenszyklus Innenwandtypen 63
Tabelle 5-1: Verbrauch an Holzprodukten in den jeweiligen Marktsektoren und Marktanteile 72
Tabelle 5-2: Marktanteile von Holzprodukten in verschiedenen Teilsektoren des Baumarktes 72
Tabelle 5-3: Innenwand – neue Gebäude 76
Tabelle 5-4: Innenwand – Maßnahmen an bestehenden Gebäuden 77
Tabelle 5-5: Marktvolumen Außenwand im Ein- und Zweifamilienhausbau (Neubau) 78
Tabelle 5-6: Brutto-Dachflächen von Industrie- und landwirtschaftlichen Hallen (Neubau) 79
Tabelle 5-7: Marktanteile für Parkettfußböden und Substitute /110/, /51/, /58/ 79
Tabelle 5-8: Produktionsanteile 2006 nach Parkettarten /8/, /68/ 80
Tabelle 5-9: Parkettmarkt 2006 in Deutschland /8/ 80
Tabelle 5-10: Anteil der Holzarten bei der Parkettproduktion /9/ 80
Tabelle 5-11: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Innenwände gemäß Kapitel 5.2 148
Tabelle 5-12: Materialliste Holzständerwand 150
Tabelle 5-13: Materialliste Metallständerwand 150
Tabelle 5-14: Materialliste Massivwand mit KS 150
Tabelle 5-15: Materialliste Massivwand mit Porenbeton 150
Tabelle 5-16: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Innenwände 156
Tabelle 5-17: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Innenwände 157
Tabelle 5-18: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Innenwände 158
Tabelle 5-19: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Hallenträger gemäß Kapitel 5.2 160
Tabelle 5-20: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Außenwände 165
Tabelle 5-21: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Außenwände 165
Tabelle 5-22: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Außenwände 166
Tabelle 5-23: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Hallenträger gemäß Kapitel 5.2 169
Tabelle 5-24: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Hallenträger 172
Tabelle 5-25: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Hallenträger 173
Tabelle 5-26: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Fußbodenbeläge (Wohnbereich) gemäß Kapitel 5.2 176
Tabelle 5-27: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Fußböden 182
Tabelle 5-28: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² 183
Tabelle 5-29: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Fenster gemäß Kapitel 5.2 186
Tabelle 5-30: Primärenergiebedarf Fenster Gesamtlebenszyklus 191
Tabelle 5-31: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Fenster 191
Tabelle 5-32: Treibhauspotenzial Fenster Gesamtlebenszyklus 192

Tabelle 6-1: Ökologisches Potenzial Primärenergiebedarf bei Substitution und Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30% bezogen auf den Gesamtmarkt in Deutschland 2005 198

Tabelle 6-2: Ökologisches Potenzial Treibhauspotenzial bei Steigerung Marktanteil Holzständerwand auf 30% 199

Tabelle 6-3: Betrachtete Außenwände in Holzständer- und Massivsauweise 201

Tabelle 6-4: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Hallenträger 207

Tabelle 6-5: Ökologische Potenziale (Substitution): Treibhauspotenzial Marktsegment Hallenträger 209

1 Hintergrund und Motivation

Seit Beginn der politischen Diskussionen über das Leitbild "Nachhaltige Entwicklung" stehen Holzprodukte im Fokus. Viele Vorteile dieser Produktgruppe, die argumentativ auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zurückgeführt werden können, liegen auf der Hand. Eine Einordnung, in welchen Bereichen die interessantesten ökologischen und die größten Marktpotenziale liegen, existiert jedoch nicht. Aus Sicht der Holzprodukte wurde bislang eine ökologische Beurteilung der Konkurrenzmaterialien nicht in umfassendem Rahmen durchgeführt.

In zunehmendem Maße erhöhen sich die Anforderungen an die Wettbewerbsfähigkeit der Produktgruppe Holz. Dazu gehören neben der Erhöhung der Komplexität des Marktes auch die gesellschaftlichen Ansprüche an sozial und ökologisch zukunftsfähige Produkte. Die Beurteilung der ökologischen Vorteilhaftigkeit der Produkte bedarf jedoch einer verlässlichen Basis.

Bisher liegt ökologisch relevantes Wissen nur für einzelne Produkte vor. Es fehlt jedoch eine Gesamtschau, die auch die mengenmäßige Bedeutung der Holzprodukte berücksichtigt. Das Projekt bündelt verfügbare Kenntnisse und bewertet sie wissenschaftlich. Mit dieser ganzheitlichen Betrachtung wird es möglich, die Förderung des Einsatzes von Holzprodukten in die Bereiche zu lenken, die in der Summe einen großen Beitrag zur Nachhaltigkeit liefert, d.h. großer ökologischer Nutzen der Produkte bei einem relevanten Marktvolumen. Mit der Berücksichtigung des ökologischen *und* wirtschaftlichen Potenzials können Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft zielgerechter angetrieben werden.

Mit der Charta für Holz haben die Bundesregierung sowie alle an der Erarbeitung der Charta beteiligten Stakeholder ein eindrucksvolles Zeichen gesetzt und die Absicht unterstrichen, durch gezielte Maßnahmen, die Forst- und Holzkette als solche und mittelbar das Wirtschaften unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zu fördern. Der BMBF Förderschwerpunkt "Nachhaltige Waldbewirtschaftung" gliedert sich in diese Bemühungen ein. Für zukünftige förderungspolitische Entscheidungen wären gesicherte Informationen über die ökologischen Potenziale der Forst- und Holzkette im Vergleich zu anderen Branchen in hohem Maße wünschenswert.

2 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

In Übereinstimmung mit der ISO-Norm für Ökobilanzen ISO 14040 /41/ ist der Bericht wie nachfolgend beschrieben aufgebaut. Er enthält jedoch auch ergänzende Angaben: In Kapitel 1 werden der Hintergrund und die Motivation, aus der die Studie entstanden ist, beschrieben. Kapitel 2 beschreibt (entsprechend ISO) das Ziel und die Rahmenbedingungen der Studie. Das inter- bzw. transdisziplinäre Projektkonsortium und die allgemeine Vorgehensweise im Projekt werden in Kapitel 3 dargelegt. In Kapitel 4 wird die im Rahmen dieses Projekts neuentwickelte Methode der ökologischen Potenzialanalyse beschrieben und erläutert. Anschließend werden in Kapitel 5 die Lebenszyklusmodelle, die in dieser Studie angewendet werden, einschließlich deren spezifischer Parameter, technischer Vor- und Nachteile sowie ihrer Marktsituation und –entwicklung in Deutschland vorgestellt. Die Ergebnisse der Ökobilanz, die als Grundlage für die ökologische Potenzialanalyse in Kapitel 6 dienen, werden ebenfalls in Kapitel 5 erläutert. Eine Aufarbeitung der Ergebnisse hinsichtlich Verbreitung in Richtung Zielgruppe und Kommunizierbarkeit nach außen erfolgt in Kapitel 7. Die daraus folgenden Schlüsse werden in Kapitel 8 gezogen.

2.1 Zielsetzung der Studie

Das Forschungsvorhaben ÖkoPot hat zum Ziel, mit Hilfe der "produktbezogenen ökologischen Potenzialanalyse", die im Rahmen des Vorhabens neu entwickelt wurde, der Forst- und Holzkette aufzuzeigen, bei welchen Holzprodukten die größten ökologischen Marktpotenziale bestehen und wie man sie gezielt nutzen und ausweiten könnte. Weiteres Ziel des Forschungsvorhabens ist es, konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen, die Holzprodukte anzubieten oder für andere Akteure, die an den ökologischen Potentialen von Holzprodukten interessiert sind, bereit zu stellen.

Im Projekt ÖkoPot wurde mit der produktbezogenen ökologischen Potenzialanalyse eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die unterschiedliche ökologische Wirkung beim Einsatz von Produkten aus verschiedenen Materialien zu vergleichen und die ökologischen Potenziale innerhalb eines Marktsegments, die aus einer möglichen Marktverschiebung (zugunsten der Holzprodukte) resultieren, qualifiziert abschätzen zu können. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, die Förderung von Holzprodukten gezielt in die Richtung des größten ökologischen Potenzials zu lenken. In ÖkoPot wurde die Methode zunächst exemplarisch an Produkten, die im Bauwesen eingesetzt werden, getestet und angewandt.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es nicht Ziel dieser Studie ist, einzelne Produkte/Produktsysteme oder Materialien ökologisch gegeneinander „auszuspie-

len“. Die in der Studie erläuterten Beispiele orientieren sich am Stand der Technik und repräsentieren somit anwendungstypische Bauteile und Bauweisen. Jedoch werden gerade im Bauwesen letztlich unendlich viele unterschiedliche Varianten eingesetzt, die jeweils ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben und deren Auswahl und Einsatz deshalb von unterschiedlichen Randbedingungen bestimmt werden. Einzelentscheidungen werden in der Baupraxis aufgrund vielschichtiger Entscheidungsgrundlagen getroffen (Kosten, Aussehen, technische Aspekte,…). Diese Aspekte werden in Kapitel 5.2 in einer ausführlichen technischen Charakterisierung der Bauteile, in der "Stärken und Schwächen" der jeweiligen Bauteile/Bauweisen dargelegt werden, diskutiert. Wegen der Vielfalt der Möglichkeiten sind die Ökobilanzmodelle und Annahmen ganz bewusst vereinfacht und auf das Wesentliche konzentriert worden. Für ökologische Detailanalysen bzw. -vergleiche ist die Methode nicht geeignet. Wenn sich die Rahmenbedingungen ändern, werden sich auch die Marktrelationen verschieben. Dies soll hier aber nicht untersucht werden. Im Vordergrund steht vielmehr die Frage, welche ökologischen Auswirkungen haben Marktverschiebungen, unabhängig davon, wodurch sie ausgelöst werden. Diese Art von Information kann z.B. für Politiker interessant sein, damit sie eine Möglichkeit erhalten abzuschätzen, ob z.B. eine bestimmte (Förder-)-Richtung unter dem Strich auf nationaler Ebene in Bezug auf die Ökologischen Zielsetzungen substanzielle Veränderungen bringt oder nicht.

2.1.1 Gründe für die Durchführung der Studie

In einem durch starken Konkurrenz- und Substitutionsdruck geprägtem Markt helfen konkrete Handlungsempfehlungen und Hintergrundmaterialen den Herstellern von Holzprodukten und deren Interessenvertretern bei der Beantwortung folgender Fragenstellungen:

- ► Wie könnte eine klare, nachvollziehbare Kommunikation quantifizierbarer Stärken von Holzprodukten im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion aussehen?
- ► In welchen Produktbereichen sind diese Stärken besonders ausgeprägt und sollten deshalb prioritär kommuniziert werden?
- ► In welchen Produktbereichen müssen die Stärken besonders gefördert werden oder lassen sich bestehende Potenziale besonders einfach freisetzen?

Erst durch einen Vergleich mit anderen Materialien wird deutlich, wie Holzprodukte über die Ausweitung von Marktanteilen und die Gewinnung von neuen Märkten zusätzlich zur nachhaltigen Entwicklung beitragen können.

Die Förderung von Nischenprodukten kann die Nachhaltigkeit nicht in dem Maße unterstützen wie die Fokussierung auf aus Marktsicht besonders relevante Produkte. Oftmals besit-

zen letztere zwar große ökologische Vorteile, weisen jedoch z.B. auf Grund mangelnden Wissens um Konkurrenzprodukte oder wegen anderweitig fehlender Akzeptanz der Kunden nur eine geringe Relevanz auf. In solchen Fällen sollte deshalb auf die Kommunikation der Vorteile von existierenden und real eingesetzten Holzprodukten verstärkt Wert gelegt werden, um Fehlsteuerungen zu vermeiden und Nachhaltigkeitsbetrachtungen in die richtige Richtung zu lenken. Erst aus Marktsicht können die ökologischen Potenziale sinnvoll gefördert und Schwachstellen sichtbar gemacht werden. Unternehmen und Verbraucher können somit zielgerichtet informiert werden.

2.1.2 Anwendung und Zielgruppe

Dieses Forschungsvorhaben hat zum Ziel, konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen, die Holzprodukte anbieten, oder für andere Akteure, die an den ökologischen Potentialen von Holzprodukten interessiert sind, bereit zu stellen. Dies basiert auf einem methodischen Vorgehen, welches sowohl eine ganzheitliche Perspektive auf die betrachteten Produkte wirft, als auch die Marktsituation in Anbetracht zieht, um relevante Konkurrenzprodukte oder -produktgruppen auszuweisen und zu positionieren (siehe Abbildung 2-1).

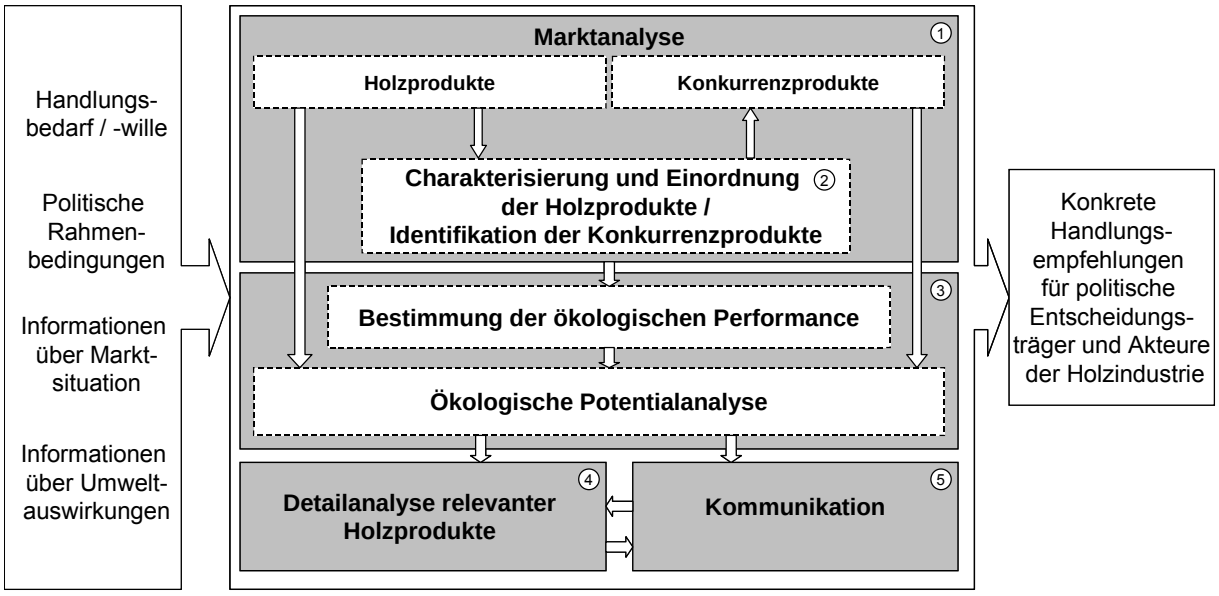


Abbildung 2-1: Übersicht zur Vorgehensweise im Forschungsvorhaben

Dafür werden zunächst durch eine Marktanalyse der Holzprodukte und deren Stoffströme in verschiedenen Verarbeitungsstufen die relevanten Mengen quantifiziert. Dabei werden die wichtigsten Konkurrenzprodukte dargestellt und deren Bedeutung bewertet. Um Stärken und Schwächen der relevanten Produkte beurteilen zu können, folgt eine Einordnung bezüglich technischer und wirtschaftlicher Kriterien im Vergleich zu konkurrierenden Produkten. Erst daraufhin kann eine zielgerichtete Bestimmung der jeweiligen ökologischen Potenziale erfol-

gen; zielgerichtet, weil repräsentativ, realitätsnah und relevant. Somit wird sichergestellt, dass die Handlungsempfehlungen auch angewandte Produkte adressieren und nicht auf Nischen zielen. Eine Detailanalyse ausgewählter Holzprodukte liefert anschließend Optimierungspotenziale aus ganzheitlicher Sicht und die wichtigsten Argumente für eine verbesserte zielgruppengerechte Kommunikation der ökologischen Vorteilhaftigkeit.

Durch das Vorhaben werden vor allem die ökologischen Potenziale der Holzkette identifiziert und quantifiziert, damit die Bemühungen um eine Nutzung der Potenziale dort angesetzt werden können, wo ein optimaler Effekt im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu erwarten ist. Die Zielsetzung des Projektes unterstützt deshalb die Forderungen des Handlungskonzeptes für den Förderschwerpunkt, die unter 3.3 (Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst-Holz-Kette) sowie 3.1 (Wald heute und in Zukunft: Szenarien und Visionen) erläutert sind.

Der neue und innovative Ansatz der ÖkoPot-Methode wird mittels Publikationen und Vorträgen den wissenschaftlichen Diskurs in der Fachöffentlichkeit bereichern. Neben der Kommunikation der Ergebnisse innerhalb der „Wissenschaftsgemeinde“ ist es ein Ziel des Projektes ÖkoPot, die Ergebnisse auch für alle sonstigen Zielgruppen (Stakeholder) zugänglich zu machen.

Die allgemeine Öffentlichkeit soll dabei primär mittelbar durch die Aktivitäten der Stakeholder angesprochen werden und nur sekundär durch direkte Projektaktivitäten. Die Ergebnisse des ÖkoPot-Projekts sollen politische Entscheider informieren und ihnen helfen, nachhaltige Entscheidungen zu treffen. Das heißt, Ziel der Kommunikation ist es, diese Adressaten zu informieren und dadurch die Grundlage für deren ökologisches Handeln zu ermöglichen. Gleichzeitig ist es aber auch notwendig, bestimmten Zielgruppen (Handel, Architekten) Argumente an die Hand zu geben, die es ihnen ermöglichen, ihre eigenen Kunden von der ökologischen Vorteilhaftigkeit bestimmter Produkte bzw. im Bausektor von einer Baumaßnahme unter Verwendung bestimmter Werkstoffe zu überzeugen. Die Argumente wurden in Form von Handlungsempfehlungen entwickelt und werden den verschiedenen Zielgruppen in individueller Form an die Hand gegeben. Über die Projekthomepage (www.oekopot.de) werden diese Ergebnisse auch über das Projektende hinaus zur Verfügung gestellt.

2.2 Untersuchungsrahmen

Ziel des Projektes ist die Entwicklung der Methodik für die Ökologische Potenzialanalyse und ihre exemplarische Anwendung für Holzprodukte und deren potenzielle Vergleichsprodukte. In Kapitel 4 wird die Methode der Ökologischen Potenzialanalyse ausführlich beschrieben. Durch die Idee der Betrachtung gesamter Marktsegmente und dem dadurch zwangsläufig

sehr hohen Aggregationsgrad bei der Marktanalyse sowie bei der vergleichenden Ökobilanzierung ist es zwingend erforderlich, den Detaillierungsgrad einzelner Produktvarianten sehr stark zu beschränken. Anderenfalls hätte die Anwendung der Methode in diesem Projekt nicht durchgeführt werden können.

Sowohl die Marktanalysen als auch die Ökobilanzierung zielen nicht in erster Linie auf einen ökologischen Vergleich einzelner Varianten („Variante A ist besser als B“), sondern weisen auf die ökologischen Potenziale hin, die sich z.B. aus einer Änderung des Verbraucherverhaltens ergeben könnten. Es ist klar, dass bei vielen Entscheidungen die ökologische Komponente meist nur untergeordnete Bedeutung hat, und die funktionalen und ökonomischen Aspekte meist im Vordergrund stehen.

2.2.1 Untersuchte Produktsysteme und Funktionen des Systems

Die untersuchten Produktsysteme ergeben sich aus einem Teilprojekt von ÖkoPot, der Marktanalyse der Holzprodukte und ihrer wichtigsten Konkurrenten. Dabei wurde erstmals der gesamte Holzmarkt in Deutschland systematisch aufgearbeitet, die mengenmäßig bedeutenden Verbrauchssegmente identifiziert und die wichtigsten Nichtholzkonkurrenten bezüglich ihres funktionalen Einsatzes ermittelt und quantifiziert. Eine kurze Beschreibung der Marktanalyse findet sich in Kapitel 4.4.1 und Kapitel 5.1. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in /85/.

Schließlich erfolgt im Teilprojekt Technische Charakterisierung der in der Marktanalyse ermittelten Produkte eine Festlegung auf gängige repräsentative Bauteile der jeweils betrachteten Segmente. Zur Gewährleistung eines Mindestmaßes an Vergleichbarkeit wurden vereinfachende technischen Funktionen („Funktionelle Einheit“) definiert. In Bezug auf diese wurden Holz basierte Bauteile und deren nicht Holz basierte Konkurrenzprodukte miteinander verglichen.

2.2.2 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit wurde für jedes Produktsegment individuell definiert. Die Wahl der funktionellen Einheit für hochaggregierte Systeme verlangt sehr große Vereinfachungen. So ist beispielsweise die Funktion einer (nichttragenden) Innenwand primär die Unterteilung von Räumen. Dies ist jedoch auf sehr viele verschiedene Arten möglich. Eine technische Vergleichbarkeit ergibt sich durch die Definition weiterer technischer Funktionen, die mindestens erfüllt werden müssen, die aber zum Teil auch übererfüllt werden können. Folgende Funktionen wurden definiert:

- Innenwände (nichttragend): Schallschutz
- Außenwände: Wärmeisolierung (also: Wärmedurchgang pro Fläche)
- Decke: Tragen einer (gleichen) Deckenlast + Überspannung eines definierten Raumes
- Fußboden: Fußbodenbedeckung pro Flächeneinheit in Wohnräumen
- Fenster: Wärmeisolierung pro Fläche

Zusätzlich wurde für alle Bauteile ein Lebenszeitraum definiert, den sie mindestens im Gebäude verweilen müssen. Dieser orientiert sich an derzeit üblichen Nutzungsdauern. Wird eine solche Nutzungsdauer nicht erreicht, so muss anteilig ausgetauscht bzw. ersetzt werden. Die Vergleichbarkeit bezieht sich damit jeweils auf die technischen Funktionen der Systeme über zuvor festgesetzte Zeiträume. Diese sind jeweils in den Unterkapiteln in Kapitel 5.2 und 5.3 quantitativ definiert[1]. Für eine Übererfüllung der Anforderungen werden keine Gutschriften angerechnet.

2.2.3 Untersuchte Szenarien

Wie bereits in den vorigen Kapiteln erwähnt, hat diese Studie nicht zum Ziel, einzelne Produkte oder Materialen miteinander zu vergleichen, sondern eine marktweite Analyse des ökologischen Potenzials von Holzprodukten zu ermöglichen. Aufgrund der dafür erforderlichen hohen Aggregation der Lebenszyklusmodelle wurden keine Szenarioanalysen für einzelne Produktvarianten durchgeführt.

2.2.4 Systemgrenzen

Gemäß der funktionellen Einheiten der betrachteten Produkte (siehe dazu auch Kapitel 2.2.2) werden die Herstellung inklusive Vorketten, die Nutzungsdauer und Instandhaltung sowie das Lebensende, inklusive Gutschriften einer etwaigen Wieder- oder Weiterverwendung (z.B. Gutschriften aus eine thermischen Verwertung von Holz oder Kunststoff mit anschließender Stromerzeugung) des jeweiligen Produktsystems betrachtet. Alle vorgelagerten und nachgelagerten Prozesse der modellierten Produktsysteme wurden in die Bilanzierung intergiert.

Die ökologischen Profile werden statisch berechnet („attributive LCA“). Rückkopplungseffekte, z.B. verursacht durch eine veränderte Marktsituation auf die ökologischen Profile, können nicht analysiert werden.

[1] In der Realität hängt die Entscheidung für oder gegen eine der hier bilanzierten Alternativen von einer Vielzahl von Faktoren ab. Um im Rahmen dieser Studie überhaupt zu einer Potenzialabschätzung zu kommen, mussten stark vereinfachende Annahmen gemacht werden. Ziel der Studie ist nicht der ökologische Vergleich, sondern die Potenzialabschätzung auf Basis der derzeitigen Ausgangssituation.

Die Einbeziehung von sekundären Rückkopplungseffekten ist bei der vorliegenden Potenzialermittlung nicht erwünscht, da die konkret ermittelten – zum heutigen Zeitpunkt real existenten – Potenziale der Holzbranche, erstmals ermittelt und abgeschöpft werden sollen. Die Ergebnisse sollen nicht durch Gegenrechnung vielfältiger, eventuell eintretender oder nicht eintretender (also schwer fassbarer) Effekte in anderen Branchen (wie z.B. der Energiewirtschaft) „verwässert" werden sollen.

Um solche Rückkopplungseffekte einzubeziehen, wäre eine änderungsorientierte Datenbasis nötig („consequential LCA"), die versucht, in der Zukunft liegende Sekundäreffekte (auch aller Nachbarbranchen) mit einzubeziehen. Für die Abschätzung der Relevanz einer Änderung und möglicher Einflüsse auf Nachbarbranchen ist ein solches Vorgehen jedoch erforderlich und kann als weiterführende Analyse dieses Vorhabens verstanden werden.

Sollte sich die Marktsituation z.B. in 10 Jahren nach Abschöpfen der Potentiale deutlich geändert haben, bietet sich durch die in diesem Projekt entwickelte Methode eher eine vergleichsweise einfache Neuberechnung der Situation an, um die Werte der real eingetretenen Änderungen anzupassen.

Bis dahin muss davon ausgegangen werden, dass der Bedarf an Holz aus zusätzlichen Quellen, und nicht durch Substitution einer bereits anderweitig bestehenden Nutzung, gedeckt werden muss und kann. Da im Rahmen dieses Projektes jedoch nur Potenziale für einzelne Produktgruppen berechnet werden und nicht eine vollständige Substitution von Nichtholzprodukten, ist dieser Ansatz vertretbar.

Der Nutzen von Holz quantifiziert sich in einer zusätzlichen Ausnutzung der eingebunden Primärenergie als gängige End-of-Life Variante, wie in dieser Studie geschehen. Die Betrachtung der Verrottung von Holz erscheint an dieser Stelle nicht sinnvoll, da bei dieser (aerobe Verrottung angenommen) zum Einen nur soviel CO_2 emittiert wird wie zuvor eingebunden wurde, und zum Anderen das Verrotten von Holz auf der Deponie durch die Gesetzgebung weitgehend ausgeschlossen wird.

In den letzten 5-10 Jahren konnte die Holznutzung erheblich ausgeweitet werden. Dies geschah nicht nur vor dem Hintergrund steigender Preise für fossile Energieträger, was einen regelrechten „Run" auf Holz als Energieträger ausgelöst hat. Auch die stoffliche Nutzung ist erheblich ausgeweitet worden. So hat Deutschland z.B. über einen längeren Zeitraum in erheblichem Umfang Sägewerksprodukte exportiert.

Die Holzvorräte in Deutschen Wäldern sind innerhalb der vergangenen 50 Jahre kontinuierlich angestiegen. Die Nutzung lag über lange Zeiträume etwa 1/3 unter dem Zuwachs. Deutschland hat verglichen mit allen anderen Europäischen Ländern den höchsten Bestockungsgrad und den höchsten Vorrat pro Hektar. Eine verstärkte stoffliche Nutzung kann

daher über viele Jahre getragen werden, ohne dass die biologischen Systeme Schaden nehmen.

2.2.5 Allokationsverfahren

Sachbilanzanalysen sind darauf angewiesen, dass Basisprozesse innerhalb eines Produktsystems, welches Material- oder Energieflüsse verwendet, miteinander verbunden werden können. In der Praxis bringen nur wenige industrielle Prozesse ein einziges Produkt hervor oder basieren auf einer Linearität bei Input und Output der Rohstoffe. Tatsächlich bringen industrielle Prozesse in der Regel mehr als ein Produkt hervor und sie recyceln Zwischen- oder ausrangierte Produkte als Rohmaterialien. Deswegen werden die Materialien und Energieflüsse wie auch die damit verbundenen umweltlichen Emissionen den verschiedenen Produkten, entsprechend ausgewiesenen Verfahren, nach ISO 14040 /41/ und 14044 /42/ zugeordnet. Die wichtigen Allokationsverfahren in den analysierten Lebenszyklen sind unten aufgelistet.

Bei allen Systemen sind Raffinerieprodukte wie Diesel, Naphtha, Heizöl und Schmieröl nach Masse alloziiert in Bezug auf Raffinerieemissionen und Energiebedarf und nach Energiegehalt in Bezug auf Rohölverbrauch alloziiert.

Im Fall der Holzproduktion wird zur Erhaltung der Kohlenstoffbilanz Massenallokation Sägewerksprodukte zwischen Schnittholz und Nebenprodukten (wie Rinde, Holzschnitzel und Sägemehl) angewendet. Weitere Aufwendungen (Emissionen, usw.) wurden nach Marktwert alloziiert.

2.2.6 Wahl der Wirkungskategorien

Die Wirkungsbilanz basiert auf den Methoden und Daten, die vom Centre for Environmental Science der Universität Leiden erarbeitet wurden /59/, /62/ (siehe dazu auch Erläuterungen in Kapitel 2.2.6). Weiterhin wird der Primärenergiebedarf betrachtet, der im Sinne der Norm keine Wirkungskategorie darstellt, aber einen wichtigen Indikator für den Bedarf an fossilen und regenerativen energetischen Ressourcen darstellt. Sowohl die bei CML gebräuchlichen Wirkungskategorien als auch der Primärenergiebedarf als Sachbilanzgröße, unterteilt in Primärenergie aus regenerierbaren und nicht regenerierbaren Ressourcen, sind für die Erstellung von Typ III Umweltdeklarationen nach DIN ISO TR 14025 /40/ für Bauprodukte, so genannte EPDs (Environmental Product Declaration), gebräuchlich.

Die Ergebnisse in den einzelnen Wirkungskategorien werden untereinander nicht gewichtet. Die einzelnen Wirkungskategorien werden getrennt bewertet. Der Fokus im Bereich der Holzprodukte liegt jedoch beim Primärenergiebedarf und beim Treibhauspotenzial.

Generell versteht man unter Ökobilanz den ökologischen Teil der Nachhaltigkeitsbewertung. In der Ökobilanz werden die Sachbilanzdaten (zusammenfassende Liste aller Entnahmen von Stoffen aus der und Emissionen in die Umwelt entlang des gesamten Lebenswegs) in Bezug auf die Bedeutsamkeit ihrer möglichen Auswirkungen bewertet, um Aussagen über die gesamte Umweltwirkung zu treffen. Die Daten, die in der Sachbilanz gesammelt werden, repräsentieren deshalb die Basis für die Wirkungsabschätzung.

In der internationalen Norm /41/, /42/ sind keine Wirkungskategorien für die Anwendung im Rahmen der Ökobilanz definiert, jedoch sind Anforderungen für die Wahl der speziellen Wirkungskategorien definiert. Die Wahl der Wirkungskategorien soll sich generell an den Zielen der nachhaltigen Entwicklung, Ressourcenschonung, dem globalen Schutz der Ökosphäre, dem Schutz der menschlichen Gesundheit und der Stabilität des Ökosystems orientieren /74/, /50/.

Gemäß den oben erwähnten Aspekten wurden die Wirkungskategorien nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Die Wahl generell wichtiger Wirkungskategorien,
- Auswahl ökologisch relevanter Aspekte in Bezug auf das Produkt,
- Argumentation für die getroffene Wahl,
- Erläuterung und Beschreibung der Kategorien und des Wirkmechanismus,
- Internationale Akzeptanz der Wirkungskategorien.

Alle Flüsse, die einen entsprechenden Beitrag zu den gewählten Kategorien leisten, werden in der Kalkulation betrachtet. Die folgenden Wirkungskategorien wurden für eine Bewertung innerhalb des Rahmens der Studie gewählt.

2.2.6.1 Faktoren und Wirkungskategorien

Die CML2001-Indikatoren wurden gewählt, weil sie auf wissenschaftlichen und vollständig entwickelten Berechnungsmethoden verschiedener Indikatoren basieren. Die ISO betrachtet Einpunktindikatoren, sogenannte Single-Point-Indikatoren, kritisch, da sie für eine differenzierte Interpretation der Ergebnisse nicht ausreichend sind. Die Studie betrachtet daher die folgenden ökologischen Parameter und Wirkungskategorien:

- **Primärenergiebedarf, unterteilt** in **erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf** [MJ] als eine Zusammenfassung des Verbrauchs von energetisch genutzten Ressourcen.
- **Treibhauspotenzial** – “Treibhauseffekt” (GWP) in [kg CO_2 - Äquivalent]
- **Ozonabbaupotenzial** - “Ozonloch” (ODP) in [kg R11 Äquivalent]
- **Versauerungspotenzial** – “Saurer Regen” (AP) in [kg SO_2 - Äquivalent]

- **Eutrophierungspotenzial** – "Überdüngung" (EP) in [kg PO_4^{3-} Äquivalent]
- **Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial** – "Sommersmog" (POCP) in [kg C_2H_4 – Äquivalent]

Bei der Darstellung des Klimawandels ist das Treibhauspotenzial (GWP) eine allgemein und weltweit akzeptierte Wirkungskategorie. Treibhausgasemissionen, insbesondere die aus dem Energie- und Transportsektor, müssen quantifiziert werden. Um einen angemessenen Zeitabschnitt zu betrachten, wird in der Ökobilanz meist ein Zeithorizont von 100 Jahren gewählt, Dies spiegelt sich in der gewählten Wirkkategorie GWP100 wieder. In Übereinstimmung mit dem Kyoto-Protokoll der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen /109/, strebt die EU die Festlegung auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 8% bis zum Jahre 2012 an (ausgehend von den Emissionswerten der Europäischen Gemeinschaft im Jahre 1990).

Das primäre Ziel, um die Natur und die biologische Vielfalt zu erhalten, ist die Vermeidung schädlicher Umweltverschmutzung. Hieraus lassen sich die Wirkungskategorien Versauerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP) ableiten. Wie die Vergangenheit zeigte, hängt der Schutz von Wald und Boden besonders von einer geringen Emissionsrate von SO_2 und NO_x /19/ ab.

Das übergeordnete Ziel Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität zu schützen, steht auch im Zusammenhang mit bodennahem Ozon (Sommersmog), welches durch die Wirkkategorie Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP) abgedeckt wird. Bezugnehmend auf das internationale Göteborg Protokoll /107/ zum Umweltschutz werden die Wirkungskategorien AP, EP und POCP untersucht. Gemäß dem Göteborg Protokoll /107/ sollten die folgenden Ziele EU-weit bis 2010 (ausgehend von den Emissionsniveaus von 1990) erreicht werden: 75% weniger SO_2, 49% weniger NO_2, 15% weniger NH_3, 57% weniger VOC.

Eine weitere Wirkkategorie ist das Ozonabbaupotenzial (ODP), das sich auf das Montreal Protokoll über Ozon abbauende Substanzen /108/ bezieht und welches auch unter dem übergeordneten Ziel „Schutz von Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität" inbegriffen ist. Laut dem Montreal Protokoll /108/ verbietet die Europäische Union die Verwendung von Flurchlorkohlenwasserstoffen, Halonen und anderen Stoffen und definiert Ziele zur Reduktion der Ozon abbauenden Substanzen /52/.

Der abiotische Ressourcenverbrauch (ADP) wird in dieser Studie nicht betrachtet. Die unterschiedlichen Auswirkungen, die aus der Verwendung von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen entstehen, werden ausreichend unter dem Thema „Primärenergiebedarf" (siehe oben) behandelt.

Die ISO verlangt die Auswahl von für den speziellen Geltungsbereich der Studie relevanten Wirkungskategorien. Die Toxizität wurde deshalb nicht berücksichtigt. Die Wirkfaktoren für toxische Emissionen in der Ökobilanz-Methode sind nach wie vor mit Unsicherheiten behaftet und werden unter Experten kontrovers diskutiert (siehe beispielsweise die Dokumente der UNEP-SETAC-Life-Cycle-Initiative: „Life Cycle Impact Assessment definition study: Background document III“ und „Final report of the LCIA Definition study, 24.12.2003“). Diese Problematik ist nicht Teil der vorliegenden Untersuchung. Der Einsatz von Holzschutzmitteln und die damit verbundenen etwaigen Emissionen toxischer Substanzen sowie der Einsatz anderer Produkten (Lacke, Schmierstoffe, Reinigungsmittel) ist ausdrücklich nicht Gegenstand dieser Studie. Aus diesen Gründen ist auf die Betrachtung von toxischen Wirkungen in dieser Studie verzichtet worden.

Bei nachwachsenden Rohstoffen ist Landnutzung („Landuse“) angesichts der jetzt schon stattfindenden Diskussionen eine wichtige Größe. Jedoch war zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie bislang keine international gängige Methode, die die Landnutzung charakterisiert und funktionell verfügbar ist, zugänglich. Derzeit laufen Aktivitäten der UNEP SETAC Arbeitsgruppe LandUse zur Aufbereitung dieses Themas, die jedoch noch nicht abgeschlossen sind. Für eine zukünftige Aktualisierung der ÖkoPot-Studie wäre eine Einbeziehung des Flächenverbauchs wünschenswert. In dieser Studie wurde der Flächenverbrauch nicht berücksichtigt.

Die Wirkbilanz basiert auf den Methoden und Daten, die vom Centre for Environmental Science an der Universität Leiden erarbeitet wurden /59/, /62/. Die Beschreibung der ökologischen Parameter und Auswirkungen ist unter Anhang B zu finden.

Die Ergebnisse in den einzelnen Wirkungskategorien werden untereinander nicht gewichtet. Gemäß den oben definierten Zielen werden die einzelnen Wirkungskategorien getrennt bewertet, um eine differenzierte Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen.

Der Primarenergiebedarf kann durch unterschiedliche Arten an Energiequellen gedeckt werden. Der Primärenergiebedarf ist das Quantum an direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommenen Energie oder Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurde. Bei fossilen Energieträgern ist dies beispielsweise die Menge entnommener Ressource ausgedrückt in Energieäquivalent (Energieinhalt der Energierohstoffe). Bei nachwachsenden Energieträgern wird die energetisch charakterisierte Menge eingesetzter Biomasse beschrieben. Als aggregierte Werte werden folgende Primärenergien ausgewiesen:

Der Summenwert „Primärenergiebedarf nicht erneuerbar bzw. fossil“ angegeben in [MJ] charakterisiert im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Stein-

kohle und Uran. Erdgas und Erdöl werden sowohl zur Energieerzeugung, als auch stofflich als Bestandteil z.B. von Kunststoffen eingesetzt. Kohle wird im Wesentlichen zur Energieerzeugung genutzt. Uran wird ausschließlich zur Stromgewinnung in Kernkraftwerken eingesetzt.

Der Summenwert „Primärenergiebedarf erneuerbar zw. regenerativ“ angegeben in [MJ] wird in der Regel separat ausgewiesen. Er umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und den Einsatz von Biomasse. Es ist in jedem Fall wichtig, dass genutzte Endenergie (z.B. 1 kWh Strom) und eingesetzte Primärenergie nicht miteinander verrechnet werden, da sonst der Wirkungsgrad zur Herstellung bzw. Bereitstellung der Endenergie nicht berücksichtigt wird.

Der Energieinhalt der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Produkte wird als stoffgebundener Energieinhalt bzw. als Photosyntheseleistung ausgewiesen. Er wird durch den unteren Heizwert des Produkts charakterisiert. Dieser stellt den noch nutzbaren Energieinhalt dar.

2.2.7 Datensammlung und Datenherkunft

Die Datensammlung für eine Umweltanalyse ist für den betreffenden jeweiligen Lebenszyklus äußerst wichtig, muss effektiv durchgeführt werden und repräsentative Werte liefern. Der Lebenszyklus beinhaltet die Produktion von primären Produkten und Materialien, die Produktion von Verpackungseinheiten, die Nutzungsphase mit ihrer Logistikkette sowie die Wiederverwendung, Recycling oder thermische Nutzung/Verwertung/Entsorgung des Verpackungssystems am Lebensende / End-of-Life.

Für die Simulation und Berechnung der Bilanz wird das Softwaresystem GaBi 4 zur Ganzheitlichen Bilanzierung verwendet, welches von LBP (Universität Stuttgart) und PE International /79/ gemeinsam entwickelt wurde. Daten aus anderen Studien, wie z.B. /90/, /97/, /101/, /103/, usw., wurden als Modelle in die Datenbank integriert, so dass sämtliche Ökobilanzmodelle hinsichtlich ihrer Vorketten und modellierungstechnischen Randbedingungen konsistent sind.

Sämtliche Stoffflüsse, die in das System einfließen (Inputs) und deren Anteil bei mehr als 1% der Gesamtmasse liegt oder die mehr als 1% zum Primärenergiebedarf beitragen, müssen nach /6/ erfasst werden. Weiterhin müssen alle Emissionen, die zu mehr als 1% zu einer der betrachteten Wirkungskategorien beitragen, erfasst werden.

In den folgenden Abschnitten werden einzelne Bereiche der Lebensweganalysen übergeordnet beschrieben: Forst und Holzbereitstellung, weitere Materialien und Energie, Entsorgung, Transporte und zeitlicher Bezug.

2.2.7.1 Forst

Im Rahmen dieser Studie wurde ein parametrisiertes Modell aufgebaut, das die Möglichkeit bietet, unter Einstellung der wichtigsten Parameter und Randbedingungen den Anbau von Holz bis zu dessen Ernte für beliebige Baumarten unter variablen Randbedingungen ökobilanziell abzubilden.

Das Forstmodell wurde von November 2006 bis März 2007 auf Basis der Dissertation von Schweinle /101/ entwickelt. Das Modell ist generisch aufgebaut, d.h. aufbauend auf einem parametrisierten Grundmodell kann die Modellierung von verschiedenen Baumarten anhand von Parametereinstellungen vorgenommen werden.

Besonders erwähnt werden muss an dieser Stelle, dass grundsätzlich alle Modellierungen auf absolut trockene (“atro“) Holzmengen bezogen werden, die Holzfeuchte jedoch über eine Parametrisierung des Modelles jeweils mitgeführt wird und angepasst werden kann, d.h. dort, wo die Holzfeuchte relevant ist, wird sie in die Berechnungen mit intergiert (z.B. bei der Berechnung der Transportaufwendungen, bei der Betrachtung des Heizwertes bzw. des Brennwertes in der Verfeuerung, …). Diese Vorgehensweise hat schlicht modellierungstechnische Gründe.

Das Modell kann prinzipiell für verschiedene Baumarten angewendet werden. Jedoch basieren die Verbrauchsdaten der Forstmaschinen sowie deren Emissionswerte auf Studien aus Deutschland bzw. der Schweiz /101/, /13/, /95/. Ähnlich der Vorgehensweise bei Schweinle liegt ein modularer Aufbau vor. Die Abbildung 2-2 zeigt den Aufbau des Modells in der Software zur Erstellung von Ökobilanzen GaBi 4 /79/.

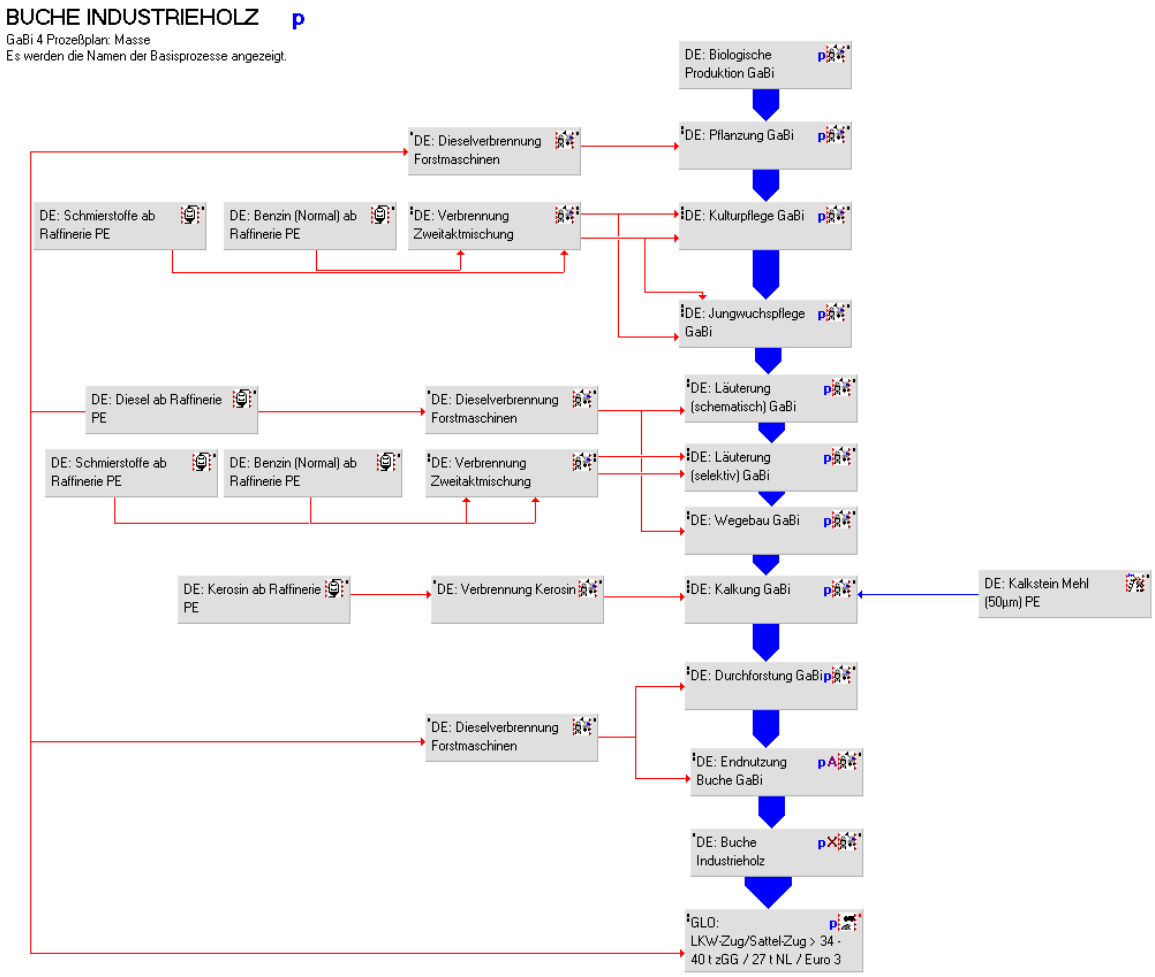


Abbildung 2-2: generisches Forstmodell, GaBi 4 Softwaresystem

Die einzelnen Module sind:

- Biologische Produktion
- Pflanzung
- Kulturpflege
- Jungwuchspflege
- Läuterung (selektiv und schematisch)
- Durchforstung
- Endnutzung
- Wegebau
- Kalkung
- Nasslagerung
- Transport

Allgemein werden für jede Baumart die Vorratsfestmeter-Gesamtwuchsleistung (GWL) des Waldes [Vfm/ha], die Dichte des spezifischen Holzes [kg/m³] und der Ernteverlust pro Hektar Wald, d. h. der Teil des Holzes, der im Wald verbleibt und nicht geerntet wird, eingestellt. Diese variieren von Baumart zu Baumart wie in Tabelle 2-1 folgt:

Tabelle 2-1: Baumartspezifische Parameter

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
GWL [Vfm/ha]	1377,71	770,04	1044,8	1035,51
Dichte [kg/m³]	430	490	660	640
Ernteverlust	0,08	0,08	0,1	0,1

Die einzelnen Module werden im Anhang“ Biologische Produktion“ näher erläutert.

2.2.7.2 Holzprodukte

Die Modelle zur Berechnung der umweltlichen Lasten der in den beschriebenen Bauteilen enthaltenen Holzhalbwaren basieren auf Datensätzen, die entweder im Rahmen von Diplomarbeiten, Dissertationen und Forschungsvorhaben erarbeitet wurden, als auch auf Ergebnissen von Sachbilanzen, die im Rahmen von Industrieprojekten des Lehrstuhls für Bauphysik der Universität Stuttgart und der PE International erfasst wurden.

Folgende Modelle zur Berechnung von Ökobilanzen von Holzprodukten wurden in diesem Projekt verwendet:

- Nadelschnittholz
- Brettschichtholz (BSH)
- Spanplatte
- OSB-Platte
- MDF / Fußbodensysteme aus Holz

Nadelschnittholz

Das Modellierung der Schnittholzherstellung basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen des BMBF-Projektes „Ökologische Bilanzierung von Bauschnittholz und veredelten Vollholzprodukten“ (FKZ G-99/11) /54/. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes “Förderung der Wissenschaftskooperation zum Aufbau und Umsetzung des deutschen Netzwerk Lebenszyklusdaten” (Förderkennzeichen: 01 RN 0401) überarbeitet /97/. Hierbei wurden im Wesentlichen die Vorkettenmodule erneuert, Stoffströme, wie z.B. der Holzfeuchtegehalt, parametrisiert, sowie technologische Parameter dem aktuellen Wissenstand angepasst /78/.

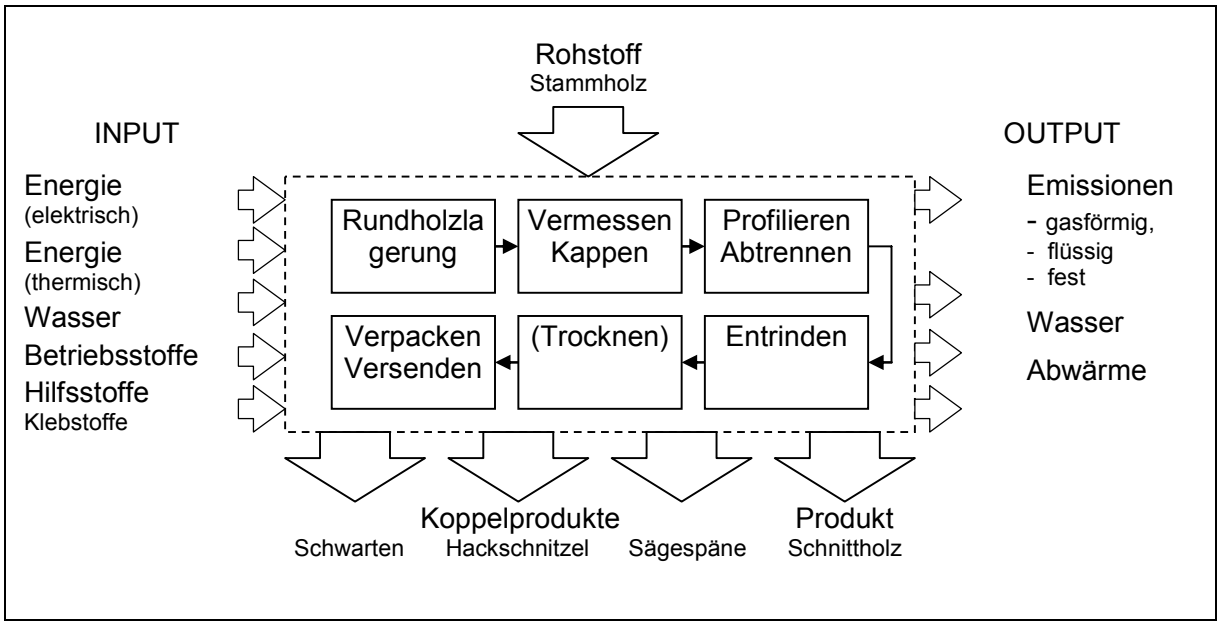


Abbildung 2-3: Der Bilanzraum des Moduls Schnittholzherstellung

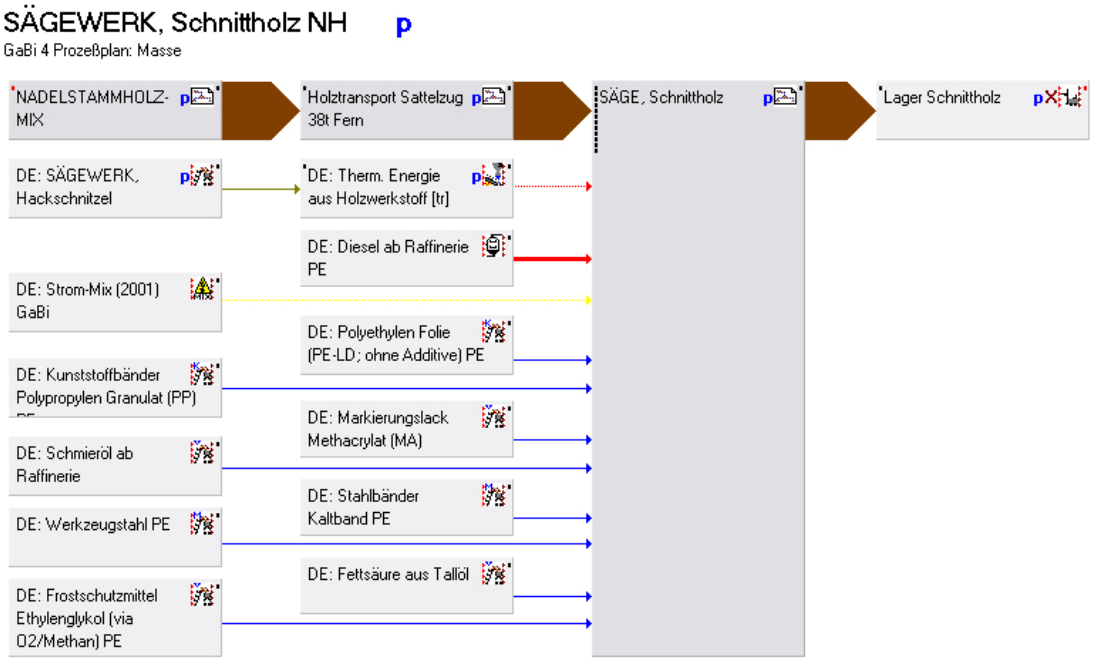


Abbildung 2-4: Generisches Modell der Schnittholzherstellung, GaBi 4 Softwaresystem

Die verwendeten Basisdaten für die verwendeten Module der Spanplattenökobilanz wurden im Wesentlichen im Rahmen der Arbeit von Hasch /60/ erhoben. Ebenso wie das Modell der Schnittholzherstellung wurde die dabei entstandene Modellierung (GaBi 4 Software /79/) in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart im Jahr 2007 aktualisiert und parametrisiert /97/, /78/.

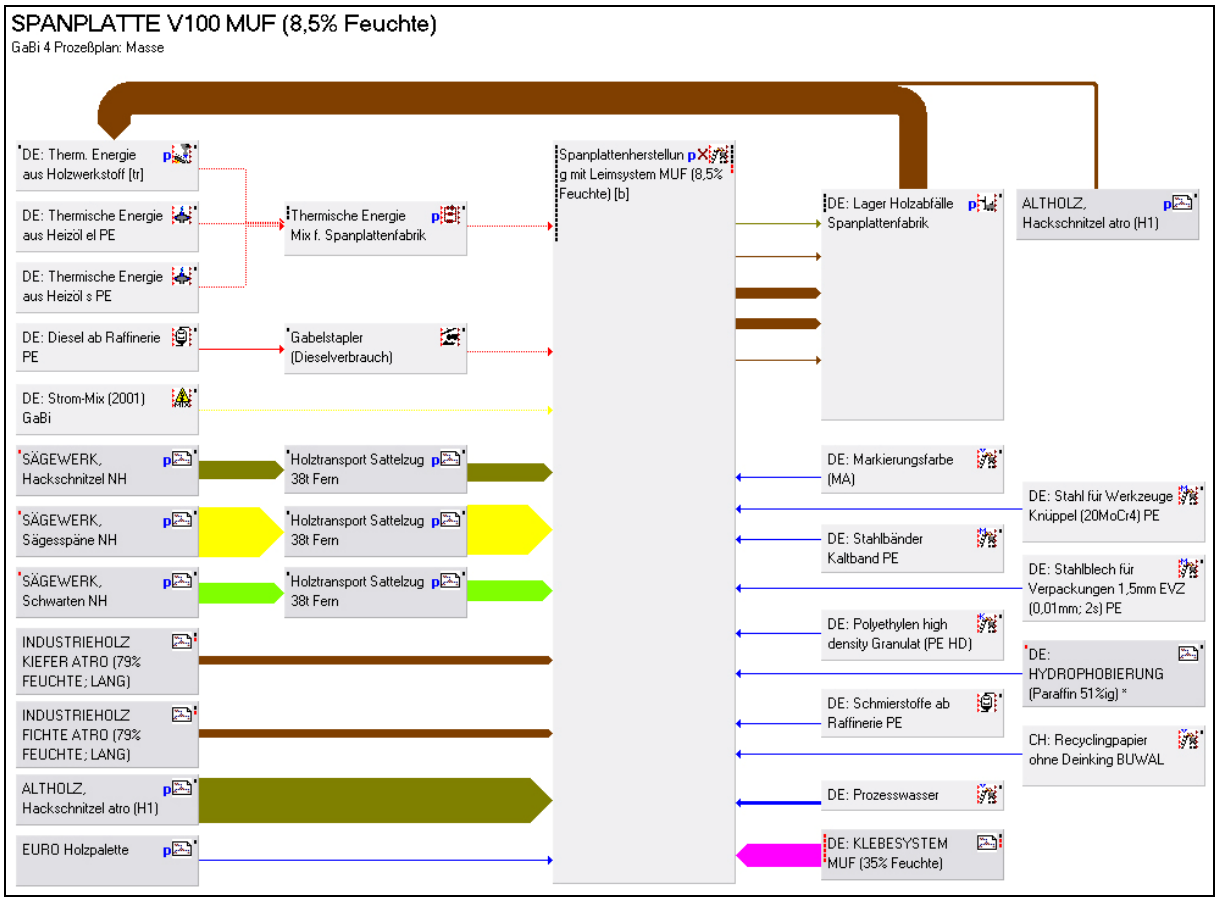


Abbildung 2-5: Generisches Modell der Spanplattenherstellung, GaBi 4 Softwaresystem

OSB

Die Daten und die Modellierung de OSB-Platte wurde der kommerziell verfügbaren Software und Datenbank zur Ökobilanzierung GaBi 4 /79/ entnommen. Die Daten wurden im Rahmen verschiedener Projekte von der Industrie bereitgestellt und um qualifizierte Literaturangaben ergänzt.

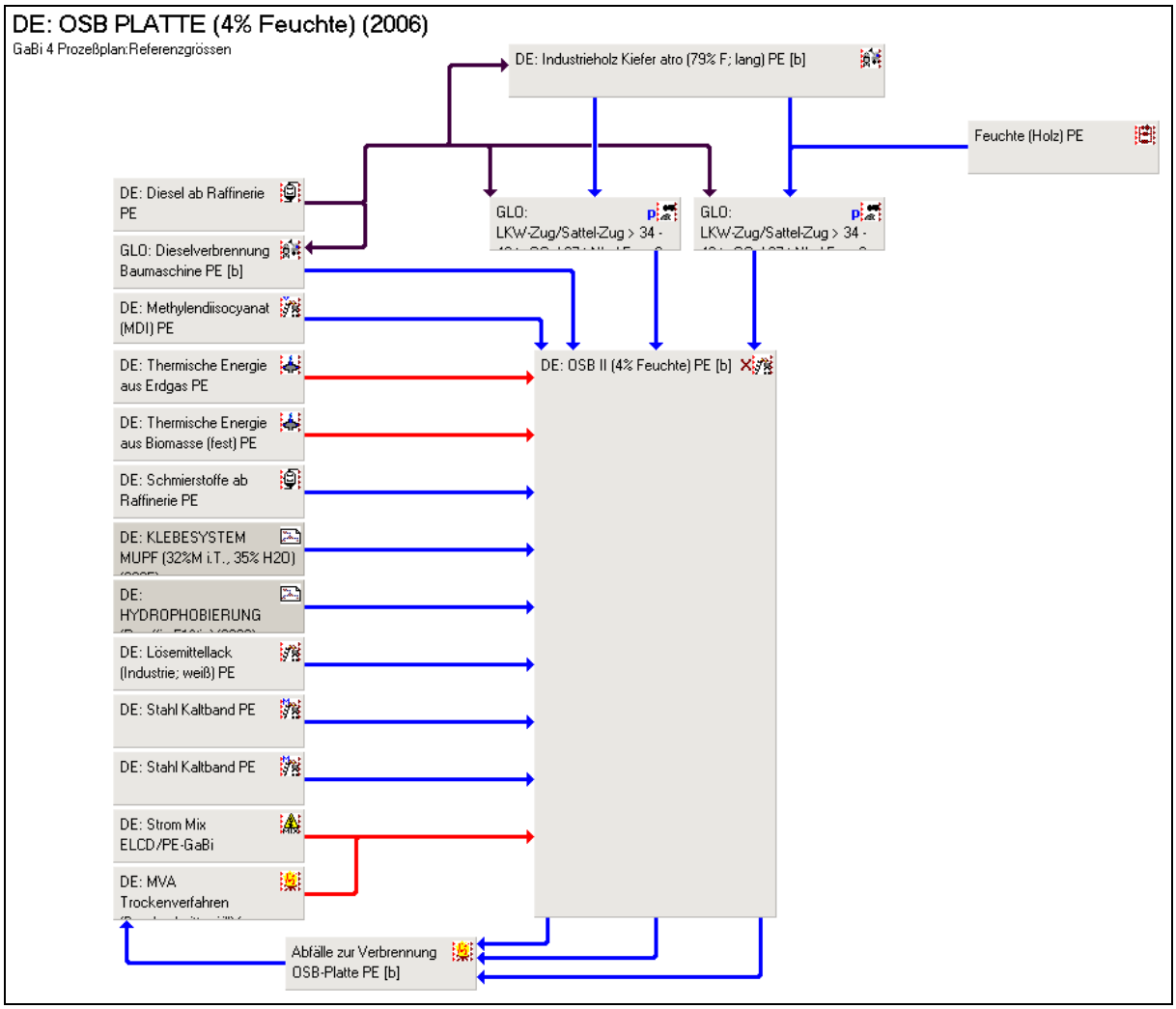


Abbildung 2-6: Modell der OSB-Plattenherstellung, GaBi 4 Softwaresystem

HDF / MDF / Fußbodensysteme aus Holz

Die Daten für die Modellierung der MDF- und HDF-Platten wurden im Rahmen der Erstellung mehrerer EPD (Environmental Product Declaration) für Laminatfußböden ermittelt /47/. Die Prozessmodellierung wurde anhand dieser Primärdaten durchgeführt und erfolgte in Zusammenarbeit mit PE International.

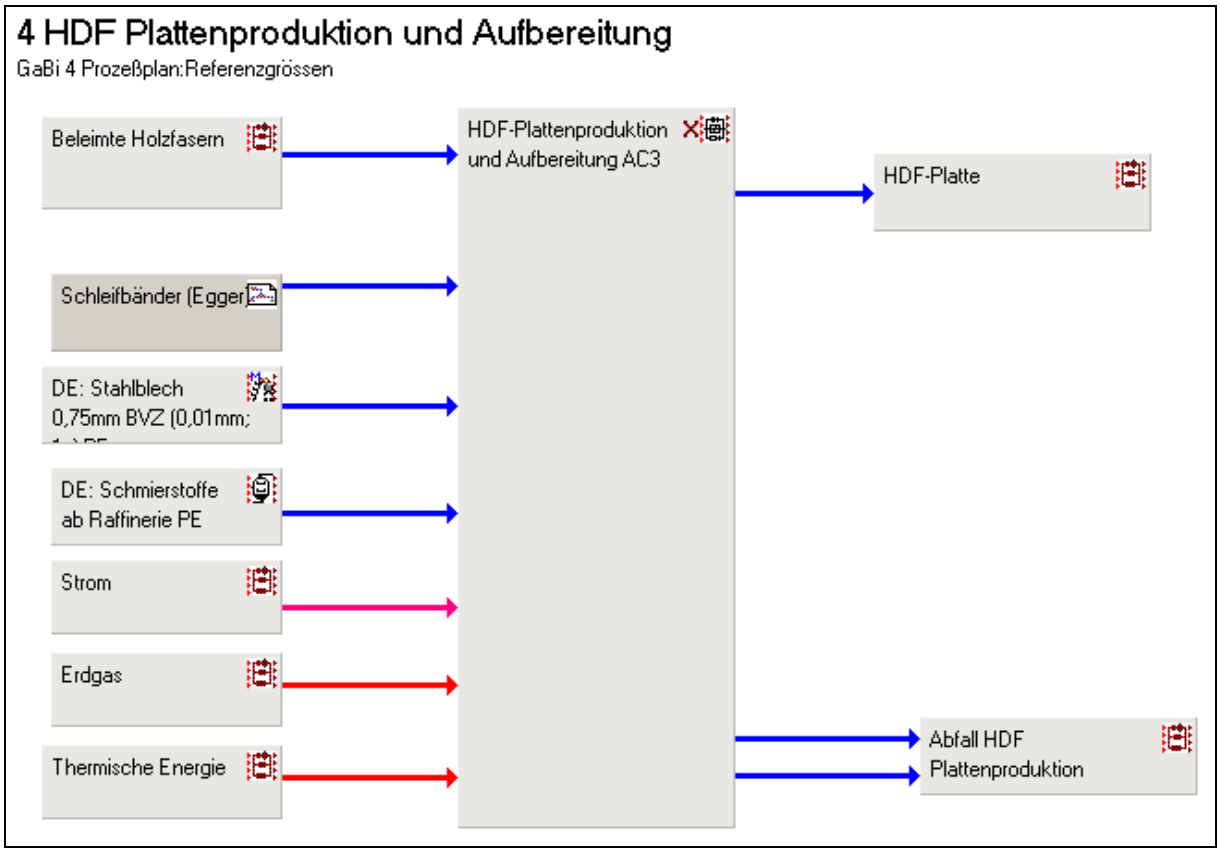


Abbildung 2-7: Modell der Herstellung HDF-Platte nach /47/

Die Daten für die Modellierung der Parkettherstellung stammen aus einem Forschungsprojekt, das 2003 an der TU München abgeschlossen wurde /90/. Darin wurden für die Herstellung der gängigen Parkett- und Holzfußböden beschrieben und in der Industrie aufgenommene Daten gemittelt bereitgestellt. Für die hier durchgeführte Betrachtung wurde Mehrschichtparkett, Eichenstabparkett und Buchenstabparkett berücksichtigt und modelliert.

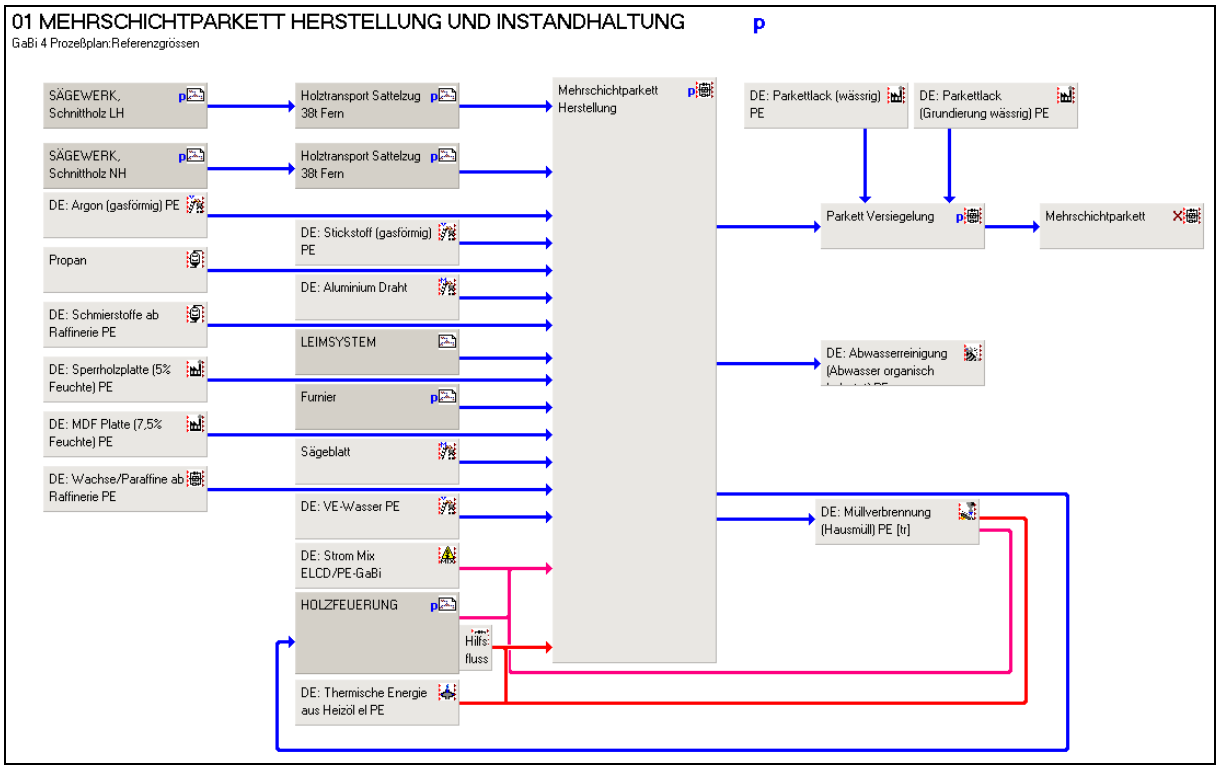


Abbildung 2-8: Modell der Herstellung Mehrschichtparkett nach /90/

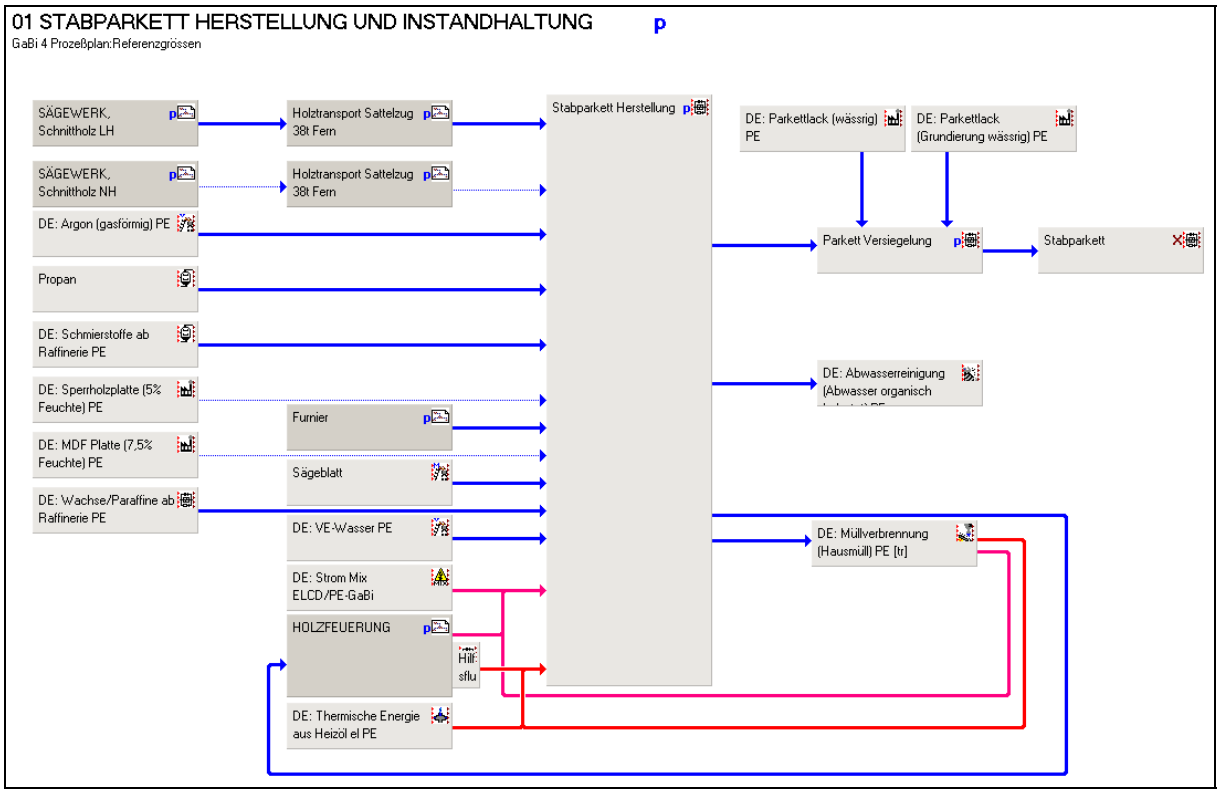


Abbildung 2-9: Modell der Herstellung Stabparkett Eiche und Buche nach /90/

2.2.7.3 Weitere Materialien und Energie

Alle relevanten weiteren Materialien und Hintergrunddaten wie z.B. Energie und Hilfsmaterialen wurden der Datenbank des Softwaresystems zur Ganzheitlichen Bilanzierung GaBi 4 entnommen /79/. Die Daten basieren fast durchgängig auf in der Industrie aufgenommenen Daten, die mit aktuellen Informationen aus verschiedenen Literaturquellen ergänzt wurden. Sie entsprechen branchenüblichen Durchschnittswerten. Der Großteil der genutzten Datensätze ist öffentlich verfügbar und es existieren öffentlich verfügbare Dokumentationen.

2.2.7.4 Entsorgung

Die Entsorgung erfolgt materialspezifisch. Aufgeteilt wird bei den Entsorgungswegen in die drei prinzipiellen Routen Deponie, Verbrennung und Recycling.

Deponie:

Inerte Stoffe werden auf der Inertstoffdeponie entsorgt. Das Ökobilanzmodell der Deponie stellt eine Deponie der Klasse 1 dar und hat eine entsprechende Oberflächen- und Basisabdichtung. Es wird mit einer Deponiehöhe von 30 m gerechnet, einer Deponiefläche von 40.000 m² und einer Betrachtungszeit von 100 Jahren. Die Aufwendungen für die Basisabdichtung (Ton, Mineralschicht, Polyethylen-Folie) und den Kompaktionsprozess sind im Modell abgebildet. Niederschlagsdaten sind Deutschland-spezifisch und es wird mit einer Versickerung von 50 % gerechnet. Sickerwasser wird nicht aufbereitet oder zirkuliert und die Menge der aus der Deponie gelösten Stoffe entspricht der stoffspezifischen Löslichkeit. Der Deponiekörper wird als homogen durchmischt und gesättigt angenommen. Die Effektivität der Basisabdichtung beträgt 60 %. Das Modell ist inputspezifisch und liefert somit Informationen, die nur auf den deponierten Abfall zurückzuführen sind.

Recycling:

Metallische Werkstoffe sind ein begehrter Rohstoff und werden meistens dem Materialrecycling zugeführt. In der Modellierung werden den Metallen in der Entsorgung so genannte Recyclingpotenziale zugewiesen. Diese beinhalten zum einen das Potenzial primäre Werkstoffe zu ersetzen, und damit das Potenzial, gewisse Gutschriften zu erhalten, und zum anderen umweltliche Aufwendungen für die Aufbereitung des Werkstoffs. Es wird damit der “ökologische Wert” der Akkumulation des Produktes bzw. des Werkstoffes in der Technosphäre nach der Aufbereitung nach heutiger Technologie dargestellt. Es beschreibt, welche ökologischen Lasten im Bezug auf eine potenzielle Produktion aus Primärmaterial vermieden wird. Rohstoffspezifische Sammelraten werden aus diesem Grund in der Berechnung (Stahl 95 %) berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der Sammelraten und der heutigen Technologie der

Recyclingtechnologie, werden für Stahl beispielsweise 65 % Primärstahlanteil bei der Produktion eines Kilogramms angenommen. Wird das komplette Recyclingpotenzial in der Ökobilanz eingesetzt, werden die Umweltlasten der Produktion genau um den vermiedenen Anteil vermindert.

Beispiel: Um 1000 kg eines Metallprodukts herzustellen, werden momentan 80 % Primärmaterial und 20 % Rezyklat-Anteil (= 800 kg Primärmaterial und 200 kg Sekundärmaterial) eingesetzt. Der Sekundärmaterial-Input benötigt 220 kg Schrott (mit 10 % Verlusten während der Produktion). Somit stehen 780 kg Schrott für das Recycling potenziell für eine zukünftige Nutzung im Kreislauf zur Verfügung, was bei 10 % Produktionsverlust zu 702 kg rezykliertem Metall führt. Das Recyclingpotenzial wird als vermiedene Produktion von 702 kg Primärmaterial gerechnet.

Verbrennung:

Holz wird in der Entsorgung einer Verbrennung zugeführt. Daraus werden Strom und Dampf erzeugt. Dies führt entsprechend dem Heizwert und der Holzfeuchte zur Substitution von primär erzeugtem Strom und Dampf und wird daher entsprechend dieser Menge als vermiedene Produktion von herkömmlich hergestelltem Strom und Dampf gutgeschrieben. Der Verbrennungsprozess entspricht einer Standardverbrennung mit trockener Rauchgasreinigung. Die modellierte Verbrennungsanlage hat eine Rostfeuerung und einen Dampfgenerator. Der Wirkungsgrad der Dampfproduktion ist nahe 100 %, der Anteil umgewandelten Stroms ist 12 %. Nach Abzug internen Bedarfs wird der produzierte Dampf exportiert. Die Schlacke wird gewaschen, um die Konzentration löslicher Salze zu reduzieren. Metalle werden aus der Schlacke aussortiert. Die Schlacke wird anschließend gesiebt, zerkleinert und von brennbarem Material gesäubert, um ein entsprechendes Bauprodukt zu bekommen. Das Rauchgasreinigungssystem benutzt eine trockene Technologie mit Absorption. Um NO_x-Emissionen zu vermindern, wird SCR-Technologie verwendet (Selective Catalytic Reduction). Anschließend wird das Rauchgas konditioniert, mit Absorptionsmittel versehen und mit Textilfiltern gefiltert. Die Flugasche wird gemeinsam mit den Absorptionsmitteln in einer Untertagedeponie abgelagert.

Kunststoff wird ebenfalls der Verbrennung zugeführt und der daraus produzierten Strom und Dampf verkauft. Die Gutschrift erfolgt in Analogie zur Holzverbrennung.

2.2.7.5 Transporte

Bei den beschriebenen Produkten und Prozessen handelt es nicht um solche, die von bestimmten Firmen oder an bestimmten Orten in Deutschland hergestellt werden. Die jeweiligen Produkte könnten an jedem beliebigen Ort hergestellt und montiert werden. Da Trans-

porte vor allem bei schweren Erzeugnissen bei Betrachtung der Umweltwirkungen relevant sind, können sie nicht vernachlässigt werden. Da aber weder Herstellungsort noch der Ort der Montage angegeben werden können, werden nach /10/ für alle Transporte gewichtete mittlere Transportentfernungen für Deutschland von rund 300 km angenommen.

2.2.7.6 Betrachtete Zeiträume

In vielen Fällen bestimmt nicht die technisch mögliche Nutzungsdauer von Bauprodukten, sondern Zeitgeist und Verwendungszweck eines Gebäudes über deren Verwendungsdauer. So können Fenster beispielsweise aus technischer Sicht abhängig von der Art des Materials Lebensdauern größer als 50 Jahren erreichen. In der Praxis werden diese aber in den meisten Fällen aus vielfältigen Gründen früher ausgetauscht; sei es, dass sie technisch veraltet sind oder aus kosmetischen Gründen ausgetauscht werden. Gerade im konstruktiven Bereich (Wände, Stützen und Decken) kommt hinzu, dass Bauteile aus den unterschiedlichen Materialien ihren Zweck für die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes nicht nur erfüllen können, sondern sogar müssen. Daher wird für die jeweils zu vergleichenden Produkte mit dem Wissen um deren theoretische und technische größere Standzeit innerhalb eines Segments die gleiche Lebens- bzw. Nutzungsdauer angenommen. Dieses Vorgehen ist auch insofern probat, als die Flexibilität eines Gebäudes für den Umbau bzw. Nutzungsänderungen sogar als eigenes Nachhaltigkeitskriterium diskutiert werden kann. Ein weiterer Grund für dieses Vorgehen, sind die sich beim Vergleich der verschiedenen Quellen ergebenden großen Spannbreiten für die Verwendungsdauer der jeweiligen Produkte; sie sind in den meisten Fällen für ein und das gleiche Produkt (z.B. Holzträger) größer, als die von einer Quelle angegebenen unterschiedlichen Nutzungsdauern für Produkte aus den unterschiedlichen Materialien (z.B. Holz- und Stahlträger) /5/, /57/.

Nachfolgend sind in Tabelle 2-2 die für die im Projekt betrachteten Produkte gewählten Betrachtungszeiträume aufgeführt.

Tabelle 2-2: Betrachtungszeiträume der gewählten Produkte

Innenwände	50 Jahre
Außenwände	100 Jahre
Hallenträger	Gebäudelebensdauer
Fenster	25 Jahre
Fußböden	25 Jahre

2.2.8 Datenqualität und –validierung

Die Daten, die von Industriepartnern, Verbänden und Projektpartnern gesammelt wurden, wurden von den Projektpartnern LBP, PE International und der Universität Hamburg validiert. Die gesammelten Daten wurden unter Verwendung von existierenden Daten aus veröffentlichten Quellen /53/, /79/, usw. ,oder unter Verwendung von Life-Cycle Ingenieurs-Knowhow von Experten von LBP, PE International und der Universität Hamburg validiert.

2.2.9 Kritische Prüfung (Critical Review)

Teile des ÖkoPot-Projekts enthalten vergleichende Aussagen bezüglich des potentiellen Beitrags der im Vorhaben betrachteten Produkte zu verschiedenen Umweltwirkungskategorien. Um die Anforderungen der DIN ISO 14040 /41/ und DIN ISO 14044 /42/ an vergleichende Ökobilanzen zu erfüllen, ist eine kritische Prüfung durch unabhängige, externe Experten oder eine Expertengruppe notwendig, wenn beabsichtigt wird, die Studie zu veröffentlichen.

Das Ingenieurbüro Trinius wurde im Juni 2008 beauftragt, die kritische Prüfung in Zusammenarbeit mit Mitprüfern nach DIN ISO 14040/44, durchzuführen. Die Prüfungskommission besteht aus folgenden Experten:

- Dr. Wolfram Trinius, Ingenieurbüro Dr.-Ing. Wolfram Trinius, Dorotheenstr. 21, 22301 Hamburg, Deutschland - Koordination und Fachkompetenz für Bauwesen, Nachhaltiges Bauen
- Dr. Frank Werner, Fa. Umwelt & Entwicklung, Idaplatz 3, 8003 Zürich, Schweiz; Fachkompetenz für Ökobilanzen im Bauwesen (v.a. Holz und Holzwerkstoffe)
- Dr. Eva Schmincke, Five Winds Deutschland, Loretto-Platz 30, 72072 Tübingen, Deutschland - Fachkompetenz Ökobilanzen im Bauwesen

Die zusammengefassten Ergebnisse der kritischen Prüfung sind:

„Die vorliegende Studie sowie der Bericht erfüllen die Anforderungen der ISO 14040. Das Ziel und der Geltungsbereich der Studie sind durch den Zusammenhang im Kontext der "Ökopotenzialanalyse" begründet. Die Datengrundlage entstammt der GaBi 4 Datenbank, zur Charakterisierung und zur Abschätzung der Umweltwirkungen wurden Indikatoren der etablierten CML 2001 Methodik angewendet. Die Kernanforderungen an die angewendete

Methodik und die angewendeten Daten sind damit erfüllt. Der Bericht erfüllt die Anforderungen an Nachvollziehbarkeit und Transparenz.

Der Leser sollte bei der Interpretation des Inhaltes bedenken,

- ► dass die Ökobilanzierung hier integrierter Bestandteil der "Ökopotenzialanalyse" ist, woraus sich besondere Voraussetzungen ergeben,
- ► dass die Funktionseinheiten sich aus der Marksituation ergeben,
- ► dass Lebensdauern der verglichenen Lösungen nicht einheitlich angesetzt sind,
- ► dass der Wirkungsbilanz eine in Bezug zur "Ökopotenzialanalyse" sinnvolle, aber nicht vollständige Auswahl von Wirkungskategorien zu Grunde liegt.

Die Studie ist konform zu internationalen Normen durchgeführt und kann als wissenschaftlich und technisch korrekt angesehen werden.“

Der vollständige Bericht über die kritische Prüfung kann im Anhang E: Kritische Prüfung (Critical Review) nachgelesen werden.

3 Das ÖkoPot-Projekt: Partner und Vorgehen

Um die Fragestellungen, die in der Zielsetzung formuliert sind, beantworten zu können, wurde ein interdisziplinäres Projektkonsortium gebildet.

3.1 Partner und Vorgehen

Die Ganzheitlichkeit des Ansatzes und die Breite der Themengebiete macht somit die Teilnahme der folgenden Partner notwendig (siehe nachfolgende Abbildung 3-1):

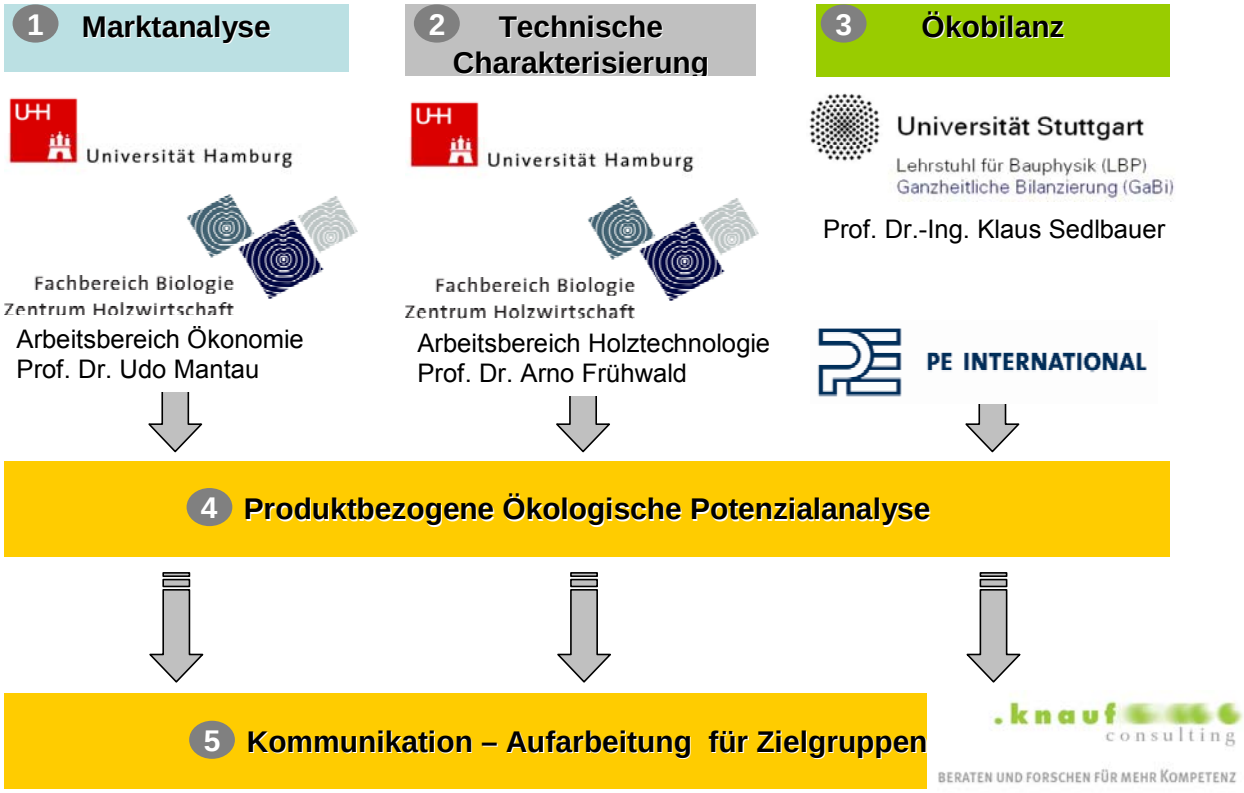


Abbildung 3-1: Projektpartner und Zuordnung zu Arbeitsgebieten

Bereich Marktanalyse (1): **Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft (Lehrstuhl: Prof. Dr. Udo Mantau)**

Bereich Technische Charakterisierung der Produkte (2): **Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Mechanische Holztechnologie (Lehrstuhl: Prof. Dr. Arno Frühwald)**

Bereich Ökobilanz (3) und Ökologische Potenziale (4): **Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (Lehrstuhl: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer) sowie PE International GmbH**

Bereich Kommunikation (5): **Knauf Consulting GbR, Bielefeld**

Verbundkoordination : **Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung**

Zu Anfang des Projektes erfolgte die wissenschaftliche Entwicklung und Festlegung der Methode. Im Rahmen eines gemeinsamen Eröffnungsarbeitstreffens wurde dazu ein Konzept erstellt, welches unter Federführung der Projektleitung schriftlich formuliert und dem Projektverlauf entsprechend angepasst und erweitert wurde. Anhand der ersten Methodenbeschreibung wurden Arbeitspakete definiert und über den gesamten Projektzeitraum wissenschaftlich bearbeitet. Der Stand der einzelnen Arbeitspakete und der Fortgang des Projektes wurden in regelmäßigen Telefonkonferenzen und Projektreffen aller Partner diskutiert.

Die entwickelte Methode wurde an einem geeigneten Beispiel angewendet und einer Evaluierung unterzogen, um evtl. Schwächen und Probleme der Methode frühzeitig identifizieren zu können.

Der anwendungsorientierte Projektansatz ist durch eine integrierte Beteiligung von Wissenschaft und Wirtschaft zu erreichen. Zum Ergebnistransfer der Forschungsarbeiten in die Praxis und vor allem zur Evaluierung der Methode und zur Integration der Bedürfnisse der beabsichtigten Zielgruppen wurde am 2. November 2006 in Würzburg ein Arbeitsworkshop mit verschiedenen Teilnehmern aus Industrie / Wirtschaft und Verbänden durchgeführt.

Die Ergebnisse dieses Workshops wurden in den weiteren Fortgang des Projekts sowie die Anpassung der Methode integriert. Schließlich erfolgte die weitere Bearbeitung der restlichen, im Rahmen des Projektes identifizierten Produkte anhand der in diesem Projekt entwickelten Methode der ökologischen Potenzialanalyse.

Im Rahmen eines Abschlussworkshops, der gemeinsam mit zwei weiteren Forschungsverbünden des Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“ am 10. Oktober 2007 in Hamburg stattfand, wurden die Forschungsergebnisse der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Dort wurden auch die für die Kommunikation zu den relevanten Anwendern und Zielgruppen aufbereiteten Ergebnisse vorgestellt. Neben der Aufarbeitung der Projektergebnisse in Kommunikationsmittel wurden aus den Ergebnissen des Projektes Handlungsempfehlungen für verschiedene Stakeholdergruppen herausgearbeitet. Die Handlungsempfehlungen sollen die heutigen Stärken relevanter Holzprodukte objektiv quantifizieren und glaubwürdig kommunizieren. Dabei sind die Empfehlungen so formuliert, dass sie konkrete, quantifizierte und nachvollziehbare Handlungsempfehlungen enthalten, wie zukünftig weitere ökologische Potenziale durch aussichtsreiche Holzprodukte erschlossen werden können.

3.2 Branchenspezifische Marketing-Blätter

Für die fünf ausgewählten Produktgruppen wurden Marketing-Blätter entwickelt, die für die beteiligten Akteuren als Argumentations- und Vermarktungshilfen dienen sollen. Die Marketingblätter wurden zielgruppenspezifisch formuliert und aufgearbeitet. Bei der Erstellung der Marketingblätter wurden die externen Partner aus Industrie und Handel einbezogen.

3.3 Handlungsempfehlungen

Neben der Aufarbeitung der Projektergebnisse in Kommunikationsmittel (siehe oben: Marketingblätter) wurden aus den Ergebnissen des Projektes Handlungsempfehlungen für verschiedene Stakeholdergruppen herausgearbeitet. Die Handlungsempfehlungen dienen dazu, die heutigen Stärken relevanter Holzprodukte objektiv zu quantifizieren und glaubwürdig zu kommunizieren. Dabei wurden die Handreichungen so formuliert, dass sie konkrete, quantifizierte und nachvollziehbare Handlungsempfehlungen enthalten, wie zukünftig weitere ökologische Potenziale durch aussichtsreiche Holzprodukte erschlossen werden können. Die Handlungsempfehlungen wurden für die verschiedenen Stakeholdergruppen individuell formuliert. Wichtige Adressaten der Handlungsempfehlungen sind die Akteure (Politik und externe Stakeholder), die an der Charta für Holz gearbeitet haben. Die Handlungsempfehlungen sollen der Politik eine Grundlage für zukünftige förderungspolitische Entscheidungen liefern.

3.4 Aus- und Weiterbildung und Multiplikation

Beide Hochschulen tragen im Bereich Lehre ebenfalls zum Wissenstransfer bei. Die Hochschulabsolventen fungieren somit als Multiplikator. Insbesondere werden die hier entwickelten Methoden in bereits bestehende und zukünftige Beziehungen des Lehrstuhls für Bauphysik an der Universität Stuttgart und der Universität Hamburg zur produzierenden Wirtschaft und zu politischen Entscheidungsträgern einfließen. Die ökologischen Vorteile von Holz zu kommunizieren und somit zielgerichtete Veränderungen anzustoßen liegt im integralen Interesse des Zentrums Holzwirtschaft an der Universität Hamburg.

Die zwei involvierten Beratungsfirmen (PE International und Knauf Consulting) stellen ebenfalls Multiplikatoren dar, die die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse weiter in die Praxis tragen können.

3.5 Veröffentlichungen

Die Methodische Vorgehensweise im Projekt sowie ein Teil der Ergebnisse wurden bereits während der Projektlaufzeit in unterschiedlichen nationalen und internationalen Gremien vorgestellt und diskutiert und die Diskussionsergebnisse in die weitere Projektarbeit integriert.

3.5.1 ÖkoPot-Arbeitsworkshop Würzburg November 2006

Der anwendungsorientierte Projektansatz ist durch eine integrierte Beteiligung von Wissenschaft und Wirtschaft zu erreichen. Zum Ergebnistransfer der Forschungsarbeiten in die Praxis und vor allem zur Evaluierung der Methode und zur Integration der Bedürfnisse der beabsichtigten Zielgruppen wurde am 2. November 2006 in Würzburg ein Arbeitsworkshop mit verschiedenen Teilnehmern aus Industrie / Wirtschaft und Verbänden durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Workshops wurden in den weiteren Fortgang des Projekts sowie die Anpassung der Methode integriert.

3.5.2 ÖkoPot-Abschlussworkshop Hamburg Oktober 2007

Zum Ergebnistransfer der Forschungsarbeiten in die Praxis wurde am 10. Oktober 2007 gemeinsam mit den Verbünden „Starkholz“ und „Schälfurnier“ ein Abschlussworkshop bzw. eine Abschlussveranstaltung in Hamburg durchgeführt. Im Rahmen dieser Veranstaltung wurden die Forschungsergebnisse der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Die Projektergebnisse wurden allen Teilnehmern der Abschlussveranstaltung vorgestellt und anschließend in verbundspezifischen Foren vertieft diskutiert. Durch diese Veranstaltung wurden viele externe Stakeholder aus Industrie und Wissenschaft angesprochen.

3.5.3 Statuskolloquium II „Forst-Holz-Kette“ des BMBF Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“

Vorstellung der Projektergebnisse und Beitrag zu den Förderschwerpunkten des BMBF beim Statuskolloquium II "Forst-Holz-Kette" am 19. und 20 November in Freiburg des BMBF Förderschwerpunkts „Nachhaltige Waldwirtschaft“

3.5.4 Newsletter Nachhaltige Waldwirtschaft

Im Newsletter Nachhaltige Waldwirtschaft /88/ wurde das Projekt ÖkoPot einer interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Darin sind Inhalt und Vorgehensweise des Projekts beschrieben und es wird für weitere Informationen auf die Projekthomepage verwiesen.

3.5.5 Konferenzen

Die Methodik, die im Rahmen des ÖkoPot-Projekts entwickelt und angewandt wurde, ist mehreren wissenschaftlichen Konferenzen einem interessierten Fachpublikum vorgestellt und diskutiert worden. Anregungen aus den Diskussionen sind in die weitere Arbeit des Projektverbundes eingeflossen.

3.5.5.1 2nd International Conference on Eco-Efficiency Modelling and Evaluation for Sustainability 2006

2nd International Conference on Quantified Eco-efficiency Analysis for Sustainability, Egmond aan Zee, Niederlande, 28.-30. Juni 2006. Vortrag: "Product-related ecological potential analysis" - Linking Life Cycle Assessment and Market Analysis." Vortragender: Stefan Albrecht, Universität Stuttgart.

3.5.5.2 5. Internationales Branchenseminar für Frauen – Holz- und Bauwirtschaft (IBF07)

5. Internationales Branchenseminar für Frauen – Holz- und Bauwirtschaft (IBF07), Juni 2007 in Meran, Italien. Vortrag: "Ökobilanz in der Anwendung: Ökologische Potentiale von Holzprodukten", Vortragende: Silke Nemuth, PE INTERNATIONAL GmbH, Leinfelden Echterdingen. Tagungsband zum Seminar wurde herausgegeben von BFH 2007, CH-2504 Biel/Bienne

3.5.5.3 SETAC-Europe 18th Annual Meeting 2008

SETAC Europe 18th Annual Meeting, 25.-29. Mai 2008, Warschau, Polen. Poster: „ÖkoPot - Identification of ecological market potentials of wooden products" Stefan Albrecht, Universität Stuttgart.

3.5.5.4 BauSIM 2008 "Nachhaltiges Bauen" - Zweite deutsch-österreichische IBPSA Konferenz, 08. - 10. September 2008, Universität Kassel

Vortrag: ÖkoPot – Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern; 09. September 2008; Vortragender: Stefan Albrecht, LBP Universität Stuttgart.

4 Die Methode der ökologischen Potenzialanalyse

In den folgenden Kapiteln wird die ökologische Potenzialanalyse näher beschrieben. Anhand dieser können die Wertschöpfungspotenziale der Forst- und Holzkette aus ökologischer Sicht fassbar und einschätzbar gemacht werden.

4.1 Motivation und Nutzen

Seit Beginn der politischen Diskussionen über das Leitbild "Nachhaltige Entwicklung" stehen Holzprodukte im Fokus. Viele Vorteile dieser Produktgruppe, die argumentativ auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zurückgeführt werden können, scheinen auf der Hand zu liegen. Eine Einordnung, in welchen Bereichen die größten und ökologisch interessantesten Marktpotenziale liegen, ist jedoch nicht existent. Aus Sicht der Holzprodukte wurde bislang eine konsistente ökologische Beurteilung der Konkurrenzmaterialien – unter vergleichbaren Randbedingungen – weder in angemessenem noch umfassendem Rahmen durchgeführt.

Dieses Forschungsvorhaben hat zum Ziel, mit Hilfe der produktbezogenen ökologischen Potenzialanalyse der Forst- und Holzkette aufzuzeigen, bei welchen Holzprodukten die größten ökologischen Marktpotenziale bestehen und wie man sie gezielt nutzen und ausweiten kann.

In einem interdisziplinären Forschungsansatz werden im ÖkoPot-Projekt dafür zunächst durch eine Marktanalyse der Holzprodukte und deren Stoffströme in verschiedenen Verarbeitungsstufen die relevanten Mengen quantifiziert.

Das ist wichtig um die Potenziale später bezüglich deren Marktrelevanz einschätzen zu können. Es soll so verhindert werden, dass die Potenziale eher unbedeutender Nischenprodukte fälschlicherweise auf einen großen Holzmarkt projiziert werden.

Auf Basis der technischen Eigenschaften werden die wichtigsten Konkurrenzprodukte identifiziert und deren Bedeutung im Markt bewertet.

Das ist wichtig um die Potenziale von Holzprodukten gegenüber deren Konkurrenzprodukten konsistent und unter gleichen technischen Rahmenbedingungen einschätzen zu können. Es soll so der berühmte Vergleich zwischen „Äpfel und Birnen“ verhindert werden.

So kann gewährleistet werden, dass die Holzprodukte mit marktrelevanten Potenzialen konsistenten Konkurrenzprodukten zugeordnet werden.

Darauf werden die jeweiligen ökologischen Profile der Produkte bestimmt und einander gegenübergestellt. Die Kombination der Angaben aus der Marktanalyse, der Identifikation der Konkurrenzprodukte auf technischer Ebene und der Umweltwirkungen ist die innerhalb des Projektes entwickelte Methode der „Produktbezogenen Ökologischen Potenzialanalyse“.

Wichtig hierbei ist zu erwähnen, dass die Methode vorwiegend aus der folgerichtigen Koppelung etablierter und teilweise international genormter Methoden (DIN ISO 14040 und 14044) hervorgeht. Somit ist die Anwendbarkeit und Aussagekraft gesichert. Es können durch die Kopplung der bewährten Methoden nun quantitative Aussagen getroffen werden, die vorher mit Hilfe der Einzelmethoden nur vage oder qualitativ eingeschätzt werden konnten.

Die Methode adressiert repräsentative Produkte, ist somit realitätsnah und liefert relevante Aussagen für Hersteller, Händler, Kunden und Politik.

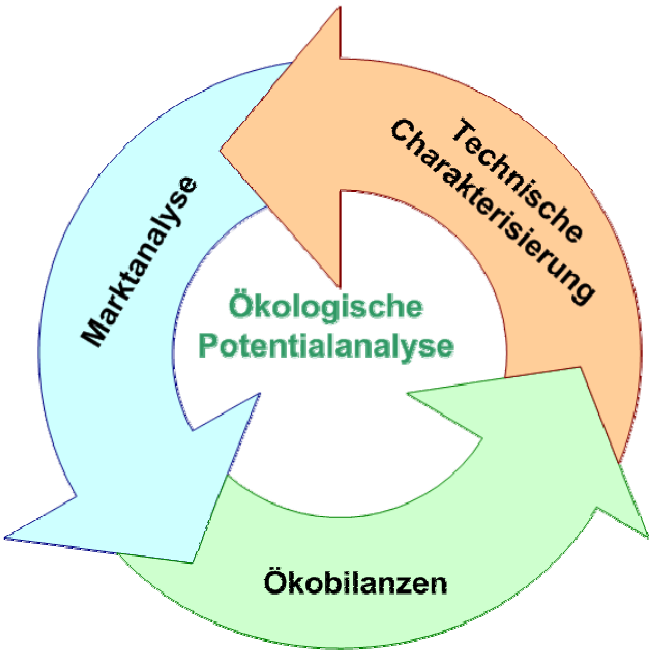


Abbildung 4-1: Basis der Ökologischen Potenzialanalyse: Analyse des Holzmarktes und der wesentlichen Konkurrenten, technische Produkt-Charakterisierung und Ökobilanzen der Produkte

Die Ergebnisse der Analyse werden genutzt, um die Forst- und Holzwirtschaft bei der Verbesserung und der Vermarktung von Holzprodukten zu unterstützen, Kunden beim Kauf von Holzprodukten eine Orientierung zu bieten und Handlungsempfehlungen für die Politik auszuweisen, die eine zielgenaue Förderung mit der Erschießung der sinnvollen oder besonders effektiven Marktpotenziale des Werkstoffs Holz ermöglicht.

4.2 Anforderungen und Basiswissen

Die ökologische Potenzialanalyse stellt - wie oben bereits erwähnt - eine neue Methode zum Ausweisen von ökologischen Eigenschaften von Produkten im Marktgeschehen dar. Eine klar definierte Vorgehensweise stellt darin sicher, dass die mit der Methode berechneten Kennwerte belastbar sind und von verschiedenen Zielgruppen genutzt werden können.

Im Mittelpunkt des vorliegenden Forschungsansatzes steht das Holzprodukt.

Vergleiche und Gegenüberstellungen zu Konkurrenzprodukten müssen jedoch stets auf einem vergleichbaren, konsistenten (und damit fairen) Niveau stattfinden. Damit wird auch erreicht, dass keine „Scheinpotenziale“ der Holzprodukte identifiziert werden, die in der Praxis keine Relevanz haben.

Die Methode der Produktbezogenen Ökologischen Potenzialanalyse wird im ÖkoPot-Projekt am Beispiel des Holzmarktes angewandt und die erzielten Ergebnisse dessen Akteuren bereitgestellt.

PRODUKTSICHT:
Klar ist: Erst wenn ökologisch als vorteilhaft erkannte Produkte im Markt eingesetzt werden, bzw. der Bedarf an diesen gesteigert werden kann, lassen sich die ökologischen, aber auch ökonomischen und sozialen Potenziale einer Wertschöpfungskette voll ausschöpfen. Holzprodukte liefern hierzu gute Voraussetzungen, wenn sie richtig eingesetzt werden.

LEBENSZYKLUSPERSPEKTIVE:
Es herrscht in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft mittlerweile seit Jahren Konsens darüber, dass aus Sicht der Umwelt erst eine Untersuchung der Emissionen und Ressourcenverbräuche in Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes sicherstellt, dass Lasten nicht von einer Lebenszyklusphase in die andere geschoben werden. Erst durch die Anwendung der Lebenszyklusperspektive wird deutlich, wo Verbesserungen der ökologischen Gesamtwirkung am effektivsten und kosteneffizientesten durchgeführt werden können.

MARKTSITUATION:
Um nun zielgerichtete Veränderungen in der Gesellschaft anzustoßen, ist nicht nur das Wissen um die Umweltwirkungen einzelner Produkte oder Produktgruppen notwendig. Vielmehr gehört hierzu das Wissen um die Relevanz von Produkten im Marktgeschehen. Denn erst die Einbeziehung der Marktsituation macht es möglich, die Bereiche und Produktgruppen zu identifizieren, in denen eine möglichst große Wirkung erzielt werden kann.

VERGLEICHBARKEIT:
Werden Produkte im täglichen Marktgeschehen gegeneinander gestellt und hinsichtlich ihrer

Umweltprofile ausgewertet, so ist die Vergleichbarkeit der Produkteigenschaften die Grundvoraussetzung dafür. Da die Marktsituation ökonomische Grenzen bereits indirekt einbezieht, fokussiert die vorgestellte Methode auf die technische Vergleichbarkeit der Holzprodukte mit den jeweiligen Konkurrenzprodukten.

GANZHEITLICHKEIT:
Die ganzheitliche Perspektive auf die mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten verbundenen Umweltwirkungen liefert produktspezifische Informationen, d. h. es lassen sich aus einer Analyse des Lebensweges eines Produktes die Umweltwirkungen pro Produkt ableiten. Der Vergleich mit anderen Produkten gleicher Funktion liefert somit Argumente für die jeweiligen ökologischen Vor- oder Nachteile. Die Kombination mit den jeweiligen Marktdaten und Marktszenarien liefert die ökologischen Potenziale der Holzprodukte.

Ziel eines nachhaltigen Wirtschaftens ist, die Umwelt als zusätzliches Entscheidungskriterium für den Kunden, der die Wahl zwischen Produkten besitzt, näher zu bringen, und damit großflächigere Veränderungen in eine sinnvolle und gewünschte Richtung anzutreiben. Folgende Aspekte müssen für einen wirkungsvollen Vergleich zwischen Varianten erfüllt sein:

- Eine möglichst große Breitenwirkung wird durch die Marktrelevanz der Produkte erzielt. Sie bestimmt den absoluten Beitrag des Fortschreitens in Richtung Nachhaltigkeit.
- Die zu vergleichenden Produkte müssen im Markt gegenseitig ersetzbar sein.
- Die ökologische Wirkung der zu vergleichenden Produkte muss quantifizierbar und unter heutigem Wissensstand wissenschaftlich belegbar oder ableitbar sein.
- Die Ergebnisse eines Vergleichs müssen für die Entscheidungsträger in verständlicher und nachvollziehbarer Form vorliegen.
- Erst damit ist die Basis geschaffen, das Kriterium „Umwelt“ in Entscheidungsprozesse zu integrieren.

Dabei muss sich jedoch jeder Entscheidungsträger darüber im Klaren sein, dass die Wirklichkeit nicht immer einfach und Alternativen nicht immer in trivialer Art und Weise eindeutig besser in allen Aspekten sein mögen. Die Methode macht die verfügbare ökologische (und aus Marktsicht auch ökonomische) Information quantitativ und konsistent einschätzbar. Es ist aber nicht auszuschließen, dass eine gewisse Abwägungsverantwortung – speziell zwischen dem ökologischen und ökonomischen Wert der Potenziale – beim Entscheidungsträger verbleibt.

Für einen politischen (und damit unvoreingenommenen und neutralen) Entscheidungsträger, der aus volkswirtschaftlicher Sicht Umweltinformationen über Produkte fordert, ist zusätzlich zu den oben genannten Punkten interessant, welche ökologische Wirkung:

a) die Verlagerung von Marktanteilen innerhalb eines Segments und

b) die Ausweitung oder Verringerung des Marktvolumens von Produkten aus ökologischer Sicht hat.

Um die ökologischen Potenziale der Forst-Holz-Kette zu bestimmen und nutzbar zu machen, ist als Informationsgrundlage demnach das Wissen um marktrelevante Holz- und deren Konkurrenzprodukte notwendig, im speziellen:

- ► Marktanteile und –volumina der Holz- und Konkurrenzprodukte
- ► Technische Charakteristiken der Holz- und Konkurrenzprodukte
- ► Spezifische Umweltwirkungen (Ökoprofile) der Holz- und Konkurrenzprodukte.

4.3 Adressierte Fragestellungen

Ziel der Anwendung der Methode im Rahmen des ÖkoPot-Projekts ist es, dazu beizutragen, die ökologisch sinnvolle Holznutzung zu fördern und die Akteure der deutschen Holzbranche zu stärken, indem zielgruppengerechte Handlungsempfehlungen bereitgestellt werden.

Folgende generelle Fragen werden beantwortet und für den Holzmarkt relevante Antworten durch Anwendung der Methode geliefert:

WELCHE PRODUKTE AUF DEM MARKT SIND RELEVANT?

➔ Identifizierung der auf dem deutschen Markt relevanten Holzprodukte

WELCHES SIND DIE KONKURRENTEN?

➔ Identifizierung der wichtigsten Konkurrenzprodukte zu diesen Holzprodukten

WIE SIEHT DIE MARKTSITUATION AUS?

➔ Ermittlung der Marktsituation der relevanten Holzprodukte und ihrer Konkurrenten

WELCHE UMWELTWIRKUNGEN HABEN DIE PRODUKTE?

➔ Ermittlung der spezifischen Umweltwirkungen der Holz- und Konkurrenzprodukte mit Hilfe von Ökobilanzen

WELCHE ÖKOLOGISCHEN POTENZIALE BIETEN DIE PRODUKTE?

➔ Darstellung der ökologischen Potenziale der Holzprodukte durch Substitution und / oder Ausweitung des Marktvolumens

ENTSCHEIDEN FÜR DIE UMWELT

➔ Handreichungen zur Entscheidungsunterstützung für Händler und Kunden

UMWELTFREUNDLICHER PRODUZIEREN

➔ Handlungsempfehlungen für Hersteller von ausgewählten Holzprodukten zur möglichen Verbesserung ihrer Produkte

SINNVOLLE PRODUKTE FÖRDERN

➔ Identifikation von Holzprodukten für eine gezielte und ökologisch sinnvolle Förderung der Anwendung des Rohstoffs Holz

4.4 Die ÖkoPot-Methode: Generelles Vorgehen

Die ÖkoPot-Methode ermittelt die ökologischen Potenziale der Nutzung eines bestimmten Rohstoffs in marktrelevanten Produkten. Vier generelle Module liefern im iterativen Zusammenspiel die Informationen, die für die Anwendung der Methode notwendig sind.

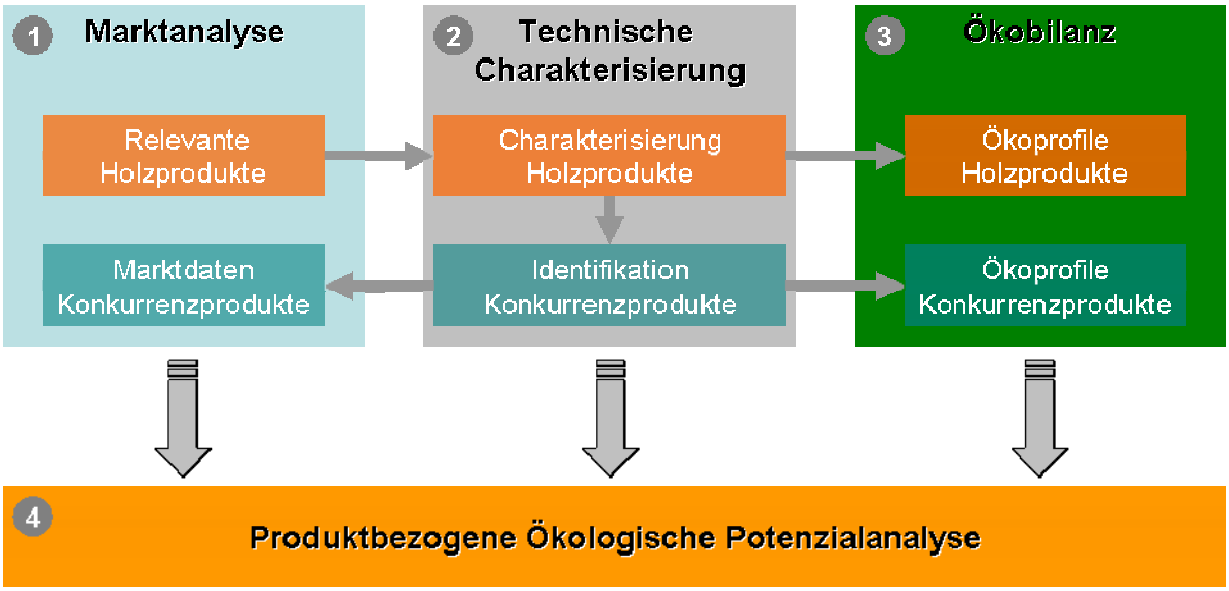


Abbildung 4-2: Ansatz der Ökologischen Potenzialanalyse - Zusammenspiel der Methoden Marktanalyse, Technische Charakterisierung und Ökobilanz

Wichtig hierbei ist zu erwähnen, dass die Methode vorwiegend aus der folgerichtigen Kopplung etablierter und teilweise international genormter Methoden (DIN ISO 14040 und 14044) hervorgeht. Somit ist die Anwendbarkeit und Aussagekraft gesichert. Es können durch die Kopplung der bewährten Methoden nun quantitative Aussagen getroffen werden, die vorher mit Hilfe der Einzelmethoden nur vage oder qualitativ eingeschätzt werden konnten.

Die Methode adressiert repräsentative Produkte, ist somit realitätsnah und liefert relevante Aussagen für Hersteller, Händler, Kunden und Politik.

4.4.1 Modul: Marktanalyse

Erster Schritt der ÖkoPot-Methode ist die Analyse des betreffenden Rohstoffmarktes und die Nutzung des Rohstoffes in Endprodukten. Für einen definierten geographischen Bereich werden damit die relevanten Produkte, in die der Rohstoff fließt, identifiziert. Relevante Produkte zeichnen sich durch zwei grundsätzliche Eigenschaften aus:

- einen großen bestehenden Anteil des Produktes im Marktsegment
- eine starke zu erwartende Steigerung der Anteile im Marktsegment

In diesem Schritt werden für das Marktsegment auch die Konkurrenzprodukte erfasst.

4.4.2 Modul: Technische Charakterisierung

Im zweiten Schritt werden für die Produkte des entsprechenden Rohstoffs die bestimmenden technischen Eigenschaften identifiziert. Auf dieser Basis werden im Folgenden die Konkurrenzprodukte bestimmt, die diesen technischen Eigenschaften entsprechen. Die technische Charakterisierung der zu untersuchenden Produkte sichert ab, dass die Vergleichbarkeit mit den Konkurrenzprodukten gegeben ist. Zu der Beschreibung der technischen Eigenschaften der Produkte gehören die ausführlichen Beschreibungen der Produkt-Lebenswege:

- ► Herstellungsphase, inklusive Materialliste
- ► Nutzungsphase, inklusive zu erwartender Nutzungsdauern
- ► Entsorgungsphase, inklusive der üblichen Abfallbehandlungsoptionen

4.4.3 Modul: Ökobilanz

Der dritte Schritt der ÖkoPot-Methode sieht vor, die ökologischen Eigenschaften mit Hilfe der Methode der Ökobilanz zu beschreiben. Es werden für alle Produkte die Ökoprofile auf Basis von Umweltindikatoren erstellt, die folgende Umweltprobleme beschreiben:

- ► Verbrauch fossiler und regenerativer Energieträger
- ► Klimawandel (Treibhauseffekt, globale Erwärmung)
- ► Versauerung (saurer Regen, Waldsterben, versauerte Böden)
- ► Sommersmog (bodennahe Ozonbildung, Photosmog)
- ► Ozonschichtzerstörung (antarktisches Ozonloch, erhöhte UV Einstrahlung)
- ► Überdüngung (überhöhter Nährstoffeintrag, Gewässer- und Bodenbelastung)

Im Schritt der ökologischen Analyse der Produkte werden alle Lebenswegphasen betrachtet, um die mögliche Verlagerung von Problemen von einer Lebenswegphase in eine andere zu verdeutlichen oder zu vermeiden.

4.4.4 Modul: Produktbezogene ökologische Potenzialanalyse

Der vierte Schritt der Methode sieht die Kombination und Variation der gesammelten Informationen vor. Die Marktdaten der betrachteten Produkte und ihrer Konkurrenten aus Schritt 1 werden mit den ökologischen Kennzahlen verknüpft. Auf Basis von Einschätzungen bezüglich zukünftiger Marktentwicklungen oder technischer Möglichkeiten werden die folgenden Veränderungen quantitativ ermittelt:

- ► Veränderung der jeweiligen Marktsituation im Segment (Variation der Marktdaten)
- ► Veränderung der ökologischen Eigenschaften der betrachteten Produkte (Variation der Ökoprofile)

Die Multiplikation der Marktdaten mit den ökologischen Kennzahlen und die Zusammenführung dieser Werte für die betrachteten Produkte und ihre Konkurrenten liefert eine Übersicht über den Beitrag der einzelnen Produkte zu den Umweltlasten der Produkte im Marktsegment. Die Analyse der Effekte durch eine Variation der Marktdaten liefert den Akteuren Hinweise darauf, welche Potenziale bestehen, Umweltlasten durch Substitution oder Expansion zu verändern. Die Möglichkeiten der Verringerung der Umweltlasten durch Veränderungen technischer Eigenschaften können durch die ÖkoPot-Methode ebenfalls bestimmt werden. Dazu wäre die Neuberechnung der ökologischen Kennwerte für die variierten Produkteigenschaften notwendig. Detailanalysen sind sinnvoll für:

- ► herstellerspezifische Eigenschaften der Produktion
- ► herstellerunspezifische Produktvarianten
- ► Varianten der Umfeld- / Rahmenbedingungen (Bsp. Energieversorgung über das öffentliche Netz oder spezifische Energieerzeugung)

Die letzten beiden Punkte dieser Aufzählung können jedoch im Rahmen dieses Projekts nicht weiter verfolgt werden.

4.5 Anwendung der ÖkoPot-Methode für Holzprodukte

Am Beispiel wird die ÖkoPot-Methode greifbarer, verständlicher und nachvollziehbarer. Im Folgenden werden die vier Module der Methode für den Rohstoff Holz am konkreten Beispiel

der Holzständerinnenwand genauer erläutert, wobei zunächst hergeleitet wird, warum die Holzständerinnenwand ein geeignetes Beispiel ist.

Modul 1: Marktanalyse

Aus einer Analyse des Holzmarkts werden die bedeutendsten Holzprodukte identifiziert und hinsichtlich ihres Verbrauchs und Volumens in den Sektoren quantitativ abgebildet:

- Schnittholz
- Konstruktionsvollholz (KVH)
- Brettschichtholz
- Balkenschichtholz
- stabförmige Holzwerkstoffe
- Spanplatten
- Oriented Structural Board (OSB Platte)
- Faserplatten
- Sperrholz
- Furnier

Diese Holzprodukte werden folgend aus der Perspektive der Marktsektoren in die Segmente Bau, Möbel, Verpackungen und Sonstige eingeordnet:

- Konstruktion: Tragwerk
- Konstruktion: Aussteifung, Beplankung, Bekleidung
- Innenausbau: Holztreppen
- Innenausbau: Fenster
- Innenausbau: Türen
- Innenausbau: Wand- und Deckenbekleidungen
- Innenausbau: Fußboden

- Außenanwendung: Holz im Garten
- Möbelindustrie
- Verpackungen

Aus dieser Liste werden die relevanten Endprodukte identifiziert. Ein Produkt gilt als relevant, wenn es einen hohen Marktanteil und / oder eine hohe Wachstumsrate aufweist. Die Produkte werden mit Informationen hinterlegt, die darstellen:

(1) wie hoch der aktuelle Verbrauch ist,

(2) wie hoch die Marktanteile sind,

(3) welches die Konkurrenzprodukte sind,

(4) wie die zukünftige Entwicklung der Marktanteile einzuschätzen ist,

(5) wie hoch Verbrauch und Marktanteil der Konkurrenzprodukte sind.

Um den Aufwand für die Datensammlung zu verringern, wird in allen Schritten ein iteratives Vorgehen angewendet. Dies ermöglicht, die Auswahl der genauer zu betrachtenden Produkte zu vereinfachen. Aus dem aktuellen Verbrauch (1) werden in einem ersten Schritt die relevanten Holzprodukte identifiziert. Die Analyse der Marktanteile im Segment (2) und die qualitativen Aussagen über die Haupt-Konkurrenzprodukte (3) lassen Rückschlüsse über die Möglichkeit zur Verschiebung oder Ausdehnung zu. Dies ermöglicht in einer frühen Phase der Methodenanwendung, Holzprodukte ohne Veränderungsmöglichkeit (z. B. Holzprodukte, die den Markt beherrschen) aus der folgenden ökologischen Potenzialanalyse auszuschließen. Aus einer ersten groben Einschätzung der zukünftigen Entwicklungen der Marktanteile (4) können also „Trendprodukte“ mit hohem Wachstumspotenzial identifiziert werden. Daten über Verbrauch und Marktanteile der Konkurrenzprodukte (5) müssen nur für die Produkte gesammelt werden, die faktisch in Konkurrenz zu den relevanten und veränderbaren Holzprodukten stehen.

Die aus Sicht des Holzmarkts relevanten Produkte sind:

- Holzständerinnenwand
- Holzaußenwand
- Holzdachkonstruktion
- Holzfußböden

- Holzfenster
- Holzmöbel
- Holzpalette

Somit stellt die Holzständerinnenwand als relevantes Produkt ein geeignetes Beispiel dar. Für die Holzständerinnenwand liefert die Marktanalyse folgende Informationsbasis:

- Verbrauch im Neubau von Holzständerinnenwänden in Wohn- und Nichtwohngebäuden: 1063 * 10³ lfd. m (Maßnahmen im Bestand: 117 * 10³ lfd. m)
- Anteil von Holzständerinnenwänden im Marktbereich Neubau von Innenwänden: 7 % (Bestand: 7,6%)
- Konkurrenzprodukte: Massivbauinnenwand und Stahlblechprofilständerinnenwand
- zukünftig abnehmender Anteil der Holzständerwand im Markt
- Verbrauch und Anteil der Konkurrenzprodukte (siehe Tabellen 3-1 und 3-2)

Tabelle 4-1: Verbrauch und Anteile im Marktsegment Innenwand (neue Gebäude)

	Innenwand	Massivbauweise		Leichtbauweise					
	in 1000 lfd m	in 1000 lfd m		Gesamt in 1000 lfd m		Holz in 1000 lfd m		Stahlblechprofil in 1000 lfd m	
WGB	11.836	9.371	79,2%	2.465	20,8%	616	5,2%	1.848	15,6%
NWB	3.458	1.669	48,3%	1.789	51,7%	447	12,9%	1.342	38,8%
SUM	15.294	11.040	72,2%	4.254	27,8%	1.063	7,0%	3.190	20,9%

Tabelle 4-2: Verbrauch und Anteile im Marktsegment Innenwand (Maßnahmen am Bestand)

	Innenwand	Massivbauweise		Leichtbauweise					
	in 1000 lfd m	in 1000 lfd m		Gesamt in 1000 lfd m		Holz in 1000 lfd m		Stahlblechprofil in 1000 lfd m	
WGB	1.067	858	80,4%	209	19,6%	52	4,9%	157	14,7%
NWB	475	216	45,4%	259	54,6%	65	13,6%	194	40,9%
SUM	1.542	11.074	69,6%	468	30,4%	117	7,6%	351	22,8%

Modul 2: Technische Charakterisierung

Der Schritt der technischen Charakterisierung dient zum einen dazu, die „richtigen“ Konkurrenten der Holzprodukte auf Basis technischer Eigenschaften zu identifizieren. Dafür werden

die charakteristischen technischen Eigenschaften ermittelt, mit den Ergebnissen der Marktanalyse abgeglichen und die Kennwerte der Produkte qualitativ oder semi-quantitativ eingeordnet.

Die Innenwand in Holzständerbauweise für Wohngebäude wurde als System ausgewählt, da hier hauptsächlich Schnittholz in Standardabmessungen verwendet wird, welches einen sehr hohen Marktanteil besitzt. Typischerweise treten für eine Innenwand aus Holzständern hauptsächlich die Massivbauweise und Konstruktionen mit Eisenblechen als mögliche Alternativen in Erscheinung. Während die Metall- und die Holzständerwand ebenso wie die leichte Gasbetonwand im Neubau wie auch wegen ihres geringen Eigengewichtes häufig auch in der Modernisierung und im Umbau zur Anwendung kommen, wird die massive Kalksandsteinwand (KS Wand) aufgrund der hohen Eigenlast vorwiegend im Neubau verwendet.

Innenwände haben in erster Linie die Funktion der Raumtrennung zu erfüllen. Weiterhin sollte die Trennwand in der Lage sein, Geräusche zu dämmen und möglichst nicht in den Nachbarraum zu übertragen. Somit haben Trennwände neben der Raumtrennfunktion auch die Aufgabe der Schalldämmfunktion zu übernehmen. In Einfamilienhäusern verzichtet das Bauaufsichtsrecht jedoch darauf Anforderungen zum Mindestschallschutz festzulegen /11/. Daher spielt die Schalldämmung rechtlich eher eine untergeordnete Rolle; es gibt kein Regelwerk, welches Mindestschalldämmwerte enthält, die in Einfamilienhäusern nicht unterschritten werden dürfen. Im Beiblatt 2 zu DIN 4109 /29/ finden sich lediglich Richtwerte.

Des Weiteren wird in diesem Modul die genaue technische Darstellung der Lebenswege der Holz- und Konkurrenzprodukte geliefert, welches Grundlage für die im anschließenden Schritt 3 folgende Ökobilanz ist.

Für die technische Darstellung wird eine genaue Definition der funktionellen Einheit benötigt. Diese gilt für alle Produkte der Verwendungsart und ermöglicht den konsistenten Vergleich der Holz- und seiner Konkurrenzprodukte. Nach der [DIN ISO 14044:2006] /42/ gilt für die funktionelle Einheit folgende Definition: „Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz muss die Funktionen (Leistungsmerkmale) des untersuchten Systems eindeutig festlegen. Die funktionelle Einheit muss dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Studie entsprechen. Einer der Hauptzwecke einer funktionellen Einheit ist die Angabe einer Bezugsgröße, auf die die Input- und Outputdaten normiert werden (im mathematischen Sinn), "… „um die Systeme vergleichbar zu machen." Sie bildet die Grundlage des Vergleichs auf Basis einer Funktion.

Für die Holzständerinnenwand wurde folgende funktionelle Einheit definiert:

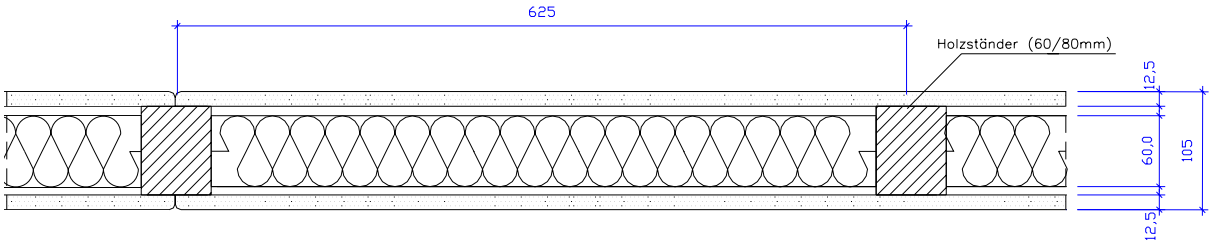
Wandfläche: A = 5,0 * 2,50 – 0,875 * 2,0 = 10,75 m²

Bewertetes Schalldämmaß R'w,R = 38 dB (aus SBT, Tafel 1052a) /98/

Daraus lassen sich die technischen Charakteristika, wie Maße und Aufbau, für die verschiedenen Wandtypen ableiten.

Vorderansicht:

Schnitt:



Berechnung des Materialbedarfs der Herstellung:

1. Holzständer (KVH 60*80mm):	10 * 2,38 m + 0,875 m + 0,38 m	= 25,055 m
2. Schwelle (KVH 60*80mm):	2 * 2,50 m	= 10,00 m
3. Rähm (KVH 60*80mm):	2 * 2,50 m	= 10,00 m
4. Gipskarton (2,50m*1,25m*12,5mm):	2 * 10,75 m²	= 21,50 m²
5. Dämmung (Mineralwolle 60mm):		= 10,75 m²

6. Nägel (4,6*130mm; 2 pro Anschluss):	2 * 23 Anschlüsse	= 46 St.
7. Schnellbauschrauben (TN 3,8*35mm):	29 St./m² * 21,50 m²	= 624 St.
8. Verspachtelung (Knauf-Uniflot):	0,5 kg/ m² * 21,50 m²	= 10,75 kg
9. Trenn-Fix 65, selbstklebend:	2 * 2,50 m + 2 * 5,00 m	= 15,00 m

Als Betrachtungszeitraum für die Innenwand wird eine Nutzungsphase von 50 Jahren definiert, auch wenn durchaus längere Lebensdauern möglich wären. Grundsätzlich gilt, dass für die jeweils zu vergleichenden Produkte die Aufwendungen, die im Betrachtungszeitraum entstehen, berechnet werden. Die betrachteten Nutzungszeiträume entsprechen real beobachteten Zeiträumen, in denen die entsprechenden Produktgruppen genutzt werden. Sie können jedoch theoretisch aus technischer Sicht einen längeren Zeitraum umfassen. Gründe für einen kürzeren Nutzungszeitraum als die technisch mögliche Nutzungsdauer sind, dass in der Praxis in den meisten Fällen ein früherer Austausch stattfindet. In vielen Fällen erfolgt z.B. im Rahmen einer Grundsanierung nach einer gewissen Zeit eine Umgestaltung von Innenräumen. Technische Verbesserungen und Anforderungen, Umnutzung oder kosmetische Gründe können hierfür verantwortlich sein.

Im Betrachtungszeitraum der Innenwand werden in der Nutzungsphase die Instandsetzungsmaßnahmen in die Lebenszyklusanalyse einbezogen. Dies beinhaltet den Austausch der Gipskartonplatte durchschnittlich nach 40 Jahren. Diese Setzung kann man natürlich in Frage stellen. Sicher ist jedoch, dass die Beplankung einer Leichtbauwand einem gewissen Verschleiß unterliegt, der dazu führt, dass die Beplankung irgendwann erneuert wird. Im Einzelfall kann dies viel früher als nach 40 Jahren, aber auch viel später erfolgen. Der Ersatz wird anteilig zur Anrechnung gebracht, da hier nicht die einzelne Wand sondern die mittlere Leichtbauwand in der Anwendung betrachtet wird.

Im Lebenszyklusmodell werden am Lebensende der Innenwand für die Bauteile, die einer thermischen Verwertung zugeführt werden, die Aufwendungen und Emissionen des spezifischen Verbrennungsprozesses berechnet. Für Bauelemente der Innenwand die inert sind, werden die Emissionen und Aufwendungen einer Deponierung ermittelt und für Metalle werden die Recyclingpotenziale[2] berechnet.

[2] Recyclingpotenziale: siehe Kapitel 4.3.6 „Entsorgung“

Modul 3: Ökobilanz

Aufbauend auf den Informationen aus der technischen Charakterisierung werden in diesem Schritt die produktspezifischen Ökoprofile der Holzständer-Innenwand, der Metallständerwand, der Gasbeton- und der Kalksandstein-Massivwand ermittelt.

Zu diesem Zweck werden Lebenszyklusmodelle der Produkte aufgebaut, die die umweltrelevanten Eigenschaften der Herstellung, Nutzung und der Produktverwertung auflisten. Mit Hilfe eines Lebenszyklusmodells können alle Emissionen in Luft, Wasser und Boden und alle Ressourcenentnahmen strukturiert aufbereitet und zusammengerechnet werden. Dieser Schritt wird mit Hilfe des professionellen und etablierten Ökobilanz-Softwaresystems GaBi 4 durchgeführt. Die Hintergrundinformationen zur Herstellung der verwendeten Materialien kommen aus der umfangreichen GaBi 4 Ökobilanz-Datenbank und sichern höchstmögliche Konsistenz der Lebenszyklusmodelle.

Die so gewonnenen Informationen (in der Norm ISO 14040 und 14044 „Sachbilanz der Lebenszyklusmodelle“ /42/ genannt) ermöglichen es, Umweltkennzahlen für ein betrachtetes Produkt zu berechnen, die den gesamten Lebensweg einbeziehen. Die Umweltkennzahlen repräsentieren aktuelle Umweltprobleme und sind mit wissenschaftlich belegbaren Informationen zur Berechnung der Umweltwirkungen hinterlegt und so genannten (ökologischen) Wirkungskategorien zugeordnet. Für das Projekt ÖkoPot wurden folgende Kennzahlen für die Umweltwirkungen der Produkte gewählt, basierend auf der wissenschaftlichen Methodensammlung. /62/:

Leitkennwerte der Umweltwirkungen:

1. Primärenergiebedarf fossiler Energieträger
   „Ressourcenverbrauch“, PE_{fossil} [MJ]
2. Primärenergiebedarf regenerativer Energieträger
   „Ressourcenverbrauch regenerativ“, PE_{reg} [MJ]
3. Treibhauspotenzial
   „Treibhauseffekt“, GWP [kg CO_2-Äquiv.]

Kennwerte der Umweltwirkungen weiterer Emissionen – „Weitere Wirkungskategorien“:

4. Ozonabbaupotenzial
   „Abbau der Ozonschicht“, ODP [kg R11-Äquiv.]
5. Versauerungspotenzial
   Beitrag zum „Sauren Regen“, AP [kg SO_2-Äquiv.]
6. Eutrophierungspotenzial

Verursachung von „Überdüngung“, EP [kg PO_4-Äquiv.]

7. Photooxidantienbildungspotenzial

   Beitrag zum „Sommersmog“, POCP [kg C_2H_4-Äquiv.]

Um die Auswertung und die Kommunikation der Umweltwirkungen zu vereinfachen, werden die ersten drei Kennwerte als Leitkennwerte eingesetzt. Die vier folgenden repräsentieren „weitere Emissionen“ und werden zur Überprüfung der Leitkennwerte eingesetzt, um die Verschiebung von Umweltlasten zu vermeiden (Bsp.: Es ist für eine richtige Interpretation der Potenziale wichtig zu wissen wenn ein Produkt in den ersten drei Kategorien bessere Werte aufweist als die Konkurrenten, in den folgenden Kategorien jedoch schlechter abschneidet).

Das Ergebnis einer Ökobilanz für ein Produkt ist das produktspezifische Ökoprofil. Je nach Detaillierungsgrad lässt sich aus dem Ökoprofil in unterschiedlicher Auflösungstiefe ablesen, wie hoch der Beitrag einzelner Aspekte des Lebenszyklus zu den Umweltwirkungen ist. Entsprechend der Eigenschaften des Produktes können diese Aspekte ganze Lebenswegphasen sein (Herstellung, Nutzung, End-of-Life), einzelne benötigte Materialien oder Energieträger oder einzelne Emissionen, die in die Umwelt entlassen bzw. der Umwelt entnommen werden.

Im ÖkoPot-Projekt wird die Auswertung der Ökobilanzen in Form von Ökoprofilen, aufgelöst nach Lebenswegphasen vorgenommen. Dieser Detaillierungsgrad der Ökoprofile wird auch für die Darstellung der absoluten Unterschiede zwischen den Produkten gewählt. Exemplarisch ist in Abbildung 4-3 für die Innenwände ablesbar, wie sich die spezifischen Umweltwirkungen (hier am Beispiel Treibhauseffekt) darstellen.

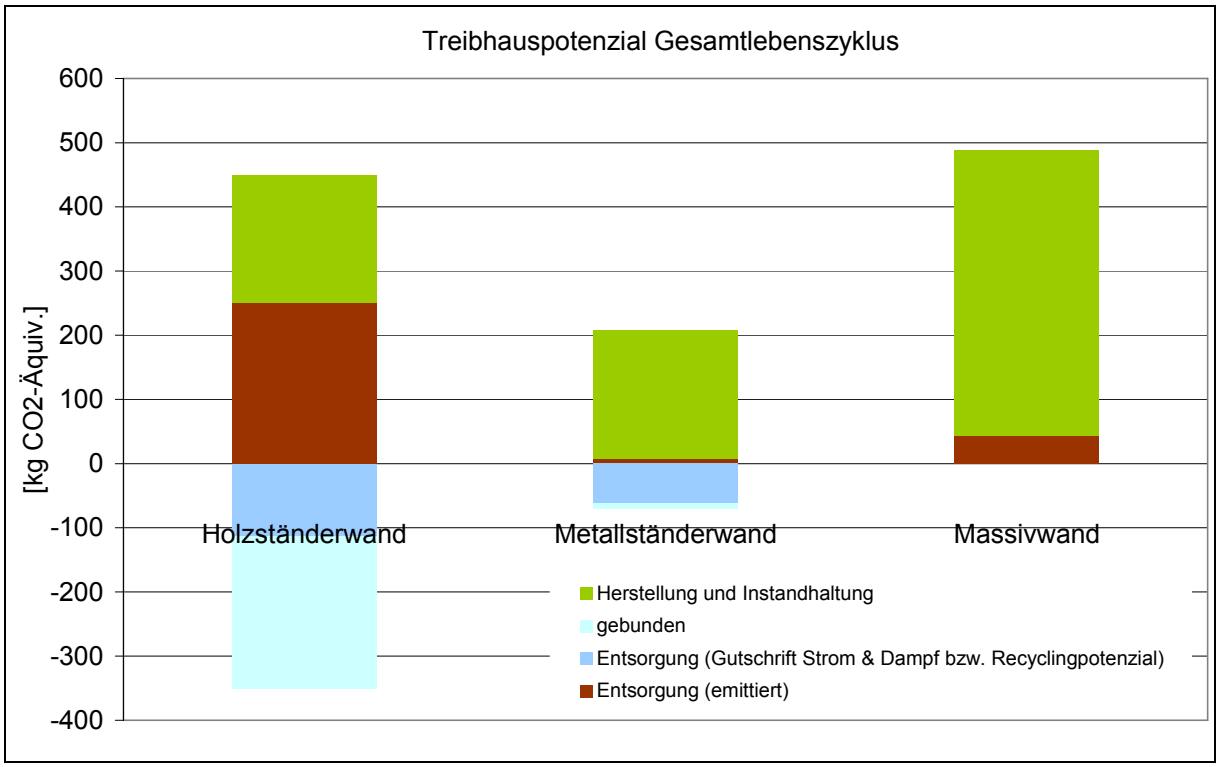


Abbildung 4-3: Treibhauspotenziale verschiedener Innenwandtypen über den gesamten Lebensweg

Tabelle 4-3: Treibhauspotenzial Lebenszyklus Innenwandtypen

Treibhauspotenzial [kg CO2-Äquiv.]	Holzständerwand	Metallständerwand	Massivwand
Herstellung und Instandhaltung	198	199	445
Im Holz gebundenes CO2	-238	-9	
Entsorgung (emittiert)	250	7	43
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-114	-62	
NETTO	97	136	488

Die weiterführende Auswertung der Umweltwirkungen wird in diesem Projekt entsprechend dem Einflussbereich der entscheidenden Beteiligten an den Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus vorgenommen. Deshalb wird in einer Detailanalyse in einem Folgeschritt auf die einzelnen, zu den Umweltauswirkungen beitragenden Aspekte eingegangen, mit Fokus auf die Herstellung der Holzprodukte. Aus dieser Analyse kann abgeleitet werden, bei welchem Produktelement am effizientesten Verbesserungspotenziale erzielbar sind. Technische Varianten können somit gezielt ausgewählt werden und erlaubt somit eine effiziente umweltorientierte Produktgestaltung. Am Beispiel der Holzständerinnenwand ist dies, hinsichtlich aller Umweltwirkungen, im Bereich der Dämmung erkennbar (siehe Abbildung 4-4).

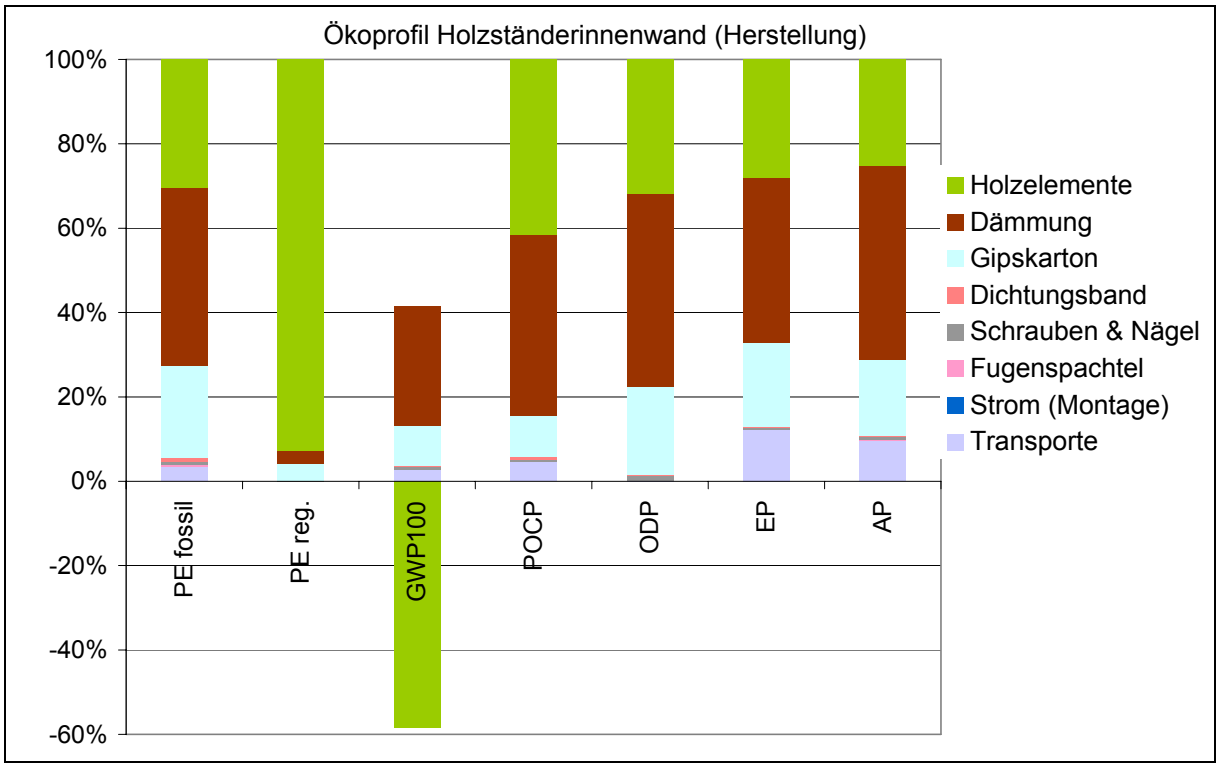


Abbildung 4-4: Das ökologische Profil der Herstellung einer Holzständerwand (Detailanalyse)

Modul 4: Ökologische Potenzialanalyse

Die ökologische Potenzialanalyse liefert quantitative Informationen innerhalb eines Betrachtungsrahmens über die Umwelteffekte von Änderungen einer Marktsituation oder über die Umwelteffekte aus Marktperspektive bei (technischen) Änderungen am Produktlebenszyklus. Ergebnis der Analyse sind quantitative Informationen über die Differenzen betrachteter Umweltindikatoren.

Bei diesem Schritt werden erst die Ökoprofile von Produkten vergleichbarer Nutzungsarten mit dem Verbrauch der Produkte im Markt verknüpft und anschließend aufsummiert, um die Marktsituation abzubilden. Damit wird eine Aussage über die ökologischen Effekte der Ist-Situation des Marktes erreicht.

Formel 1:

$$\text{Ökologische Effekte}_{(\text{Markt, Ist})} = ÖP_{p1} * \text{Verbrauch}_{p1,\ \text{Ist}} + ÖP_{p2} * \text{Verbrauch}_{p2\ ,\ \text{Ist}} + \ldots$$

Dies stellt die Basis für die Berechnung ökologischer Effekte einer Veränderung der Marktsituation oder der ökologischen Profile dar.

Hierfür bedarf es einer Definition des veränderten Marktes. Dabei können zwei grundsätzliche Mechanismen unterschieden werden:

a) Substitution von Produkten und

b) Expansion des Marktes.

Je nachdem wie die veränderten Marktsituationen beschrieben werden, können die ökologischen Effekte, die diese Veränderungen hervorrufen, berechnet werden. Die ökologischen Effekte können dann als Funktion der veränderten Marktsituation berechnet werden.

Formel 2:

$$\text{Ökologische Effekte}_{(\text{Markt, Szenario})} = \text{ÖP}_{p1} * \text{Verbrauch}_{p1,\ \text{Szenario}} + \text{ÖP}_{p2} * \text{Verbrauch}_{p2,\ \text{Szenario}} + \ldots$$

Die Differenz der berechneten ökologischen Effekte (Ist – Szenario) stellt das Ökologische Marktpotenzial dar.

Formel 3:

$$\text{Ökologisches Marktpotenzial} = \text{Ökologische Effekte}_{(\text{Markt, Ist})} - \text{Ökologische Effekte}_{(\text{Markt, Szenario})}$$

Je nach Definition der veränderten Marktsituation können hiermit Substitutions- und Expansionseffekte aus ökologischer Sicht abgeschätzt werden. Da die ökologischen Profile statisch berechnet werden („attributive LCA“), können die Rückkopplungseffekte, die die veränderte Marktsituation auf die ökologischen Profile besitzen, nicht beachtet werden.

Die Einbeziehung von sekundären Rückkopplungseffekten ist bei der vorliegenden Potenzialermittlung nicht erwünscht, da die konkret ermittelten – zum heutigen Zeitpunkt real existenten – Potenziale der Holzbranche, erst mal ermittelt und abgeschöpft werden sollen und die Ergebnisse nicht durch Gegenrechnung vielfältiger, eventuell eintretender oder nicht eintretender (also schwer fassbarer) Effekte in anderen Branchen (wie z.B. der Energiewirtschaft) „verwässert“ werden sollen.

Um Rückkopplungseffekte einzubeziehen, wäre eine änderungsorientierte Datenbasis nötig („consequential LCA“), die versucht in der Zukunft liegende Sekundär-Effekte (auch aller Nachbarbranchen) mit einzubeziehen. Für die Abschätzung der Relevanz einer Änderung und möglicher Einflüsse auf Nachbarbranchen ist dieses Vorgehen jedoch erforderlich und kann als weiterführende Analyse dieses Vorhabens verstanden werden.

Sollte sich die Marktsituation z.B. in 10 Jahren durch Abschöpfen der Potentiale deutlich geändert haben, bietet sich durch die in diesem Projekt entwickelte Methode eher eine vergleichsweise einfache Neuberechnung der Situation an, um die Werte der real eingetretenen Änderungen anzupassen.

Für den Fall der veränderten ökologischen Performance von Produkten z. B. aufgrund veränderter technischer Eigenschaften, ergibt sich ein ähnliches Vorgehen für die Berechnung der ökologischen Potenziale, nur dass hierbei im Szenario-Fall die ökologischen Profile vom Ist-Szenario verschiedene Werte aufweisen, der Verbrauch jedoch konstant bleibt.

Für das Beispiel Holzständerinnenwand stellt sich die heutige Marktsituation (2005) folgendermaßen dar (siehe Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2)[3]: für Neubauten 1063 * 1000 lfd m, für Maßnahmen am Bestand 117 * 1000 lfd m; Marktanteile 7 % (Neubauten) resp. 7,6 % (Maßnahmen am Bestand). Das Ökoprofil der Innenwandtypen ist für den Wirkungsindikator Treibhauspotenzial (GWP) in Tabelle 4-3 ersichtlich. Die Holzständerinnenwand hat hier ein Treibhauspotenzial von 97 kg CO_2-Äquivalente.

Anwendung Formel 1[4]:

Treibhauspotenzial $_{(Innwand,\ Ist)}$ = 97 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 1.180 [1000 lfd m] + 136 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 3.541 [1000 lfd m] + 488 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 12.114 [1000 lfd m] = 1.600.000 t CO_2-Äquiv.

Die ökologischen Effekte der IST-Situation liegen entsprechend Formel 1 bei einem Gesamtwert von über 1,6 Mio. t CO_2-Äquivalenten. Aus der Anwendung der Formel 2 ergibt sich das Treibhauspotenzial des entsprechenden Marktsegments unter Annahme eines veränderten bzw. erhöhten Marktanteils der Holzprodukte:

Anwendung Formel 1[5]:

Treibhauspotenzial $_{(Innwand,\ Szenario)}$ = 97 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 5.052 [1000 lfd m] + 136 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 3.541 [1000 lfd m] + 488 [kg CO_2-Äquiv./ pro Wand (4,1 lfd m)] * 10.178 [1000 lfd m] = 1.400.000 t CO_2-Äquiv.

[3] Die Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2005.
[4] Für ein besseres Verständnis wurden die Ergebnisse der Berechnungen hier gerundet.
[5] Für ein besseres Verständnis wurden die Ergebnisse der Berechnungen hier gerundet.

Um die ökologischen Effekte einer Veränderung der heutigen Marktsituation auf einen Marktanteil der Holzständerinnenwände auf 30 % bei gleichförmiger Substitution der Konkurrenzprodukte (50/50) abzuschätzen, wird Formel 3 angewandt.

Anwendung Formel 3[6]:

Ökologisches Marktpotenzial = Ökologische Effekte $_{(Markt, Ist)}$ - Ökologische Effekte $_{(Markt, Szenario)}$ = 1.600.000 t CO_2-Äquiv - 1.400.000 t CO_2-Äquiv. = 200.000 t CO_2-Äquiv.

Die Raten der veränderten Marktsituation lassen sich aus Analysen ermitteln, die derzeitige Wachstumsraten oder ursprüngliche Verbrauchsdaten beachten. Der Marktanteil der Holzständerinnenwand lag in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts bei etwa 30 %; er hat sich seither stark vermindert. Sollte es durch entsprechende Maßnahmen gelingen, einen großen Teil des verlorenen Marktes zurückzugewinnen, dann läge das Treibhauspotenzial, welches sich einsparen ließe, bei einem Gesamtwert von ca. 200.000 t CO_2-Äquiv..Dies entspricht einer Einsparung von rund 13 % gegenüber der derzeitigen Situation.

In gleicher Weise lassen sich auch für andere Zukunftsszenarien die Werte für das Ökologische Potenzial der Wirkungsindikatoren berechnen, und können so Aufschluss geben über die ökologischen Effekte, die aus Marktperspektive auftreten. Dazu gehören nicht nur Effekte, die durch Substitution der Vergleichsprodukte auftreten, sondern auch die Effekte, die sich durch Ausweitung des Verbrauchs ergeben.

Bei der Berechnung der Ökologischen Potenziale muss jedoch beachtet werden, dass die Annahmen bei der Berechnung der Ökoprofile auf einer statischen Hintergrundsituation beruhen und Sekundäreffekte durch Änderungen, die sich durch die neue Marktsituation im Hintergrundsystem (z. B. verminderte Produktion anderer Holzprodukte durch die Abnahme des verfügbaren Rohstoffs ➔ Rohstoffmarkt-interne Effekte) nicht mit eingerechnet werden.

Für einzelne Unternehmen können in entsprechender Weise Effekte von Änderungen im Produktportfolio bestimmt werden.

Auch die ökologischen Effekte durch Veränderungen an einem betrachteten Produkt selbst können mit der Methode aus Wettbewerbssicht oder firmenintern bestimmt werden. Hierzu geben die Detailanalysen weiteren Aufschluss (siehe Abbildung 4-4).

Auf der Ebene politischer Entscheidungsträger kann der Vergleich der Ökologischen Potenziale verschiedener Produktgruppen untereinander Aufschluss darüber geben, welche poli-

[6] Für ein besseres Verständnis wurden die Ergebnisse der Berechnungen hier gerundet

tisch induzierten Änderungen auf Produktebene relevante Umwelteffekte erzielen können. Es können somit Hebelwirkungen im Sinne einer gezielten Umweltpolitik identifiziert werden.

5 Ausgewählte Holzprodukte und ihre Konkurrenten

Im folgenden Abschnitt werden die Holzprodukte und deren spezifische Konkurrenzprodukte beschrieben, die im Rahmen des ÖkoPot-Projekts betrachtet werden.

Die untersuchten Produktsysteme ergeben sich aus einem Teilprojekt von ÖkoPot, der Marktanalyse der Holzprodukte und ihrer wichtigsten Konkurrenten. Dabei wurde erstmals der gesamte Holzmarkt in Deutschland systematisch aufgearbeitet und die wichtigsten Verbrauchssegmente identifiziert und die wichtigsten Nichtholzkonkurrenten bezüglich ihres funktionalen Einsatzes ermittelt und quantifiziert. Eine kurze Beschreibung der Marktanalyse findet sich in Kapitel 4.4.1 und im nachfolgenden Kapitel 5.1. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in /85/.

5.1 Die Marktsituation

Ziel des Arbeitspaketes ist die Bestimmung des Marktvolumens *relevanter* Holzprodukte als Eingangsgröße zur Berechnung der ökologischen Relevanz dieser Produkte im Rahmen der folgenden Arbeitspakete. Als relevante Holzprodukte werden Produkte mit hohem Marktanteil bzw. hohem absoluten Verbrauch sowie Produkte mit hohen Wachstumsraten („Zukunftsprodukte“) angesehen. Zur Bestimmung der aus Marktsicht relevanten Holzprodukte wurde eine Systematik entwickelt, die die Erfassung und vergleichende Gegenüberstellung der Marktvolumina von Holzprodukten ermöglicht.

An Holzprodukten wurden stabförmige Holzprodukte (Schnittholz und weiter veredelte, auf Schnittholz basierende Produkte wie KVH und Brettschichtholz), plattenförmige Holzwerkstoffe (Spanplatte, Faserplatte, OSB, Sperrholz), sowie Furnier erfasst. Es wurden vier Marktsegmente im Bereich der Holzbe- und Holzverarbeitung unterschieden (Bauwirtschaft, Möbelindustrie, Verpackung und sonst. stoffliche Anwendungen). Das Marktsegment Bauwirtschaft wurde in weitere Teilsegmente unterteilt, um der Produktdiversifizierung im Bereich Schnittholz und Holzwerkstoffe Rechnung zu tragen.

Der Gesamtverbrauch an Holzprodukten in der Bundesrepublik Deutschland lag im Jahr 2004 den eigenen Berechnungen zufolge bei 31,7 Mio. m³. Die Anteile der verschiedenen Holzprodukte sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

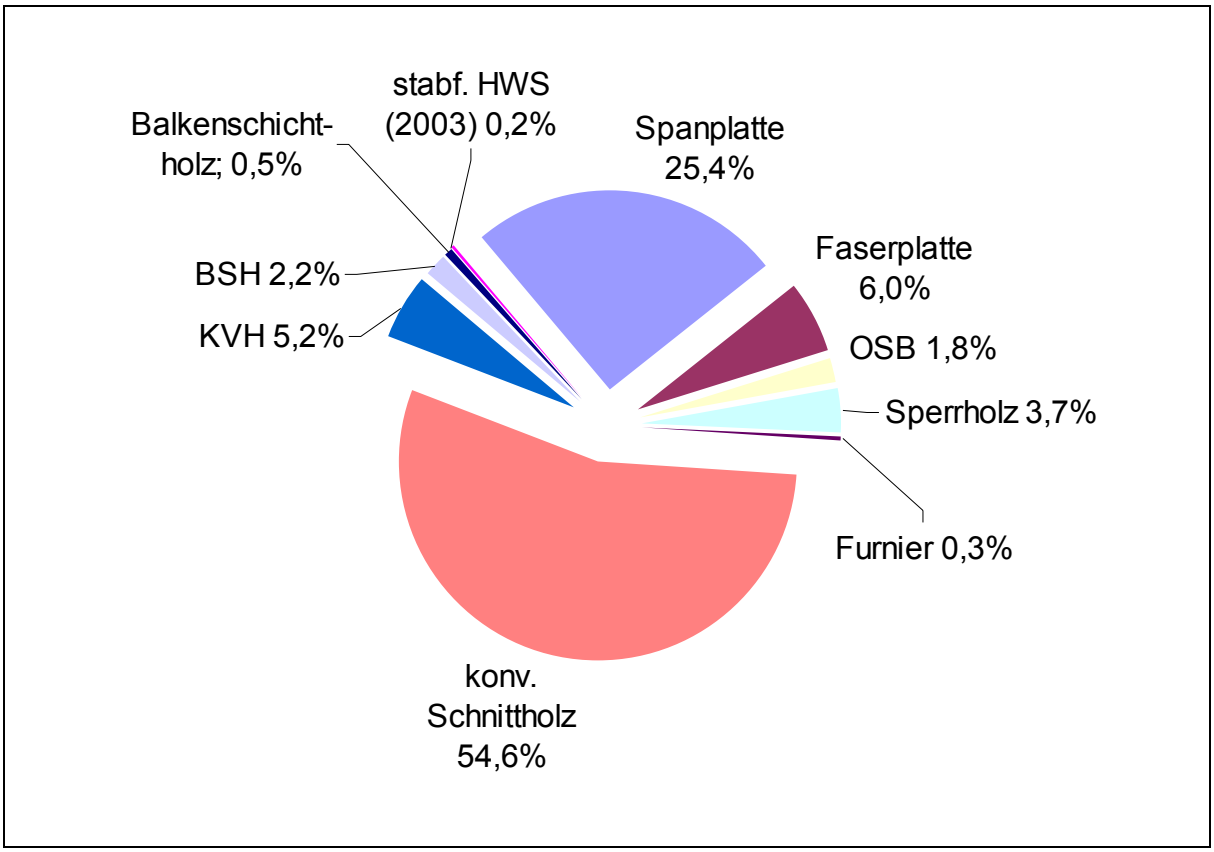


Abbildung 5-1: Marktanteile der Holzprodukte in Deutschland

Konventionelles Schnittholz war mit einer Verbrauchsmenge von knapp 17,3 Mio. m³ bzw. einem Verbrauchsanteil von 54,6% das bedeutendste Holzprodukt, gefolgt von Spanplatten mit einem Anteil von einem Viertel am Gesamtvolumen (entsprechend 8,1 Mio. m³). Zwischen ein und zwei Millionen m³ lag der Verbrauch von Faserplatten (1,9 Mio. m³), Konstruktionsvollholz (1,7 Mio. m³) und Sperrholz (1,2 Mio. m³). Brettschichtholz wurde in einer Größenordnung von 700.000 m³ verarbeitet. Von der Hauptgruppe der Holzwerkstoffe entfiel auf OSB mit 600.000 m³ das geringste Verbrauchsvolumen. Die weiteren stabförmigen Holzwerkstoffe sowie Balkenschichtholz und Furnier erreichten einen Anteil von weniger als 1% am Gesamtverbrauch.

Betrachtet man den Verbrauch an Holzprodukten nach Marktsegmenten gegliedert, so zeigt sich, dass mit einem Verbrauchsvolumen von knapp 16,7 Mio. m³ mehr als die Hälfte des Gesamtverbrauchs an Holzprodukten auf den Bausektor entfiel (52,5%). 27,7% der Gesamtmenge an Holzprodukten wurden für die Herstellung von Möbeln verwendet. Der Verpackungssektor benötigte 15,5% des Gesamtvolumens, auf sonstige Verwendungen entfiel im Jahr 2004 ein Verbrauchsanteil von 4,3%.

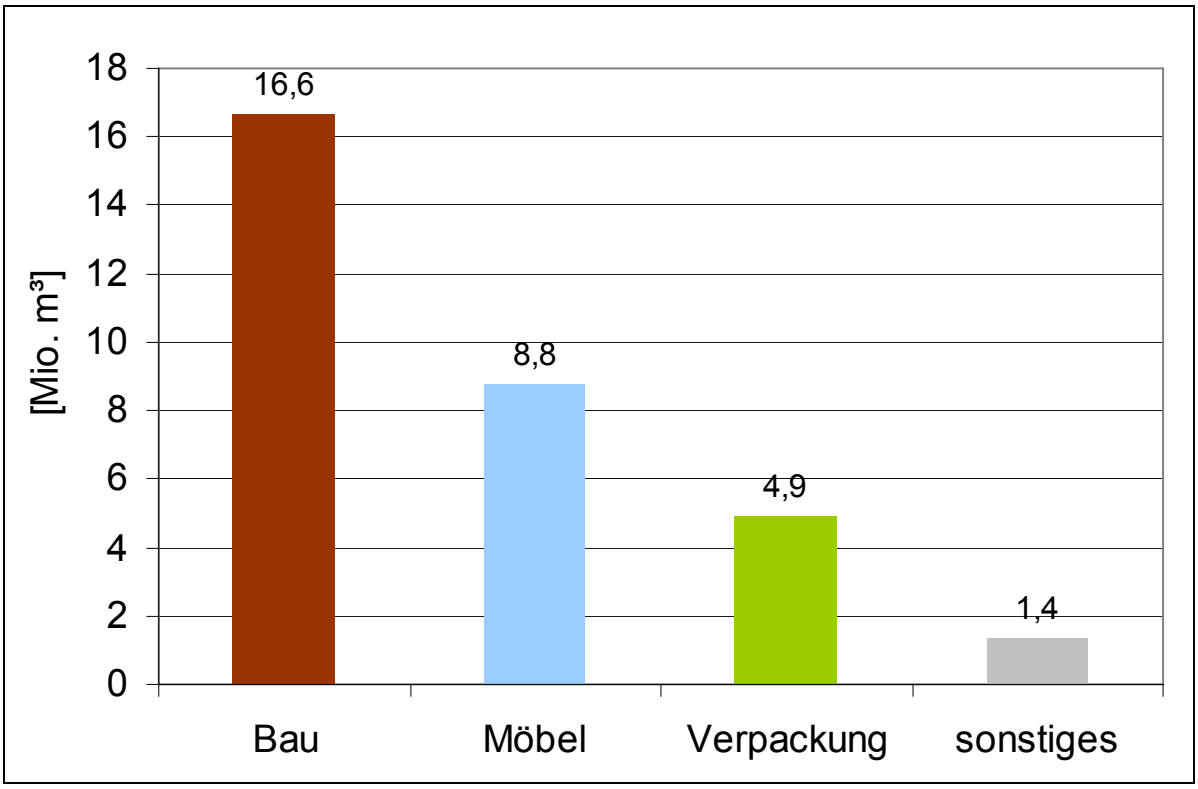


Abbildung 5-2: Verbrauchsmengen von Holzprodukten in den Verwendungssektoren

Tabelle 5-1: Verbrauch an Holzprodukten in den jeweiligen Marktsektoren und Marktanteile

Holz-produkte	konv. Schnittholz	KVH	Brettschichtholz	Balkenschichtholz	stabförmige HWS	Spanplatte	Faserplatte	OSB	Sperrholz	Furnier	Summe
Verbrauchsmengen in den Sektoren [Mio. m³]											
Bau	10,104	1,657	0,697	0,167	0,053	1,569	1,302	0,517	0,537	0,045	16,648
Möbel	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	6,270	0,573	0,036	0,367	0,039	8,784
Verpackung	4,558	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	0,006	0,013	0,239	0,000	4,917
sonstiges	1,173	0,000	0,000	0,000	0,000	0,114	0,029	0,009	0,021	0,027	1,373
Summe	17,335	1,657	0,697	0,167	0,053	8,055	1,908	0,575	1,164	0,111	31,722
Anteile am Gesamtverbrauch [%]											
Bau	31,9	5,2	2,2	0,5	0,2	4,9	4,1	1,6	1,7	0,1	52,5
Möbel	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	19,8	1,8	0,1	1,2	0,1	27,7
Verpackung	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,0	15,5
sonstiges	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	4,3
Summe	54,6	5,2	2,2	0,5	0,2	25,4	6,0	1,8	3,7	0,3	100,0
Anteile innerhalb der Sektoren [%]											
Bau	60,7	10,0	4,2	1,0	0,3	9,4	7,8	3,1	3,2	0,3	100,0
Möbel	17,1	0,0	0,0	0,0	0,0	71,4	6,5	0,4	4,2	0,4	100,0
Verpackung	92,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,1	0,3	4,9	0,0	100,0
sonstiges	85,4	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	2,1	0,7	1,5	1,9	100,0
Summe	54,6	5,2	2,2	0,5	0,2	25,4	6,0	1,8	3,7	0,3	100,0

Tabelle 5-2: Marktanteile von Holzprodukten in verschiedenen Teilsektoren des Baumarktes

Teilsektor [Mio. m³]	Schnittholz	Holzwerkstoffe	Furnier	Summe
Tragwerk	5,029	0,053	0,000	5,083
Beplankung, Bekleidung	1,434	0,878	0,000	2,313
Treppen	0,382	0,000	0,000	0,382
Fenster	0,349	0,009	0,000	0,358
Türen	0,600	0,290	0,021	0,911
Wand- & Deckenbekleidung	0,888	0,875	0,021	1,784
Fußböden	0,873	1,020	0,003	1,896
Außenandwendungen	1,353	0,019	0,000	1,371
Tiefbau	1,717	0,834	0,000	2,551
Summe	12,624	3,978	0,045	16,648
Anteile am Verbrauch im Sektor Bau [%]				
Tragwerk	30,2	0,3	0,0	30,5
Beplankung, Bekleidung	8,6	5,3	0,0	13,9
Treppen	2,3	0,0	0,0	2,3
Fenster	2,1	0,1	0,0	2,1
Türen	3,6	1,7	0,1	5,5
Wand- & Deckenbekleidung	5,3	5,3	0,1	10,7
Fußböden	5,2	6,1	0,0	11,4
Außenandwendungen	8,1	0,1	0,0	8,2
Tiefbau	10,3	5,0	0,0	15,3
Summe	75,8	23,9	0,3	100,0
Anteile am Verbrauch in den Teilsektoren [%]				
Tragwerk	98,9	1,1	0,0	100,0
Beplankung, Bekleidung	62,0	38,0	0,0	100,0
Treppen	100,0	0,0	0,0	100,0
Fenster	97,6	2,4	0,0	100,0
Türen	65,9	31,8	2,3	100,0
Wand- & Deckenbekleidung	49,8	49,0	1,2	100,0
Fußböden	46,0	53,8	0,2	100,0
Außenandwendungen	98,6	1,4	0,0	100,0
Tiefbau	67,3	32,7	0,0	100,0
Summe	75,8	23,9	0,3	100,0

Um der Produktdiversifizierung im Bereich Schnittholz und Holzwerkstoffe Rechnung zu tragen und um die Abschätzung der ökologischen Performance der verschiedenen Holzprodukte in den charakteristischen Anwendungssektoren zu ermöglichen, wurde der Verbrauchssektor Bau im Rahmen des Projektes noch in weitere Teilsegmente unterteilt. Dabei zeigte sich, dass mit einem knappen Drittel des Gesamtverbrauchs der Teilsektor Konstruktion –

Tragwerk den bedeutendsten Teilbereich innerhalb des Baumarktes darstellt. Jeweils mehr als 10% des Gesamtverbrauchs an Holzprodukten innerhalb des Baumarktes entfallen weiterhin auf die Teilbereiche Tiefbau, Beplankung und Bekleidung, Wand- und Deckenbekleidung sowie Fußböden.

Mit 12,6 Mio. m³ entfielen im Jahr 2004 drei Viertel des Gesamtverbrauchs an Holzprodukten im Baubereich auf konventionelles Schnittholz sowie weiter veredelte Schnittholzprodukte. Schnittholz dominiert vor allem in den Teilbereichen Tragwerk, Treppen, Fenster sowie Außenanwendungen. Bedeutende Märkte für plattenförmige Holzwerkstoffe liegen in den Bereichen Fußböden, Wand- und Deckenbekleidung, Beplankung, Tiefbau und Türen.

5.1.1 Detaillierter betrachtete Holz- und Konkurrenzprodukte

Aus Sicht des Holzmarkts wurden verschiedene Produkte als relevant eingestuft (Kapitel 4.5). In der weiteren Diskussion kam es in Verbindung mit den Projektpartnern über technologische Aspekte und Aspekte der Ökobilanzierung sowie den Zielen des Projektes zu einer weiteren Fokussierung auf die Märkte Innen- und Außenwand, Hallenträger, Fußböden und Fenster. Die Märkte wurden nach Bausystemen und Werkstoffen segmentiert, um die ökologischen Auswirkungen von Marktanteilsverschiebungen einschätzen zu können. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass eine Segmentierung nach Marktdaten der Verfügbarkeit von statistischem Grundlagenmaterial folgt, was nicht immer den technologischen Gegebenheiten eines Produktbereiches entspricht. Daraus ergab sich folgende Struktur.

Segment Innenwand:

- Holzständerinnenwand
- Metallständerinnenwand
- Massivbauinnenwand
  - Kalksandsteininnenwand
  - Gasbetoninnenwand

Segment Außenwand:

- Holzrahmenaußenwand
  - Holzrahmenaußenwand (ohne Installationsebene)
  - Holzrahmenaußenwand (mit Installationsebene)
- Massivaußenwand
  - Außenwand aus Hohlziegeln (zweischalig)

- Außenwand aus Hohlziegeln (mit Kerndämmung)
- Außenwand aus Porenbetonsteinen (einschalig)
- Außenwand aus Porenbetonsteinen (zweischalig)

Segment Hallenträger:

- Holzhallenträger
- Stahlhallenträger
- Stahlbetonhallenträger

Segment Fußboden:

- Laminatboden
- Parkettboden
  - Mehrschichtparkett
  - Stabparkett Buche / Eiche
- Teppichboden
- PVC-Boden
- Linoleumboden
- Steinzeugfliesen

Segment Fenster:

- Holzfenster
- Holz-Aluminium-Fenster
- Aluminiumfenster
- Kunststofffenster (PVC)

Im Folgenden werden die ausgewählten Produktbereiche nach Marktvolumen und Marktanteilen näher beschrieben.

5.1.1.1 Innenwände

Zunächst war es nötig, das Gesamtmarktvolumen für das Produktsystem Innenwand zu berechnen. Da Rahmen des ÖkoPot-Projekts konnten keine eigenständigen Datenerhebungen durchgeführt werden konnten, lagen keine selbst ermittelte gesicherte Informationen über Innenwandflächen, Materialarten und Konstruktionsarten vor. Aus verschiedenen früheren Studien wurden einzelne Ergebnisse zu dem Verhältnis von Innenwand und umbautem

Raum, sowie der Bauweise und Konstruktionsart verwendet. Angaben über die Materialien der Leichtbauinnenwände (Holz-Stahlblech) lagen nicht vor.

Die bautechnischen Kennziffern wurden mit Hilfe der aktuellen Bautätigkeitsstatistik aktualisiert. Ausgehend vom m³-Volumen umbauten Raumes gelangt man über Kennzahlen zum Volumen-Flächen-Verhältnis der unterschiedlichen Gebäudetypen. Die Berechnung der Laufmeter erfolgte durch Annahme durchschnittlicher Geschosshöhen für die Gebäudetypen.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass das ÖkoPot-Projekt eine Studie über Innenwandbausysteme nicht ersetzen kann. Zur Entwicklung der Methode wurden lediglich möglichst plausible Größenordnungen ermittelt. Für konkrete Schlussfolgerungen in diesem Markt ist unbedingt eine Erhebung bei Bauherren und Planern erforderlich.

Nachdem das Marktvolumen von Massiv- und Leichtbausystemen bestimmt wurde, muss bei den Leichtbausystemen zwischen Holz- und Stahlblechprofilkonstruktionen differenziert werden. Daten hierzu sind nicht frei verfügbar. Für den weiteren Prozess der Modellierung werden folgende Anteile angenommen: 75% Stahlblechprofil und 25% Holz.

Folgende Abkürzungen werden zu den Baubereichen verwendet:

- EGH – Eigenheime
- MFH – Mehrfamilienhäuser
- WGB – Wohnungsbau
- WBG – Wohnähnliche Betriebsgebäude
- IBG – Industrielle Betriebsgebäude
- LBG – Landwirtschaftliche Betriebsgebäude
- NWB – Nichtwohnbau

Die Raumhöhen wurden im Wohnungsbau mit üblichen Rohbau-Werten angenommen. Die Wandhöhe bei EFH liegt mit 2,4 m unter der Wandhöhe bei MFH (2,6 m), da bei EFH geringere durchschnittliche Wandhöhen im Dachgeschoss einbezogen sind. Die Werte im Nichtwohnbau sind im WBG mit 3 m angenommen, in IBG mit 4 m aufgrund der besonderen Baustruktur und in LBG mit 3 m, da hier reine Betriebsgebäude und Wohnbereiche getrennt gebaut sind.

Tabelle 5-3: Innenwand – neue Gebäude

	Innenwand	Massivbauweise		Leichtbauweise					
	in 1000 lfd m	in 1000 lfd m		Gesamt in 1000 lfd m		Holz in 1000 lfd m		Stahlblechprofil in 1000 lfd m	
WGB	11.836	9.371	79,2%	2.465	20,8%	616	5,2%	1.848	15,6%
NWB	3.458	1.669	48,3%	1.789	51,7%	447	12,9%	1.342	38,8%
SUM	15.294	11.040	72,2%	4.254	27,8%	1.063	7,0%	3.190	20,9%

Tabelle 5-4: Innenwand – Maßnahmen an bestehenden Gebäuden

	Innenwand	Massivbauweise		Leichtbauweise					
	in 1000 lfd m	in 1000 lfd m		Gesamt in 1000 lfd m		Holz in 1000 lfd m		Stahlblechprofil in 1000 lfd m	
WGB	1.067	858	80,4%	209	19,6%	52	4,9%	157	14,7%
NWB	475	216	45,4%	259	54,6%	65	13,6%	194	40,9%
SUM	1.542	11.074	69,6%	468	30,4%	117	7,6%	351	22,8%

5.1.1.2 Außenwände

Wie im Rahmen der Berechnungen zum Produktsystem Innenwand musste auch für Außenwandkonstruktionen zunächst das Gesamtmarktvolumen bestimmt werden. Innerhalb des Projektverbunds wurde beschlossen, sich auf die für Holzrahmenkonstruktionen im Neubau bislang wesentlichen Gebäudetypen der Ein- und Zweifamilienhäuser zu konzentrieren. Ausgangspunkt der Berechnungen stellen die Angaben der amtlichen Statistik zum umbauten Raum im Neubau dar, die mit Hilfe der Bautätigkeitsstatistik aktualisiert wurden. Kennzahlen zur Ableitung der Brutto-Fassadenfläche und damit der benötigten Außenwandfläche aus den Angaben zum umbauten Raum liefern frühere Studien. Die im Jahr 2004 fertig gestellte Außenwandfläche in Eigenheimen und Mehrfamilienhäusern berechnet sich demnach auf 34,8 Mio. m². Unterstellt man die für Innenwandsysteme angenommenen durchschnittlichen Geschosshöhen von 2,4 m für Eigenheime (Ein- und Zweifamilienhäuser) und 2,6 m für Mehrfamilienhäuser, so berechnet sich das Gesamtmarktvolumen für Außenwände in neuen Wohngebäuden auf 14,3 Mio. Laufmeter. Auf Ein- und Zweifamilienhäuser entfallen hiervon 12,2 Mio. laufende Meter.

Laut Angaben des statistischen Bundesamtes wurden im Jahr 2004 150.119 Ein- und Zweifamilienhäuser genehmigt. Detaillierte Angaben zur Struktur der Fertigstellungen liegen nicht vor, so dass die Struktur der Genehmigungen auch für das fertig gestellte Volumen angenommen wurde. Danach bezogen sich 2004 13,0% der Genehmigungen auf Holzhäuser (konventionelle und Fertigbauweise). 10,8% entfielen auf Fertighäuser und 2,1% auf Holzhäuser in konventioneller Bauweise, was bedeutet, dass 16,1% der Holzhäuser in konventioneller Bauweise und 85,5% in Fertigbauweise errichtet wurden.

Tabelle 5-5: Marktvolumen Außenwand im Ein- und Zweifamilienhausbau (Neubau)

	Außenwand-fläche	Außenwand	Andere Baustoffe überwiegen		überwiegend in Holzbauweise Fertigteilbau		konvent. Bauweise	
	in 1 000 m²	in 1 000 lfd m	in 1 000 lfd m	in %	in 1 000 lfd m	in %	in 1 000 lfd m	in %
EGH	**29.317**	**12.215**	**10.627**	***87,0***	**1.319**	***10,8***	**257**	***2,1***

5.1.1.3 Hallenträger

Als Grundlage der Berechnungen zum Gesamtmarktvolumen für Hallentragwerke sowie der Anteile einzelner Baustoffe bzw. Konstruktionen dient die Statistik der Baufertigstellungen des Statistischen Bundesamtes. Diese Statistik weist, wie bereits im Rahmen der Marktbeschreibung für Innen- und Außenwandkonstruktionen angesprochen, Anzahl und Rauminhalt der fertig gestellten Gebäude aus. Für Hallentragwerke ist dabei der Nichtwohnbau entscheidend. Innerhalb des Projektverbunds wurde beschlossen, sich auf Industriebau und landwirtschaftliche Betriebsgebäude zu beschränken, da davon auszugehen ist, dass sich die im Rahmen des Projektes untersuchten Hallentragwerkskonstruktionen überwiegend auf diese beiden Gebäudetypen beschränken.

Anzahl und Rauminhalt fertig gestellter landwirtschaftlicher Betriebsgebäude werden getrennt ausgewiesen. Der Industriebau umfasst „Fabrik- und Werkstattgebäude“ sowie „Handels- und Lagergebäude“. Den Angaben der amtlichen Statistik zufolge wurden im Jahr 2005 knapp 7.000 landwirtschaftliche Betriebsgebäude mit einem Rauminhalt von gut 22,7 Mio. m³ fertig gestellt. Der Industriebau verzeichnet die Fertigstellung von gut 10.000 Werkstatt- und Lagerhallen mit einem Rauminhalt von insgesamt 90,6 Mio. m³. Frühere Studien zum Dämmstoffmarkt ermöglichen die Abschätzung der Brutto-Dachfläche aus den Angaben zum umbauten Raum. Demzufolge betrug die Brutto-Dachfläche der fertig gestellten Industriehallen 11,9 Mio. m², die Dachfläche der landwirtschaftlichen Betriebsgebäude belief sich auf insgesamt 4,1 Mio. m².

Neben Anzahl und Rauminhalt der fertig gestellten Industriehallen und landwirtschaftliche Betriebsgebäude weist die Statistik der Baufertigstellungen auch eine Unterteilung nach überwiegend verwendetem Baustoff aus. Bezogen auf die Brutto-Dachfläche der insgesamt fertig gestellten Hallen weisen Holzkonstruktionen im Industriebau einen vergleichsweise geringen Anteil von 2% auf. Hier dominieren Stahlbeton- und Stahlkonstruktionen mit zusammen mehr als 80% der Brutto-Dachfläche. In landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden dagegen sind Holzkonstruktionen von wesentlich größerer Bedeutung. Hallen, die überwiegend in Holzbauweise errichtet wurden, erreichten im Jahr 2005 einen Anteil von 28% der Brutto-Dachfläche aller landwirtschaftlichen Betriebsgebäude.

Tabelle 5-6: Brutto-Dachflächen von Industrie- und landwirtschaftlichen Hallen (Neubau)

	Brutto-Dachfläche		davon nach überwiegend verwendetem Baustoff							
			Stahl		Stahlbeton		Holz		sonst. Baustoff	
	in 1 000 m²	*in %*	in 1 000 m²	*in %*	in 1 000 m²	*in %*	in 1 000 m²	*in %*	in 1 000 m²	*in %*
IBG	11.909	*74*	3.519	*30*	6.068	*51*	289	*2*	2.032	*17*
LBG	4.137	*26*	1.091	*26*	796	*19*	1.155	*28*	1.096	*26*
Insgesamt	**16.046**	***100***	**4.611**	***29***	**6.864**	***43***	**1.444**	***9***	**3.128**	***19***

5.1.1.4 Fußböden

Auf dem Markt für Bodenbeläge konkurrieren folgende Belagarten:

- Textile Bodenbeläge (Teppichboden u.a.)
- Holzboden (Parkett/Dielen)
- Kork
- Laminate
- Kunststoff/PVC/Gummi
- Linoleum
- Keramik/Fliesen
- Naturwerkstein
- Sonstige

Der Markt gliedert sich i.d.R. nach Baubereichen, wie Neubau/Modernisierung und Wohnbau/Nichtwohnbau. Der Markt hat einen großen DIY-Anteil.

Sowohl Parkett- als auch Laminatfußböden verzeichneten im Laufe des letzten Jahrzehnts starke Zuwächse. Parkett weist derzeit knapp ein Viertel des Marktvolumens für Laminat auf.

Tabelle 5-7: Marktanteile für Parkettfußböden und Substitute /110/, /51/, /58/

		Verbrauch 2005
Belagsart	Erläuterung	Fläche
		in Mio. m²
Parkett		19,8
Laminat		84,0
Kork		6,5
Summe holzartige Bodenbeläge		*110,3*
Textile Bodenbeläge	Tufting/Webware/Nadelfilz	248,0
Mineralische Bodenbeläge	Stein/Keramik	72,0
elastische Bodenbeläge	PVC/Linoleum/Gummi	63,5
Sonstige		6,0
Summe		*499,8*

Marktanteile der verschiedenen Bodenbelagsarten

Tabelle 5-8: Produktionsanteile 2006 nach Parkettarten /8/, /68/

			Produktion 2006 [1)]	Berechnete Anteile [2)]
Belagsart	**Differenzierung**		Fläche	Fläche
			Mio. m²	Mio. m²
Parkett gesamt			12,9	
	Einschichtparkett		1,1	**0,97**
		Stabparkett 22mm		0,35
		Stabparkett 14/16mm		0,10
		Massivparkett 10mm		0,03
		Mosaikparkett 8mm		0,35
		Parkettdielen		0,05
		andere		0,09
	Mehrschichtparkett		11,8	**11,93**
		2-schichtig		1,98
		3schichtig		8,29
		Landhausdielen		1,67

Tabelle 5-9: Parkettmarkt 2006 in Deutschland /8/

	Import	Export	Inlands-Produktion	Inlands-Verbrauch
	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche
Belagsart	Mio. m²	Mio. m²	Mio. m²	Mio. m²
Parkett	13,0	6,1	12,9	19,8

Tabelle 5-10: Anteil der Holzarten bei der Parkettproduktion /9/

Holzarten	Mengenanteil [%]
Eiche	37
Buche	35
Ahorn	10
Kirsche	4
Esche	4
Tropische Hölzer	8
Sonstige	2

Der Markt für Parkett wird liegt derzeit bei 20 Mio. m². Zu den Parkettfußböden gehören Stabparkett, Mosaikparkett und Fertigparkett. Holzdielen werden überwiegend unter Stabparkett erfasst.

Die Parkettproduktion stieg von 11,7 Mio. m² in 2005 um 10,4 % auf 12,9 Mio. m² in 2006.

Bei den Massivparkettarten war die Produktion 2006 allerdings rückläufig. In den ersten 9 Monaten ging die Produktion beim Mosaikparkett um 3,6 %, beim Stabparkett um 6,8 % zurück. Die Expansion des Marktes geht vor allem zugunsten des Fertigparketts.

Das Fertigparkett hatte 2001 einen Anteil von 73%, 2005 dominiert es den Parkettverbrauch mit einem Marktanteil von 85 %. Bei der Inlandsproduktion in Deutschland liegt das Fertigparkett bei 91 %. Insbesondere die Landhausdielen legten in den ersten 3 Monaten von 2006 um 44,7 % zu.

5.1.1.5 Fenster

Der Markt für Fenster wird in der Regel nach Materialarten und Einsatzbereichen segmentiert. Wie beim Treppenmarkt erfasst die Statistik nur einen Teil der Produktion. Der Fenster- und Fassadenverband führt jedoch regelmäßig Untersuchungen durch, die eine Hochrechnung des Gesamtmarktes ermöglichen. Die Außenhandelsaktivitäten sind relativ unbedeutend.

Nach Materialarten werden die Fensterarten wie folgt unterschieden:

- Kunststofffenster
- Holzfenster
- Aluminiumfenster
- Sonstige (meist Materialkombinationen, wie z.B. Alu-Holz)

Nach Einsatzbereichen wird der Fenstermarkt in Neubau und Modernisierung, bzw. Wohnbau und Nichtwohnbau unterschieden. Der Fenstermarkt ist ein typischer Modernisierungsmarkt. 58 % aller produzierten Fenster werden in bestehende Gebäude eingesetzt. Zwei Drittel aller Fenster gehen in den Wohnungsbau.

Die eingesetzten Materialarten sind sehr stark von den Gebäudearten abhängig. So gehen Alufenster überwiegend in den Industriebau und Kunststofffenster haben in Mehrfamilienhäusern große Marktanteile. Im Eigenheim dominiert das Holzfenster. Über alle Gebäudearten und Einsatzbereiche hinweg beträgt der Marktanteil des Holzfensters knapp 20 %. Dies entsprach 2005 2,3 Mio. Fenstereinheiten.

Eine Fenstereinheit ist ein standardisiertes Maß zur Erfassung der unterschiedlichen Fenstergrößen. Ein solches Normfenster ist 1,3 m mal 1,3 m groß und hat damit eine Fläche von 1,69 m². Über die Einheitsnorm für Fenster kann somit auch die Berechnung des Holzvolumens erfolgen.

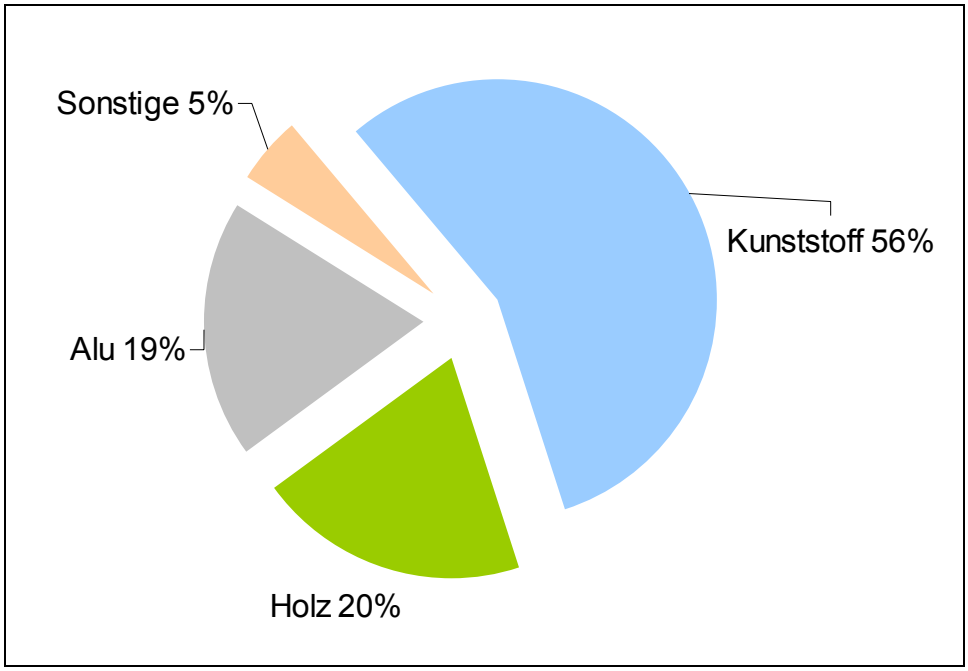
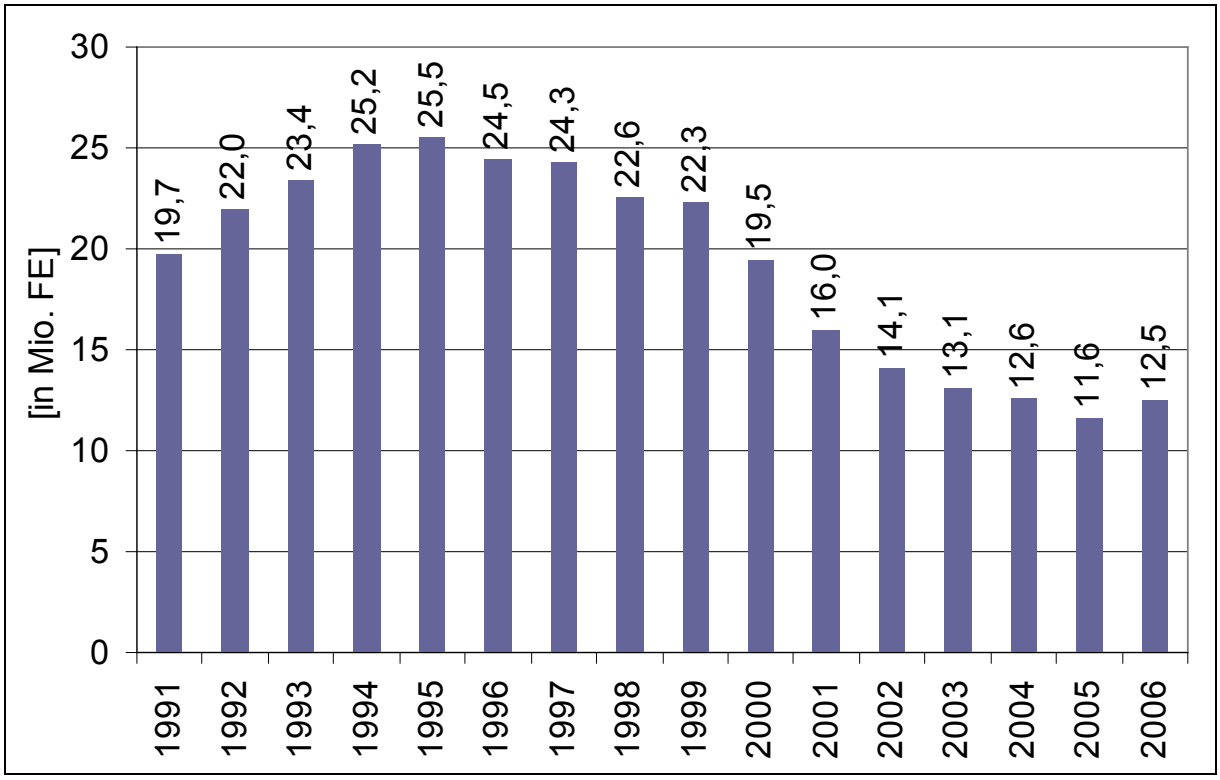
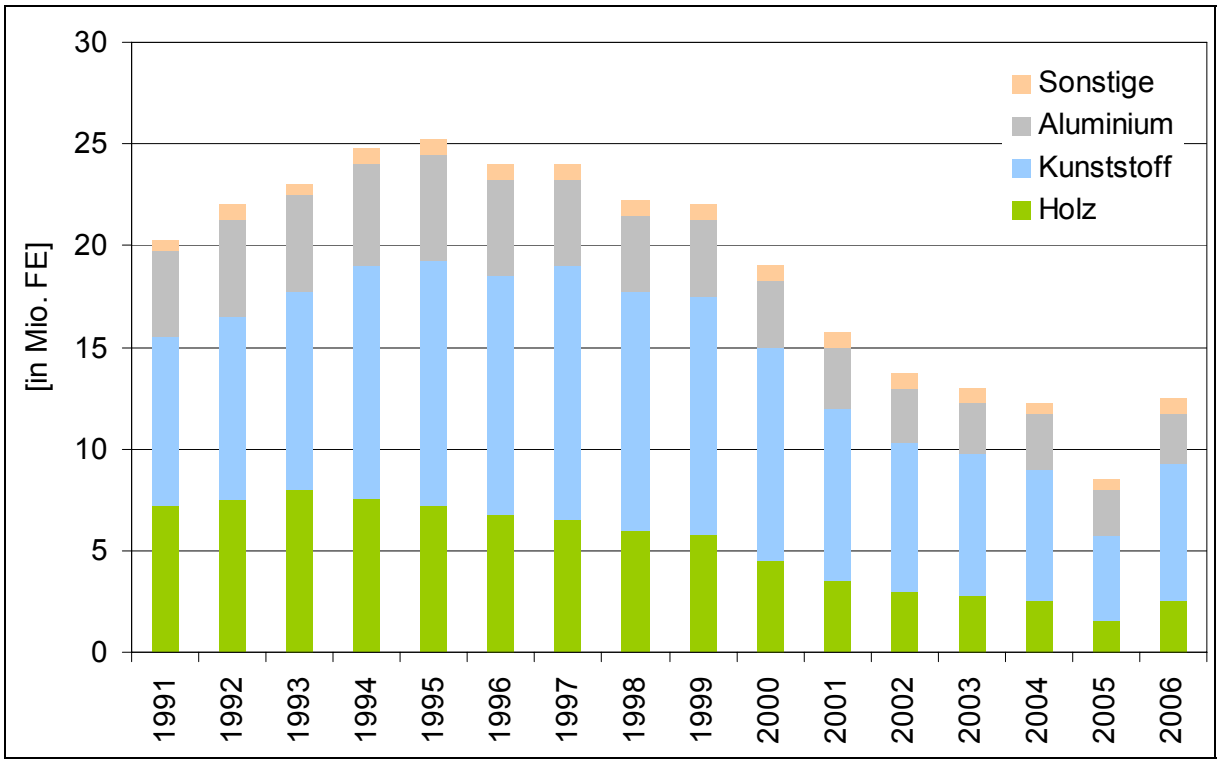


Abbildung 5-3: Marktanteile verschiedener Fenstermaterialien (2005) /111/

Mit der steigenden Bautätigkeit nach dem Vereinigungsboom stieg auch der Fenstermarkt kontinuierlich an. Da aber vor allem der Mehrfamilienhausbau von dieser Entwicklung profitierte, ging der Marktanteil des Holzfensters zurück. Der Fenstermarkt erreichte 1995 sein größtes Produktionsvolumen mit über 25 Mio. Fenstereinheiten (FE). Seit 1996 zeigt der Fenstermarkt eine rückläufige Entwicklung. Inzwischen liegt der Markt bei 11,5 Mio. Fenstereinheiten, wovon 1,6 Mio. Fenstereinheiten (entsprechend einem Marktanteil von 19,6 %) auf das Holzfenster entfallen. Die ungünstige Entwicklung des Wohnungsbaus, besonders im Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser, haben dazu geführt, dass das Holzfenster stärkere Marktverluste hinnehmen musste. Im Nicht-Wohnungsbau konnten insbesondere Aluminium- und Aluminium-Holz-Fenster ihre Marktanteile sichern.

Abbildung 5-4: Entwicklung des Fenstermarktes und der Marktanteile der Fenstermaterialien /111/

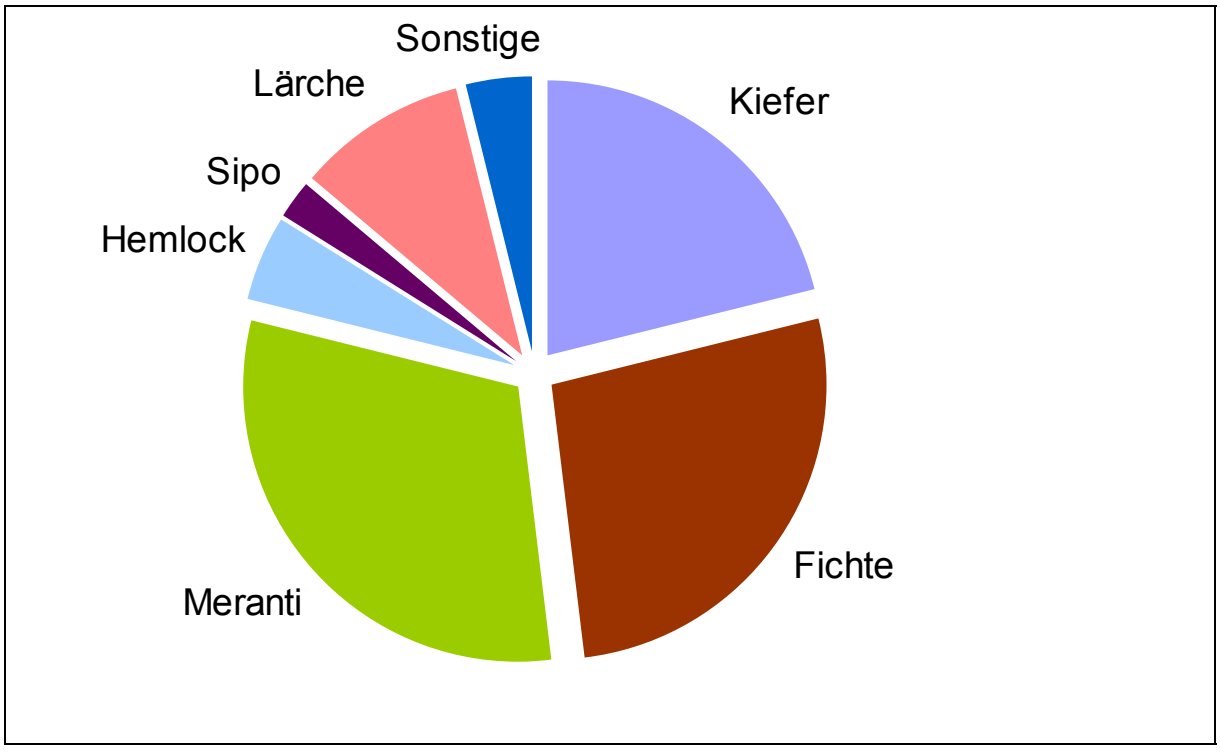




Der Verband der Fenster- und Fassadenhersteller prognostizierte noch am Anfang des Jahres 2006 für das laufende Jahr einen realen Rückgang des Marktvolumens um 1-2 %, d.h. für 2006 erwartete man ein Marktvolumen von 11,5 Mio. Fenstereinheiten. Im Vergleich zum Absatzrückgang im Vorjahr von 8 % eine deutliche Erholung des Marktes. Zum Ende des Jahres 2006 korrigierte man die Prognose auf 12,5 Mio. FE, was erstmals nach 1995 einen Anstieg der Absatzzahlen darstellt. Dieser starke Zuwachs von 8% im Jahr 2006 ist allerdings auf Sondereffekte wie den Wegfall der Eigenheimzulage und Erhöhung der Mehrwertsteuer ab 2007 zurückzuführen. Der Verband der Fenster- und Fassadenhersteller geht daher für 2007 von einem Absatzplus von 2,1 % aus.

Da die Tropenholzarten bezüglich des Holzschutzes anders zu bewerten sind als einheimische Holzarten, wird im Folgenden noch weiter nach Holzarten unterschieden. 58 % des eingesetzten Holzes bestehen aus einheimischen Hölzern (Kiefer 21 %; Fichte 27 % und 10 % Lärche). 5 % entfallen auf Hemlock, also Nadelhölzer nordamerikanischer Provenienz. Meranti hatte einen Marktanteil von 31 %. Zusammen mit Sipo 2 % und den sonstigen Holzarten, die überwiegend den tropischen Holzarten zuzurechnen sind, entfallen 37 % auf Tropenhölzer.

Abbildung 5-5: Marktanteile verschiedener Holzmaterialien am Holzfenstermarkt 2002 /67/



5.2 Die technischen Eigenschaften

In Zuge der Abschätzung der ökologischen Potenziale durch eine Ausweitung der Holzverwendung kommt der technischen Charakterisierung wichtiger Systemanwendungen von Holz und deren nicht auf Holz basierten Alternativsystemen eine große Bedeutung zu. So ist die Erstellung detaillierter Materiallisten, als Grundlage für Sachbilanzen in die Ökobilanzierung eingehen, maßgeblicher Bestandteil und Grundvoraussetzung für eine ökologische Bewertung nach EN ISO 14040 ff /42/.

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, wurden zum einen Holzprodukte mit einem derzeit hohen Marktanteil, aber auch Produkte, die sich aufgrund günstiger technologischer Eigenschaften durch ein besonders hohes Marktpotential auszeichnen, ausgewählt. Um zu klären, in welchen Verwendungen die durch die Marktanalyse ausgewählten Holzprodukte bzw. Halbwaren letztendlich zum Einsatz kommen, wurden die technischen Eigenschaften der Produkte genau beleuchtet und die Ergebnisse der spezifizierten Produktauswahl in einer Matrix, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ökonomie der Universität Hamburg entwickelt wurde, hinterlegt. Dadurch konnten auch die Holzprodukte, die im Rahmen der Marktanalyse nur sehr grob oder auf der Ebene von Produktgruppen erfasst werden konnten (z.B. plattenförmige Holzwerkstoffe), genauer zugeordnet und ihre charakteristische Verwendung näher definiert werden. Die Einhaltung geltender Normen und Vorschriften wurde hierbei natürlich vorausgesetzt und bei der Charakterisierung der Produkte in den jeweiligen Anwendungsbereichen berücksichtigt. Auch die Zuordnung der marktgängigen Substitutionsprodukte bzw. –systeme konnte durch die Kenntnis der technischen Eigenschaften der ausgewählten Holzprodukte leichter vorgenommen werden.

Des Weiteren stellt die technische Spezifikation der Vergleichssysteme sicher, dass die ausgewählten Produkte und Systeme die jeweiligen charakteristischen Funktionen (wie z.B. Tragfähigkeit, Wärmedämmung, Brandschutz, etc.) gleichermaßen erfüllen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um auf Basis der Methodik der Ökobilanzierung unterschiedliche Produkte hinsichtlich ihrer Umweltleistungen überhaupt miteinander vergleichen zu können.

In der Anwendung werden die verschiedenen Materialien selten in ihrer Reinform verwendet; vielmehr kommen sie – man denke nur an die verschiedenen Bauteile im Baubereich – in den unterschiedlichsten Kombinationen zum Einsatz. Dies liegt daran, dass oftmals nicht nur eine bestimmte Funktion erfüllt, sondern gleich ein ganzes Bündel verschiedenster Erwartungen bedient werden muss, dem man erst durch einen geeigneten Material-Mix gerecht wird. Natürlich gelten für die meisten Systeme, die in dieser Studie beschriebenen werden, dass auch geringe Änderungen bei den verwendeten Materialmengen Auswirkungen auf die

Ergebnisse der Ökobilanz haben können. Ziel dieser Studie war jedoch nicht die mögliche Optimierung der Produkte hinsichtlich ihrer Ökobilanzergebnisse (z.B. durch eine Erhöhung des Holzanteils in einem bestimmten Produkt), sondern die Analyse des ökologischen Potentials, welches durch den vermehrten Einsatz von marktgängigen Holzprodukten ausgeschöpft werden kann. In dieser Hinsicht soll die technische Beschreibung sicherstellen, dass die ausgesuchten Produktsysteme auch so charakterisiert werden, wie sie in der Praxis tatsächlich angewandt werden.

Je komplexer die beschriebenen Systeme sind, desto größer ist natürlich auch die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der verwendeten Materialien und umso mehr Funktionen müssen in der Regel erfüllt werden. Häufig ziehen unterschiedliche Funktionen sogar die Notwendigkeit einer sich eigentlich widersprechenden Ausgestaltung der Systeme nach sich. Betrachtet man z.B. eine Wand, so erfordert ein guter Schallschutz die Verwendung möglichst massiger Bauteile, während der Einsatz von Materialien mit geringer Dichte ihre Wärmedämmung verbessert. Die Ausgestaltung der jeweiligen Systeme ist also immer mit Vor- und Nachteilen verbunden und hängt stark von den Nutzungspräferenzen ab, weshalb es schwierig ist, allgemeingültige Werte anzugeben. Um trotzdem zu Aussagen über die ökologische Güte zu kommen, wurde versucht, sich auf wesentliche Merkmale und Funktionen zu konzentrieren.

Um dennoch möglichst transparent zu sein, wurden die Vor- und Nachteile der ausgewählten Holzprodukte und ihrer Substitute in den jeweiligen Unterkapiteln gegenübergestellt und beschrieben.

Zusammengefasst lässt sich die vorgenommene technische Charakterisierung also in folgende Schritte untergliedern, die nacheinander für die ausgesuchten Holzprodukte und ihre Vergleichssysteme abgearbeitet wurden:

1) Technische Spezifikation, einschließlich Erstellung der Materiallisten

2) Datenerhebung

3) Schwächen-Stärken-Analyse der ausgewählten Produkte und ihrer Substitute.

Im Rahmen des ÖkoPot-Projektes werden ökologische Vergleiche auf sehr hoher Aggregationsstufe durchgeführt, um eine ökologische Potenzialabschätzung zu ermöglichen. Hierfür werden die von Standardprodukten/Bauteilen ausgehenden Umweltwirkungen mit Marktzahlen multipliziert. Es ist offensichtlich, dass bei der Vielzahl der möglichen Varianten die ökologischen Aspekte nur eine untergeordnete Rolle spielen können. Die Entscheidung für oder

gegen eine Materialvariante oder innerhalb einer Materialvariante für technische Variante hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab.

Um zumindest eine grobe Einsicht in die Einflussfaktoren zu ermöglichen wurde, für jede Produktgruppe eine Schwächen/Stärken-Analyse durchgeführt. Die hier gemachten Aussagen treffen nicht in jedem einzelnen Fall zu, sondern beleuchten, warum Planer, Bauherren oder Verbraucher sich im Einzelfall für oder gegen eine Variante entscheiden können.

5.2.1 Die Innenwände

Die Innenwand in Holzständerbauweise für Wohngebäude wurde als System ausgewählt, da hier hauptsächlich Schnittholz verwendet wird, welches einen sehr hohen Marktanteil besitzt. Typischerweise treten für eine Innenwand aus Holzständern hauptsächlich die Massivbauweise und Konstruktionen mit Eisenblechen als Substitute in Erscheinung. Während die Metall- und die Holzständerwand ebenso wie die leichte Gasbetonwand wegen ihres geringen Eigengewichtes sowohl im Neubau als auch in der Modernisierung von Häusern zur Anwendung kommen, wird die massive Kalksandsteinwand (KS-Wand) aufgrund der hohen Eigenlast überwiegend im Neubau verwendet.

Innenwände haben in erster Linie die Funktion der Raumtrennung zu erfüllen. Weiterhin sollte die Trennwand in der Lage sein, Geräusche zu dämmen und möglichst nicht in den Nachbarraum zu übertragen. Somit haben Trennwände neben der Raumtrennfunktion auch die Aufgabe der Schalldämmfunktion zu übernehmen. In Einfamilienhäusern verzichtet das Bauaufsichtsrecht jedoch darauf Anforderungen zum Mindestschallschutz festzulegen /100/. Daher spielt die Schalldämmung eher eine untergeordnete Rolle; es gibt kein Regelwerk, welches Mindestschalldämmwerte enthält, die in Einfamilienhäusern nicht unterschritten werden dürfen. Im Beiblatt 2 zu DIN 4109 finden sich lediglich Richtwerte.

Als funktionelle Einheit für die Innenwandsysteme wurde in dieser Studie neben der Funktion der Raumteilung (Wandfläche: A = 5,0 x 2,50 – 0,875 x 2,0 = 10,75 m²) auch die Schalldämmung mit einem bewertetem Schalldämmmaß von $R'_{w,R}$ = 38 dB (Mindestwert) gewählt. Während die Holz- und Metallständerwand, sowie die Gasbetonwand in ihrer Dimensionierung auf vergleichbare Werte kommen, liegt das Schalldämmmaß der Kalksandsteinwand aufgrund der massiven Kalksandsteine allerdings bei $R'_{w,R}$ = 45 dB. Da die Abmaße der Kalksandsteine aber nicht mehr verringert werden können und die Steine so auch in der Praxis verwendet werden, wird die Übererfüllung der Mindestanforderung der KS-Wand bei der Funktion der Schalldämmung in Kauf genommen. Des Weiteren verzichtet die nachfolgende Beschreibung der verschiedenen Innenwandtypen auf Bestandteile, die für alle Systeme gleich variabel gestaltbar sind.

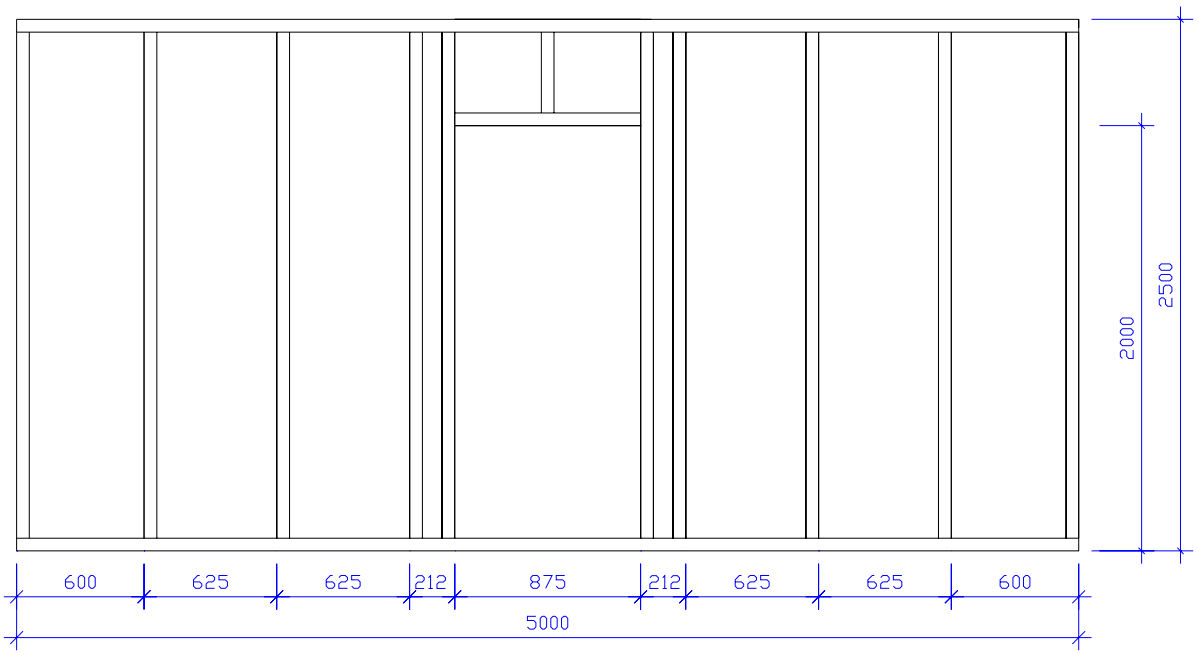
An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei der Betrachtung der beiden Systeme „Innenwand“ und „Außenwand“ der Energieverbrauch eines Hauses (wie z.B. Heizenergie) über die Lebensdauer nicht in die Betrachtung ein fließt, da von vergleichbarem U-Wert bei Außenwänden ausgegangen wird. Deshalb werden auch die geringen Unterschiede, die durch die Wärmekapazität verursacht werden, nicht berücksichtigt.

5.2.1.1 Holzständerwand

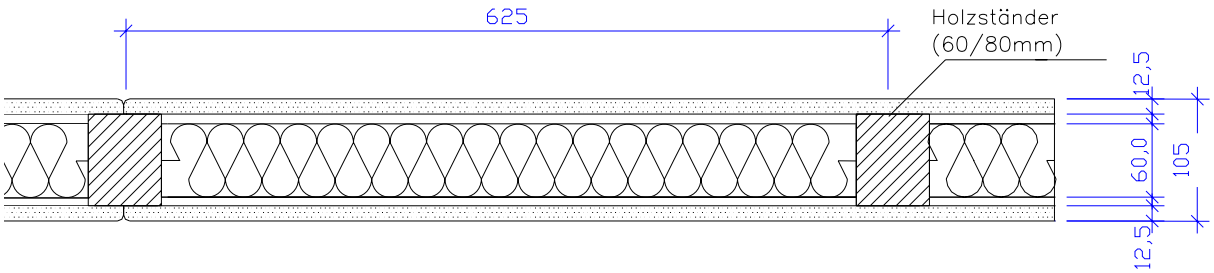
Als nicht tragende Innenwand besteht die Holzständerwand aus einem Skelett aus Konstruktionsvollholz (KV-Holz) und einer beidseitigen Beplankung aus Gipskartonplatten. Sie wird im Trockenbauverfahren hergestellt. Die vertikalen Ständer, wie auch Rähm und Schwelle haben die gleichen Querschnittsabmessungen; in unserem Falle 60 x 80 mm. Bei vorgefertigten Wänden in Holzrahmenbauweise erfolgt die Verbindung der Holzbauteile (Ständer, Rähm, Schwelle) durch lange Nägel (130 mm) oder gewellte Bleche, die mit Luftdruck eingetrieben werden. Beim Einbau von Holzrahmenwänden in Bestandesbauten werden die Hölzer mit Stahlwinkeln und Schrauben zusammengefügt. Vor dem Einbau wird aus Schallschutzgründen zwischen Rähm und Decke bzw. Schwelle und Boden eine Schaumeinlage angebracht. Die Achsabstände der Ständer betragen wie auch bei der Metallständerwand 625 mm; dies entspricht der halben Breite einer Gipskartonplatte. Bei der Errichtung des Wandsystems beginnt man mit dem Zusammenbau der Hölzer zu einem Tragskelett. Anschließend wird das Holzskelett auf einer Seite mit Gipskartonplatten beplankt. Danach erfolgen das Einbringen der Dämmung und schließlich das Anbringen der Gipsplatten auf der anderen Seite. Ihre Stabilität und Steifigkeit (Scheibenwirkung) erhält die Konstruktion erst nach der Beplankung. Zu guter Letzt werden die Plattenfugen mit Spachtelmasse gefüllt, um eine glatte und tapezierfähige Fläche zu erhalten.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



Spezifische Daten

Bewertetes Schalldämmmaß: $R'_{w,R}$ = 38 dB (Schneider, K.-J., 2001 / DIN 4109), Feuerwiderstandsklasse: F30-B /94/

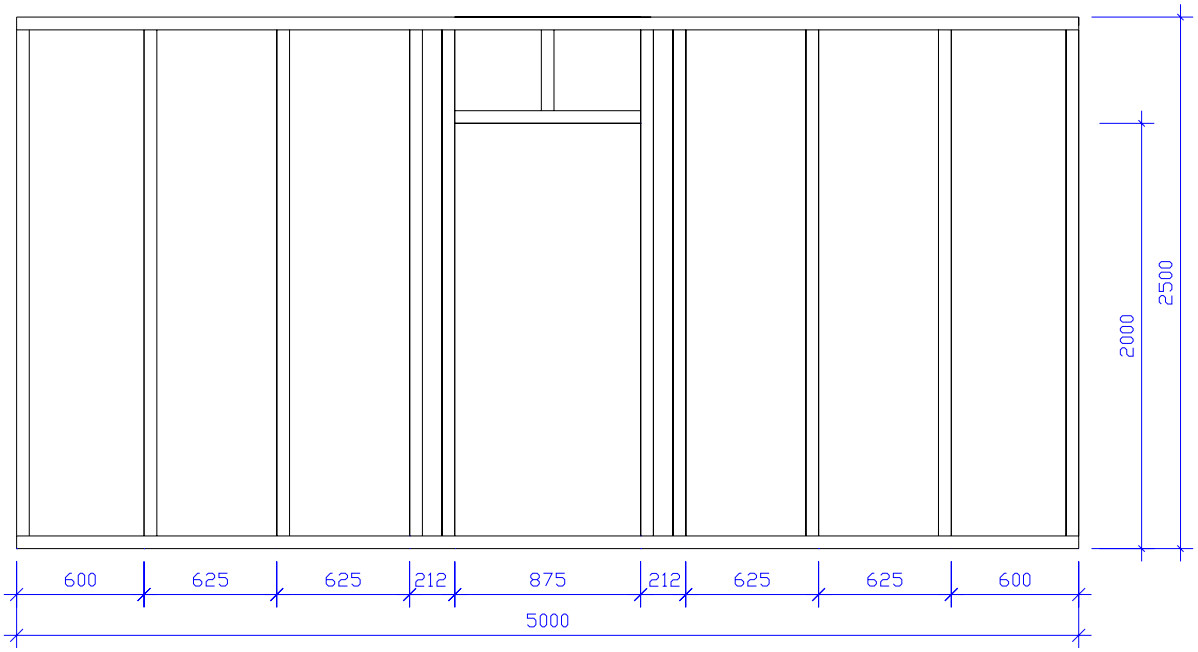
5.2.1.2 Metallständerwand

Die Metallständerwand setzt sich aus einem inneren Tragskelett aus Blechprofilen und der äußeren beiderseitigen Beplankung aus Gipskartonplatten zusammen. Auch diese im Trockenbauverfahren hergestellte Innenwandkonstruktion ist in unserem Fall nicht tragend und hat nur raumtrennende Funktion. Die vertikalen Ständer des Skeletts bestehen aus CW-Profilen und die horizontalen Bauteile, wie Schwelle und Rähm, bestehen aus UW-Profilen. Die CW- und UW- Profile sind passgenau aufeinander abgestimmt, was die Errichtung relativ einfach gestaltet. Hierbei wird zunächst eine Schaumlage auf den bestehenden Fußboden und die Decke geklebt, um eine Schallübertragung von der Innenwand auf die übrigen Bauteile zu vermeiden. Nachdem die UW-Schienen an Boden bzw. Decke befestigt wurden, werden die CW-Profile mit einer Blechschere zugeschnitten und einfach in die UW-Profile hineingesteckt. Im Bereich der Türöffnungen werden aufgrund eventuell auftretender dynamischer Belastungen (Öffnen und Schließen der Tür) meist verstärkte Profile eingesetzt. Der

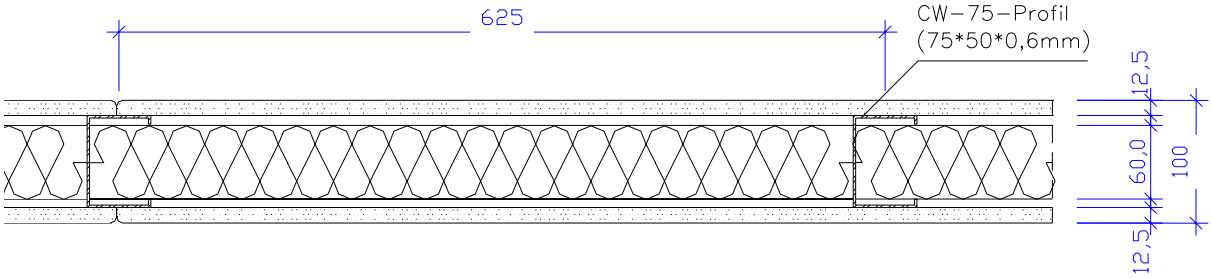
Achsabstand der CW-Profile beträgt, ebenso wie bei der Holzständerwand, im Normalfall 625 mm. Durch die Beplankung mit Gipskartonplatten auf beiden Seiten erhält die Metallständerwand ihre eigentliche Festigkeit und Steifheit. Zur besseren Schallisolierung sollte zudem eine Dämmung in die Gefache zwischen den CW-Profilen eingebracht werden. Abschließend werden die einzelnen Plattenfugen mit Spachtelmasse verfugt, um eine ebene Fläche zu erhalten. Nach dem Abschleifen der letzten Unebenheiten kann die Wand nun tapeziert oder gestrichen werden.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



Spezifische Daten

Bewertetes Schalldämmmaß: $R'_{w,R}$ = 38 dB, Feuerwiderstandsklasse: F30-AB (Rigips GmbH, 2007 / DIN 4102-4)

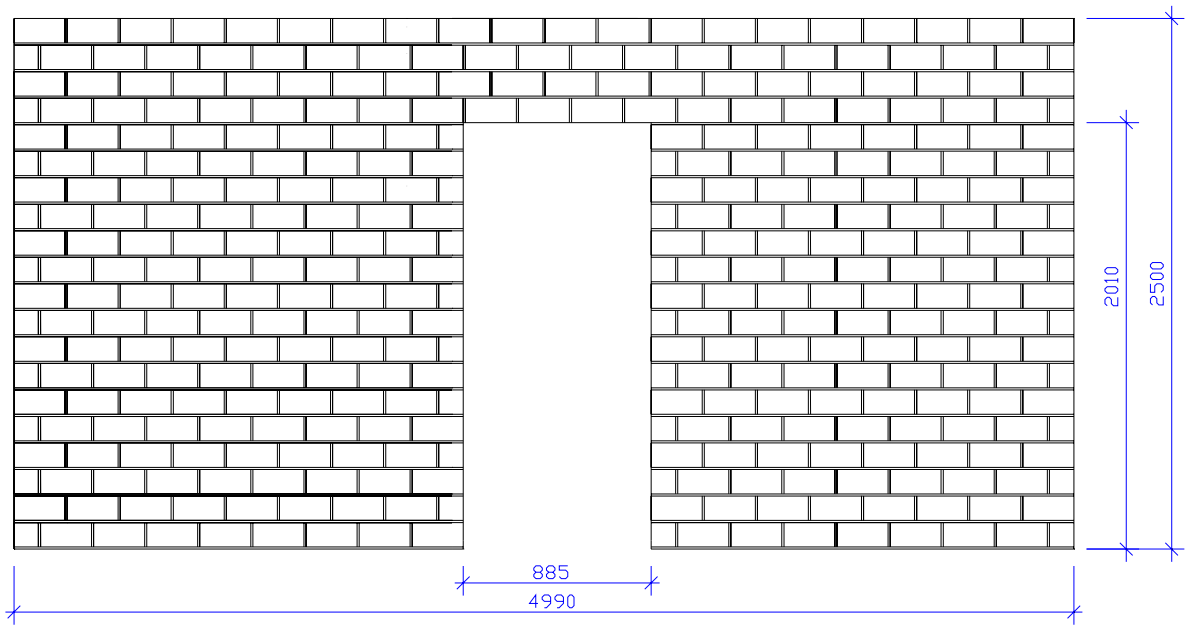
5.2.1.3 Kalksandsteinwand (KS-Stein)

Im Gegensatz zu der Holz- oder Metallständerwand wird die Massivwand aus Kalksandsteinen im Nassbauverfahren hergestellt und kann aufgrund der hohen Druckfestigkeit der ver-

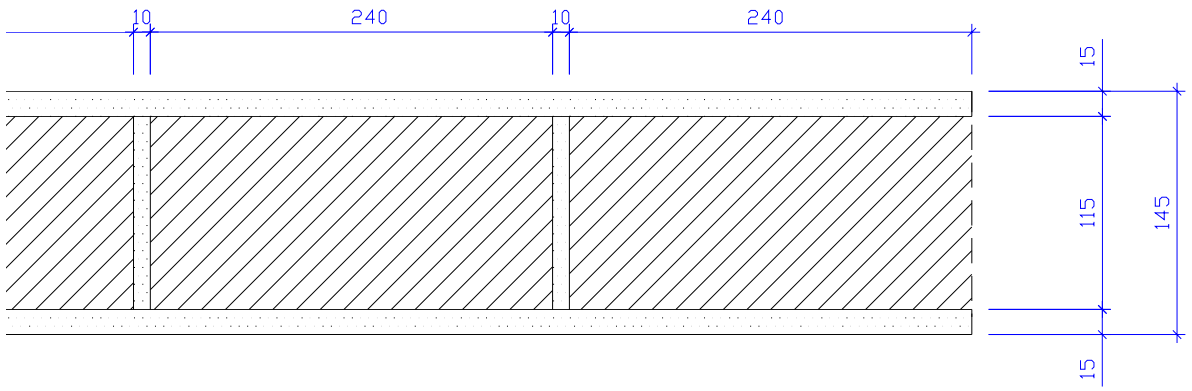
wendeten KS-Steine auch als tragende Innenwand dienen. In unserem Fall soll die Wandstärke jedoch nur 115 mm (ohne Putz) betragen; somit hat diese Innenwand die Funktion einer nicht tragenden Trennwand und die Vergleichbarkeit zwischen den Wandtypen bleibt diesbezüglich gewährleistet. Allerdings übererfüllt auch diese „abgespeckte“ Variante der KS-Wand, wie bereits zuvor erwähnt, die für diese Studie festgelegte Mindestanforderung an die Schalldämmung. Die Dimensionierung der Wand entspricht in dieser Form aber der marktgängigen Praxis und eine weitere Verringerung der Abmaße der Steine zur Verringerung der Schalldämmung ist nicht möglich. Die KS-Wand besteht aus einem Gefüge aus Kalksandsteinen (240x115x113 mm), die in Kalkzementmörtel verlegt und mit einer beidseitigen Kalkgipsverputzung versehen wurden, die zweilagig aufgebracht werden muss. Die Vermauerung der Kalksandsteine erfolgt so, dass die Stoßfugen um mindestens ein Viertel der Steinlänge versetzt sind, um eine ausreichende Verzahnung zu gewährleisten. Außerdem sollten auf keinen Fall Kreuzfugen entstehen und herausquellender Mörtel aus den vertikalen Stoß- und den horizontalen Lagerfugen muss mit der Kelle entfernt werden. Nach Errichtung der Mauer wird eine so genannte Haftbrücke aus Zementschlamm aufgebracht, um die Haftung zwischen den schwach saugenden Kalksandsteinen und dem gipshaltigen Putz zu verbessern, welcher abschließend aufgebracht wird.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



Spezifische Daten

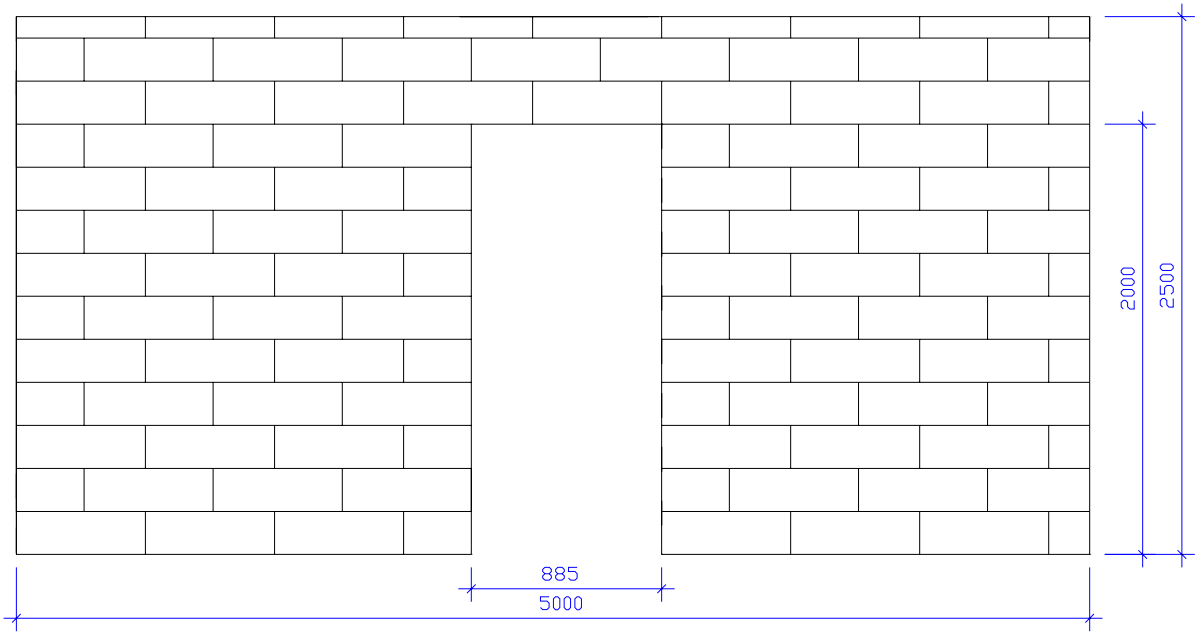
Bewertetes Schalldämmmaß: $R'_{w,R}$ = 45 dB, Feuerwiderstandsklasse: F90-A (DIN 4102-4 und DIN 4109) (/100/ und /17/)

5.2.1.4 Porenbetonwand

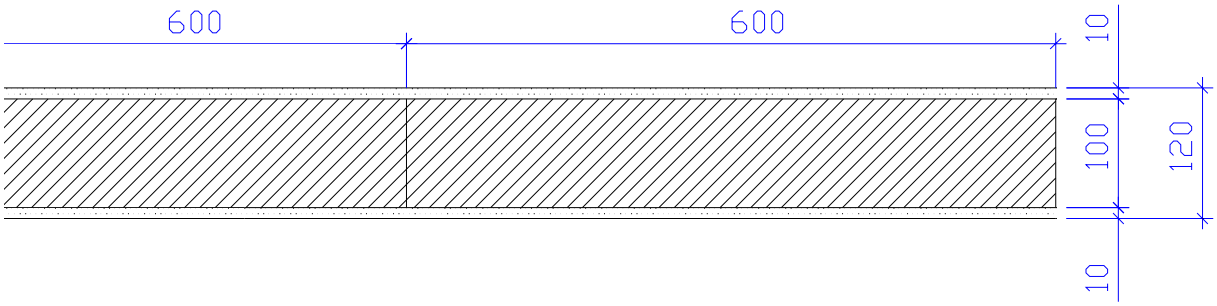
Die nicht tragende Porenbetoninnenwand besteht aus einem Gefüge von großformatigen Gasbetonsteinen (600x100x200 mm³), die mit einem Dünnbettmörtel in einer 1–2 mm dicken Lagerfuge verbunden sind. Sie wird wie die KS-Wand im Nassbauverfahren hergestellt, so dass auch hier beim Mauern darauf geachtet werden muss, dass die Stoßfugen der einzelnen Lagen versetzt angeordnet werden, um eine ausreichende Verzahnung zu gewährleisten. Nach dem Vorspritzen der Wand mit Zementschlämmen als Haftbrücke wird ein ca. 10mm dicker Kalkgipsputz auf beiden Seiten aufgetragen, um auch hier eine glatte und tapezierfähige Oberfläche zu erhalten.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



Spezifische Daten

Bewertetes Schalldämmmaß: $R'_{w,R}$ = 37 dB (/100/, Feuerwiderstandsklasse: F90-A (DIN 4102-4))

5.2.1.5 Schwächen- und Stärkenanalyse

Kriterium	Abk.	Beschreibung
Brandschutz /100/	H:	Verglichen mit den massiven Wandaufbauten ist die Brandschutzqualität einer Holzständerwand ist aufgrund des Traggerüstes aus Holz geringer. Die Materialstärke der hier verwendeten Ständer (60x80 mm) ist in der Regel nicht hoch genug, um im Brandfall eine schützende Kohlenstoffschicht um den Ständer zu entwickeln, die den Kern schützen und die Tragfähigkeit über längere Zeiträume aufrechterhalten würde. Die mit Gipsplatten beplankte Holzständerwand erreicht nur F30.
	M:	Das Abbrandverhalten von Metallständerwänden ist wegen der fehlenden Brennbarkeit der Metallständer zwar günstiger als das der Wände mit Holzständern. Sie erreicht in der hier gewählten Ausführung dennoch nur F30.
	KS:	Aufgrund der schweren nicht brennbaren Kalksandsteine ist der Brandschutz im Vergleich zu den anderen Systemen am besten. Die Gefahr einer Brandweiterleitung ist durch das verwendete Material ebenso nicht gegeben. Durch die hohen Temperaturen können allerdings Spannungen hervorgerufen werden, die Risse in dem Gefüge verursachen, die Wand instabil werden lassen und so zum Einsturz der Wand führen können. F90 ist problemlos zu erreichen.
	GS:	Die verwendeten Gasbetonsteine sind mineralisch und daher nicht brennbar. Wie auch bei der vorangegangenen Innenwandkonstruktion können im Brandfall Spannungen entstehen, die die Wand instabil werden lassen können und ein Einsturz somit nicht auszuschließen ist. Auch hier ist F90 ist problemlos zu erreichen.
Ebene Fläche	H:	Eine ebene Fläche ist relativ leicht herzustellen; allerdings können bei mit zu hoher Holzfeuchte eingebauten Ständern Verdrehungen, Verwerfungen oder Krümmungen auftreten, die Einfluss auf die Ebenheit der Wand ausüben können.
	M:	Aufgrund der bei diesem Wandtyp verwendeten formtreuen CW- und UW-Profile ist die Gestaltung einer ebenen Fläche keinerlei Problem.
	KS:	Die Errichtung einer ebenen lotrechten Wand, sowie die Herstellung von passgenauen Öffnungen bedürfen des Knowhows eines Spezialisten. Da die Steine aufgrund des hohen spezifischen Gewichtes relativ kleinformatig sind, ist es für den Laien schwierig die Anforderungen an die Errichtung solch eines Wandtyps zu erfüllen. Zur Herstellung eines tapezierfähigen geraden Untergrundes ist zudem eine beiderseitige Putzschicht notwendig.

GS: Ebenso wie bei dem vorangegangenen Innenwandtyp erfordert die Herstellung einer ebenen Wandfläche, bei der die Gasbetonsteine in die Flucht gebracht werden müssen, ein größeres handwerkliches Geschick als bei den beiden ersten Wandversionen. Zur Herstellung eines tapezierfähigen Untergrundes ist auch hier eine beidseitige Putzschicht notwendig.

Gewicht /100/

H: Das Gewicht einer Holzständerwand ist gering.

M: Das Gewicht einer Metallständerwand liegt in der gleichen Größenordnung wie das der Holzständerwand.

KS: Das Gewicht der Kalksandsteinwand ist im Vergleich zu den Trockenbauvarianten extrem hoch, was beim Einbau zu Problemen mit der Statik führen kann. (s. Umgestaltung)

GS: Das Gewicht der Gasbetonwand liegt in etwa zwischen dem der Holzständerwand und der KS-Wand.

Instandhaltung

H: Die Instandhaltungskosten und der Wartungsaufwand sind gering. Im Fall eines Wasserschadens besteht allerdings die Möglichkeit, dass die Beplankung sowie die Dämmung nicht mehr zu gebrauchen sind und vollständig erneuert werden müssen.

M: Wie auch bei den anderen Innenwandvarianten in Leichtbauweise ist die Instandhaltung mit keinerlei nennenswertem Aufwand verbunden. Allerdings müssen bei einem Wasserschaden die Beplankung und die Dämmung eventuell vollständig erneuert werden.

KS: Die Instandhaltungskosten und der Wartungsaufwand sind auch hier gering. Nach einem aufgetretenen Wasserschaden lässt man die Wand einfach austrocknen.

GS: Die Instandhaltung gestaltet sich ebenso wie bei dem vorangegangenen Innenwandtyp unkompliziert und ohne Aufwand.

Lastaufnahme

H: Die Lastaufnahme ist aufgrund der leichten Baumaterialien beschränkt. Allerdings können an den Stellen, an denen sich die Ständer befinden, auch etwas schwerere Gegenstände (z.B. leichte Hängeschränke) angebracht werden. Sollen schwere Lasten von der Wand aufgenommen werden, kann dies durch den Einbau entsprechend starker Ständer berücksichtigt werden.

M: Die Lastaufnahme ist aufgrund der leichten Metallständer sehr beschränkt. Bei schwereren Gegenständen (z.B. Hängeschränke) müssen die jeweiligen Ständer an der Wand verstärkt oder ausgetauscht werden.

KS: Dieser Innenwandtyp kann hohe Lasten aufnehmen. Das Anbringen von schweren Gegenständen sollte bei fachgerechter Errich-

tung der Wand kein Problem darstellen.

GS: Die Gasbetonwand kann nur beschränkt Lasten aufnehmen; ebenso wie bei der KS-Wand handelt es sich bei der Gasbetonwand – im Gegensatz zu der Metall- und Holzständerwand – um ein homogenes Bauteil auf dessen Fläche überall die gleichen Eigenschaften vorhanden sind. Man muss somit nicht nach Ständern suchen, um höhere Lasten anzubringen.

Materialkosten

H: Die Kosten für die Holzständer im Traggerüst sind niedrig, da die Anforderungen an die Qualität des Materials, sieht man einmal von Geradheit und Holzfeuchte ab, nicht besonders hoch sind.

M: Die Kosten für die CW und UW-Profile liegen in der gleichen Größenordnung wie die der Holzständer. Zum Beplanken müssen allerdings Spezialschrauben mit Bohrkopf verwendet werden, die teurer sind als normale Schnellbauschrauben.

KS: Für Kalksandsteine und Mörtel wiederum sind die Kosten höher als bei den beiden vorherigen Wandtypen.

GS: Die bei dieser Wand verwendeten Gasbetonsteine und der notwendige Dünnbettmörtel verursachen ebenfalls höhere Kosten als die Metall- und Holzständerwand.

Rück- und Umbau

H: Die Umgestaltung der Wand lässt sich relativ leicht bewerkstelligen und hinterlässt kaum Abraum oder Staub.

M: Durch die Abgestimmtheit des Systems lassen sich eine Umgestaltung oder der Rückbau einer Wand dieses Typs leicht und sauber erledigen.

KS: Ein Rück- oder Umbau dieser Wand ist mit erheblichem Aufwand verbunden; sie ist nur sehr mühsam und zeitintensiv zu bewerkstelligen und die Durchführung dieser Maßnahmen erfolgt in der Regel mit schwerem Gerät (Hammer, Pressluft- bzw. Vorschlaghammer). Außerdem kann solch eine Wand im Falle eines Umbaus aufgrund des hohen Flächengewichtes aus statischen Gründen vielfach nicht an jeden beliebigen Platz versetzt werden. Die Umbaumaßnahme hinterlässt des Weiteren in erheblichem Maße Staub und Abraum.

GS:

Der Rück- bzw. Umbau einer Gasbetonwand ist mit höherem Aufwand verbunden als der einer Metall- oder Holzständerkonstruktion. Allerdings muss man, im Vergleich zur KS-Wand, aufgrund des weichen Materials der Gasbetonsteine nicht mit schwerem Gerät anrücken, sondern kann die Wand mit einer Säge in Segmente zerlegen. Auch hier muss von einer erhöhten Staubbelastung ausgegangen und mit Bauschutt gerechnet werden.

Schallschutz /100/

H: Die Holzständerinnenwand weist auf Grund ihrer geringen Masse ein geringes Schalldämmmaß auf. Die Mindestanforderungen lassen sich jedoch problemlos erfüllen. Um den Schallschutz zu erhöhen, werden häufig auch Gipsplatten doppellagig aufgebracht. Die Holzständerwand verhält sich diesbezüglich analog zur Metallständerwand.

M: Für die Metallständerwand gilt das gleiche wie für die Holzständerwand.

KS: Der Schallschutz ist sehr gut, da das Bauteil aufgrund der verwendeten Kalksandsteine eine hohe Flächenmasse besitzt und den Luftschall somit sehr gut dämmt.

GS: Der Schallschutz einer Gasbetonwand liegt aufgrund der geringen Dichte des verwendeten Materials im gleichen Bereich wie der einer Metall- bzw. Holzständerwand.

Verwertung

H: Nach dem Gebrauch können die Holzständer sowohl stofflich weiterverwendet als auch energetisch verwertet werden. Im zweiten Fall werden hierdurch zumeist fossile Brennstoffe substituiert, und somit ein Beitrag zur Einsparung von klimarelevanten Emissionen geleistet (s. auch Kap. 5). Die verwendeten Dämmmaterialien, sowie die Gipsplatten und Dichtungsbänder müssen hingegen entsorgt werden.

M: Bei diesem Wandtyp können die Metallständer als Metallschrott recycelt werden, während alle anderen verwendeten Materialien (Dämmung, Gipsplatten und Dichtungsband) entsorgt werden müssen.

KS: Die KS-Steine können vollständig als mineralisches Füllmaterial für Fundamente oder für Unterböden für Betonplatten weiterverwendet werden.

GS: Auch die Gasbetonsteine können vollständig als mineralisches Füllmaterial verwertet werden.

Zeitaufwand für Einbau

H: Der Zeitaufwand für die Errichtung einer Holzständerwand ist gering aber etwas höher als der für eine Metallständerwand, weil man die Holzständer nicht wie die Profile einfach ineinander stecken kann, sondern Verbindungsmittel notwendig sind (Nägel oder evtl. Winkel und Schrauben). Bevor man mit der Beplankung beginnen kann, müssen kraftschlüssige Verbindungen zwischen Ständer und Rähm bzw. Schwelle hergestellt werden. Da es sich um einen Trockenbau handelt, kann sofort nach der Fertigstellung und einer geringen Wartezeit für das Austrocknen der Verspachtelung der Gipsplatten mit dem Tapezieren begonnen werden.

M: Ebenso wie bei der Holzständerwand handelt es sich bei der Me-

tallständerwand um eine Trockenbaukonstruktion, so dass nur eine geringe Wartezeit für das Trocknen der Verspachtelung der Gipsplatten anfällt. Anschließend kann sofort mit dem Tapezieren begonnen werden. Der Zeitaufwand ist insgesamt sehr gering, da die CW und UW-Profile alle aufeinander abgestimmt sind, sich die Dämmung leicht einbringen und die Platten ohne Probleme anbringen lassen.

KS: Im Vergleich zu den anderen Konstruktionen ist der Zeitaufwand für den Einbau hoch. Da es sich bei der KS-Wand um einen Nassbau handelt, muss bis zum Tapezieren zusätzlich eine Austrocknungszeit berücksichtigt werden.

GS Der Zeitaufwand für den Einbau ist im Vergleich zu den Metall- und Holzständerwänden groß, jedoch geringer als bei einer Kalksandsteinwand. Aufgrund größerer Steinformate und dünnen Fugen ist die Austrocknungszeit kürzer als bei der KS-Wand.

5.2.2 Außenwände

Die hier besprochenen Außenwandkonstruktionen finden hauptsächlich beim Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern Anwendung. Außenwände haben eine Vielzahl von Anforderungen zu erfüllen. Grundsätzlich bilden sie die Außenhülle des Hauses und grenzen somit die Außenluft von der Innenluft ab. Sie dienen als Schutz gegen die Witterung und sollen ein gleich bleibend angenehmes und gesundes Wohnklima garantieren, um einerseits den Menschen vor Erkrankungen zu schützen und andererseits eine Zerstörung der Bausubstanz zu verhindern. Darüber hinaus sollen die Außenwände dazu beitragen das Wohnklima mit möglichst wenig Heizenergie konstant zu halten, um Ressourcen zu schonen und den Ausstoß an CO_2 zu verringern.

Folgende Funktionen lassen sich unterscheiden:

1) statische Funktion
   - Aufnahme und Abtragung der Vertikallasten in das Fundament (Dachlasten, Deckenlasten, etc.)
   - Aufnahme und Weiterleitung der Horizontallasten über die Deckenscheiben in das Fundament (Windlasten)

2) bauphysikalische Funktionen
   - Wärmeschutz
   - Feuchteschutz
   - Schallschutz

Um sowohl den statischen als auch den bauphysikalischen Funktionen gerecht zu werden, sind bei Außenwandkonstruktionen i.d.R. mehrere Schichten erforderlich, wobei jede einzelne Schicht eine bestimmte Aufgabe erfüllt. Man kann, wie bei den Innenwänden auch, hier wieder die unterschiedlichen Bauweisen des Holzrahmen-, Holzblock- und Massivbaus unterscheiden. Zudem gibt es eine Unmenge an Variationsmöglichkeiten, da die verschiedenen Schichten der Wände auch hinsichtlich ihrer Bauweisen untereinander kombinierbar sind.

Bei den ausgesuchten Beispielen handelt es sich um eine Auswahl typischer Wandkonstruktionsmöglichkeiten wie sie am Markt Verwendung finden. Bei den in der Praxis üblichen Konstruktionen von Außenwänden gibt es keine Variante, die einer anderen in allen Funktionen gleicht. Während sich allerdings die Anforderungen an die Statik und an den Feuchte- und Schallschutz hauptsächlich auf den Schutz der Baukonstruktion bzw. das Wohlbefinden des Menschen beschränken, hat der Wärmeschutz eine viel weiter reichende Bedeutung. So lassen sich durch einen verbesserten Wärmeschutz der Heizenergieverbrauch und somit auch der Ausstoß von klimawirksamem CO_2 verringern. Daher wurde neben der räumlichen Abmessung der Wände der U-Wert als zentrale funktionelle Einheit für den Vergleich der Konstruktionen gewählt.

Angenommen wird dabei ein U-Wert von kleiner 0,3 W/m²K (ohne Installationsebene) bzw. 0,19 W/m²K (mit Installationsebene). An dieser Stelle sei erwähnt, dass bei der Betrachtung der beiden Systeme „Innenwand“ und „Außenwand“ der Energieverbrauch eines Hauses (wie z.B. Heizenergie) über die Lebensdauer nicht in die Betrachtung ein fließt, da von vergleichbarem U-Wert bei Außenwänden ausgegangen wird. Deshalb werden auch die geringen Unterschiede, die durch die Wärmekapazität verursacht werden, nicht berücksichtigt.

5.2.2.1 Holzrahmen-Außenwand A

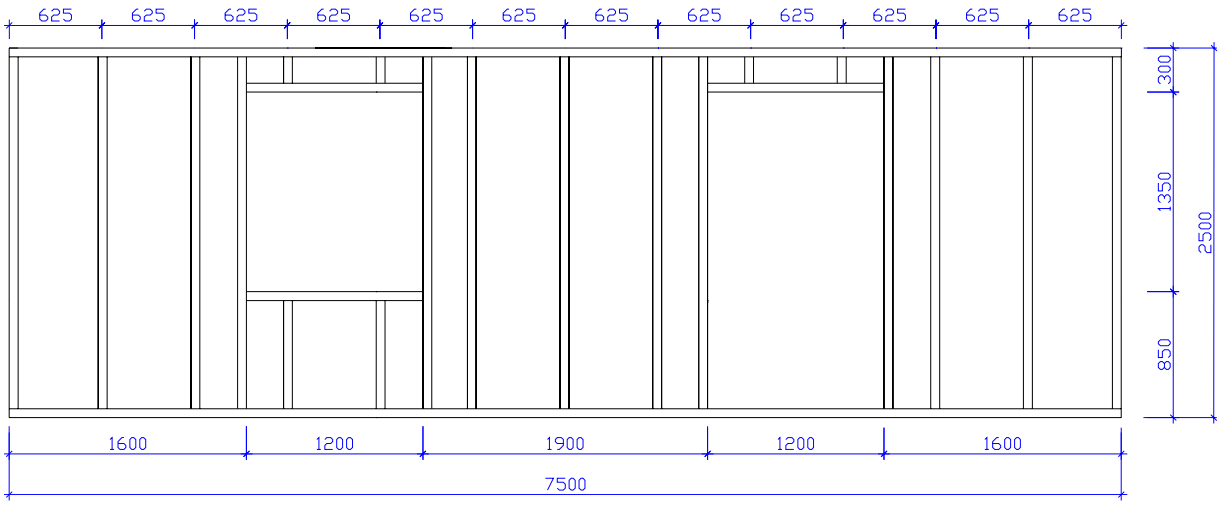
Die tragende Schale der Holzrahmenaußenwand besteht aus einem inneren Tragrahmen und einer beidseitigen Beplankung aus Holzwerkstoffplatten. Die Bauteile des Tragrahmens, Ständer, Riegel, Rähm und Schwelle aus Konstruktionsvollholz (KVH), besitzen alle die gleichen Querschnitte (60 x 160 mm). Der Tragrahmen hat die Aufgabe, die vertikalen Lasten aus Dach und Decke aufzunehmen und sicher in das Fundament weiterzuleiten. Die anfallenden Lasten werden zunächst auf das Rähm übertragen und von dort aus gleichmäßig auf die Ständer verteilt. Von dort werden sie in die Schwelle geleitet, welche die Punktlasten verteilt und in das Fundament ableitet. Die Querriegel dienen als Sturz- und Brüstungsriegel für die Fenster- bzw. Türöffnung. Die aus den Sturzriegeln anfallenden Lasten werden an die benachbarten Ständer weitergegeben und lotrecht weitergeleitet. Die innere Beplankung der

Wand besteht aus 12 mm OSB-Platten und die äußere Beplankung aus 16 mm DWD-Platten. Sie haben in statischer Hinsicht die Funktion der Aussteifung des Tragrahmens und dienen der Aufnahme und Weiterleitung der horizontalen Lasten (Winddruck und -sog) in das Fundament. Durch die beidseitige Beplankung bildet sich eine unverschiebliche Wandscheibe aus. Die Gefache zwischen den Ständern werden mit Mineralwolle (160 mm) gefüllt. Auf der Innenseite der Wand befindet sich eine Lage Gipsplatten (12,5 mm) und als Witterungsschutz dient eine außenseitig angebrachte Stülpschalung aus Lärchenbrettern. Die gesamte Dicke der Wandkonstruktion beträgt 245 mm. Die Holzrahmenaußenwand wird im Trockenbauverfahren hergestellt, wobei der Aufbau der tragenden Schale werksseitig vorgenommen wird. Die Hölzer des Tragrahmens werden mit Nägeln oder mit speziellen Riffelblechen, welche in die Verbindungsstellen eingetrieben werden, verbunden. Das Eintreiben der Verbindungsmittel geschieht mit Nagelschussgeräten auf einem ebenen Richtboden. Der Achsabstand der Ständer beträgt 625 mm. Anschließend erfolgen die Beplankung der Innenseite, das Einlegen der Dämmung und die äußere Beplankung. Sind alle Wände eines Hauses soweit fertig gestellt, werden die Teile auf die Baustelle transportiert und montiert.

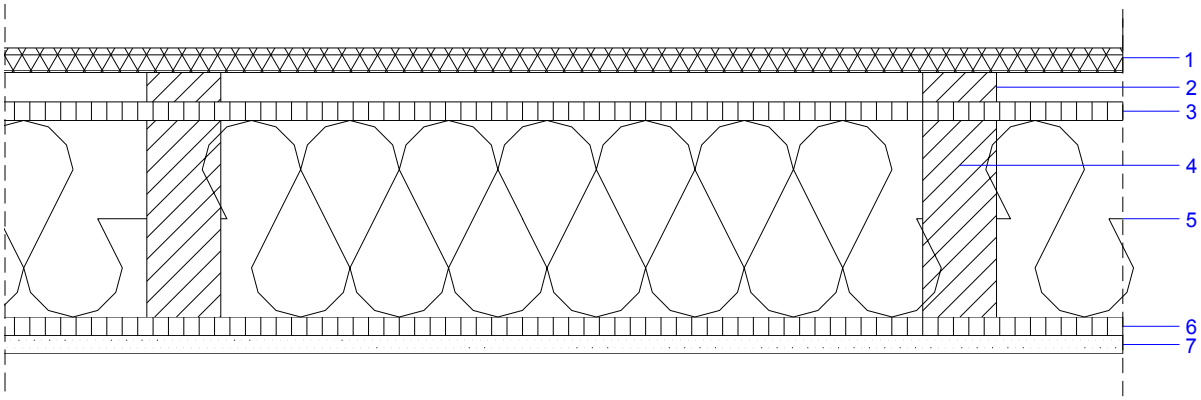
Außenseitig wird eine Unterkonstruktion aus 24 mm Latten vertikal auf die DWD-Platten im Bereich der Ständer aufgenagelt. Auf diese wird eine horizontale Stülpschalung aus Lärchenholz zum Witterungsschutz aufgebracht. Die Luftschicht ist zirkulierend ausgeführt, so dass Feuchte, die durch Schlagregen auf die Rückseite der Bretter gelangen kann, schnell abgeführt wird. Innenseitig wird eine Lage aus Gipskartonplatten auf die OSB-Platten aufgeschraubt und die Fugen mit Gipsmasse verspachtelt, so dass die Wand nun tapezierfertig ist.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



1. Stülpschalung 20 mm
2. Lattung 24 mm
3. DWD – Platte 16 mm
4. KVH – Ständer 160 mm
5. Mineralfaser WLG 040 160 mm
6. OSB – Platte 12 mm
7. GK – Platte 12,5 mm

Spezifische Daten

U – Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]	
Wärmeübergangsw.(α_i)			0,13	
GK – Platte	0,0125	0,21	0,06	
OSB – Platte	0,0120	0,13	0,09	
KVH – Ständer	0,1600	0,13	1,23	
Mineralfaser WLG 040	0,1600	0,04	4,00	
DWD – Platte	0,0160	0,08	0,20	
Wärmeübergangsw.(α_a)			0,04	
		R-Wert Gefach	4,52	
		R-Wert Ständer	1,75	
		U - Wert Gefach	0,22	[W/m²K]
		U - Wert Ständer	0,57	[W/m²K]
		U - Wert	**0,30**	**[W/m²K]**

Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ = 42 dB /14/

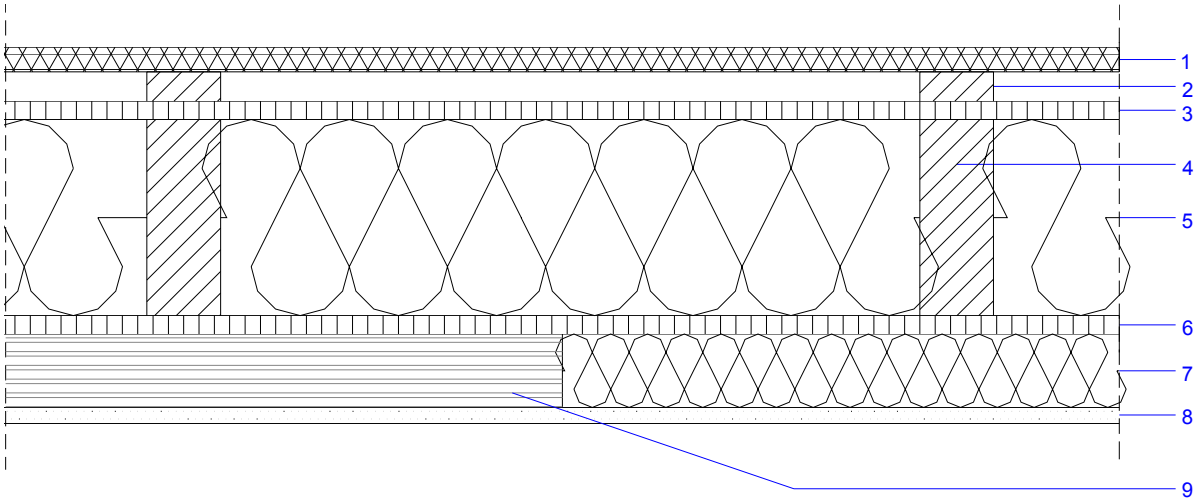
5.2.2.2 Holzrahmen-Außenwand B (mit Installationsebene)

Der Aufbau und die Herstellung dieser Holzrahmenwand unterscheiden sich nur in der zusätzlichen Installationsebene auf der Innenseite der Wandkonstruktion von Holzrahmenwand A. Die Installationsebene dient der Verlegung von Leitungen der technischen Gebäudeausrichtung wie Elektrokabeln oder Heizungsrohren. Auf der Innenbeplankung aus OSB-Platten werden horizontal bzw. vertikal Latten (60 x 40 mm) befestigt, auf die Gipskarton-Platten

aufgeschraubt werden. Durch das Einlegen von Dämmmaterial in die Gefache zwischen den Latten kann man darüber hinaus einen zusätzlichen Wärmeschutz erzielen. Die gesamte Konstruktionsdicke der Wand beträgt 305 mm.

Maße und Aufbau

Querschnitt



1.	Stülpschalung	20 mm	
2.	Lattung	24 mm	
3.	DWD – Platte	16 mm	
4.	KVH – Ständer	160 mm	
5.	Mineralfaser WLG 035	160 mm	
6.	OSB – Platte	12 mm	
7.	Mineralfaser WLG 040	60 mm	
8.	GK – Platte	12,5 mm	
9.	Lattung	60 mm	e = 500mm

Spezifische Daten

U – Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]
Wärmeübergangsw.(α_i)			0,13
Gipsputz	0,0150	0,7	0,02
Poroton	0,3000	0,16	1,88
Mineralfaser WLG 040	0,1200	0,04	3,00
Klinker (ρ=2,0)	0,1150	0,96	0,12
Wärmeübergangsw.(α_a)			0,04
		R-Wert	5,19
		U-Wert	**0,19** **[W/m²K]**

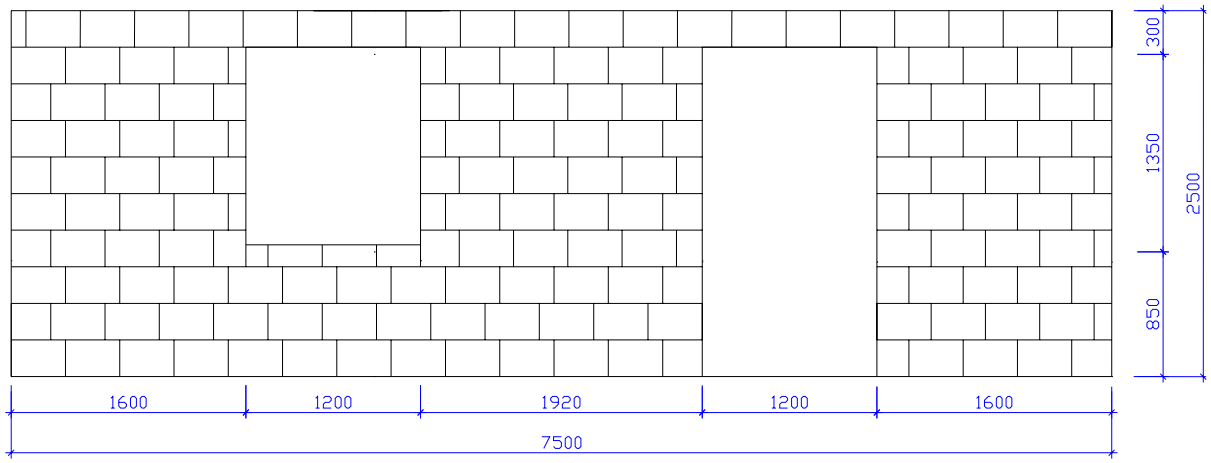
Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ = 45 dB /14/

5.2.2.3 Außenwand aus Hohlziegeln A1 (zweischalig)

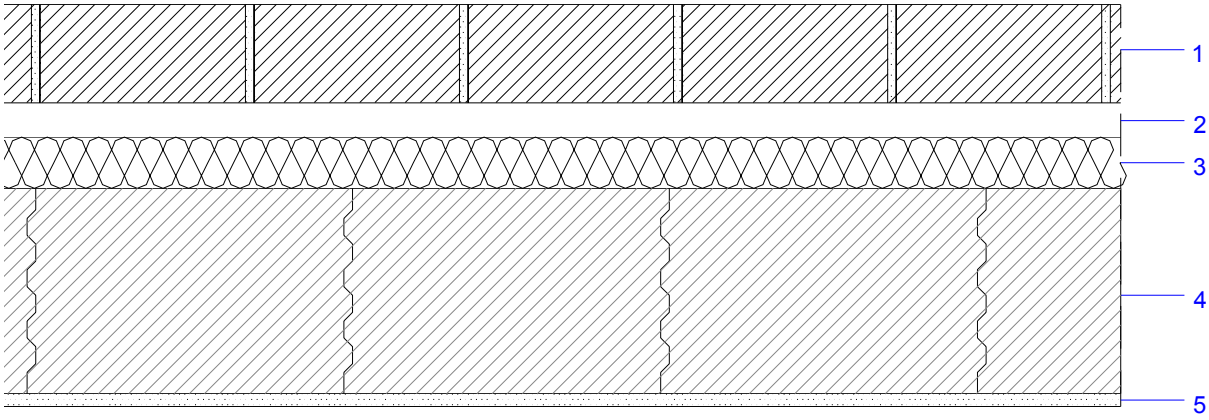
Die Konstruktion aus gemauerten Loch- oder Hohlziegeln besteht aus zwei Wandschalen und wird im Gegensatz zu den Holzrahmenwänden i.d.R. auf der Baustelle erstellt. Die statische Wandschale, oder auch Hintermauerziegelwand, dient zur Aufnahme der Lasten in vertikaler Richtung aus Decke und Dach und in horizontaler Richtung der Aufnahme der Windlasten. Sie besteht aus einem Gefüge aus Hohlziegeln, auch Plan- oder Blockziegel genannt, die mit Dünnbettmörtel (1 - 2 mm Fugen) vermauert sind – wobei nur die Lagerfugen und nicht die Stoßfugen vermörtelt werden. Die Hohlziegel mit den Abmessungen 370 x 240 x 240 mm sind zur Gewichtsverminderung und zur besseren Wärmedämmfähigkeit durchlocht und besitzen an den Stoßenden eine Sägezahnprofilierung. Dadurch werden einerseits eine stabile Verzahnung senkrecht zur Wandscheibenebene erreicht, und andererseits Wärmebrücken, welche durch den Dünnbettmörtel entstehen würden, minimiert. Für die Wärmedämmung sorgt eine mit Ankern an die Hohlziegelwand angebrachte 60 mm dicke Mineralwolle. Die Wetterschale besteht aus hart gebrannten Klinkersteinen, welche in Kalkzementmörtel vermauert sind. Sie dient sowohl dem Witterungsschutz als auch der optischen Gestaltung der Wand. Die äußeren 20 mm der Fugen bestehen aus Zementmörtel. Insgesamt beträgt die Dicke der Wandkonstruktion 470 mm.

Maße und Aufbau

Vorderansicht



Querschnitt



1. Klinker 115 mm
2. Luftschicht 40 mm
3. Mineralfaser WLG 040 60 mm
4. Hohlziegel 240 mm
5. Kalkgipsputz 15 mm

Spezifische Daten /16/

U – Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]
Wärmeübergangsw.(α_i)			0,13
Kalkgipsputz	0,0150	0,7	0,02
Poroton	0,2400	0,18	1,33
Mineralfaser WLG 040	0,0600	0,04	1,50
Luftschicht	0,0400	xxx	0,17
Klinker (ρ=2,0)	0,1150	0,96	0,12
Wärmeübergangsw.(α_a)			0,04
		R-Wert	3,31
		U - Wert	**0,30 [W/m²K]**

Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ = 62 dB

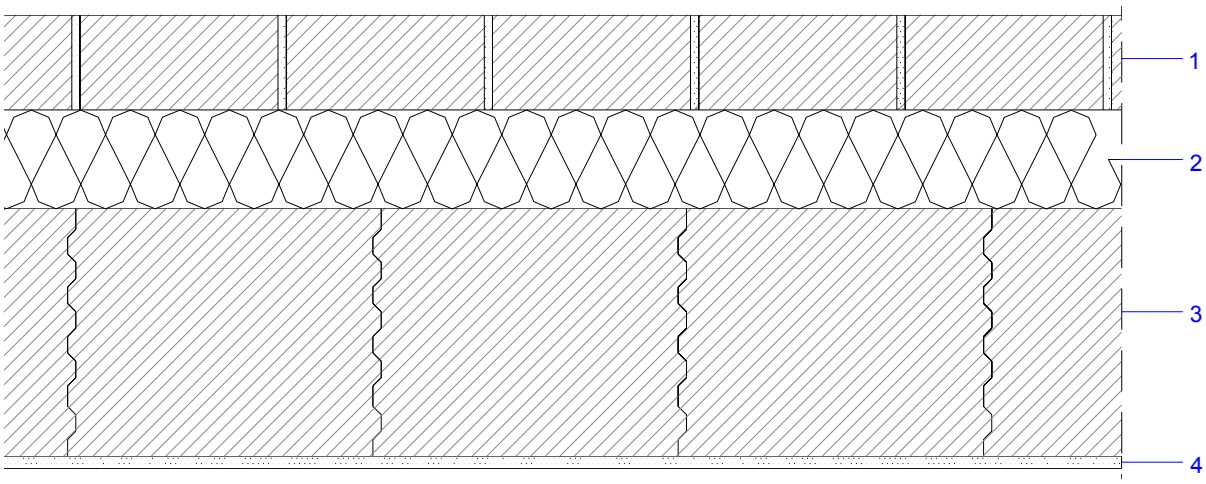
5.2.2.4 Außenwand aus Hohlziegeln A2 (mit Kerndämmung)

Auch diese Außenwandkonstruktion hat einen zweischaligen Aufbau und wird im Nassbauverfahren hergestellt. Die verwendeten Materialien entsprechend denen der oben genannten Konstruktion. Sie unterscheidet sich in der Dicke der verwendeten Hohlziegel (300 statt 240 mm) und der Dämmung (120 mm), um verbesserte Wärmedämmeigenschaften zu erhalten. Außerdem ist bei diesem Wandtyp keine Luftschicht zwischen der Dämmung und dem Klinkermauerwerk vorhanden; vielmehr werden die Klinker unmittelbar vor die Mineralwolle gemauert. Man spricht hier von einer Kerndämmung.

Die Herstellung der Außenwand erfolgt im gleichen Verfahren, wie bei der Wandkonstruktion mit 40 mm Luftschicht. Die gesamte Dicke der Wand beträgt 550 mm.

Maße und Aufbau

Querschnitt



1. Klinker 115 mm
2. Mineralfaser WLG 040 120 mm
3. Hohlziegel 300 mm
4. Kalkgipsputz 15 mm

Spezifische Daten /16/

U – Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]
Wärmeübergangsw.(α_i)			0,13
Kalkgipsputz	0,0150	0,7	0,02
Poroton	0,3000	0,16	1,88
Mineralfaser WLG 040	0,1200	0,04	3,00
Klinker (ρ=2,0)	0,1150	0,96	0,12
Wärmeübergangsw.(α_a)			0,04
		R-Wert	5,19
		U - Wert	**0,19 [W/m²K]**

Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ = 63 dB

5.2.2.5 Außenwand aus Porenbetonsteinen B1 (einschalig)

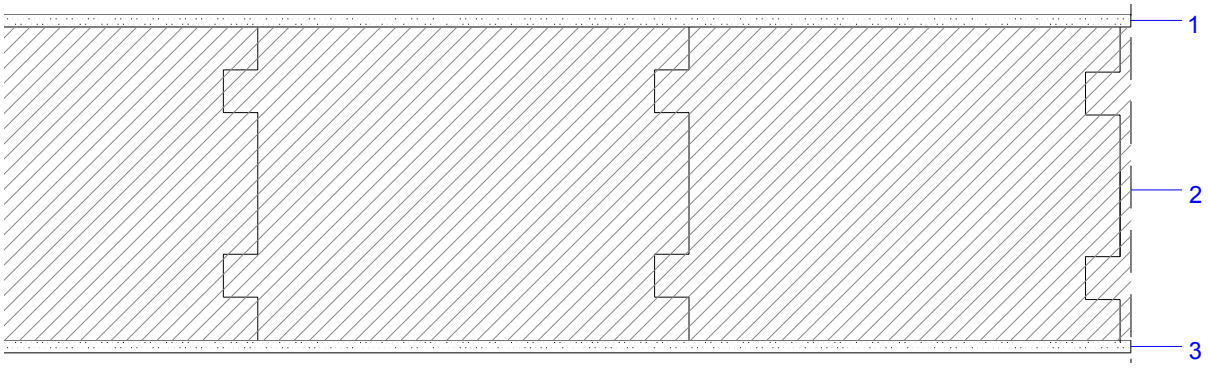
Die Konstruktion mit gemauerten Porenbetonsteinen besteht im Unterschied zu den beiden vorangegangenen massiven Wänden aus nur einer Wandschale. Sie muss daher gleichzeitig statische wie auch wärmeschutztechnische Aufgaben erfüllen. Die Wand aus Porenbeton-steinen erhält einen Außen- und einen Innenputz und hat eine Dicke von insgesamt 390 mm.

Die Errichtung der Wand wird, wie bei der Außenwandkonstruktion aus Hohlziegeln beschrieben, durchgeführt. Die erste Schicht wird mit Normalmörtel gemauert, wobei die Mörtelfuge als Ausgleichsschicht dient. Die darauf liegenden Reihen werden im so genannten Dünnbettverfahren aufgemauert, wobei der Dünnbettmörtel mit einem speziellen Mörtelschlitten aufgezogen wird, welcher immer eine gleich bleibende Mörtelstärke der Lagerfugen von 1 - 2 mm gewährleistet. Die verwendeten Steine lassen sich mit einer Handsäge mit grober Zahnung bearbeiten und passgenau zuschneiden. Außerdem sind sie an den Stirnseiten mit Nut bzw. Feder versehen, wodurch eine kraftschlüssige Verzahnung senkrecht zur Wandscheibe gewährleistet wird. Die entstehenden Stoßfugen müssen daher auch nicht vermörtelt werden.

Auf der Außenseite der Porenbetonsteine wird für den Witterungsschutz und aus optischen Gründen ein mineralischer Außenputz aufgebracht (z.B. Münchener Rauputz mit einer Körnung von 3 mm). Dieser ist wasserabweisend und diffusionsoffen, d.h. er schützt die Porenbetonsteine außen vor einer Wasseraufnahme, lässt aber Wasserdampf von innen nach außen hindurch. Auf der Innenseite wird auch hier ein Gipsputz in ca. 10 mm Stärke zur Egalisierung von Unebenheiten aufgebracht.

Maße und Aufbau

Querschnitt



1.	Kalkgipsputz	10 mm
2.	Porenbetonstein	365 mm
3.	Außenputz	15 mm

Spezifische Daten

U-Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]
Wärmeübergangsw.(αi)			0,13
Gipsputz	0,0100	0,7	0,01
YTONG	0,3650	0,11	3,32
Mineralischer Putz (ρ=0,6)	0,0150	0,6	0,03
Wärmeübergangsw.(αa)			0,04
		R-Wert	3,53
		U - Wert	**0,28 [W/m²K]**

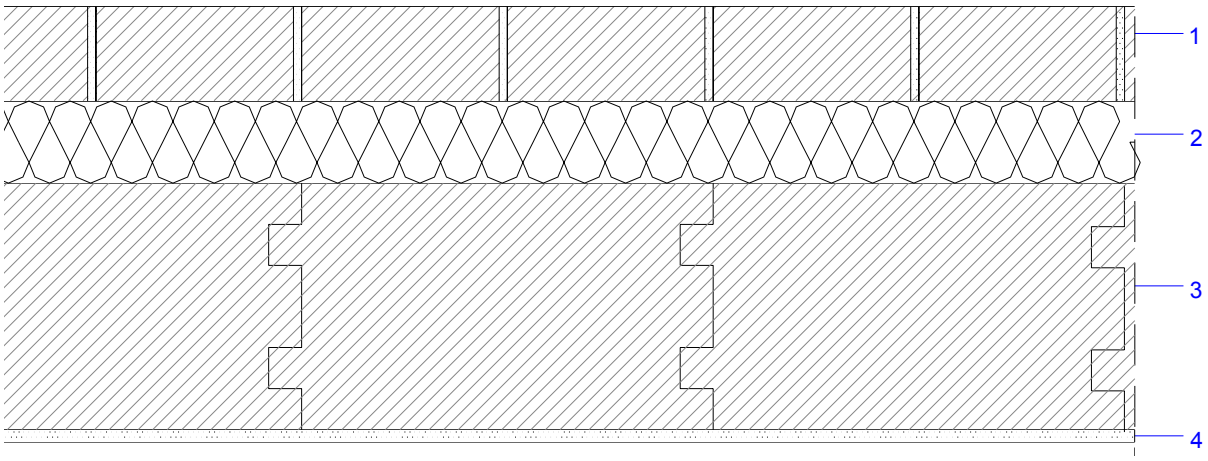
Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ = 46 dB /18/

5.2.2.6 Außenwand aus Porenbetonsteinen B2 (zweischalig)

Diese Wandkonstruktion aus Porenbetonsteinen hat ebenso wie die Hohlziegelwand A2 einen zweischaligen Aufbau. Die statische wirksame Schale besteht aus Porenbetonsteinen mit einer Dicke von 300 mm, den Wärmeschutz übernimmt eine 100 mm dicke Kerndämmung aus Mineralwolle. Die Witterungsschale besteht wiederum aus hart gebrannten Klinkern. Die gesamte Dicke der Wandkonstruktion beträgt 525 mm, deren Herstellung analog zu den anderen Wandtypen erfolgt.

Maße und Aufbau

Querschnitt



1. Klinker 115 mm
2. Mineralfaser WLG 040 100 mm
3. Porenbetonstein 300 mm
4. Kalkgipsputz 10 mm

Spezifische Daten

U-Wert

Schicht	Schichtdicke [m]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeleitwiderstand [m²K/W]
Wärmeübergangsw.(α_i)			0,13
Kalkgipsputz	0,0100	0,7	0,01
YTONG	0,3000	0,11	2,73
Mineralfaser WLG 040	0,1000	0,04	2,50
Klinker (ρ=2,0)	0,1150	0,96	0,12
Wärmeübergangsw.(α_a)			0,04
		R-Wert	5,53
		U - Wert	**0,18 [W/m²K]**

Bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R} \geq 50$ dB (geschätzter Wert unter Berücksichtigung des Wertes für Wandtyp B1)

5.2.2.7 Schwächen- und Stärkenanalyse

Verwendete Abkürzungen	H:	Holzrahmen-Außenwand
	MH:	Massiv-Außenwand aus Hohlziegeln
	MP:	Massiv-Außenwand aus Porenbetonsteinen
Kriterium	Abk.	Beschreibung
Bauzeit	H:	Die Bauzeit ist aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades im Vergleich zu den beiden Massivbauweisen sehr kurz. Da das Bauteil hauptsächlich in der Montagehalle gefertigt wird, ist man unabhängig von der Witterung und muss bei schlechtem Wetter keine Zwangspause einlegen. Teilweise werden Häuser in Holzrahmenbauweise an einem Tag auf der Baustelle ab Fundamentplatte rohbaufertig und regendicht aufgestellt.
	MH:	Die Bauzeit ist in der Regel erheblich länger als die einer Konstruktion in Holzrahmenbauweise. Die für die statische Schale verwendeten Hohlziegel bestehen aus relativ kleinen Formaten, da sie ein höheres spezifisches Gewicht besitzen. Dadurch können sich auch etwas längere Bauzeiten ergeben als mit Porenbetonsteinen.
	MP:	Die Bauzeit dürfte hier i.d.R. länger als bei einer Konstruktion in Holzrahmenbauweise sein, aber kürzer als mit Hohlziegeln, da die verwendeten Porenbetonsteine aufgrund des geringen Gewichtes relativ große Formate besitzen und eine Wand somit schneller hochgezogen werden kann.
Planungs- und Bauleitungsaufwand	H:	Der Planungs- und Bauleitungsaufwand ist aufgrund der vielen zu beachtenden Details beim mehrschichtigen Wandaufbau größer als bei Gebäuden aus mineralischen Baustoffen, da sich Planungs- und Ausführungsfehler mittel- und langfristig sehr

gravierend bemerkbar machen würden und nur sehr aufwändig behoben werden können.

MH: Der Planungs- und Bauleitungsaufwand liegt im Vergleich zu der Holzrahmenwand etwas geringer, da aufgrund der homogenen Wandkonstruktion nicht so viele Detailpunkte beachtet werden müssen.

MP: Auch bei der Massivaußenwand aus Porenbetonsteinen ist der Planungs- und Bauleitungsaufwand geringer als bei den Holzwänden.

Eigenleistungsanteil

H: Der mögliche Eigenleistungsanteil ist recht hoch. Nachdem die statischen Elemente der Holzständerwand mit der Beplankung (OSB außen und DWD innen) von einer Fachfirma erstellt wurde, kann das Anbringen der Außenbeplankung und der Innenwandbekleidung vom Bauherrn unter fachkundiger Anleitung theoretisch selbst bewerkstelligt werden.

MH: Der Eigenleistungsanteil ist ziemlich gering, da die Erstellung von Massivwänden ausschließlich vom Fachmann durchgeführt werden sollte, um die Stabilität und Lotrechtheit der Wand zu gewährleisten und um die Statik nicht zu gefährden. Die Eigenleistung beschränkt sich auf das Tapezieren der Innenwände.

MP: Auch bei diesem Massivwandtyp ist der Eigenleistungsanteil nicht allzu hoch. Die relativ leichte Bearbeitungsweise der Porenbetonsteine mit speziellen Handsägen lässt aber eine Bearbeitung durch den handwerklich begabten Laien zu. Allerdings sollte in diesem Fall die unterste Steinreihe, mit welcher Unebenheiten der Betonplatte ausgeglichen werden, von einem erfahrenen Maurer erstellt werden. Die Klinker der vorderen Wandschale hingegen sollten ausschließlich von einem Fachmann gemauert werden.

Umgestaltung

H: Unter Beachtung der Statik und Bauphysik lassen sich Umbaumaßnahmen relativ leicht und schnell von einem Fachbetrieb durchführen (z.B. neue Fensteröffnungen, Anbauten, etc.).

MH: Umbaumaßnahmen an Massivaußenwänden aus Hohlziegeln erfordern ungleich mehr Aufwand als bei Holzrahmenwänden und können ausschließlich von Fachbetrieben durchgeführt werden. Die Durchführung muss in der Regel mit schwerem Gerät erfolgen (Hammer, Pressluft- und Vorschlaghammer), wobei meist größere Mengen an Abraum und Staub anfallen.

MP: Der Aufwand für eine Umgestaltung von Außenwänden aus Porenbetonsteinen ist gleichermaßen hoch wie bei Hohlziegelwänden.

Neubaufeuchte

H: Im Vergleich zu Außenwänden in Massivbauweise ist die Konstruktion in Holzrahmenbauweise von Anfang an trocken (Tro-

ckenbauweise), so dass keine Austrocknungszeiten beachtet werden müssen. Nachdem die Gipsplatten auf der Innenseite angebracht und die Fugen verspachtelt sind, kann mit dem Tapezieren begonnen werden.

MH: Im Vergleich zu Außenwänden in Holzrahmenbauweise bedarf eine Konstruktion aus Hohlziegeln einer gewissen Austrocknungszeit.

MP: Auch bei einer Außenwand aus Porenbetonsteinen muss eine gewisse Austrocknungszeit eingeplant werden.

In erster Linie stellen jedoch Putze, Estriche und Betonkonstruktionen (z.B. vor Ort gefertigte Geschossdecken) das Feuchtepotenzial.

Wärmespeicherung

H: Die Wärmespeicherungsmasse in der Holzrahmenkonstruktion ist sehr niedrig, weshalb auch die Auskühlzeit relativ kurz ist. Dem steht allerdings eine kurze Anheiz zeit der Räume als Positivaspekt gegenüber.

MH: Die Wärmespeicherungsmasse in Hohlziegelwand ist sehr hoch, so dass viel Wärme gespeichert werden kann und die Auskühlzeit relativ lang ist. Analog dazu ist die Anheizzeit für den Innenraum lang und in dem Bauteil gespeicherte Wärmeenergie wird gleichmäßig in der Nacht wieder abgegeben.

MP: Aufgrund der geringeren spezifischen Masse der Porenbetonsteine gegenüber den Hohlziegelsteinen ist die Wärmespeicherungskapazität niedriger als in dem anderen Massivwandtyp, aber höher als in der Holzrahmenkonstruktion.

Schallschutz

H: Von den hier gewählten Wandaufbauten weist die Holzrahmenkonstruktion aufgrund der geringen Flächenmasse der verwendeten Baustoffe ein geringeres Schalldämmmaß auf als die beiden Massivwandtypen.

MH: Aufgrund des schweren Baustoffs weist die Hohlziegelwand das höchste Schalldämmmaß auf.

MP: Die Schallschutzeigenschaften der Außenwand aus Porenbetonsteinen zwischen den beiden anderen Wandtypen.

Brandschutz

H: Um die notwendigen Feuerschutzziele bei Gebäuden zu erreichen, ist oftmals nicht nur die Feuerwiderstandsdauer der einzelnen Bauteile wichtig. Die Holzkonstruktionen müssen den in DIN 4102-2 genannten Anforderungen bezüglich des Brandverhaltens entsprechen. Die gewählte Holzrahmenkonstruktion besitzt die Feuerwiderstandsklasse F90, d.h. sie muss im Brandfall 90 Minuten lang ihre Tragfähigkeit beibehalten sowie den Raumabschluss wahren. /86/

MH: Aufgrund der nicht brennbaren Hohlziegel wird die Weiterleitung eines Brandes durch eine solche Massivwand weitgehend verhindert. Im Brandfall ist die Standfestigkeit über lange Zeiträume gewährleistet.

MP: Ebenso wie die Hohlziegel bestehen auch die Porenbetonsteine aus einem mineralischen nicht brennbaren Material, wodurch eine Ausbreitung eines Brandes verhindert wird und die Standfestigkeit im Brandfall gewährleistet ist.

Winddichtheit

H: Bei der Herstellung der Holzrahmenkonstruktion ist aufgrund des schichtartigen Aufbaus der Wand mit den Anschlüssen von Tür und Fenster, und den damit verbundenen zahlreichen Angriffspunkten für Wind mit besonderer Sorgfalt auf die Winddichtheit zu achten. Jeder Plattenstoß muss auf der Innenseite der Wand abgeklebt, und, wo es notwendig ist, Dichtungsband eingelegt werden. Dies ist besonders wichtig, da durch Lufteintritt auch Feuchteschäden entstehen können, die später aufwändig saniert müssten.

MH: Eine Massivwand aus Hohlziegeln hat aufgrund ihrer Homogenität eine gute Winddichtheit. Allerdings muss auch hier die Vermeidung unvermörtelter Stoßfugen und auf eine fachgerechte Ausführung der Anschlussdetails, besonders an Fenstern und Türen, geachtet werden.

MP:

Die Porenbetonwand verhält sich hinsichtlich der Winddichtheit analog zur Hohlziegelwand, wobei unvermörtelte Stoßfugen kaum auftreten.

Konstruktionsflächenverbrauch

H: Der Vorteil von Holzrahmenwänden liegt eindeutig in den wärmedämmenden Eigenschaften, da ziemlich geringe U-Werte bei relativ geringen Wanddicken zu erreichen sind, womit ein geringes Eigengewicht verbunden ist. Gegenüber einer Massivkonstruktion ist damit ein Flächengewinn verbunden, d.h. es wird die gleiche Wohlfläche bei einer kleineren Grundfläche eines Hauses möglich.

MH: Um den U-Wert einer Holzrahmenbauwand zu erreichen, d.h. zur Erfüllung der gleichen wärmedämmenden Eigenschaften, sind größere Wanddicken notwendig.

MP: Im Vergleich zur Holzrahmenaußenwand ist auch bei diesem Wandtyp eine größere Wanddicke erforderlich, um den gleichen Wärmedurchgangswiderstand zu erreichen; im Vergleich zur Hohlziegelwand sind die Wandstärken bei diesen Wandtypen geringer.

Instandhaltung Unterhalt

H: Falls eine Vergrauung des Holzes nicht erwünscht ist, ist die Instandhaltung und Pflege bei einer vorhandenen Deckelbrett-

Pflege		schalung (unbehandelt) vergleichsweise aufwändig. Die Schalung muss in regelmäßigen nachbehandelt werden. Bei eindringendem Wasser kann großer Schaden entstehen, so dass aufwändig saniert werden muss. In solch einem Fall müssen aufgeweichte Gips- und OSB Platten ausgetauscht werden. Wurde bei einem Wassereintritt in die Wandkonstruktion auch die Dämmung in Mitleidenschaft gezogen, muss die ganze Wand geöffnet werden, da aufgrund der organischen Materialien die Konstruktion faulen kann und die Gefahr der Schimmelbildung und eines Pilzbefall besteht. Um dies zu vermeiden, kommt dem konstruktiven Holzschutz eine hohe Bedeutung zu.
	MH:	Der Aufwand für die Instandhaltung und Pflege einer Hohlziegelwand ist gering und sollte bei fachgerechter Ausführung keiner Wartungs- oder Reparaturmaßnahmen bedürfen. Nach einigen Jahren kann man die Fassade vorsichtig mit einem Hochdruckreiniger absprühen, um eventuelle Verfärbungen durch Flechten und Staub zu entfernen. Bei einem auftretenden Wasserschaden bestehen in Massivbauteilen keine größeren Schäden. Man lässt die Wand und die Kerndämmung einfach austrocknen, was je nach Durchfeuchtungsgrad sehr lange Zeit in Anspruch nehmen kann.
	MP:	Auch bei diesem Wandtyp ist der Aufwand für die Instandhaltung und Pflege eher gering.
Abriss und Rückbau	H:	Der Rückbau eines Hauses mit Holzrahmenwänden ist relativ unkompliziert, da sich aufgrund der leichten mehrschichtigen Konstruktion die Schichten einfach nach und nach abtragen lassen.
	MH:	Ein Rückbau eines Hauses aus Hohlziegelwänden ist ohne maschinellen Einsatz sehr aufwendig und zeitintensiv. Mit dem Einsatz von schweren Geräten (Bagger) ist er jedoch einigermaßen schnell zu bewältigen.
	MP:	Für diesen Wandtyp gelten die gleichen Aussagen wie für Außenwände aus Hohlziegeln.
Wiederverwendbarkeit, Recyclefähigkeit und Entsorgung	H:	Die Holzteile der Holzständerwand können nach dem Rückbau sowohl stofflich als auch energetisch weiter verwendet werden. So kann das Holz, sofern es qualitativ den Altholzkategorien A I bzw. A II entspricht, in der Holzwerkstoffindustrie verwendet werden. Zudem wird Altholz hauptsächlich als Brennstoff in Biomasseheizkraftwerken für die Erzeugung thermischer Energie, bzw. Strom (Blockheizkraftwerke) eingesetzt.
	MH:	Die Hohlziegel und Klinker dieser Wand können, sofern ein zerstörungsfreier Ausbau verbunden mit der Entfernung von Mörtelresten gelingt, zwar wieder wendet werden, jedoch ist dies äußerst aufwändig und zeitintensiv. Zumeist landen die Reste einer Hohlziegelwand als Bauschutt auf einer Deponie. Ziegelbruch kann aber nach einer Zerkleinerung auch als Zuschlag im

Beton für Fundamente und als Schotterersatz verwendet werden.

MP: Auch die Reste dieses Wandtyps enden zumeist als Bauschutt, jedoch können auch die Porenbetonsteine zerkleinert werden und in begrenztem Umfang z.B. als Unterboden für Betonplatten dienen.

5.2.3 Hallenträger

Im Hallenbau werden überwiegend Flachdächer mit geringen Dachneigungen eingesetzt. In Abhängigkeit von der Art der Dachdeckung sind Mindestdachneigungen einzuhalten, um Wasseransammlungen oder gar Wassersackbildungen zu vermeiden. Das Flächentragwerk des Daches wird mit ebenen, trapez- oder wellenförmigen Bauteilelementen ausgebildet und die Dachdeckung wird üblicherweise auf parallel zur Längsachse der Halle verlegten Pfetten befestigt. Die hier vorgestellten Hallenträger aus Holz, Stahlbeton und Stahl sind typische Vertreter von Trägersystemen, wie sie beim Bau von kleineren Industriehallen eingesetzt werden.

Die Hallenträger bilden das Traggerüst für die darüber liegende Dachhaut und haben die Aufgabe die anfallenden statischen Lasten, bestehend aus dem Eigengewicht der Träger, dem Eigengewicht der Eindeckung, sowie den anfallenden Verkehrslasten durch Schnee (Wind wird vernachlässigt bei Dachneigung $\alpha = 0^{\circ}$), sicher auf die Stützen zu übertragen. Auch die Auflast ist also bei allen 3 Systemen gleich und beträgt 11,60 kN/m (ohne Trägereigengewicht). Der Dachaufbau setzt sich aus Pfetten, Verschalung, Dampfsperre, Wärmedämmung aus Schaumglas, Abdichtung aus Dachpappe und einer Kiesschüttung als Witterungs- und UV-Schutz zusammen. Die Träger müssen also sowohl die Tragsicherheit, als auch die Gebrauchssicherheit gewährleisten und dürfen dabei die maximal zulässigen Grenzwerte nicht überschreiten. In den meisten Fällen bildet die Gebrauchstauglichkeit die maßgebende Größe, welche bei Trägern hauptsächlich durch das Kriterium der Durchbiegung charakterisiert wird. Darüber hinaus spielt auch der Brandschutz eine wichtige Rolle. Allerdings wurden in unserem Beispiel alle Trägersysteme kalt bemessen, da zur Erfüllung der gleichen Brandschutzklassen jeweils unterschiedliche Wege beschritten werden können (Veränderung der Trägerdimension, Verwendung von brandschutztechnisch wirksamen Verkleidungen, etc.). (Für Holzbauwerke ist das semiprobabilistische Bemessungskonzept nach DIN 1052:2004-08 /24/ maßgebend). Außerdem ist die Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsklasse der Trägersysteme von zahlreichen Parametern – auch auf Gebäudeebene – abhängig, die hier nicht berücksichtigt werden können (z.B. Nutzung des Gebäudes, Feuerlöschanlagen oder Löschwasserversorgung) /25/.

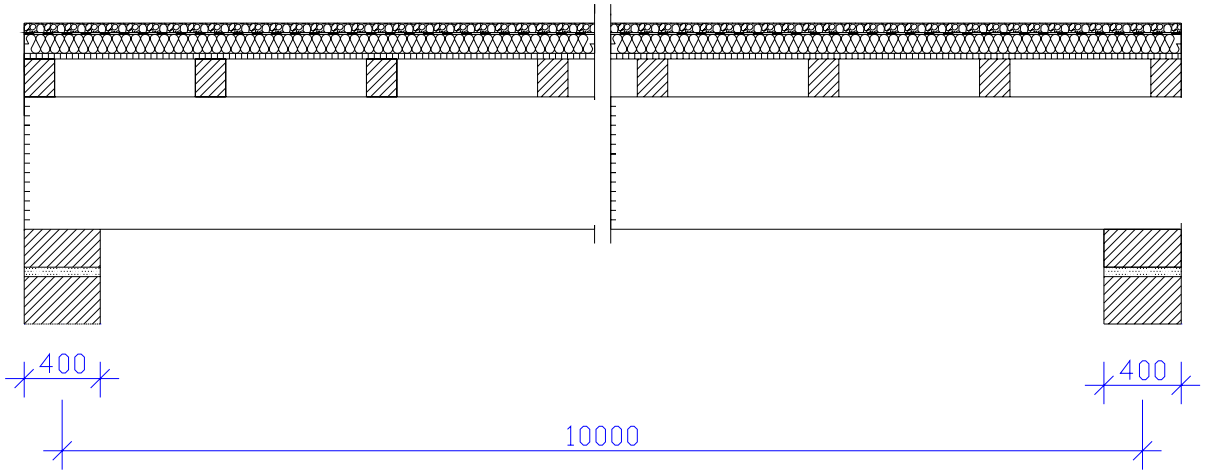
In unserem Beispiel sind die Träger für einen im Hallenbau üblichen Dachaufbau mit einer Spannweite von 10 Metern bemessen, welche zusammen mit der Auflast die funktionale Einheit des Vergleichs bildet. Die Spannweite wurde so gewählt, dass typischerweise Träger sowohl aus Holz, als auch aus Stahl und Stahlbeton als Baumaterial zum Einsatz kommen und somit die unterschiedlichen Trägersysteme realitätsnah miteinander verglichen werden können. Denn bei größeren Spannweiten, z.B. in Industriehallen, werden aufgrund der hohen Eigenlasten statt einfacher Träger zunehmend z.B. Fachwerkbinder in Holz- oder Stahlbauweise eingesetzt.

Die Abmessungen der jeweiligen Trägersysteme ergeben sich aus der Auflast bzw. dem Gewicht der Eindeckung, für die eine typische Deckenkonstruktion gewählt wurde:

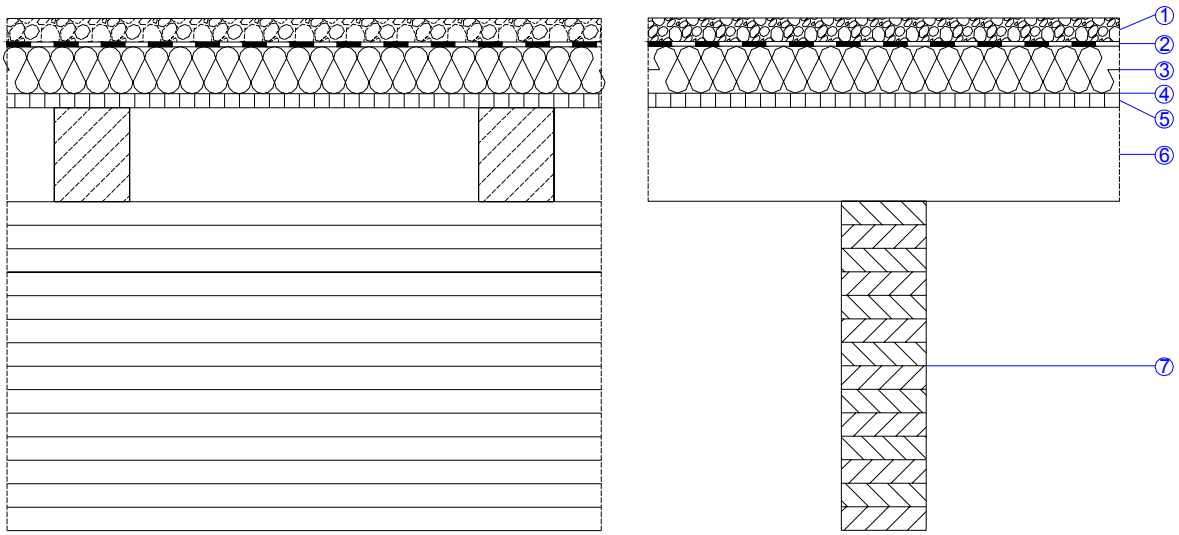
Aufbau der Eindeckung

Spannweite l = 10,00 m
Binderabstand e_B = 5,00 m
Auflagerlänge $l_A = l_B$ = 0,40 m
Trägerüberstand $ü_A = ü_B$ = 0,0 m

Vorderansicht

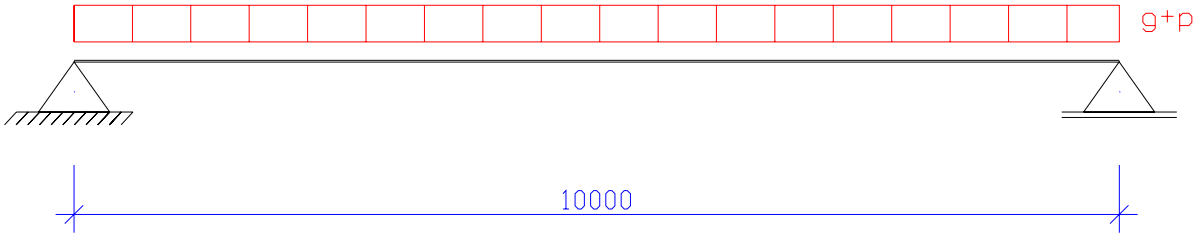


Querschnitt



1. 50 mm Kiesschüttung
2. 3 Lagen Bitumenpappe
3. 100 mm Wärmedämmung (Schaumglas)
4. Dampfsperre
5. 24 mm Rauhspund
6. Pfetten
7. Träger

Statisches System



g = Eigenlast
p = Verkehrslast

5.2.3.1 Brettschichtholzträger nach DIN 1052 /24/ und EC5

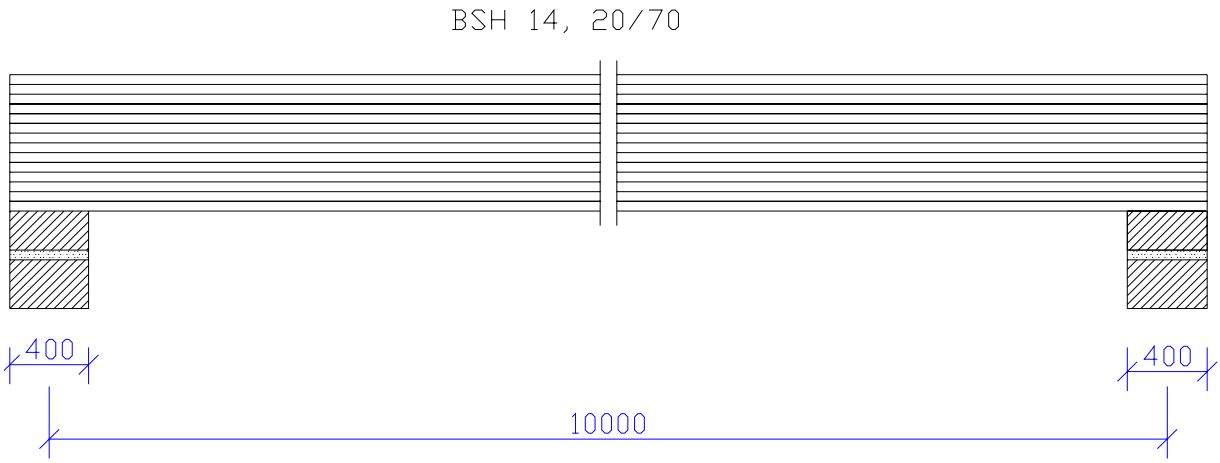
Der Binder aus Brettschichtholz (BS-Holz) besteht aus lagenweise verleimten Brettschichtholzlamellen mit einer maximal zulässigen Dicke von 40 mm. In der Regel betragen die Einzelbrettdicken aber 33 mm. Die Lamellenbreite sollte 220 mm nicht überschreiten, andernfalls muss eine Entlastungsnut in jedes Brett eingefräst werden, um auftretende Schüsselungseffekt zu reduzieren.

Bei der Fertigung werden technisch auf eine Holzfeuchte von 12 % vorgetrocknete Brettabschnitte nach Güte und Festigkeit sortiert, um anschließend gehobelt und durch eine Keilzinkenverbindung zu im Prinzip endlos langen Lamellen gestoßen zu werden. Durch die Sortie-

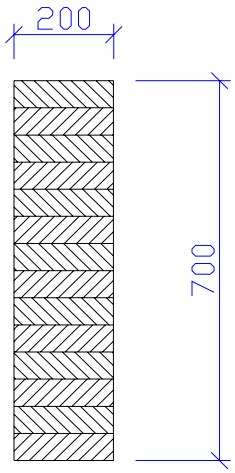
rung der einzelnen Bretter und die anschließende Lamellierung wird der Einfluss von Unregelmäßigkeiten im Holz im BS-Träger minimiert. Durch die herstellungsbedingte Homogenisierung und Vergütung des Ausgangsmaterials können für diese Holzbauteile größere zulässige Spannungen und Elastizitätsmodule angesetzt werden als für das Ausgangsmaterial. Mindestens drei dieser Lamellen werden dann zu einem Träger aufeinander geleimt. Dieser Brettschichtholzrohling wird nach dem Aushärten der Leimverbindungen entsprechend der geforderten Oberflächenqualität noch einmal gehobelt und eventuell geschliffen. Nach der Herstellung in der Produktionshalle kann der fertige Brettschichtträger auf die Baustelle transportiert werden und an seinen vorgesehenen Platz im Bauwerk eingebaut werden. Für die Brettschichtherstellung wird standardmäßig Fichtenholz verwendet, aber auch andere Nadelhölzer wie Tanne, Kiefer, Lärche oder Douglasie können eingesetzt werden. Um die einzelnen Lamellen miteinander zu verkleben werden Polykondensationsklebstoffe, wie Melaminharz- und Phenol-Resorcinharzklebstoff, sowie Polyurethanklebstoffe verwendet. Die Klebstofffugen sind äußerst dünn, so dass der Klebstoffanteil in BS-Holz weniger als 1 % ausmacht (vgl. /99/ und /102/).

Brettschichtholz: BS 14
Abmessungen: b = 200 mm; h = 700 mm; l = 10,40 m (Statische Berechnung nach DIN 1052:2004 /24/ und EC 5)

Vorderansicht



Querschnitt

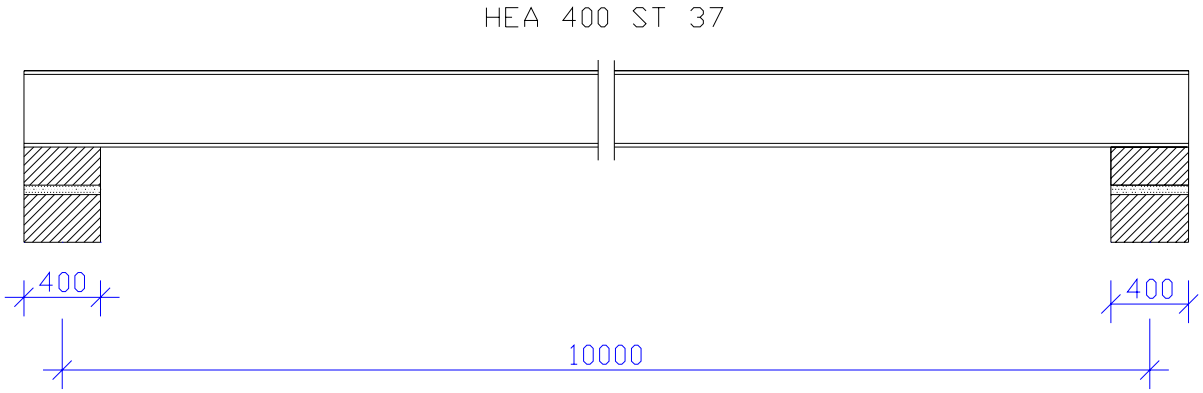


5.2.3.2 Stahlträger nach DIN 1025-3

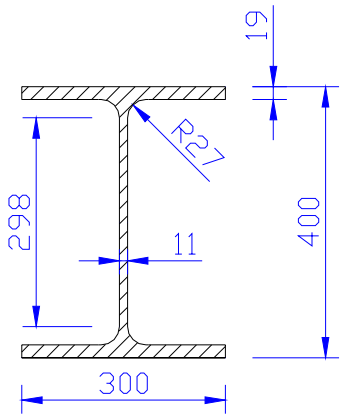
Bei diesem Tragsystem handelt es sich um einen warmgewalzten I-Stahlträger mit einem HEA-Profil nach DIN 1025-3:1994 /22/. Das HEA-Profil ist ein doppelsymmetrisch aufgebauter Doppel-T-Stahlträger mit zwei gleich breiten Flanschen an den Enden und einem etwas dünneren Steg in der Mitte, welcher dem Träger die erforderliche Höhe gibt und das Flächenträgheitsmoment bestimmt. Zusammen mit dem Elastizitätsmodul bildet dies ein Maß für die Steifigkeit und gibt Aufschluss über den Hang des Trägers sich zu verbiegen. Der Stahlträger zeichnet sich materialbedingt durch ein extrem hohes E-Modul (210.000 N/mm²) aus, woraus eine hohe Steifigkeit resultiert, die der Belastung entgegenwirkt.

Stahlträger: HEA 400 St 37
Abmessungen: b = 300mm; h = 400 mm; l = 10,40 m /22/

Vorderansicht



Querschnitt



5.2.3.3 Stahlbetonbalken nach DIN 1045 /23/

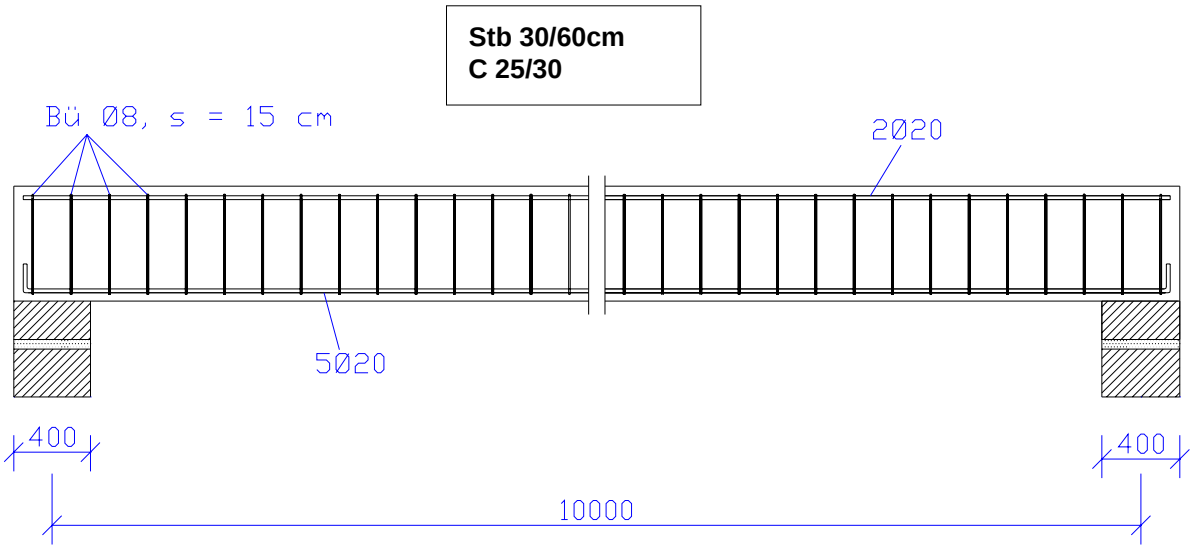
Der dritte vorgestellte Trägertyp ist aus Stahlbeton, welcher in Ortbetonbauweise hergestellt wird. Dies bedeutet, dass im Unterschied zu den vorangegangenen Trägersystemen, welche im Werk gefertigt und als Fertigteile auf die Baustelle transportiert und eingebaut werden, der Beton mit dem Betonmisch-Fahrzeugen auf die Baustelle transportiert oder vor Ort gemischt wird, so dass der Träger direkt im Bauwerk an seinem vorhergesehenen Platz hergestellt wird. Der Träger besteht zudem nicht nur aus einem, sondern aus zwei Baumaterialien: aus Beton und aus Stahl für eingearbeitete Rundstäbe. Der Beton ist hierbei für die Druckfestigkeit und die eingelegten Stahlstäbe in Längsrichtung für die Zugfestigkeit verantwortlich. Senkrecht zu den Längseisen sind darüber hinaus Bügel angeordnet, die sowohl die Aufgabe haben, die Längseisen zu einem Bewehrungskorb zusammenzuhalten, als auch die infolge von Querkräften verursachten Schubspannungen im Stahlbetonbalken aufzunehmen. Der Abstand der Bügel im Betonbalken richtet sich dabei nach der Größe dieser Querkräfte. Im Allgemeinen werden die Längseisen bei einem Einfeldträger, wie in unserem Beispiel der Fall, hauptsächlich im unteren Bereich, also in der Zugzone, angeordnet. Aus Gründen der baulichen Durchbildung werden auch in den oberen Bügelecken Längseisen (geringeren Durchmessers) angeordnet. In Auflagernähe können die Bügel dichter gesetzt werden, da hier die Querkraft und demzufolge der Schub am höchsten ist.

Für die Herstellung des Stahlbetonbalkens sind mehrere Schritte notwendig. Zunächst muss eine Verschalung aus Holzbrettern in der Dimension, welche das spätere Stahlbetonbauteil besitzen soll, hergestellt werden. Parallel dazu werden die einzelnen Rundstäbe wie beschrieben zu einem Bewehrungskorb zusammen geflochten. Dieser Bewehrungskorb wird in die Verschalung mit Abstandshaltern eingelegt. Die Abstandshalter gewähren einen gleichmäßigen Abstand zu den Bewehrungseisen und garantieren, dass diese in ausreichender Tiefe in den Beton eingebettet werden. Anschließend wird der Beton der gewünschten Festigkeitsklasse (in unserem Fall C 25/30) in die Verschalung eingefüllt. Während der Aushär-

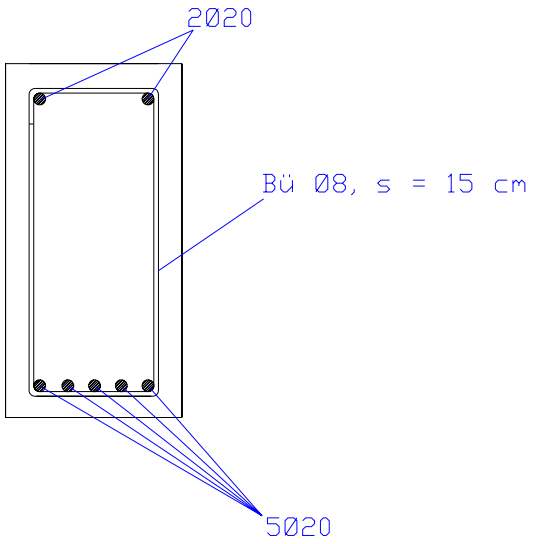
tung muss der Beton vor Austrocknung geschützt und feucht gehalten werden (z.B. durch Folienabdeckung und Abspritzen mit Wasser). Nach Einhaltung der Ausschalfrist kann die Verschalung entfernt werden. Nach ca. 28 Tagen hat der Beton des Stahlbetonträgers seine Betondruckfestigkeit erreicht, so dass der Träger voll belastet werden darf.

Stahlbetonbalken:	b/h = 30/60 cm
Längsbewehrung:	5 Ø 20 mm = 15,71 cm²
Zweischnittige Bügel:	Ø 8, s = 20 cm → $a_{sw,\ vorh}$ = 5,02 cm²/m

Vorderansicht



Querschnitt



5.2.3.4 Schwächen und Stärkenanalyse

Verwendete Abkürzungen	BSH:	Brettschichtholzträger
	ST:	Stahlträger
	STB::	Massiv-Außenwand aus Porenbetonsteinen
Kriterium	Abk.	Beschreibung
Zeitaufwand für Einbau	BSH:	Da die Fertigung des Leimbinders in der Regel nicht auf der Baustelle erfolgt, ist der Zeitaufwand für den Einbau gering. Nach dem Transport zur Baustelle wird der Träger mit Hilfe eines Kranes im Bauwerk positioniert und mit Stahllaschen und Ankernägeln auf den Stützen bzw. an den Wänden befestigt.
	ST:	Der Zeitaufwand für den Einbau gleicht dem des Leimholzträgers, der ebenso mit Hilfe schweren technischen Gerätes an seiner im Gebäude angedachten Stelle befestigt wird.
	STB:	Der Einbau eines Stahlbetonträgers in Ortbeton ist sehr zeitaufwändig, da er mehrere Arbeitsschritte umfasst (Erstellung der Schalung, Einlegen der Eisen und Betonierung). Allein der Aushärtungsprozess des Betons nimmt ca. 28 Tage in Anspruch. Eine gute Alternative sind Fertigteilträger, die ähnlich wie Leimholzbalken und Stahlbetonträger nicht vor Ort hergestellt werden.
Brandverhalten	BSH:	Aufgrund des organischen Materials ist Holz zwar brennbar, dennoch besitzt der Leimholzträger ein gutes Brandschutzverhalten. Im Brandfall bildet sich bei massiven Holzbauteilen eine schützende Kohleschicht, die als Isolationsschicht wirkt und den Fortschritt des Abbrandes aufhält. Bei ausreichend dimensionierten Querschnitten ist somit kein Einsturz zu befürchten /112/.
	ST:	Der Stahlträger weist ein ziemlich ungünstiges Brandschutzverhalten auf. Er ist zwar im Gegensatz zum Holz nicht brennbar, im Brandfall wird der Stahl jedoch langsam weich, verliert seine Festigkeit und knickt unter der Auflast plötzlich ein. Dies führt zum Versagen der gesamten Dachkonstruktion. Um den Brandschutz zu erhöhen, wird der Stahlträger mit Brandschutzfarbe behandelt oder mit Gipskartonplatten verkleidet.
	STB:	Der Stahlbetonträger weist ein besseres Brandschutzverhalten als der Stahlträger auf, da die Stahleinlagen im Beton geschützt sind. Allerdings können bei lang anhaltenden Bränden die Betonüberdeckungen aufgrund der Ausdehnung der Stahleinlagen abgesprengt werden, woraufhin die Stahleinlagen weich werden und eine geringere Zugkraft aufnehmen können. Der Balken kann

dann die Biegekräfte nicht mehr aufnehmen, wodurch ein Versagen des Bauteils wahrscheinlich wird. Auch hier kann der Brandschutz mit einer zusätzlichen Verkleidung erhöht werden.

Gewicht

BSH: Das Gewicht ist verglichen mit dem Stahl- und dem Stahlbetonträger gering. Der Lastfaktor, der durch den Quotienten der aufnehmbaren Last zur Eigenlast beschrieben wird, ist größer als bei den anderen beiden Tragsystemen. Somit ist auch die Tragwerkskapazität höher.

ST: Das Gewicht des Stahlträgers liegt ebenso wie der Wert des Lastfaktors bei diesem Trägertypen zwischen den beiden anderen Systemen.

STB: Aufgrund der hohen spezifischen Dichte und des großen Volumens ist das Gewicht des Stahlbetonträgers sehr hoch und der Lastfaktor gering.

Konstruktionshöhe

BSH: Bei Brettschichtholzträgern ist eine relativ große Konstruktionshöhe erforderlich, um die Lasten aufzunehmen.

ST: Der Stahlträger erweist sich bei diesem Kriterium als vorteilhaft, weil er eine relativ geringe Konstruktionshöhe besitzt. Dies liegt vor allem in dem stoffspezifisch hohen E-Modul des Stahls begründet (E = 210.000 N/mm²).

STB: Die Konstruktionshöhe liegt beim Stahlbetonträger zwischen den beiden anderen Systemen.

Instandhaltung

BSH: Eventuell kann der Leimholzträger Pilze in Mitleidenschaft gezogen werden, was eine Lasur oder Imprägnierung erforderlich machen kann, um ihn vor Schädigungen zu schützen.

ST: Im Falle eines vorhandenen Brandschutzanstriches ist dieser regelmäßig zu erneuern. Des Weiteren ist ein Schutz vor Korrosion notwendig, der auch in regelmäßigen Abständen erneuert werden muss.

STB: Eventuell sind Maßnahmen gegen eine Carbonatisierung des Betons erforderlich. Die Carbonatisierung ist die chemische Umwandlung der alkalischen Bestandteile des Zementsteines durch CO_2 in Kalziumcarbonat. Die korrosionsschützende Eigenschaft des Betons geht verloren und die Bewehrung kann anfangen zu rosten, was in der Folge zu einer weiteren Zerstörungen des Stahlbetonteils führt. Schwer CO_2–durchlässige Beschichtungen können den Prozess verzögern. Durch die Korrosion abgeplatzte Betonschichten müssen ausgebessert werden (Instandsetzungsmörtel).

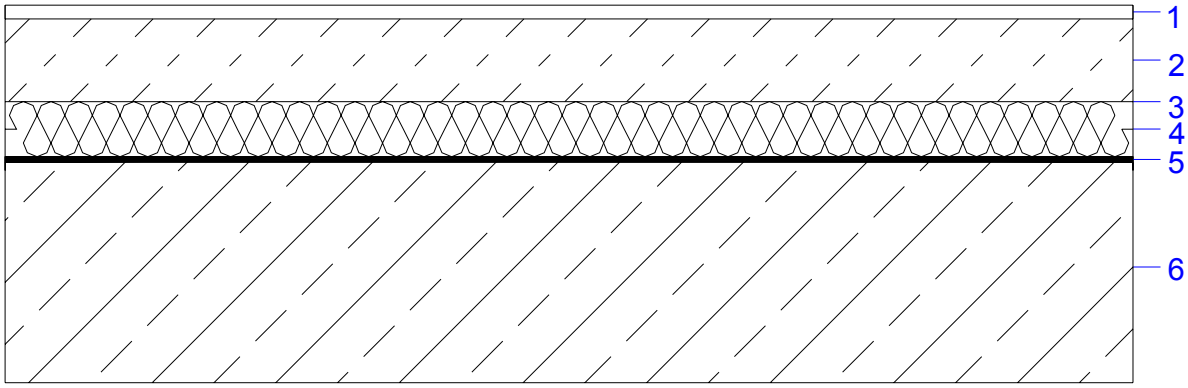
Abriss	BSH:	Der Abriss einer Hallenkonstruktion aus Leimholzträgern ist relativ unproblematisch. Die Verbindungsmittel werden gelöst und mit einem Kran kann der systematische Rückbau erfolgen.
	ST:	Auch der Abriss einer Konstruktion mit Stahlträgern ist relativ unkompliziert zu bewerkstelligen. Nach dem Loslösen der Verbindungen werden die einzelnen Träger mit dem Kran auf einen Tieflader gehoben und abtransportiert.
	STB:	Der Abriss von Hallen mit Trägern aus Ortbeton ist nur mit schwerem Gerät zu bewerkstelligen, was sehr kosten- und zeitintensiv ist.
Verwertung	BSH:	Der Träger kann als Bauteil erhalten werden und in einer anderen Halle eingesetzt oder zu Brettern, Kanthölzern, etc. verarbeitet werden. Gibt es keine stoffliche Verwendung, kann der Leimholzträger thermisch genutzt und somit fossile Energieträger substituiert werden.
	ST:	Auch der Stahlträger kann als Bauteil erhalten und wieder verwendet werden, indem das Material eingeschmolzen und z.B. zu anderen Bauteilen umgeformt wird.
	STB:	Der Stahlbetonträger indes kann als Bauteil nicht mehr erhalten werden. Der Betonanteil kann als Füllmaterial für Fundamente oder als mineralischer Unterboden unter Fundamentplatten verwendet werden. Stahleinlagen können stofflich rezykliert werden.

5.2.4 Fußböden

Die folgenden Fußbodensysteme sind typische Vertreter von Fußbodenaufbauten für den Haus- und Wohnungsbau. Alle diese Varianten können sowohl in Ein- und Mehrfamilienhäusern wie auch in öffentlichen Gebäuden zum Einsatz kommen. Gerade im öffentlichen Bereich sind allerdings Böden von Vorteil, welche eine hohe Verschleißfestigkeit besitzen und einen geringen Reinigungsaufwand erfordern.

Als Funktionelle Einheit wird ein fiktiver Raum mit einer Grundfläche von 20 m² zugrunde gelegt, der den unten abgebildeten Fußbodenunterbau aufweist. Die Systeme unterscheiden sich demzufolge nur in der Nutz- oder Gehschicht.

Fußbodenaufbau



Aufbau

1. Gehschicht
2. Estrich 50 - 60 mm
3. (PE-Folie)
4. Dämmung 40 mm
5. Dampfsperre
6. Decke 160 mm

5.2.4.1 Kunstfaserteppichboden

Kunstfaserteppiche werden aus synthetischen Fasern wie Polyamid, Polyacryl, Polyester und Polypropylen in verschiedenen Verfahren hergestellt.

- Tuftingverfahren
- Nadelvliesverfahren
- Webverfahren

Das am weitesten verbreitete Herstellungsverfahren für Teppiche ist das aus den USA stammende Tuftingverfahren (engl.: tuft = Büschel, Noppe, Flor). Ein so hergestellter Teppichboden besitzt mehrere Schichten. Die oberste Schicht ist die Nutzschicht, welche aus den erwähnten synthetischen Fasern besteht. Beim Tuften werden diese durch zahlreiche parallel angeordnete Nadeln in ein Trägergewebe eingestickt. Das Träger- oder auch Verbundgewebe besteht meist aus einem Polypropylen- oder Polyestervlies. Durch einen Voranstrich aus Kunststoffdispersion (Styrol-Butadien), synthetischem Latex oder Polyurethan werden die eingenadelten aber noch herausziehbaren Fasern auf dem Trägergewebe fixiert. Zur Stabilisierung der Fläche erhält der getuftete Teppich eine Rückenschicht, die in der Regel aus aufgeschäumtem synthetischem Latex besteht. Es können für diesen Zweck aber auch textile Zweitrücken verwendet werden, die auf der Rückseite des Teppichbodens aufkaschiert werden. Hierfür werden Jutegewebe, Polyester-Faservliese oder Gewebe aus anderen synthetischen Garnen verwendet. Beim der Herstellung im Tuftingverfahren werden

noch einmal drei verschiedene Untertypen unterschieden. Beim ersten werden die Fasern in den Träger eingenadelt und bilden Schlingen (Schlingenflor). Werden die Schlingen des Florgarns zerschnitten, so entsteht ein Veloursteppich (Schnittflor), die zweite Variante. Als dritte Möglichkeit besteht die Nutzschicht des Teppichs aus einer Kombination aus geschnittenen und nicht geschnittenen Schlingen, wodurch eine Hoch-Tief-Struktur entsteht. Eine Kenngröße für Tufting-Teppichböden ist die Poldichte, welche durch die Anzahl der Noppen je m² angegeben wird. Sie ermittelt sich aus der Noppenzahl in Längsrichtung, welche durch die Stichdichte bestimmt wird, und der Anzahl der Noppen in Querrichtung, die von der Teilung (Abstand der Nadeln) einer Tuftingmaschine vorgegeben wird. Um eine gleichmäßig dichte Poldecke zu erhalten, müssen Teilung, Garnstärke und Stichdichte aufeinander abgestimmt sein.

Eine weitere Herstellungsmethode ist das so genannte Nadelvliesverfahren. Hierbei werden watteartig übereinander liegende Faservliesbahnen miteinander verfilzt. Die so entstandene obere Schicht wird anschließend an den Faserberührungspunkten mit dem Trägermaterial verschmolzen oder durch ein Kunstharzbindemittel (Styrol-Butadien-Kautschuk) mit diesem verbunden. Nadelvliesbeläge weisen eine filzartige Oberflächenstruktur auf.

Das Webverfahren bezeichnet das dritte Verfahren zu der Herstellung von Kunstfaserteppichen. Die Verbindung von Nutz- und Trägerschicht des Teppichs erfolgt hier durch eine maschinelle Verwebung.

Von den Produktionsverfahren wird das Tuftingverfahren mit 70 % am häufigsten angewandt, gefolgt vom Nadelvliesverfahren mit 25 %. Das Webverfahren wird nur bei 5% aller Kunstfaserteppiche verwendet.

Für diese Studie wurden zwei Varianten von Kunstfaserteppichen gewählt, welche man als Meterware in Fachgeschäften erwerben kann. Die erste Variante ist ein Kunstfaserteppich aus Schlingenflor, dessen synthetische Fasern zu 60% aus Polyamid (PA) und zu 40 % aus Polypropylen (PP) bestehen. Der Teppichrücken besteht aus einem Textilgewebe aus synthetischen Fasern.

Produktdaten:

Polmaterial: 60% PA; 40% PP
Herstellungsart: Tufting; 1/10“ Schlinge
Noppenzahl pro m²: 173.360
Poleinsatzgewicht: 500 g/m²
Gesamtgewicht: 1900 g/m²
Polschichtdicke: 4,5 mm
Gesamtdicke: 6,0 mm

Die zweite Variante ist ein Velboursteppich aus Schnittflor mit 100% Polyamidfasern. Die Rückseite des Teppichs besteht aus einem Polyester- Faservlies.

Produktdaten:

Polmaterial: 100 % Polyamid
Herstellungsart: Tufting; 1/8“ Kräuselvelours
Noppenzahl pro m²: 132.300
Poleinsatzgewicht: 715 g/m²
Gesamtgewicht: 1615 g/m²
Polschichtdicke: 8,0 mm
Gesamtdicke: 9,0 mm

Manchmal treten bei der Verlegung von Teppichböden Probleme hinsichtlich des Anlegens an den Untergrund und des Gleitens in horizontaler Richtung auf. Um ein sicheres Anlegen der Auslegeware zu gewährleisten und zu verhindern, dass Wellen entstehen, ist es üblich, den Teppichboden mit dem Untergrund vollflächig zu verkleben. Der in unserem Beispiel gewählte Teppichkleber ist ein lösemittelfreier Dispersionsklebstoff, der unter anderem zur Verklebung von Nadelvliesbelägen geeignet ist. Er besteht aus einer wässrigen Emulsion von Polyvinylacetat und Polyacrylsäureester und wird mit Hilfe eines Zahnspachtels auf den Untergrund aufgebracht. Etwa 10 Minuten nach dem Auftragen des Klebers wird der Teppich in das noch nasse Klebstoffbett eingelegt und gut angedrückt. Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass keine Lufteinschlüsse entstehen. Laut Herstellerangabe beträgt der Verbrauch für Teppichboden mit strukturiertem Rücken im Mittel 550 g/m².

5.2.4.2 PVC-Belag

PVC-Beläge werden sowohl im privaten als auch in öffentlichen Gebäuden eingesetzt, da sie eine hohe Strapazierfähigkeit bei einem relativ günstigen Preis bieten, sich gut reinigen und leicht verlegen lassen. PVC ist in seiner Reinform hart und spröde ist und erst durch die Beigabe von Weichmachern für den Gebrauch als Fußboden geeignet ist. Stabilisatoren, wie Kalzium-Zink und Zinn, verhindern einerseits die Zersetzung des PVC bei hohen Temperaturen und erhöhen gleichzeitig die Gebrauchseigenschaften. PVC- Bodenbeläge bestehen zudem zu 25 – 60 % aus natürlichen Füllstoffen wie Kreide, Quarz, Schwerspat oder Kalkstein. Die PVC-Masse wird zusätzlich mit Pigmenten eingefärbt, mit denen auch die aufgedruckten Muster gestaltet werden. Bei der Verlegung muss bei einem unebenen Untergrund eine geeignete Spachtel- und Ausgleichsmasse planeben auf den Untergrund aufgebracht werden. Dieser muss trocken sein, da der PVC-Belag wie eine Dampfsperre wirkt, durch die

die Feuchtigkeit nicht abgeführt werden kann. Danach wird der PVC-Belag ebenso wie der Kunstfaserteppich mit einem lösemittelfreien Dispersionsklebstoff durch einseitigen Auftrag verklebt, wobei der Materialverbrauch vom Hersteller mit einer Menge von 360 g/m² angegeben wird.

Allgemeine Kennwerte für PVC-Auslegeware: /61/

Rohdichte:	1,5 g/cm³
Wärmeleitfähigkeit λ:	0,19 W/mK
Dampfdiffusionswiderstandszahl:	20 – 70
Brennbarkeitsklasse:	B2

Bei dem gewählten Produkt handelt es sich um eine Auslegeware aus 100% PVC mit einer Dicke von 1,5 mm.

5.2.4.3 Laminatfußboden

Laminatboden besteht aus mehrschichtigen, in der Regel länglichen Fußbodenelementen, die mit den unterschiedlichsten Dekoren erhältlich sind. Die Angebotspalette ist riesig und reicht von allen möglichen Holzsorten, über Fliesen-, Marmor- und Granitbodenimitationen bis hin zu Fantasiedekoren. Die einzelnen Elemente bestehen aus dem Dekorlaminat, der Trägerplatte und dem Gegenzuglaminat auf der Unterseite.

Das Dekorlaminat setzt sich aus einer hochstrapazierfähigen, zumeist mit Melaminharz getränkten Deckschicht, dem so genannten Overlay (1), dem Dekorpapier und u.U. mehreren Lagen beharztem Kraftpapier (bei HPL) (2) zusammen. Die getränkten Papiere werden unter Druck und Temperatur miteinander verpresst, wobei man in Abhängigkeit von dem angewandten Verfahren unterscheidet zwischen High Pressure Laminate (HPL), welches unter hohem Druck separat von der Trägerschicht verpresst wird, und Direct Pressure Laminate (DPL), welches aus nur zwei Schichten besteht bei dem die Papiere zusammen mit dem Trägermaterial verpresst werden. Wird HPL ebenso wie DPL in einem kontinuierlichen Verfahren hergestellt, so spricht man auch von Continuous Pressure Laminate (CPL). Um die Strapazierfähigkeit der Oberfläche des Paneels weiter zu erhöhen wird in das Overlay zu-

sätzlich Korund (Aluminiumoxid) eingebracht. Die darunter liegende Schicht bezeichnet man als Trägerschicht (3), welche das Paneel zusammenhält. Sie besteht in den meisten Fällen aus einer 7 – 12 mm starken HDF-Platte (High Density Fibreboard), die für die nötige Formstabilität und Druckfestigkeit des Laminats sorgt. Die unterste Schicht, das Gegenzuglaminat (5), besteht nur aus Kraftpapier und dient als Sperrschicht gegen die Verschüsselung des Paneels. Die Trägerplatte ist mit einem Nut- und Federprofil bzw. für eine leimlose Verlegung mit einem Klicksystem versehen. Die Anforderungen an die Eigenschaften der verwendeten Laminat-Fußbodenelemente sind je nach Einsatzbereich in der Norm DIN EN 13329 /32/ festgelegt.

Der hier beschriebene Laminatboden wird mittels Klicktechnik verbunden und kommt somit ohne Leim aus. Die DPL Schicht (2 Schichten) ist ca. 0,3 mm dick und die HDF Platte weist eine Standardstärke von 8 mm auf. Die Paneele besitzen die Abmaße von 1300 x 190 x 7 mm³ und haben ein Gewicht von ca. 6,70 kg/m².

Bevor der Laminat- oder Parkettboden verlegt wird, sollte auf dem Untergrund eine Trittschalldämmung aufgebracht werden, die die Übertragung von Trittschallgeräuschen verringert. Überdies werden eventuelle Unebenheiten des Fußbodens egalisiert. In unserem Beispiel wird eine handelsübliche Unterlagsmatte aus 100% Polyethylen mit einer Dicke von 3 mm verwendet.

5.2.4.4 Mehrschicht- bzw. Fertigparkett

Mehrschichtparkett besteht aus einer Nutzschicht aus Massivholz und einer oder mehreren zusätzlichen Holz- oder Holzwerkstoffschichten, die miteinander verleimt sind /33/. Die Bezeichnung Mehrschichtparkett ersetzte die in der alten Norm DIN 208 verwendete Bezeichnung Fertigparkett, welche die Elemente über die Oberflächenbehandlung definierte. In dieser Definition waren allerdings auch fertig oberflächenbehandelte massive Paneele enthalten, die im Sinne der alten Norm aber kein Fertigparkett waren. Die neuere Bezeichnung Mehrschichtparkett hingegen grenzt die Parkettelemente, wie der Name schon sagt, definitorisch über die geforderte Mehrschichtigkeit ab. Gemeint sind in dieser Studie also industriell hergestellte, fertig oberflächenbehandelte, mehrschichtige Fußbodenelemente aus Holz.

Bei der Herstellung von Mehrschichtparkett werden die einzelnen 2 – 5 mm starken Parkettstäbe auf ein Trägersystem aufgebracht. Zum Schutz vor Feuchtigkeit und mechanischen Beanspruchungen ist die Oberfläche dieser Nutzschicht bereits werkseitig vorbehandelt und oft mehrfach mit einem Acryllack versiegelt. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Punktbe-

lastungen definiert die Härte der Oberfläche und wird in Brinellhärte ausgedrückt. Sie ist abhängig von der für die Nutzschicht verwendeten Holzart; so weist z.B. Eiche eine Brinellhärte von 6,6 kg/mm². Die Abriebsfestigkeit der Mehrschichtparkettoberfläche hängt hingegen von der Art der Oberflächenbehandlung ab. Die darunter liegende Mittelschicht dient in Analogie zu der HFD-Platte beim Laminat als Trägerschicht und sorgt für die Formstabilität des Paneels. In den meisten Fällen wird aus Kostengründen hierfür Nadelholz bzw. Holz mit einer minderen Dichte verwendet. Eine 2,5 – 6 mm dicke Schicht, welche meist aus Fichtenstäben besteht, bildet schließlich die untere Gegenzugschicht. Ebenso wie das Laminat sind die Fertigparkettelemente mit Nut und Feder versehen und werden schwimmend auf einer Trittschalldämmung aus Filzpappe oder PE-Schaumfolie verlegt. Auch kommt beim Fertigparkett wie beim Laminatboden mehr und mehr die leimlose Klicktechnik zur Anwendung, welche eine einfache und schnelle Montage ermöglicht.

Für den im Rahmen dieser Studie durchgeführten ökologischen Vergleich von Fußböden wurde ein Schiffsboden 3-Schichtfertigparkett mit Klicktechnik ausgewählt, dessen Nutzschicht aus 3,5 mm starkem Eichenholz und einer 5-fach mit UV-gehärtetem Acryllack versiegelten Oberfläche besteht. Die 8 mm dicke Mittellage besteht ebenso wie die 3,5 mm starke untere Schicht aus Fichtennadelholz. Der Fertigparkettboden hat ein Flächengewicht von 6,65 kg/m², wobei ein einzelnes Paneel 2200 x 206,5 x 15 mm bemisst.

(Holzlexikon, 2003 /64/)

5.2.4.5 Stabparkett

Das Stabparkett ist die Urmutter aller Parkettformen. Es besteht aus einzelnen Massivholz-Parkettstäben mit Nut und/oder Feder mit oder ohne Oberflächenbehandlung /31/. Diese werden noch einmal unterschieden in Parkettstäbe, bei denen eine umlaufenden Nut eingefräst wurde, und in Parkettriemen, welche eine fest angehobelte Nut und Feder besitzen. Nur mit einer Nut versehene Parkettstäbe werden bei der Verlegung durch Querholzfedern miteinander verbunden. Die Stäbe bzw. Riemen haben eine Länge von 250 -600 mm, eine Breite

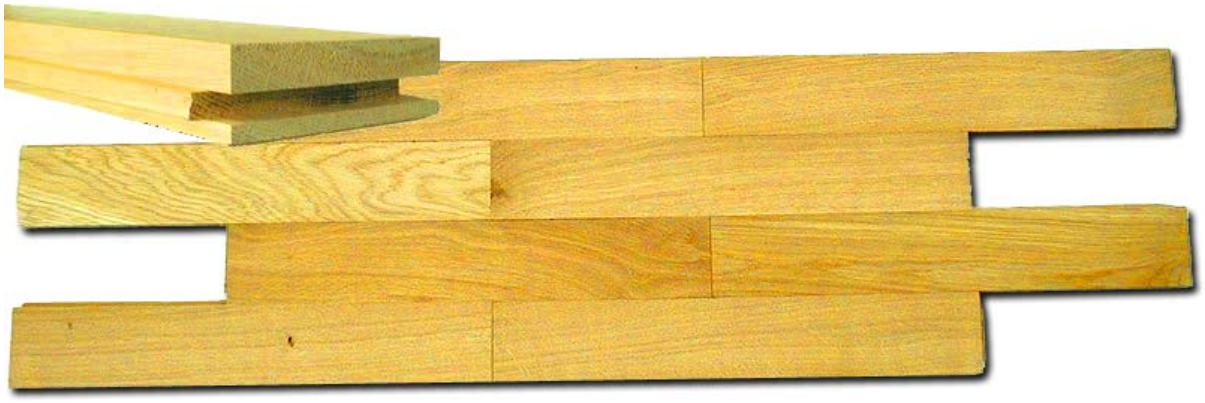
von 45 -80 mm und eine Dicke von 14 – 22 mm. Die Härte der Oberfläche ist wie bei Mehrschichtparkett abhängig von der Holzart.

Die Verlegung der Parkettstäbe erfolgt in der Regel durch Verkleben; es besteht aber bei geeignetem Untergrund auch die Möglichkeit das Parkett an den Querholzfedern zu vernageln. Für die Verklebung von Parkett können sowohl weiche, als auch harte Klebstoffe unterschieden werden /36/. Zu den üblicherweise verwandten harten Klebstoffen gehören die Dispersions-, Reaktionsharz- oder Lösemittelklebstoffe, aber auch Leime können verwendet werden. Die Auswahl des richtigen Parkettklebers richtet sich nach der Holzart (Holzfeuchtewechselzeit und differentielles Quell- und Schwindmaß), der Art des Untergrundes und dem langfristigen Raumklima während der Nutzung. Während nach der Gefahrenschutzverordnung (GeSchV) v.a. lösemittelhaltige Klebstoffe kennzeichnungspflichtige und damit zu substituierende Gefahrenstoffe darstellen, sind äußerst emissionsarme Dispersionsklebstoffe nicht kennzeichnungspflichtig und sollen bevorzugt eingesetzt werden /105/. Ihre Abbindefähigkeit hängt dabei allerdings u. a. von der Saugfähigkeit des Untergrundes ab, da gebrauchsfertige Dispersionsklebstoffe neben anorganischen Füllstoffen und Additiven einen in Wasser dispergierten Kunststoff als Bindemittel enthalten. Daher bringen sie das Holz des Parketts auch zum Quellen, weshalb dieser Kleber nicht für alle Holzarten geeignet ist. Dies betrifft besonders gebrauchsfertige Dispersionsklebstoffe, deren Abbindung ausschließlich auf der Verdunstung des Wassers basiert. Des Weiteren sollte bei der Verlegung mit diesem Klebstoff darauf geachtet werden, dass der Untergrund besonders eben ist und mechanische Störungen während der Abbindephase des Klebers unbedingt vermieden werden. Dafür kommen sie allen Forderungen des Verbraucherschutzes an eine gesunde Innenraumluft nach /105/. Dispersionsklebstoffe gibt es auch als Zwei-Komponenten-Kleber, die zusätzlich zu der physikalischen Trocknung auch chemisch Aushärten und somit weniger Wasser nach außen abgeben.

Eine weitere Gruppe von Klebstoffen besteht aus wasser- und in der Regel auch lösemittelfreien Reaktionsklebstoffen, die neben anorganischen Füllstoffen und Additiven chemisch reaktionsfähige organische Bindemittel enthalten (Polyurethan- und Epoxidharzklebstoffe). Die häufig verwendeten Polyurethankleber sind als 1- oder 2- Komponenten-Systeme erhältlich und haben neben einer sehr hohen Klebewirkung den Vorteil, nicht quellend zu wirken.

Stabparkett wird üblicherweise roh verlegt und dann in mehreren Schleifgängen abgeschliffen, wobei die Holzfeuchte abhängig von dem zu erwartenden Raumklima ist (in der Regel ca. 9%). Übliche Formen sind das Fischgrat- oder Würfelmuster; die massiven Parkettstäbe können aber auch zu Mustern zusammengefügt werden. So sind z.B. auch die Böden barocker Schlösser nach diesem Prinzip verlegt. Anschließend erfolgt die Oberflächenbehandlung mit Parkettlack, Öl oder Wachs, wobei die Art der Oberflächenbehandlung ausschlag-

gebend für die Abriebsfestigkeit der Oberfläche ist. Sofern die Oberfläche lackiert wird, basieren die verwendeten Lacke auch hier im Wesentlichen auf Wasser und nutzen als Bindemittel zum Beispiel Polyester-, Alkyd- oder Acrylatharze.



Das hier gewählte Beispiel eines Stabparkettbodens besteht aus gehobelten Eichenstäben, welche auf einem Zementestrich mit einem 1-komponentigem Dispersionsklebstoff auf MS-Polymer Basis[7] verklebt, nach dem Einbau geschliffen und mit Parkettlack versiegelt werden. Die Stababmessungen betragen 240 x 40 x 15 mm, was bei einer Holzdichte von 0,69 g/cm³ ein Flächengewicht von 10,35 kg/m² ergibt.

Technische Daten Dispersionsklebstoff:

Basis:	Silanterminierte Polymere, neutral vernetzend
Spez.-Gew.:	1,7 g/cm³
Verbrauch:	ca. 800 – 1000 g/m² bei Stabparkett
Belastbar:	nach 24 – 48 Stunden

Die Oberfläche des Stabparketts wird in unserem Beispiel mit einem 1-komponentigen Wasserlack auf Acrylatharzbasis versiegelt. Nach ca. 7 Tagen hat der Lack seine Endhärte erreicht und der Boden kann belastet werden.

Technische Daten Oberflächenlack:

Basis:	Wasser, mit Acrylatharz als Bindemittel
Verbrauch:	ca. 400 g/m² (bei 3-schichtigen Auftrag)
Belastbar:	nach 7 Tagen

[7] Abk. für silanterminierte Polymere, bei denen es sich meist um Polyether handelt, die durch eine Alkoxysilan-Terminierung feuchtigkeitsreaktiv sind. Unter Zutritt von Wasser wird eine Vernetzung der Polymerketten und damit der Aufbau einer festen Struktur bewirkt.

5.2.4.6 Keramikfliesen

Unter Keramikfliesen versteht man dünne Platten aus kristallinen, nicht metallischen, anorganischen Werkstoffen, welche als Belag für Böden oder Verkleidung für Wände verwendet werden. Die Anforderungen an dieses Produkt sind in der Norm DIN EN 14411 /37/ geregelt. Der Ausgangsstoff für die Herstellung von Fliesen ist Ton (griech. keramos), welcher mit den mineralischen Rohstoffen Quarzmehl, Kaolin und Feldspat vermischt wird. Je nach gewünschtem Ergebnis können auch Dolomit, Calcit, Schamott oder Farbstoffe hinzugefügt werden. Die Mischung wird mit Wasser auf die für das jeweilige Formgebungsverfahren nötige Konsistenz eingestellt, wobei die Homogenität der Masse entscheidend für die Endqualität der Fliesen ist. Zusätzlich werden durch längeres Lagern (Mauken) die Bindekraft des Tons und damit seine Verarbeitbarkeit verbessert. Man unterscheidet Fliesen nach ihrem Herstellungsverfahren in Strang gepresste, trocken gepresste, und nach einem anderen Verfahren hergestellte Fliesen (z.B. Gießen). Für Grobkeramik (z.B. Klinker und Cotto) erhält das Gemisch im Strangpressverfahren seine Form; für Feinkeramik, wie keramische Fliesen, wird eine Trockenpressmasse hergestellt. Darüber hinaus kann man zwischen glasierten und unglasierten keramische Fliesen aus Steingut bzw. Steinzeug unterscheiden.

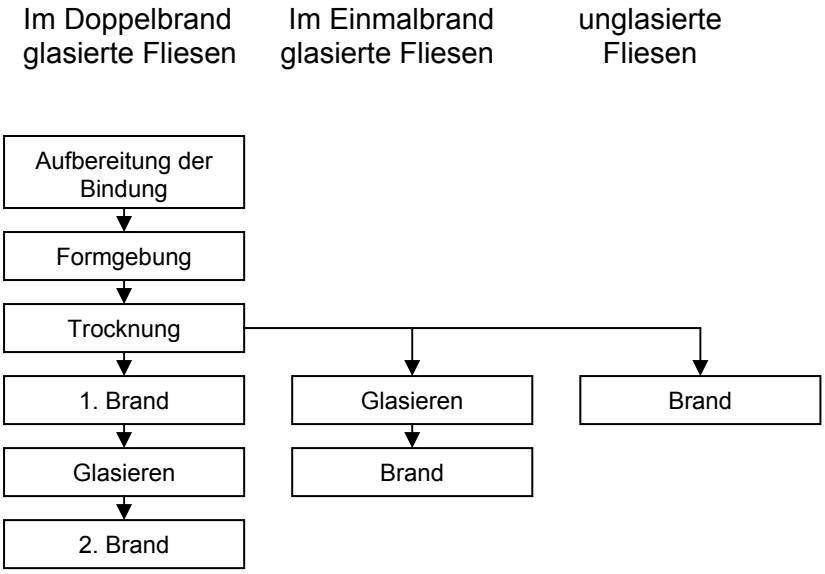


Abbildung 5-6: Schema zur Herstellung keramischer Fliesen

Fliesen aus Steingut sind glasierte Fliesen, deren Glasur in einem zweiten Brennvorgang geschmolzen wird. Steinzeugfliesen hingegen gibt es sowohl unglasiert als auch glasiert, wobei diese im Einbrandverfahren hergestellt werden. Diese Fliesen zeichnen sich durch ihre große Härte und Strapazierfähigkeit aus. So sind sie im Gegensatz zu Steingutfliesen frostsicher und können auch im Außenbereich eingesetzt werden. Unter Feinsteinzeugfliesen versteht man wiederum Fliesen, die besonders dicht gepresst bzw. gesintert wurden und daher eine besonders hohe Härte und Oberflächendichte aufweisen. Der Brand erfolgt an-

schließend nach einer Trockenphase bei Temperaturen zwischen 900 und 1.200 Grad Celsius, wobei verschiedene Metalloxide, wie Mangan, Kobalt oder Eisenoxid in der Glasur für die gewünschte Farbe sorgen.

Fliesen sind extrem formbeständig und verschleißfest. Darüber hinaus sind sie wasserbeständig und lassen sich leicht reinigen. Aufgrund dieser Eigenschaften finden Fliesen häufig auf besonders beanspruchten Böden Anwendung und werden aus hygienischen Gründen in Bädern fast ausschließlich verwendet. Aufgrund der hohen Dichte des Materials besitzt der Fliesenboden die höchste Wärmeleitfähigkeit (λ ~ 1,0 W/mK) der in dieser Studie behandelten Böden. Einerseits wird er daher als äußerst kalt empfunden eignet sich aber andererseits hervorragend für Böden mit Fußbodenheizungen. Die Verlegung von Fliesen kann im Dickbett- oder im Dünnbettverfahren erfolgen. Während die Fliesen beim Dickbettverfahren direkt in den Estrich verlegt werden, wird beim Dünnbettverfahren ein elastischer Fliesenkleber mit einem Zahnspachtel vollflächig auf den trockenen und ausgehärteten Estrich aufgetragen und die Fliesen mit leichten Druck in den Kleber eingerüttelt. Die für die Verklebung von Fliesen im Dünnbettverfahren auf dem Markt befindliche Auswahl an Klebern ist enorm groß. So gibt es Fliesenkleber auf Zementbasis, die schnell abbinden und nach dem Aushärten sehr beständig gegen Dauernässe und Witterungswechsel sind. Flexibel aushärtende Fliesenkleber, die die Bewegungen des Untergrunds aufnehmen und so verhindern, dass Spannungen zu Rissbildung führen, sind wiederum sehr geeignet für stark beanspruchte Fliesenböden. Darüber hinaus können für Fliesen auch die schon erwähnten Dispersions- und 2-Komponentenklebstoffe auf Epoxydharzbasis verwendet werden. Nachdem der Kleber ausgehärtet ist, wird die Fugenmasse, meist spezieller Fugenmörtel, eingebracht. Wie auch der Fliesenkleber wird die Trockenmasse unter Wasserzugabe zu einem viskosen Brei verarbeitet. Dieser wird mit Hilfe eines Gummischiebers bündig in die Fugen eingeschlämmt und nach dem Ansteifen mit einem Schwammbrett geglättet. Schließlich werden überschüssige Reste von den Fliesen entfernt. Meist bleibt auf den Fliesen allerdings ein hauchdünner Schleier zurück, der sich später, wenn die Fugen vollständig ausgehärtet sind, mit verdünnter Salzsäure entfernen lässt.

Für den Vergleich verschiedener Fußbodensysteme wird in unserem Beispiel eine Feinsteinzeugfliese mit einer unglasierten matten Oberfläche verwendet. Die Fliese hat ein Flächenmaß von 298 x 298 mm und eine Dicke von 8,5 mm. Das Gewicht liegt bei 18,80 kg/m². Als Fliesenkleber wurde ein flexibler, stark kunststoffvergüteter, hydraulisch erhärtender Dünnbettmörtel und für die Verfugung ein schnell härtender, flexibler Spezial-Fugenmörtel auf Zementbasis gewählt.

Technische Daten Fliesenkleber::

Materialbasis:	Trockenmörtel aus Zement, Trassmehl, Quarzsand und Kalksteinmehl, Polyvinylacetat-Copolymerisate und Celluloseether
Verbrauch:	ca. 2,6 kg/m² (bei 8 mm Spachtelzahnung)

Technische Daten Fugenmörtel::

Materialbasis:	Trockenmörtel aus Portlandzement, Tonerdezement, Quarzsand, Kalksteinmehl, Kunststoffzusätzen und Oxidpigmenten
Verbrauch:	530 g/m² (bei Fliesen 298 x 298 mm und 5 mm Fugenbreite)

5.2.4.7 Schwächen und Stärkenanalyse /106/

Verwendete Abkürzungen	KFT:	Kunstfaserteppich
	PVC:	PVC-Belag
	LAM:	Laminat
	MP:	Mehrschicht- bzw. Fertigparkett
	STP:	Stabparkett
	KFL:	Keramikfliesen
Kriterium	Abk.	Beschreibung
Verlegeaufwand	KFT:	Der Verlege- und Zeitaufwand ist maßgeblich davon abhängig, ob der Teppich verklebt wird oder nicht. So ist der Zeitaufwand bei einer Verklebung, die üblicherweise durchgeführt wird um ein Aufwerfen und Verziehen des Belags zu verhindern, relativ hoch. Als Nachteil bei der Verlegung von Auslegeware erweist sich zudem die Unhandlichkeit aufgrund seiner Größe.
	PVC:	Der Verlegeaufwand eines PVC-Bodens ist ähnlich wie bei Teppichböden zu beurteilen. Eine Verklebung erhöht auch hier den Aufwand deutlich.
	LAM:	Der Aufwand bei einer schwimmenden Verlegung ist nicht zuletzt dank der Klicktechnik auch für den handwerklich begabten Laien sehr gering. Die Handhabung bei der Verlegung ist recht komfortabel, da es sich bei den Paneelen um kleinere Stücke handelt. Allerdings ist im Vergleich zu Teppich- oder PVC-Boden der Zeitaufwand etwas größer; auch muss vor der Verlegung des Laminats eine Trittschalldämmung gelegt werden.
	MP:	Auch hier ist der Aufwand dank der schwimmenden Verlegung mittels Klicktechnik gering. Insgesamt ist der Aufwand der Verlegung dem von Laminat gleichzusetzen.
	STP:	Das Stabparkett wird vollflächig verklebt, wonach eine Oberflächenbehandlung erfolgt, bei der das verlegte Parkett mehrfach geschliffen und abschließend 3-fach versiegelt wird. Der Verlege-

und Zeitaufwand ist somit der höchste von den vorgestellten Fußbodentypen. Hinzu kommt, dass man es bei dieser Parkettart mit relativ kleinen Elementen zu tun hat, wodurch die Arbeitsintensivität noch einmal höher ist.

KFL: Der Verlege- und Zeitaufwand ist wie beim Legen von Stabparkett als hoch einzustufen, da auch hier mehrere Arbeitsschritte notwendig sind. Die Verlegung erfordert außerdem ein hohes Maß an handwerklichem Geschick, da die Teile nicht wie bei dem Parkett passend zusammengefügt werden, sondern mit Fugenabstand verlegt werden, wobei auf Geradheit und Gleichmäßigkeit der Fugen geachtet werden muss. Außerdem muss man mit gewissen Maßtoleranzen der Fliesen rechnen, welche durch die Fugen ausgeglichen werden müssen, um ein einheitliches Muster zu erhalten.

Oberfläche und Mechanische Strapazierbarkeit

KFT: Kunstfaserteppichboden besitzt eine hohe Trittsicherheit (Rutschsicherheit) und ist sehr wärme- und schalldämmend. Manche Teppichböden laden sich allerdings statisch auf und ziehen dadurch Schmutzpartikel an. Zum anderen können sich auch Personen aufladen, was sich meist in einem unangenehmen Entladungsvorgang an metallischen Gegenständen bemerkbar macht. Die mechanische Strapazierfähigkeit von Teppichböden ist beschränkt, weshalb sie sich nicht besonders für Gebäude mit hohem Publikumsverkehr eignen. Es gibt allerdings auch strapazierfähige Auslegeware, wie sie in Büros oder auch Kaufhäusern Verwendung findet.

PVC: Die Oberfläche von PVC-Böden ist glatt und hat eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Auslegeware. PVC-Böden können sich zudem ebenso elektrostatisch aufladen. Was die Strapazierfähigkeit von PVC Böden anbelangt, so hängt diese sehr von der gewählten Qualität ab, ist aber im Durchschnitt höher als diejenige von Teppichböden.

LAM: Meistens ist das Dekor von Laminatböden mit Holzimitationen bedruckt und die Oberfläche ahmt die Holzstruktur mit Hilfe von Strukturprägung nach. Aufgrund der hohen Dichte von Laminatböden ist die Wärmeleitfähigkeit wie bei PVC relativ hoch. Somit eignet sich der Fußbodentyp auch sehr gut für Räume mit Fußbodenheizung. Generell weisen Laminatböden aufgrund der harten Melaminharzbeschichtung eine hohe Kratzfestigkeit und Oberflächenhärte auf. Die mechanische Strapazierbarkeit hängt auch hier stark von der Qualität des jeweiligen Laminats ab.

MP: Die Oberfläche des Mehrschichtparketts besteht aus einer mindestens 2,5 mm dicken, werkseitig bereits oberflächenbehandelten Massivholzschicht, wobei die Wärmeleitfähigkeit im Wesentlichen von der Dichte der verwendeten Holzart abhängig ist. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Tragestruktur einen erheblichen Teil der Dicke ausmacht. Für Laubhölzer wird ein Mittelwert von $\lambda = 0{,}2$ W/mK angesetzt /96/; Holz dämmt also relativ gut und wird als fußwarm empfunden. Die mechanische Strapazierbarkeit hängt auch hier stark von der Qualität des jeweiligen Fer-

tigparketts ab, wobei eine mit Acryllack versiegelte Oberfläche (UV-gehärtet) auch hohen Belastungen standhält. Bei einer ausreichend dicken Nutzschicht kann die Oberfläche nach starker Beanspruchung durch Abschleifen auch noch nach Jahren in einen neuwertigen Zustand gebracht werden.

STP: Das Stabparkett besteht aus massivem Holz, dessen Oberflächeneigenschaften ebenso wie bei Mehrschichtparkett von der Holzart bzw. der Oberflächenbehandlung abhängig sind. Die Oberfläche dieses Parketttyps kann nach Abnutzung sogar mehrmals abgeschliffen und der Boden somit rundum erneuert werden.

KFL: Die Oberfläche ist sehr hart und fühlt sich aufgrund der sehr hohen Wärmeleitfähigkeit sehr kalt an. Die gewählte Qualität der Fliesen bestimmt natürlich auch hier die mechanische Strapazierbarkeit. Sie ist aber im Allgemeinen sehr hoch, d.h. höher als bei Kunstfaserteppich-, Parkett- und PVC-Böden. Allerdings können herunterfallende Gegenstände die verschleißfeste Oberfläche zerstören; es entstehen Risse oder ganze Teile der Fliese platzen aus der Oberfläche heraus. Die Fugen sind nicht so widerstandsfähig wie die Fliesen. Wegen der glatten Oberfläche muss bei Fliesen außerdem auf Rutschsicherheit geachtet werden.

Reinigung, Wartung und Reparatur

KFT: Der Reinigungs- und Pflegeaufwand ist relativ hoch. Eingetretener Schmutz ist schwer aus dem Gewebe zu entfernen und hinterlässt zum Teil dunkle Stellen. Deshalb eignen sich Teppichboden auch weniger für öffentliche Gebäude mit hohem Publikumsverkehr. Die Reinigung erfolgt mit einem Staubsauger, wodurch eine Belastung durch Feinstaub entstehen kann. Bei hartnäckigem Schmutz kommen Reinigungsmitteln zum Einsatz, deren Lösungsmittel ausgasen können. Eine Erneuerung von Teppichboden ist generell nur im Ganzen möglich. Allerdings können bei einer punktuellen Verschmutzung oder Zerstörung Stücke herausgeschnitten und passgenau ersetzt werden.

PVC: Ein PVC-Boden kann einfach mit Wasser gereinigt oder abgekehrt werden. Aus diesem Grund werden PVC-Böden oft in öffentlichen Gebäuden verwendet. Empfindlich ist PVC allerdings gegenüber lösungsmittelhaltigen Reinigungsmitteln. Speziell verklebte PVC-Bahnen lassen sich nur schwer wieder entfernen. Eine punktuelle Erneuerung ist nur durch mühsames Ausstanzen und passgenaues Einsetzen neuer Belagsstücke möglich.

LAM: Laminatböden lassen sich gut reinigen, wobei die Paneele aber nur nebelfeucht gewischt werden sollten. Zwar ist die mit Melaminharz beschichtete Oberfläche feuchtebeständig, aber zu viel Wasser kann in die Fugen der Verbindungen eindringen und eine Quellung der Trägerschicht hervorrufen. Die Oberfläche des Laminats ist nicht erneuerbar. Bei Reparaturarbeiten können einzelne Paneele mit relativ großem Aufwand aus dem Verbund geschnitten und durch neue ersetzt werden.

MP: Die Oberfläche lässt sich gut und relativ schnell reinigen und der Pflegeaufwand ist gering. Größere Wasseransammlungen sollten

allerdings auch hier vermieden werden und die Reinigung sollte nur durch nebelfeuchtes Wischen erfolgen. Durch Abschleifen lässt sich die Oberfläche des Mehrschichtparketts erneuern, wobei die Nutzschicht für eine gründliche Erneuerung mindestens 4mm stark sein sollte.

STP: Die mit Kunstharz versiegelte Oberfläche lässt sich gut und relativ schnell reinigen, wobei durch die Versiegelung auch kein Wasser in das Holz eindringen dürfte. Vorsichtshalber sollte aber auch Stabparkett nur nebelfeucht gereinigt werden. Abhängig vom Grad der Abnutzung kann die Oberfläche durch Abschleifen erneuert werden.

KFL: Die Oberfläche von Fliesen lässt sich sehr gut, problemlos und schnell reinigen. Da Fliesenbeläge unempfindlich gegen Feuchte sind kann man sie nass wischen oder bei Bedarf sogar mit einem Hochdruckreiniger reinigen. Der Pflegeaufwand ist somit sehr gering. Allerdings sollte man auf stark saure Reinigungsmittel verzichten, weil dadurch die Fugen angegriffen werden können. Beschädigte Oberflächen lassen sich nicht reparieren und betroffene Fliesen müssen ausgetauscht werden. Deswegen sollten immer Ersatzfliesen aufbewahrt werden.

Hygiene und Gesundheit

KFT: Im Gewebe von Teppichböden können sich aufgrund des gleich bleibenden und warmen Wohnklimas Mikroorganismen (Milben) einsiedeln. Bei unzureichender Pflege oder auch bei hoher Raumfeuchte können sich diese Organismen im Gewebe bestens vermehren, was sogar zu einer Gesundheitsgefährdung von Personen führen kann. Gegenüber den anderen Fußbodenbelägen ist dies ein großer Nachteil. Teppichböden sollten daher nicht in Bädern oder Küchen verwendet werden. Neue Teppichböden können anfänglich zudem flüchtige organische Verbindungen (VOC) abgeben, wodurch Geruchsbelästigungen entstehen können. Wegen der guten Rutschsicherheit sind Unfälle weitaus seltener als bei Hartbelägen.

PVC: Unter hygienischen Gesichtspunkten ist PVC ein gutes Material, weshalb PVC Böden oft in öffentlichen Gebäuden, wie zum Beispiel Krankenhäusern vorzufinden sind. Während reines PVC zwar unbedenklich ist, geben PVC Böden in Abhängigkeit von ihrer Qualität über längere Zeit hinweg die in ihm befindlichen Weichmacher an die Umgebungsluft ab. Durch Wischwasser können zusätzlich toxische Stoffe in die Umwelt gelangen. Die Mengen sind allerdings sehr gering.

LAM: Für Wohn- und Bürogebäude sieht die Chemikalienverbotsverordnung (ChemVerbotsV) wie bei allen Holzwerkstoffen einen maximal zulässigen Grenzwert von 0,1 ppm für die Abgabe von Formaldehyd in die Raumluft vor. Formaldehyd wird bei der Verleimung des Trägermaterials des Laminats, der HDF-Platte, verwendet. In der Klassifizierung nach DIN EN 13986 /34/ fällt Laminat somit unter die Emissionsklasse E1 und gilt als schadstofffrei. Des Weiteren kann es als hygienisch unbedenklich eingestuft werden.

MP: Da ebenso wie beim Laminatfußboden eine schwimmende Ver-

legung mit Hilfe eines Klick-Systems vorgenommen bzw. auf eine Verklebung des Bodens verzichtet wird, ist mit keinen Emissionen zu rechnen.

STP: Das verwendete Holz emittiert selbst keine relevanten Schadstoffe. Darüber hinaus geht auch von dem verwendeten Dispersionsklebstoff keine Gefahr für die Gesundheit aus. Allerdings können bei dem Schleifen des Parketts Feinstäube entstehen, bei denen laut MAK-Liste III Kat. 1 davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten (DFG, 2007). Dem ist beim Einbau durch geeignete Sicherheitsvorkehrungen, wie Staubfilter und Schutzmasken, zu begegnen.

KFL: Fliesenböden finden vorwiegend in Nassbereichen wie Toiletten und Bädern Anwendung, da eine Ansiedlung von Bakterien, Pilzen und anderen Krankheitserregern auf diesen Böden nicht möglich ist. Es ist auch mit keiner gesundheitsschädlichen Abgabe von Schadstoffen zu rechnen.

Brandverhalten

KFT: Kunstfaserteppiche sind aufgrund des organischen Fasermaterials leicht brennbar und müssen für Wohngebäude nach DIN EN ISO 11925-2 die Brandklasse EFL erfüllen, welche zwar Aussagen über das Brandverhalten und die Rauchentwicklung liefert, aber keine Angaben über die im Brandfall entstehenden gesundheitsschädigenden Gase macht. Gegenüber den anderen Fußbodentypen weisen sie ein ungünstigeres Brandverhalten auf.

PVC: Im Brandfall werden aus dem PVC-Boden u.a. das giftige Kohlenmonoxid und insbesondere Chlorwasserstoff (HCl) freigesetzt, das in Verbindung mit Wasser (Löschwasser) zu der stark ätzenden Salzsäure reagiert. Des Weiteren entstehen bei der Verbrennung von PVC polychlorierte Dioxine, so dass die Brandrückstände als Sondermüll zu entsorgen sind.

LAM: Laminat wird nach DIN 4102-4 in Brandklassen eingeteilt und fällt zumeist unter die Klasse B1 (schwer entflammbar). Allerdings muss vom Hersteller der entsprechende Nachweis erbracht werden und das Produkt gekennzeichnet sein. Die verwendete Trittschalldämmung aus Polyethylen besitzt die Brandklasse B2, d.h. sie ist normal entflammbar. Bei deren Verbrennung können gesundheitsschädigende Emissionen entstehen.

MP: Mehrschichtparkett entspricht im Brandverhalten dem Laminatfußboden.

STP: Zwar ist Holz brennbar, jedoch ist die Brandbeanspruchung bei massiven Holzfußböden eine andere als bei Wänden und Decken, da die Flammenausbreitung geringer ist. Während Holz im allgemeinen nach DIN 4102-4 als normal entflammbar (B2) eingestuft ist, wird z.B. Eichenparkett aus Parkettstäben als schwer entflammbar klassifiziert.(s. Ruske, W. et al., 2001) /96/ Im Brandfall können aus dem Kleber und den verwendeten Oberflächenbeschichtungen allerdings auch Schadstoffe freiwerden.

KFL: Da die Fliesen für den Fußboden aus rein mineralischen Materialien bestehen, sind sie nicht brennbar und können somit auch keine Verbrennungsgase freisetzen.

Entfernung

KFT: Der Aufwand für die Entfernung von alten Kunstfaserteppichen ist relativ hoch. Zunächst muss der verklebte Teppichrücken mit Hilfe eines so genannten Teppichstrippers vom Untergrund gelöst werden, wobei der Teppich idealerweise vorher in Streifen geschnitten wurde, um die Handhabung des gelösten Teppichs zu vereinfachen. Anschließend müssen weitere Klebstoffreste vom Untergrund entfernt werden. Sofern auf normalerweise übliche Verklebung verzichtet wurde, lassen sich Teppichböden aber sehr einfach entfernen.

PVC: Ebenso wie bei Kunstfaserteppich hängt der Aufwand für die Entfernung des PVC-Bodens davon ab, ob der Belag verklebt wurde oder nicht. Üblich ist allerdings eine Verklebung des PVC-Bodens, was einen dementsprechenden Arbeits- und Zeitaufwand nach sich zieht.

LAM: Der Rückbau eines Laminatfußbodens ist bei schwimmender Verlegung mit Klicktechnik unkompliziert.

MP: Ebenso wie beim Laminatfußboden ist der Aufwand für den Ausbau des Mehrschichtparkettbodens dank der verwendeten Klicktechnik sehr gering.

STP: Der Ausbau ist aufgrund der Verklebung mit dem Untergrund mit erheblichem Zeit und Kraftaufwand verbunden.

KFL: Da die Fliesen mit dem Untergrund verklebt sind, ist der Ausbau zeitaufwändig und geht mit einer erhöhten Staubbelastung einher.

Wiederverwertung, Recycling, Entsorgung

KFT: Eine stoffliche Verwertung alter Kunstfaserteppiche ist aufgrund der unterschiedlichsten Inhaltsstoffe meist nicht möglich, weshalb sie thermisch verwertet werden.

PVC: Die thermische Entsorgung von PVC-Belägen ist aufgrund der zahlreich enthaltenen Additive (Weichmacher, Schwermetalle) problematisch. So war PVC in der Vergangenheit zu etwa 50% für den Chloreintrag in Müllverbrennungsanlagen verantwortlich. Allerdings werden PVC-Bodenbeläge am Ende ihrer Nutzung vermehrt werkstofflich verwertet. Dies geschieht mit Hilfe eines Kaltmahlverfahrens /4/.

LAM: Das Laminat lässt sich nur bei hoher Qualität wieder verwenden. Allerdings muss für ein zerstörungsfreies Herauslösen der Paneele mit größter Sorgfalt vorgegangen werden. Des Weiteren ist eine stoffliche Verwertung ziemlich aufwändig, weshalb auch der Laminatboden zumeist thermisch verwertet wird.

MP: Mehrschichtparkett kann abhängig von seiner Oberflächenbehandlung entweder stofflich recycelt oder thermisch verwertet werden.

STP: Die Massivholzstäbe des Stabparketts können aufgrund der Verklebung nicht wieder verwendet werden und werden zumeist einer thermischen Verwertung zugeführt.

KFL: Auch eine Wiederverwendung von alten ausgebauten Fliesen ist kaum möglich, da sie nicht schadensfrei ausgebaut werden können. Fliesenbruch kann aber problemlos als Schotterersatz und Schüttmaterial genutzt werden.

5.2.5 Fenster

Der Einfluss des Fensters auf den Wohn- und Gebrauchswert eines Gebäudes, sowie auf dessen Herstellungs-, Instandhaltungs-, und Wartungskosten, haben das Fenster zu einem bedeutsamen Wertfaktor gemacht. Prinzipiell hat dieses Bauelement seit jeher die Aufgabe das Tageslicht ins Haus zu lassen, wobei gleichzeitig das Hausinnere vor Wind, Niederschlag, Kälte oder Hitze geschützt werden muss. Außerdem erfüllt es im geöffneten Zustand die Aufgabe der Durchlüftung des Gebäudes und ermöglicht einen kontrollierten Austausch von gebrauchter und frischer Luft. Im Vergleich zu früher übernehmen Fenster heute immer vielseitigere Aufgaben. Die Wärmedämmung und der Schallschutz sind nur einige einer Vielzahl von bauphysikalischen Anforderungen, die das Fenster zu erfüllen hat. Diese Steigerung der Anforderungen an das Fenster, verbunden mit der Weiterentwicklung der technologischen Fertigungsmöglichkeiten, hat aus dem ursprünglich einfachen Fenster ein technisch hoch kompliziertes Gebilde werden lassen. Die Nutzungsdauer eines Fensters wird heutzutage nicht mehr zwingend von der Lebensdauer der eingesetzten Werkstoffe, sondern von veränderten Anforderungen bestimmt. Dies betrifft zum einen die Verbesserung des Wärme- oder Schallschutzes, zum anderen spielen aber auch geringere Instandhaltungsaufwendungen, sowie Wirtschaftlichkeits- und formalfunktionale Aspekte eine Rolle /71/.

Die Klassifizierung eines Fensters kann anhand verschiedener Kriterien vorgenommen werden:

1. Einbauposition: Kellerfenster, Außenwandfenster, Dachfenster
2. Verglasung: Einfach-, Zweifach-, Dreifachverglasung, Schallschutzverglasung
3. Öffnungsart: Drehflügelfenster, Kippflügelfenster, Drehkippfenster, Klappflügelfenster, Wendefenster, Schwingfenster, Vertikalschiebefenster, Horizontalschiebefenster
4. Rahmenmaterial: Holzfenster, Kunststofffenster, Aluminiumfenster, Aluminium-Holzfenster

Ein Fenster besteht im Wesentlichen aus drei Funktionselementen: dem Blendrahmen, dem Flügelrahmen und der Verglasung des Fensterflügels. Um den Anforderungen des Schall-

und Wärmeschutzes gerecht zu werden, muss ein Fenster im geschlossenen Zustand Luftdichtheit gewährleisten. Das bedeutet, dass die oben genannten Bestandteile des Fensters so ineinander wirken müssen, dass im geschlossenen Zustand kein unkontrollierter Lufttransport von innen nach außen möglich ist. Ein Fenster besitzt daher Silikondichtungen zwischen der Verglasung und dem Flügelrahmen, sowie Dichtungsprofile zwischen Blend- und Flügelrahmen. So kann das Fenster auch den Außenlärm (Verkehrslärm) von den im Gebäude lebenden Menschen fernhalten. Während sich der Schallschutz nur auf das Wohlbefinden des Menschen beschränkt, ist die Wärmedämmung aufgrund des Anteils von Fenstern an der Gebäudefläche und der durch dieses Bauteil erzielbaren Energieeinsparungsmöglichkeiten auch von globaler Bedeutung. Bei der Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs eines Gebäudes wird neben der Qualität des Heizsystems auch die Qualität des Wärmeschutzes berücksichtigt, die sich u.a. aus den U-Werten der Gebäudehülle, also der Fenster-, Dach- und Wandflächen, ergibt. In der Energieeinsparverordnung (EnEV) von 2002 /49/ sind hierfür Grenzwerte festgelegt. Der U-Wert eines Fensters (Uw) berechnet sich aus Einzelwerten des Rahmens (Uf), der Verglasung (Ug) und der Glasrandzone (ψ). Während im Rahmen der energetischen Sanierung von Altbauten für neue Fenster ein U-Wert von 1,7 W/m²K nachzuweisen ist, existieren im Anforderungskatalog für den Neubau keine Bauteilwerte mehr /63/. Hier müssen die Fenster durch die entsprechende Konstruktion und Werkstoffauswahl den jeweils notwendigen Beitrag leisten, damit der zulässige Grenzwert für den Jahresheizwärmebedarf des Gebäudes nicht überschritten wird. Bei Fenstern mit einem U-Wert von 1,4 W/m²K ist z.B. ein Fensterflächenanteil bis 31% möglich /63/. Bei hohen U-Werten der verbauten Fenster muss deren Anteil an der Fläche der Gebäudehülle dementsprechend geringer sein. Da ein U-Wert von 1,4 W/m²K dem heute üblichen Standard entspricht, wurde er als Vergleichsgröße für die in dieser Studie bilanzierten Fenstertypen angesetzt. Zwar liegt der Ug-Wert der Wärmeschutzverglasung bei ca. 1,2 W/m²K, da die Rahmenmaterialien jedoch höhere U-Werte besitzen, liegt der U-Wert des gesamten Fensters bei ca. 1,4 W/m²K. Die Außenmaße des Fensters wurde nach auf die Größe 1,0 m x 1,5 m festgelegt.

Bei den in dieser Studie vorgestellten Fenstern handelt es sich um einflügelige Drehkippfenster für Außenwände mit einer zweifachen Wärmeschutzverglasung aus den Rahmenmaterialien Holz, PVC, Aluminium und Holz-Aluminium. Die nachfolgende Beschreibung der Fenstertypen basiert im Wesentlichen auf einer 1997 erschienenen Studie des Instituts für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität Stuttgart /76/. Somit sei an dieser Stelle für eine detailliertere technische Beschreibung der jeweiligen Herstellungsprozesse auf diese Literaturquelle verwiesen.

5.2.5.1 Holzfenster

Holz ist der älteste Werkstoff für das Rahmenmaterial eines Fensters und hat neben Kunststoff und Aluminium einen bedeutenden, wenn auch sinkenden Anteil am Fenstermarkt. Die für den Fensterbau heute üblichsten europäischen Holzarten sind Nadelhölzer wie Kiefer, Lärche, Fichte oder auch Tanne. Aber auch Laubhölzer wie z.B. Eiche, Mahagoni, Sipo, oder Meranti werden für den Fensterbau genutzt. Zum Schutz gegen die Witterung und vor biotischen Schädigungen müssen Holzfenster in Abhängigkeit von der verwendeten Holzart und deren Resistenzklasse (DIN EN 350 /39/) nach DIN 68800-3 /30/ vorbeugend mit Holzschutzmitteln behandelt werden. Die Oberfläche des Fensters erhält in der Regel außerdem einen Anstrich mit Alkydharz- bzw. Acryllacken oder Lasuren.

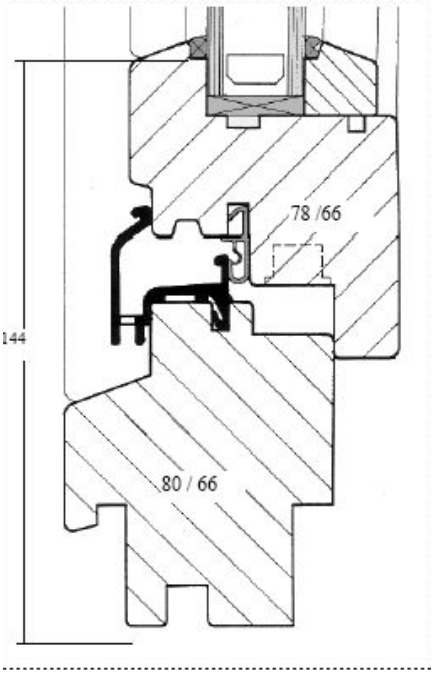


Abbildung 5-7: Querschnitt eines Holzfensters /76/

Für die Herstellung eines Holzfensters wird zunächst das als Rahmenmaterial vorgesehene Holz an der Luft auf 20 % Holzfeuchte und anschließend in einem technischen Trocknungsprozess auf 13 % Restfeuchte herunter getrocknet. Anschließend erfolgt der Längenzuschnitt der getrockneten Rohholzkanteln an einer Kappsäge. Als Alternative zu massiven Vollholzkanteln werden heute vielfach auch 3-lagig lamellierte oder keilgezinkte Profile verwendet. Mit einer Kehlmaschine werden die Rahmenhölzer auf Breite und Länge formatiert und schließlich zu Flügel- und Blendrahmen verleimt und verpresst. Mittels einer Umfräßstation erhalten die Rahmen ihre Außenprofilierung. Die fertig profilierten Rahmen werden lackiert und anschließend getrocknet. Abschließend erfolgt der Zusammenbau von Flügel- und Blendrahmen mit Beschlägen und Dichtungen zu einem fertigen Holzfenster /76/.

5.2.5.2 PVC-Fenster

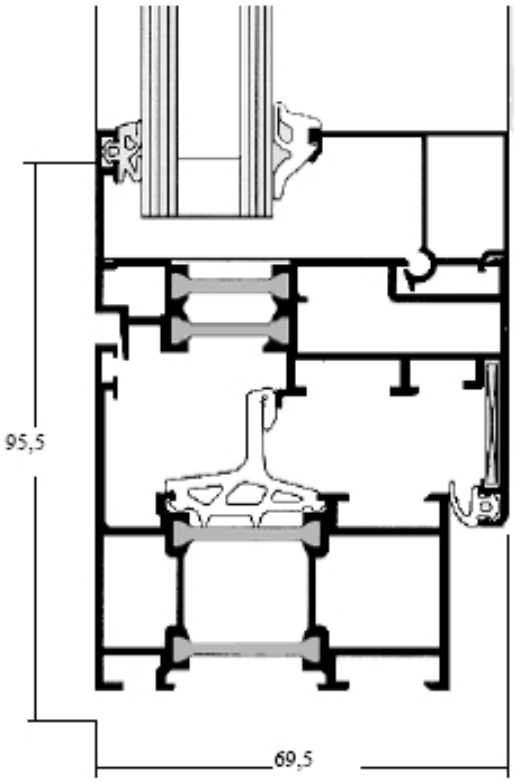


Abbildung 5-8: Querschnitt eines Kunststofffensters /76/

In den letzten Jahren wurden Kunststofffenster immer beliebter und besitzen heute den größten Marktanteil. Dies liegt vor allem an der langen Lebensdauer und dem geringen Pflegeaufwand. So ist das Rahmenmaterial aus PVC ohne erforderlichen Schutzanstrich gegen Wasser oder Säuren und Korrosion resistent. Darüber hinaus ist ein Kunststofffenster äußerst preisgünstig. Zur Herstellung von PVC-Fensterrahmen verwendet man schlag-zähmodifiziertes Polyvinylchlorid (PVC)-Granulat, welches unter Verwendung von TiO_2 weiß pigmentiert und mit einem Stabilisator- Compound gegen Witterungseinflüsse geschützt wird. Zunächst erfolgt die Extrusion des PVC-Granulats zum Fensterprofil, welches nach dem Aushärten gemäß den Rahmenmaßen auf Gehrung abgelängt wird. Anschließend werden Drainageöffnungen und Aussparungen für die Beschlagbefestigungen in die Profile eingefräst und zur Erhöhung der statischen Festigkeit Metallverstärkungen in den Rahmen eingebracht. Schließlich werden die Rahmenprofile an den Ecken verschweißt und die Nähte verputzt. Abschließend erfolgen analog zum Holzfenster die Montage der Beschläge, der Verglasung und der Dichtungen, sowie der Zusammenbau von Flügel und Blendrahmen zum fertigen Kunststofffenster /76/.

5.2.5.3 Aluminiumfenster

Aluminiumfenster werden vorwiegend in öffentlichen Gebäuden und Büros eingesetzt, die einen großen prozentualen Fensterflächenanteil aufweisen. Besonders für großflächige Glasfassaden ist der Einsatz von Fenstern aus Aluminium üblich, da sie die hierfür notwendige hohe statische Festigkeit und Steifheit aufweisen. Außerdem sind sie witterungsbeständig, nahezu wartungsfrei und erreichen eine hohe Lebensdauer. Allerdings besitzt Aluminium eine hohe Wärmeleitfähigkeit, weshalb nach DIN EN 14024 /35/ Isolierprofile verwendet werden müssen, so dass keine Kältebrücken entstehen können. Die Aluminium-Fensterprofile bestehen aus zwei durch Polyamid-Isolierstege thermisch getrennte AL-Extrusionsprofilen. Als Dichtungen werden EPDM-Profile verwendet und die Verglasung wird von einer Glasleiste aus Aluminium gehalten.

Aus dem Rohaluminium werden in Hüttengießereien unter Zusatz von Legierungsbestandteilen Aluminium-Pressbarren durch Stranggießen hergestellt, die als Rohstoff bei der Fensterherstellung verwendet werden. Diese Pressbarren werden durch Strangpressen zu Rohprofilen geformt und anschließend durch maschinelles Einziehen der Polyamid-Isolierstege miteinander verbunden. Zum Schutz der Oberfläche vor Korrosion werden Aluminiumfenster meist entweder eloxiert, wobei eine Oxydschicht auf dem Metall erzeugt wird, die chemisch nicht mehr weiter reagiert, oder die Oberfläche des Rahmenprofils wird mit einem Pulverlack beschichtet. Schließlich werden die Profile abgelängt und die Aussparungen für die Beschläge eingefräst. Am Ende des Herstellungsprozesses werden die Rahmenteile mit Eckprofilen zu einem Fensterrahmen verbunden und die fehlenden Beschläge, die Verglasung und die Dichtungen befestigt (s. a. /76/).

5.2.5.4 Holz-Aluminium-Fenster

Das Holz-Aluminium-Fenster ist eine Kombination aus einem Holz- und einem Aluminiumfenster und verbindet so die Vorteile von Holz beim Wärmeschutz und von Aluminium als wartungsfreien Wetterschutz in einem Bauelement. Es besteht aus einem tragenden Holzrahmen und einer davor gesetzten Schale aus Aluminiumprofilen, die auf der Außenseite des Holzrahmens mittels Eindrehhalterungen angebracht sind. Während der Holzrahmen bei diesem Fenstertyp die statische Funktion übernimmt, dient die Aluminium-Deckschale als konstruktiver Witterungsschutz für den Holzrahmen. Auch die Glasleiste am Fensterflügel besteht bei den so genannten Verbundkonstruktionen aus Aluminium. Eine andere Version die-

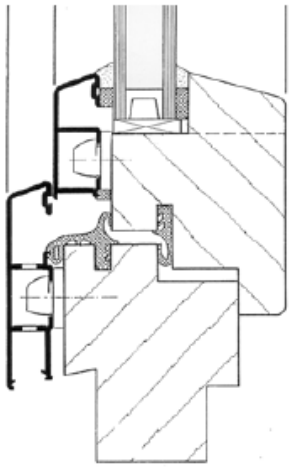


Abbildung 5-9: Querschnitt eines Holz/Aluminiumfensters /76/

ses Fenstertyps ist die Vorsatzrahmenkonstruktion, bei der das Aluminiumprofil einfach auf dem Holzrahmen befestigt wird. Wichtig ist bei einem Holz-Aluminiumfenster, dass kein Niederschlagswasser zwischen die beiden Komponenten eindringen kann. Die Herstellung der verwendeten Holzkanteln und der Aluminiumprofile erfolgt analog zu den Arbeitsschritten für die Herstellung des Holz- bzw. Aluminiumfensters (s. a. /76/).

5.2.5.5 Schwächen und Stärkenanalyse

Verwendete Abkürzungen	HF:	Holzfenster
	PVC	PVC-Fenster
	ALF:	Aluminiumfenster
	HAF:	Holz-Aluminiumfenster
Kriterium	Abk.	Beschreibung
Einbau	HF:	Beim Einbau eines Holzfensters sollten auf jeden Fall die Grundsätze des konstruktiven Holzschutzes beachtet werden. Der korrekte Einbau besitzt großen Einfluss auf die zu erwartende Lebensdauer.
	PVC	Natürlich sollte man auch bei einem Kunststofffenster auf einen fehlerfreien Einbau achten. Allerdings haben kleinere Einbaufehler keinen Einfluss auf die Lebensdauer, sondern ziehen hauptsächlich Störungen im Gebrauch nach sich (z. B. Klemmen des Fensterflügelrahmens am Blendrahmen).
	ALF:	Beim Einbau eines Aluminiumfensters sollte besonders darauf geachtet werden, dass die Korrosionsschutzschicht nicht beschädigt wird.
	HAF:	Da dieser Fenstertyp aus den Werkstoffen Holz und Aluminium besteht, gelten für den Einbau die für diese beiden Fenstertypen beschriebenen Grundsätze. Allerdings kommt dem konstruktiven Holzschutz aufgrund der Wetterschutzwirkung des Aluminiumrahmens nicht eine so hohe Bedeutung zu, wie bei dem Holzfenster.
Pflege und Wartungsaufwand	HF:	Der Pflege- und Wartungsaufwand ist bei einem Holzfenster erheblich höher als bei einem Kunststoff- oder Aluminiumfenster. Der Oberflächenschutz der Holzfenster muss in regelmäßigen Abständen erneuert werden, wobei die Häufigkeit abhängig von Exposition des Fensters ist. Auch sind Lasuren wartungs- und pflegeintensiver als deckende Lacke. Im Schnitt ist aber davon auszugehen, dass eine Oberflächenbehandlung ca. alle 5 Jahre notwendig wird.
	PVC:	Der Pflege- und Wartungsaufwand eines Kunststofffensters ist im Vergleich zum Holzfenster niedrig, da der Kunststoffrahmen gegen Witterungseinflüsse weitestgehend unempfindlich ist und somit nahezu wartungsfrei ist. Nachteilig hingegen ist die Eigen-

schaft von Kunststofffenstern bedingt durch statische Aufladung Schmutzpartikel aus der Atmosphäre anzuziehen, so dass sie in gewissen Abständen gereinigt werden müssen.

ALF: Der Aluminiumrahmen ist pflegeleicht und nahezu wartungsfrei.

HAF: Aufgrund des auf der Außenseite angebrachten Aluminiumrahmens fällt auch bei diesem Fenstertyp kein Wartungsaufwand an.

Beständigkeit gegen Witterung und Korrosion

HF: Das Material dieses Fenstertyps ist gegenüber Nässe, Frost und UV-Licht empfindlich und wird nach EN 350 /39/ in Resistenzklassen eingeteilt. Nach DIN 68800 /30/ dürfen Hölzer der Resistenzklassen 3 und 4 (Nadelholz) nur in Verbindung mit chemischem Holzschutz als Profil in die Außenwand eingesetzt werden. Für splintfreie Farbkernhölzer der Resistenzklassen 1 oder 2 (Laubholz) ist danach kein chemischer Schutzanstrich erforderlich (s. Pflege- und Wartungsaufwand).

PVC Kunststofffenster sind witterungsbeständig, so dass keine Beschichtung erforderlich ist. Allerdings kann es bei UV-Bestrahlung besonders bei weißen Kunststoffrahmen zu Verfärbungen kommen.

ALF: Das Aluminiumfenster ist in hohem Maße witterungs- und korrosionsbeständig. Eine Oberflächenbeschichtung schützt das Fenster vor Säureangriffen. Allerdings kann Aluminium in Verbindung mit anderen Metallen elektrolytisch reagieren (v. a. Kupfer), was eine Zerstörung der Oberfläche zur Folge haben kann. Daher sollten auch indirekte Verbindungen zu anderen metallischen Bauteilen, z.B. durch Regenwasser, vermieden werden.

HAF: Für diesen Fenstertypus gelten die gleichen Aussagen wie für das Aluminiumfenster. Der für das Holzfenster eventuell notwendige Schutzanstrich entfällt.

Reparaturfähigkeit

HF: Holzfenster lassen sich bei beschädigter Oberfläche abschleifen und neu lackieren.

PVC: Treten Oberflächenschäden bei einem Kunststofffenster auf, so sind diese nicht mehr reparabel.

ALF: Wird bei einem Aluminiumfenster die Korrosionsschutzschicht angegriffen, kann auch hier die Oberfläche nicht mehr repariert werden.

HAF: Durch den zweischaligen Aufbau lassen sich bei Beschädigung die jeweiligen Komponenten austauschen bzw. wie oben beschrieben reparieren.

Brandverhalten

HF: Holzfenster weisen im Brandfall mehr Sicherheit gegenüber Kunststofffenstern auf, da sie länger stabil bleiben. Ansonsten müssen Holzfenster wie alle Bauteile die Anforderungen an das Brandverhalten nach DIN 4102 /27/ erfüllen und mindestens der Brandschutzklasse B 2 (normal entflammbar) entsprechen (nach DIN EN 14351 /46/ entspricht dies der Baustoffklasse E). Darüber hinausgehende Bestimmungen die den Brandschutz betref-

fen sind von der baulichen Umgebung des eingebauten Fensters abhängig.

PVC: Kunststofffenster verhalten sich im Brandfall äußerst ungünstig, da sie unter Hitzeeinwirkung weich werden und sogar schmelzen. Außerdem entstehen bei der Verbrennung von PVC giftige Gase, wie das hochtoxische Dioxin oder HCl-Gas, das in Verbindung mit Wasser (Löschwasser) zu ätzender Salzsäure reagiert.

ALF: Aluminiumfenster sind im Gegensatz zu den beiden anderen Materialien nicht brennbar. Durch den großen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Aluminium, kann sich der Rahmen unter Hitzeeinwirkung allerdings verziehen.

HAF: Die Bestandteile dieses Fenstertyps verhalten sich gemäß den Beschreibungen für das Holz- bzw. Aluminiumfenster.

Statische Festigkeit

HF: Im Allgemeinen besitzen Holzfenster eine gute statische Festigkeit. Der Flügel- und der Blendrahmen sind stabiler als beim Kunststofffenster.

PVC: Die statische Festigkeit des PVC-Fensters ist gegenüber den beiden anderen Fenstertypen geringer, so dass Kunststofffenster für größere Fenster und Konstruktionen, wie Wintergärten und Fassaden, nur eingeschränkt verwendet werden können.

ALF: Aluminium-Fenster sind beständig und formstabil, weshalb sie sich sehr gut für größere Konstruktionen, wie zum Beispiel Wintergärten und Fassaden eignen.

HAF: Das Holz-Aluminiumfenster verbindet die Vorteile der beiden verwendeten Werkstoffe und besitzt eine sehr hohe statische Festigkeit.

Recycling, Entsorgung

HF: Alte Holzfenster werden in der Regel thermisch verwertet, da sie gemäß der Altholzverordnung zumeist in die Kategorien A III (mit halogenorganischen Verbindungen behandeltes Altholz) oder A VI (mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz) fallen (AltholzV, 2002 /1/). Die heute auf dem Markt befindlichen Holzfenstersyteme lassen sich Dank nachgeschalteter Rauchgasreinigungsanlagen weitgehend problemlos verfeuern /104/.

PVC: Der Kunststoffrahmen kann mit Hilfe eines Kaltmahlverfahrens aufbereitet und dem Stoffkreislauf wieder zugeführt werden. Allerdings ist über die tatsächliche Erfassungsrate relativ wenig in Erfahrung zu bringen. Die thermische Entsorgung von PVC ist allerdings aufgrund der zahlreich enthaltenen Stoffe problematisch. So war PVC in der Vergangenheit zu etwa 50% für den Chloreintrag in Müllverbrennungsanlagen verantwortlich /4/.

ALF: Der Rahmen dieses Fenstertyps wird zum größten Teil recycelt (Recyclingquote bis zu 85%), da Aluminiumschrott ein gesuchter Rohstoff ist. Hier kann der Energieaufwand auf nur mehr 5 % des

Niveaus reduziert werden, welches für die Herstellung von Umschmelzaluminium erforderlich ist /55/.

HAF: Für die Entsorgung werden die Komponenten des Fensters getrennt und wie beim Holz- bzw. Aluminiumfenster entsprechend verwertet bzw. recycelt.

5.3 Die ökologischen Eigenschaften

Im Folgenden werden die in Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2 gewählten und definierten Holzprodukte mit ihren wichtigsten Konkurrenzprodukten, die in den beiden Kapiteln 5.1 und 5.2 identifiziert wurden, bezüglich ihrer umweltlichen Eigenschaften verglichen. In Anlehnung an die DIN ISO 14040 und 14044 /41/, /42/ erfolgt die Betrachtung der Produkte entlang ihres Lebenszyklus von der Herstellung über Nutzung bis spezifischen Entsorgung der jeweiligen Zusammenbauteile. Der Aufbau und die Auswertung des Vergleichs der Lebenszyklusmodelle erfolgt in der Ökobilanzsoftware GaBi 4 /79/, die Basisdaten entstammen der GaBi-Datenbank zur Ökobilanzierung /79/.

5.3.1 Innenwände

Im Rahmen dieses Projektes werden drei Typen von Innenwänden untersucht und verglichen. Auf Basis von Marktrecherchen (siehe Kapitel 5.1) und der Spezifikation technischer Eigenschaften (siehe 5.2) wurden drei repräsentative Innenwandtypen unterschiedlicher Konstruktionsweisen definiert:

- Innenwand in Holzständerbauweise,
- Innenwand in Massivbauweise und
- Innenwand in Metallständerbauweise.

Funktionelle Basis des Vergleiches für die Innenwände ist dabei, gemäß der technischen Spezifikation in Kapitel 5.2; die Funktion der Raumtrennung mit einer Wandfläche von 10,75m² kombiniert mit einem bewerteten Schalldämmungsmaß $R_{w,R}$=38dB.

Tabelle 5-11: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Innenwände gemäß Kapitel 5.2

Funktionelle Vergleichsbasis	**Raumtrennung mit einer Wandfläche von 10,75m² sowie bewertetes Schalldämmmaß $R_{w,R}$=38dB**	
Betrachtete Nutzungsdauer		50 Jahre
Herstellung und Instandhaltung	Lebensdauer Holzinnenwände	70 Jahre
	Instandhaltung Holzinnenwände	GK-Platte (Austausch nach 40 Jahren)
	Lebensdauer Massivinnenwände	70 Jahre
	Instandhaltung Massivinnenwände	Erneuerung Kalkgipsputz (nach 40 Jahren)
	Lebensdauer Metallständerinnenwände	40 Jahre, dann komplett Austausch

Wie bereits zu Eingang des Kapitels erwähnt, erfolgt die Betrachtung der Produkte in Anlehnung an die DIN EN ISO 14044 /42/ entlang ihres Lebenszyklus von der Herstellung über die Nutzung bis zur spezifischen Entsorgung der jeweiligen Zusammenbauteile. Der Aufbau und die Auswertung des Vergleichs der Lebenszyklusmodelle erfolgt in der Ökobilanzsoftware GaBi 4 /79/, die Basisdaten entstammen der GaBi-Datenbank zur Ökobilanzierung /79/.

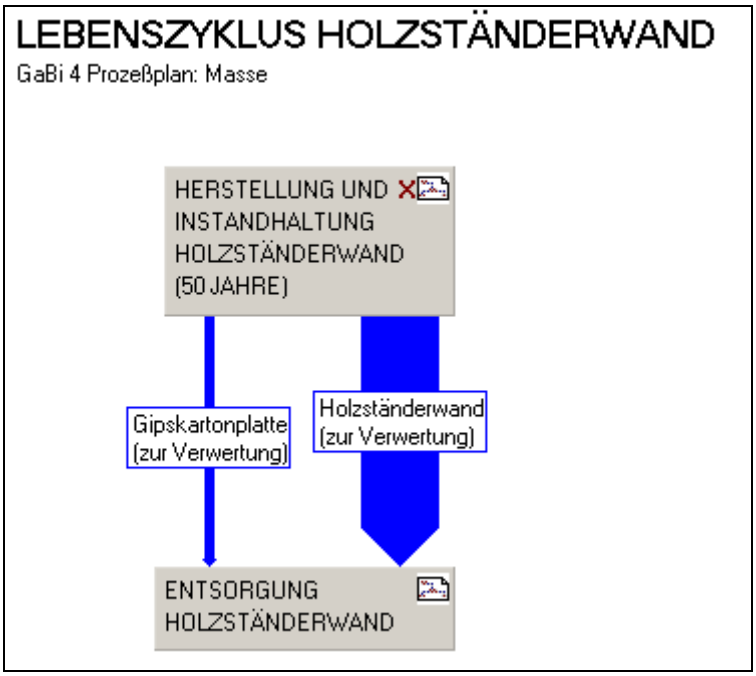


Abbildung 5-10: Modellierung Lebenszyklus Holzständerinnenwand

Abbildung 5-10 zeigt die Modellierung des Lebenszyklus exemplarisch für die Innenwand in Holzständerbauweise. Die Modellierung beinhaltet sowohl die ursprüngliche Holzständerwand, als auch einzelne Komponenten, die zusätzlich während des Lebenszyklus ersetzt bzw. erneuert wurden.

5.3.1.1 Herstellung und Nutzung/Instandhaltung

Die Modellierung der Herstellung orientiert sich an der technischen Spezifikation der Systeme, die genaue Zusammensetzung der Wände wurde in Kapitel 5.2 definiert.

Die Tabelle 5-13, Tabelle 5-12 und Tabelle 5-14 zeigen die spezifizierten Materiallisten für die Innenwände in Holzständerbauweise, Metallständerbauweise und Massivbauweise. Diese Zusammensetzungen entsprechen durchschnittlichen Wandtypen, wie sie im Wohnungsbausektor im Innenbereich eingesetzt werden. Sie bilden die Grundlage für den umweltlichen Vergleich der drei Systeme und darauf aufbauend für die Ökologische Potenzialanalyse in Kapitel 6.1. Für alle drei Innenwandtypen wurde eine Montageenergie von 2 MJ elektrischer Energie angenommen, abgeschätzt für den Einsatz verschiedener elektrischer Geräte wie Akkuschrauber, Bohrmaschine, usw.

Tabelle 5-12: Materialliste Holzständerwand

Pos.	Materialbezeichnung	Menge		Gew./Menge		Gewicht [kg]
1	Holzständer (KVH 60*80mm)	25,06	m	600[8]	kg/m³	72,2
2	Schwellen (KVH 60*80mm)	10,00	m	600	kg/m³	28,8
3	Rähm (KVH 60*80mm)	10,00	m	600	kg/m³	28,8
4	GK-Platte (2000*1250*12,5mm)	21,50[9]	m²	9,00	kg/m²	206,4
5	Dämmung (Mineralwolle 60mm)	10,75	m²	60,00	kg/m³	38,7
6	Schnellbauschrauben (TN 3,8*35mm)	624,00	St.	1,80	kg/1000St.	1,1
7	Nägel	46,00	St.	18	kg/1000St.	0,8
8	Fugenspachtel	21,50	m²	0,30	kg/m²	6,5

Tabelle 5-13: Materialliste Metallständerwand

Pos.	Materialbezeichnung	Menge		Gew./Menge		Gewicht [kg]
1	CW-75-Profil (75*50*0,6mm)	26,50	m	0,83	kg/m	21,9
2	UW-75-Profil (75*40*0,6mm)	10,00	m	0,72	kg/m	7,2
3	GK-Platte (2000*1250*12,5mm)	21,50	m²	9,00	kg/m²	193,5
4	Dämmung (Mineralwolle 60mm)	10,75	m²	60,00	kg/m³	38,7
5	Schnellbauschrauben (TN 3,5*25mm)	624,00	St.	1,45	kg/1000St.	0,9
6	Fugenspachtel	21,50	m²	0,30	kg/m²	6,5
7	Abschlussdichtungsband (75*5,0mm)	15,00	m²	2,92	kg/100m	0,4
8	Nageldübel für Bef. an W,B,D (5,0*35mm)			0,33	kg/100St.	

Tabelle 5-14: Materialliste Massivwand mit KS

Pos.	Materialbezeichnung	Menge		Gewicht/ Menge		Gewicht [kg]
1	KSL-Stein (115*113*240 mm)	344	St.	1600	kg/m³	1716,6
2	Kalkzementmörtel (1,2 cm Längs- und 1 cm Querfuge)	0,1418	m³	2000	kg/m³	283,6
3	Kalkgipsputz (beidseitig 1,5 cm)	0,3225	m³	1800	kg/m³	580,5

Tabelle 5-15: Materialliste Massivwand mit Porenbeton

Materialbedarf für Massivwand aus Gasbeton

Pos.	Materialbezeichnung	Menge		Gewicht/ Menge		Gewicht [kg]
1	Gasbetonstein (600*100*200 mm)	90	St.	650	kg/m³	702
2	Dünnbettmörtel (Fugedicke 1-2mm)	8,7	l	1600	kg/m³	13,92
3	Gipsputz (beidseitig 10 cm)	0,216	m³	1300	kg/m³	280,8

Die Modellierung der Herstellung der drei Innenwandsysteme fand auf Basis der Materiallisten in Tabelle 5-13, Tabelle 5-12 und Tabelle 5-14 statt, wie in der nachfolgenden Abbildung

[8] Die Gewichtsangabe 600 kg/m3 für das verwendete Schnittholz beinhaltet einen Verschnitt von 25%, wenn man von einer durchschnittlichen Rohdichte bei Nadelholz von 450 kg/m³ ausgeht. Verschnitt fließt genau wie die Holzfraktion beim Rückbau in energetische Verwertung. Hierdurch erübrigt sich die Abbildung des Verschnitts im Prozessplan für die Holzständerwand.

[9] Bei den GK-Platten wurde kein Verschnitt angenommen, was in der Realität nicht richtig ist. Der gewählte Ansatz liegt deshalb etwa 10% zu niedrig.

5-11 für das Innenwandsystem Holzständerwand beispielhaft zu sehen ist. Bei den Massivwänden gibt es zwei Varianten, eine mit KSL und eine aus Porenbetonsteinen. Aus diesen wurde im Verhältnis 58:42 in die Werte für die Massivwand errechnet.

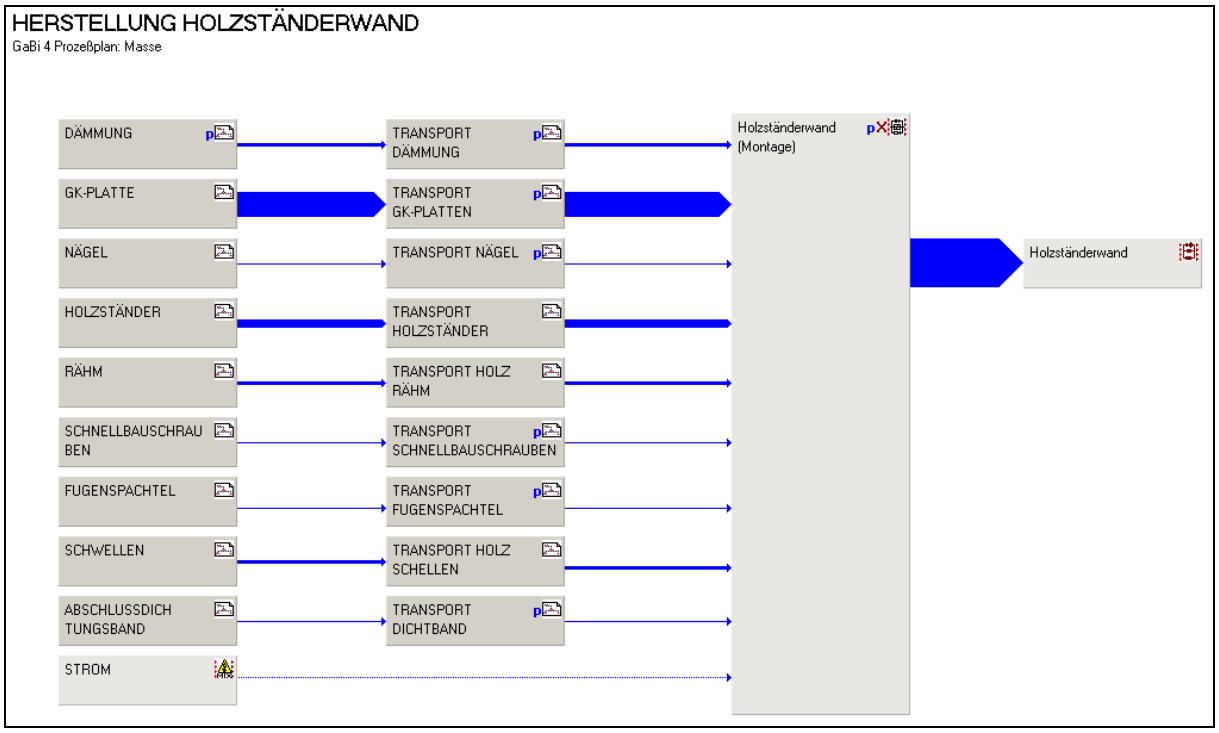


Abbildung 5-11: Modellierung Herstellung Holzständerinnenwand

Die Transportdistanzen wurden entsprechend Kapitel 2.2.7 gewählt. Die Modellierung der Herstellung der massiven Innenwand und der Metallständerwand erfolgte analog (siehe Abbildung 5-12 und Abbildung 5-13).

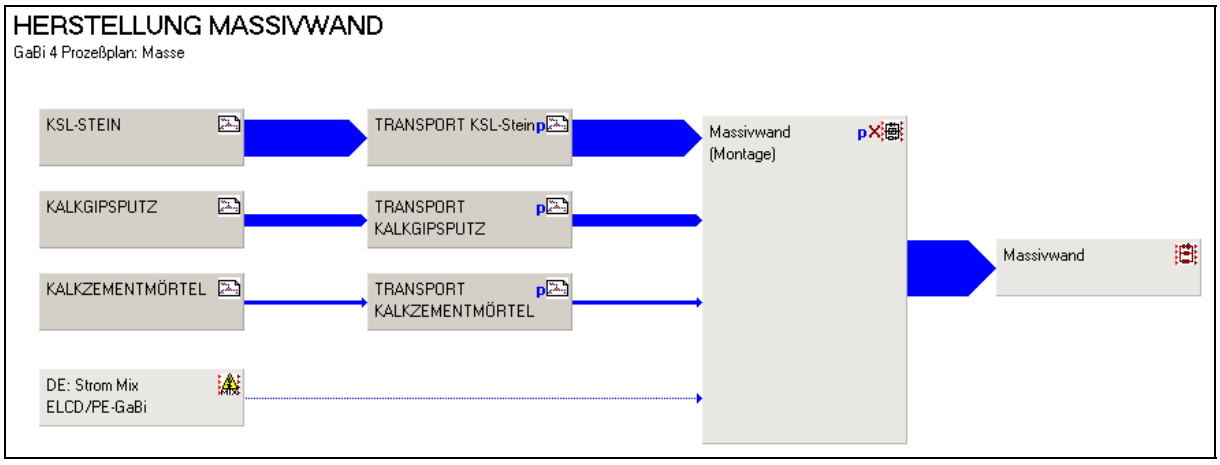


Abbildung 5-12: Modellierung Herstellung Massivwand

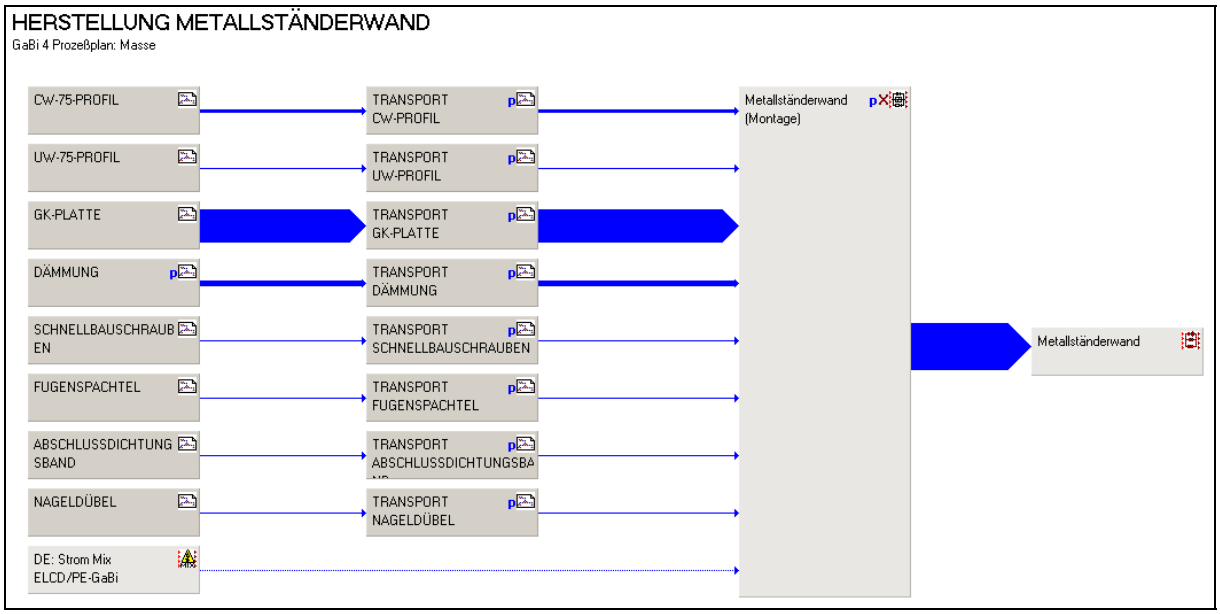


Abbildung 5-13: Modellierung Herstellung Metallständerinnenwand

Die Nutzungsphase beinhaltet neben der Erstellung der Innenwand und einer spezifischen Standzeit der Wand auch Instandhaltungsmaßnahmen. Sowohl für die Wand an sich als auch für die einzelnen Teile gibt es in verschiedenen Statistiken Anhaltswerte für deren Lebensdauer. Da die in den verschiedenen Literaturquellen angegebenen Nutzungsdauern für die jeweiligen Innenwandtypen aber um bis zu 300 % variieren, wurde in diesem Projekt für die Nutzungsphase der Innenwände, wie in Kapitel 4.3.2.6 beschrieben, eine zu erfüllende Gesamtlebensdauer von 50 Jahren pro Innenwand definiert.

Da in vielen Fällen nicht die technisch mögliche Lebensdauer von Bauprodukten, sondern Zeitgeist und Verwendungszweck eines Gebäudes über dessen Verwendungsdauer bestimmen (betrifft besonders bei Innenwandbekleidungen zu), und andererseits in dieser Tabelle aufgelisteten Bauteile aus den unterschiedlichen Produkten ihren Zweck im konstruktiven Bereich (Wände, Stützen und Decken) für die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes nicht nur erfüllen können, sondern sogar müssen, werden für die unterschiedlichen Materialien gleiche Lebensdauern in den jeweiligen Segmenten angenommen. Somit steht eine möglichst lange Lebensdauer nicht mehr als unbedingtes Qualitätsmerkmal im Vordergrund und sollte dementsprechend bei dem rein ökologischen Vergleich der hier aufgelisteten Bauteile nicht im Vordergrund stehen. Dies scheint umso dringlicher, als die Spannbreiten der angegebenen Lebensdauern in den verschiedenen Literaturquellen für ein und das gleiche Produkt höher sind, als die von einer Quelle angegebenen unterschiedlichen Lebensdauern für Produkte aus den unterschiedlichen Materialien (Anhang C). Fehlende Angaben in der oberen Matrix erklären sich durch fehlende Daten.

Für die Nutzungsphase der Innenwände wurde daher in diesem Projekt eine zu erfüllende Gesamtlebensdauer von 50 Jahren pro Innenwand definiert.

Dies führt dazu, dass nach Tabelle 5-11 die Holzständerwand mit einer ungefähren Lebensdauer von 70 Jahren den gesamten definierten Lebenszyklus überdauert, lediglich nach vierzig Jahren muss die Gipskartonkartonplatte ersetzt werden, da deren Lebensdauer rund 40 Jahre beträgt. Diese werden anteilig ihrer restlichen Lebenszeit (bezogen auf die funktionelle Einheit mit 50 Jahren, also mit dem Faktor 0,25, in der Modellierung berücksichtigt, wie in Abbildung 5-14 exemplarisch für die Holzständerwand zu sehen ist. Die Modellierung der Metall- und Massivwand erfolgte analog. Gutschriften für die theoretische Übererfüllung erfolgen nicht.

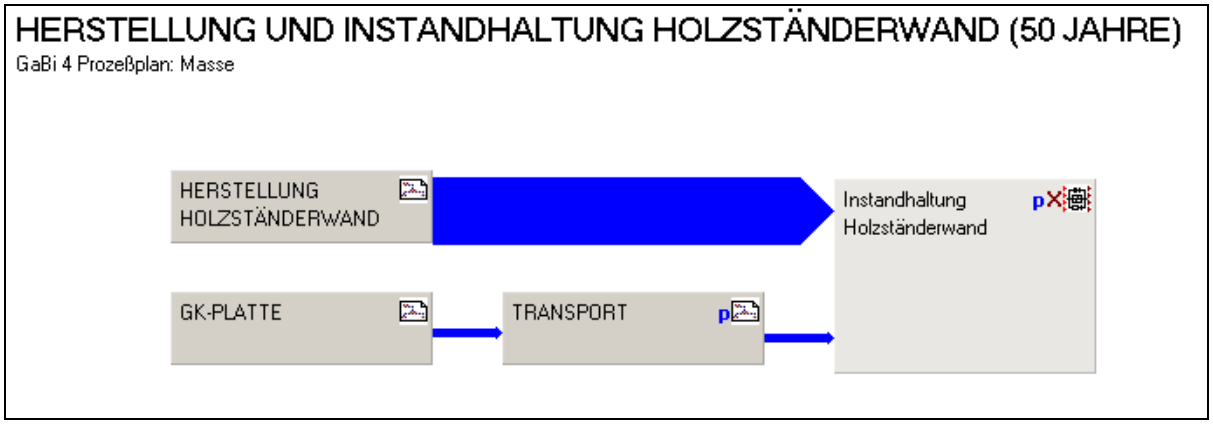


Abbildung 5-14: Modellierung Herstellung und Instandhaltung Holzständerwand

Für die die Metallständerwand beutet dies, dass diese nach vierzig Jahren vollständig erneuert wird, die neue Wand wird entsprechend ihrer restlichen Verwendungsdauer bezüglich ihrer umweltlichen Aufwendungen berücksichtigt, also durch die Lebensdauer von vierzig Jahren und zehn weiteren Jahren zur Erfüllung der definierten Lebensdauer heißt das, dass rechnerisch 1,25 Metallständerwände benötigt werden.

Die Massivwand wird nach Tabelle 5-11 mit einer Lebensdauer von siebzig Jahren angesetzt, es ist also nur eine Massivwand zur Erfüllung der Nutzungsphase notwendig. Lediglich nach vierzig Jahren muss der Kalkgipsputz erneuert werden, da dessen Lebensdauer rund 40 Jahre beträgt.

Die Modellierung für die weiteren betrachteten Bauteile (Außenwände, Hallenträger, Fenster, Bodenbeläge) bzw. Systeme erfolgt in analoger Weise.

5.3.1.2 Entsorgung

Die DIN EN ISO 14044 /42/ sieht für eine umweltliche Betrachtung den gesamten Lebenszyklus vor. Dementsprechend wird auch die spezifische Entsorgung der einzelnen Teile mit betrachtet. Die Entsorgung erfolgt dabei bauteil- und materialspezifisch entsprechend den Erläuterungen in 2.2.7.4.

Die exemplarische Modellierung für die Holzständerwand ist in Abbildung 5-15 dargestellt. Das Modul „Bauteilelement zur Verwertung“ entspricht dabei der anteiligen Entsorgung der zusätzlich benötigten Gipskartonplatte.

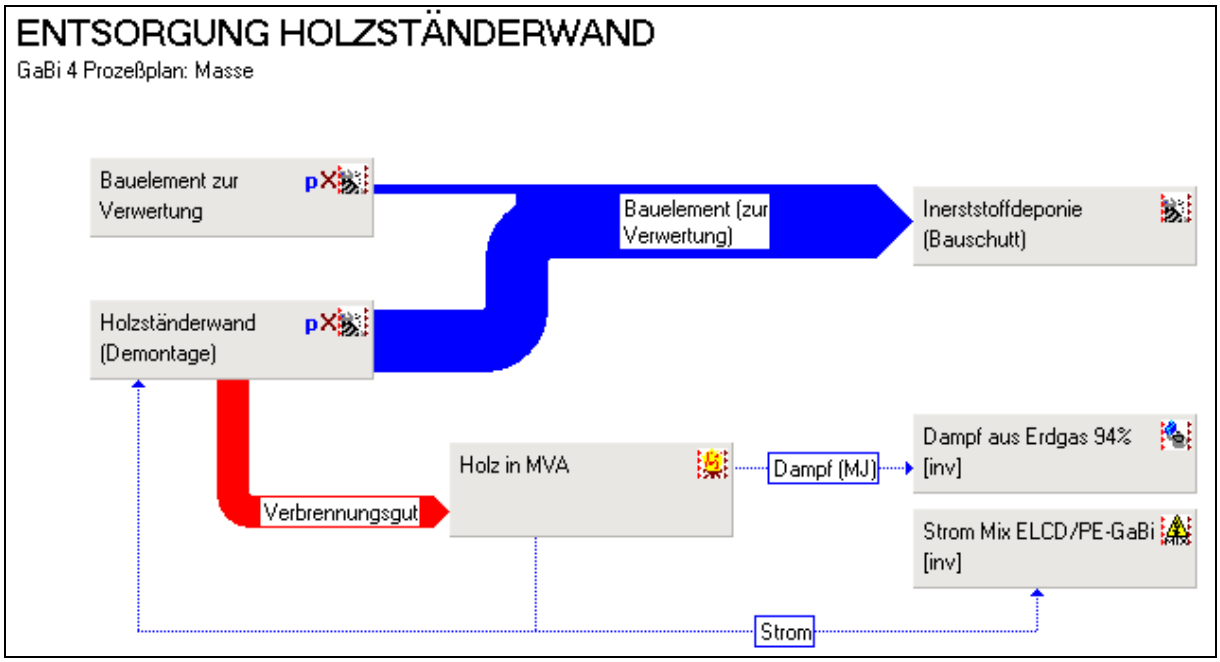


Abbildung 5-15: Modellierung Entsorgung Holzständerwand

5.3.1.3 Primärenergiebedarf

Abbildung 5-16 zeigt die Ergebnisse des umweltlichen Vergleichs der drei Innenwandsysteme über deren Gesamtlebenszyklus für den Bedarf an nicht erneuerbarer (fossiler) Primärenergie. Die hier dargestellten Werte sind Nettowerte, sie beinhalten sämtliche Aufwendungen während der Herstellung, Nutzung und des Lebensendes. Weiterhin sind Gutschriften, die beispielsweise aus der energetischen Verwertung einzelner Baustoffe wie Holz, o.ä., am Lebensende, stammen und dadurch fossile Brennstoffe substituieren können, darin enthalten. Durch den Einsatz regenerativer, also nachwachsender Rohstoffe, kann über den Gesamtlebenszyklus betrachtet eine signifikante Reduzierung des Bedarfs an fossilen Einsatzstoffen erreicht werden. Je größer der Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist, desto größer ist auch das Potenzial, bei der energetischen Verwertung (Verwendung) nicht erneuerbare Rohstoffe zu ersetzen.

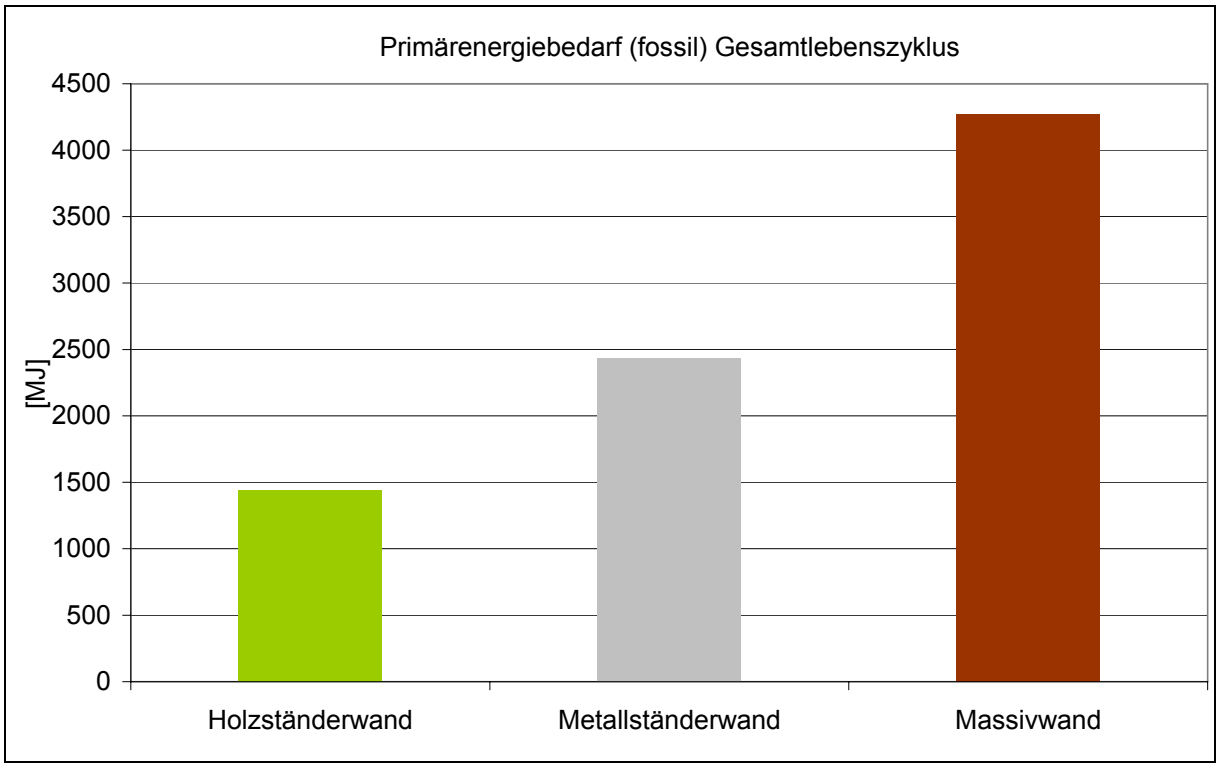


Abbildung 5-16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (fossil) für den Gesamtlebenszyklus Innenwände

Die Abbildung 5-17 zeigt den Einsatz an regenerativen Primärenergieträgern in den jeweiligen Innenwandsystemen. Ein Teil des regenerativen Primärenergiebedarfs stammt dabei aus den Anteilen an erneuerbaren Energien, wie Wasserkraft, Windkraft oder Biomasse in der aktuellen durchschnittlichen Stromzusammensetzung in Deutschland. Ein anderer, vor allem bei der Holzständerwand deutlich größerer Teil, stammt aus der biologischen Produktion des Holzes. Ein Teil davon wird in Form verschiedener Holzbauteile, wie Rähm oder Schwellen, in der Innenwand „gebunden“ und schließlich am Lebensende energetisch verwertet. Ein anderer Teil, der sich in Form des Heizwertes von Hackschnitzeln, usw., darstellt, wird bereits im Sägewerk zur Erzeugung thermischer Energie verwendet. Ein weiterer Teil geht in die Faserstoffherstellung (Herstellung von Karton eingesetzt für die Gipskartonplattenherstellung).

Dabei zeigt sich, dass ein größerer Einsatz nachwachsender Rohstoffe zwangsweise eine höheren Primärenergiebedarf regenerativ mit sich bringt. Wie bereits im Abschnitt zuvor erwähnt, kann jedoch der im Holz gebundene Anteil energetisch unmittelbar verwendet (z.B. zur Erzeugung thermischer Energie) bzw. am Lebensende energetisch verwertet werden (z.B. zur Strom- und Dampferzeugung aus Altholz), um so fossile Energieträger in derselben Größenordnung zu substituieren.

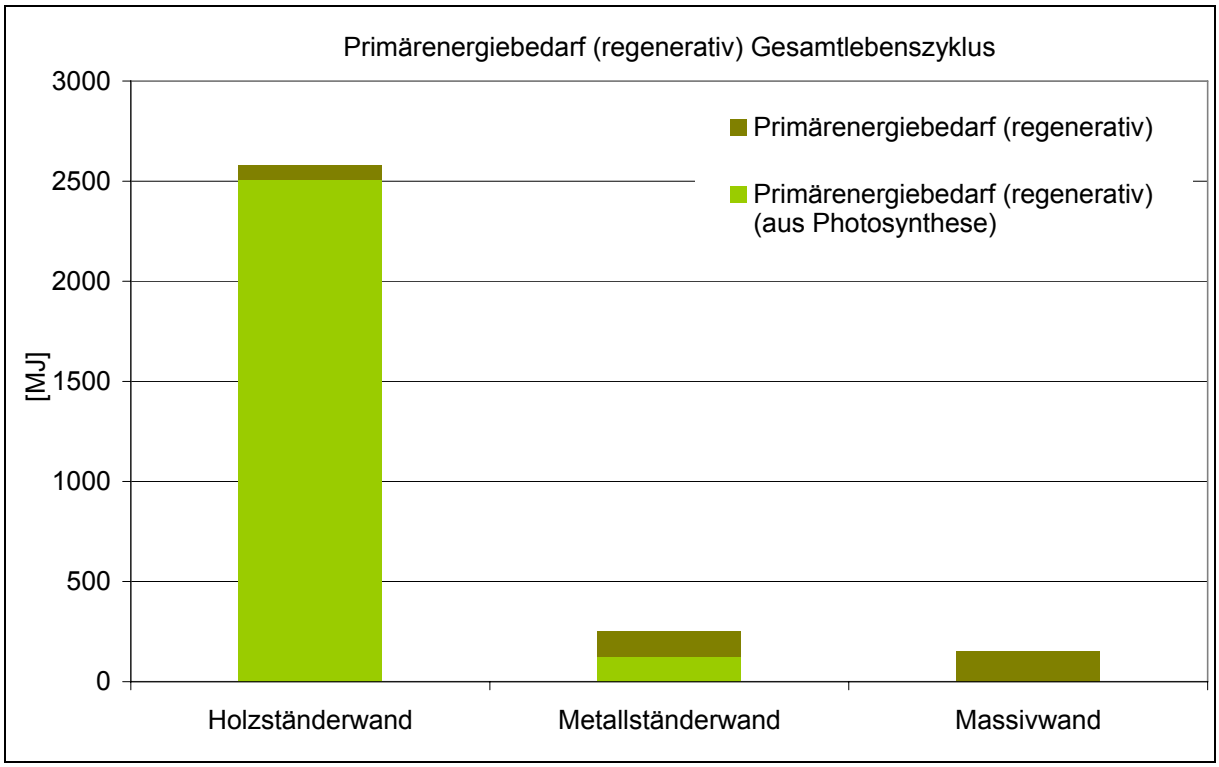


Abbildung 5-17: Primärenergiebedarf erneuerbar (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Innenwände

Der hohe Anteil an erneuerbarer Primärenergie bei der Herstellung der Holzständerwand stammt fast ausschließlich aus der im Holz eingebundenen Primärenergie. Der Anteil an erneuerbarer Energie sowohl bei der Massiv- als auch bei der Metallständerwand ist deutlich geringer. Dies rührt daher, dass dort keine oder nur wenige Bauteile[10] auf Basis nachwachsender Rohstoffe eingesetzt werden. Dagegen ist der Anteil an fossiler Primärenergie bei beiden Systemen deutlich höher als bei der Holzständerwand. Die energetischen und ressourcenbezogenen Aufwendungen zur Herstellung der metallischen und mineralischen Werkstoffe sind sehr hoch. Vor allem bei der Massivwand sind auf Grund des hohen Gewichts der Baustoffe Transporte eine weitere Ursache erhöhten Primärenergiebedarfs. Rechnet man den Bedarf der Herstellung und der Entsorgung sowie die Gutschriften auf, ergeben sich Nettowerte für den Gesamtlebenszyklus (Abbildung 5-16 und Tabelle 5-17).

Tabelle 5-16: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Innenwände

Primärenergiebedarf [MJ]	Holzständerwand	Metallständerwand	Massivwand
PE reg.	2601	266	154
PE fossil	3324	3345	4267
PE reg. (Gutschrift)	-20	-13	0
PE fossil (Gutschrift)	-1882	-910	0
PE reg. gesamt	2581	253	154
PE fossil gesamt	1442	2435	4267

[10] In der Materialliste für die Metallständerwand ist kein Holz aufgeführt. Allerdings bestehen die Decklagen der GK-Platten aus Zellstoff. Für dessen Herstellung wird in den Vorketten Holz als Input benötigt, was den Energiebedarf für Photosynthese erklärt.

Tabelle 5-17: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Innenwände

	Holzständerwand	Metallständerwand	Massivwand
PE reg.	64%	9%	3%
PE fossil	36%	91%	97%

Dabei ergibt sich ein Verhältnis von rund 64 % regenerativem Anteil und 36 % fossilem Anteil am Primärenergiebedarf bei der Holzständerwand, wie Tabelle 5-17 zeigt. Die absoluten Werte für den fossilen Anteil sind im Vergleich zur Metallständer- und zur Massivwand geringer bzw. deutlich geringer. Der Primärenergiebedarf der Metallständer und der Massivwand wird mit Werten größer 90 % für den Anteil fossiler, also nicht regenerativer, Primärenergie von dieser dominiert.

5.3.1.4 Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial, dargestellt in Abbildung 5-18, verhält sich in seiner Tendenz ähnlich dem Primärenergiebedarf.

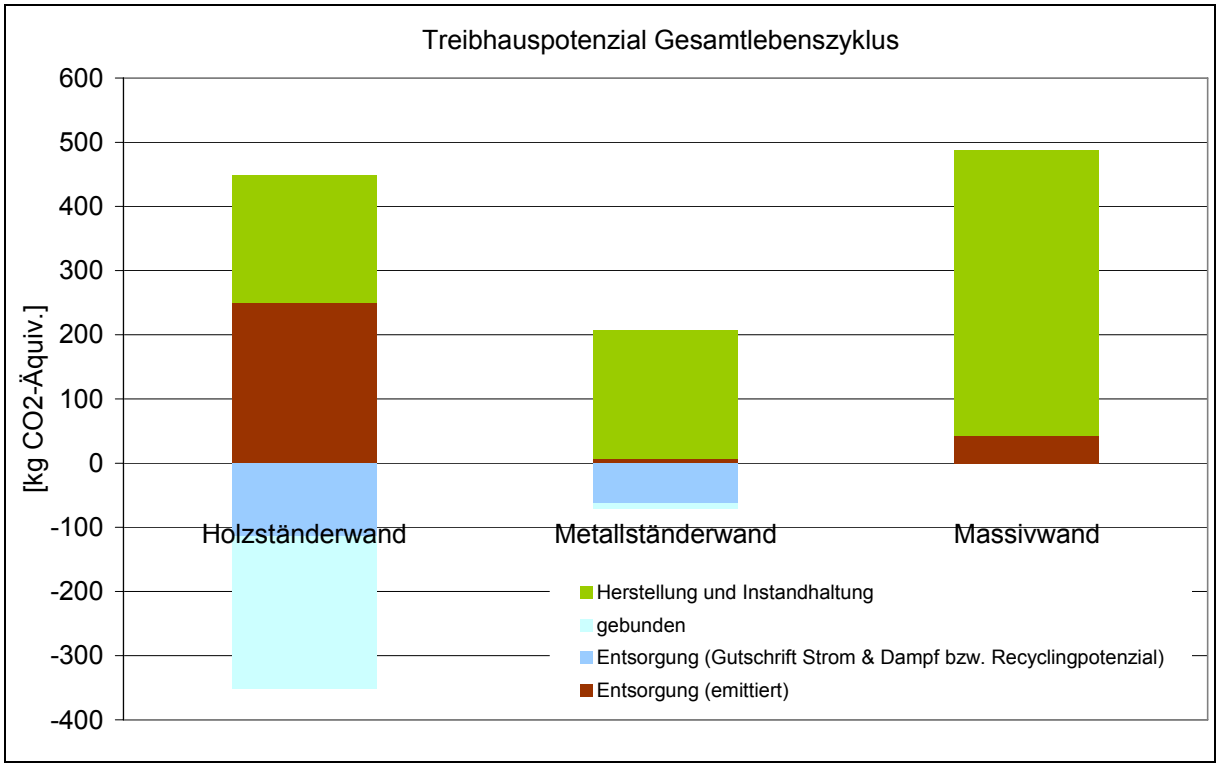


Abbildung 5-18: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Innenwände

Die Werte, die der Abbildung 5-18 zu Grunde liegen, und ihr Verrechnung zu Nettowerten für das Treibhauspotenzial finden sich auch in Tabelle 5-18.

Tabelle 5-18: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Innenwände

Treibhauspotenzial [kg CO_2-Äquiv.]	Holzständerwand	Metallständerwand	Massivwand
Herstellung und Instandhaltung	198	199	445
Im Holz gebundenes CO_2	-238	-9	
Entsorgung (emittiert)	250	7	43
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-114	-62	
NETTO	97	136	488

Beim Treibhauspotenzial zeigt die Holzständerwand, ähnlich wie beim Primärenergiebedarf, den geringsten Nettowert mit rund 97 kg CO_2-Äquivalenten. Die Metallständerwand weist netto mit etwa 136 kg CO_2-Äquivalenten ein höheres Treibhauspotenzial auf, wie die Holzständerwand, die Massivwand sogar mehr als viermal so hoch mit fast 490 kg CO_2-Äquivalenten. Dies ist vor allem auf das während des Wachstum des Holzes eingebundene Kohlendioxid zurückzuführen sowie auf die Aufwendungen bei der energieintensiveren Herstellung der Materialien für die Metallständer- und die Massivwand.

Das Ergebnis setzt sich zusammen aus den Einzelwerten für Herstellung und Instandhaltung, in Biomasse gebundenem CO_2, der Entsorgung und Gutschriften, die aus der Entsorgung resultieren. Die bedeutet: Zum Treibhauspotenzial, das der Herstellung und Instandhaltung zugewiesen wird, tragen maßgeblich die Herstellung der einzelnen Komponenten bei. Bei der Holzständerwand sind dies die Dämmung aus Mineral- und Steinwolle (ca. 30 %), die Herstellung von Gipskartonplatten (ca. 18 %) und die Herstellung von Konstruktionsvollholz für die Holzständer, das Rähm und die Schwellen (zus. ca. 45 %). Bei der Metallständerwand dominieren ebenfalls die Dämmung, die Gipskartonplatte sowie die Metallherstellung. Die Massivwand wird zu ähnlichen Teilen von der Herstellung der mineralischen Werkstoffe (Kalksandlochstein,…) und zu rund einem Viertel vom Transport dominiert, resultierend aus einem hohen Werkstoffgewicht.

Gebundenes CO_2 ist das CO_2, das bei der biologischen Produktion von Biomasse, hier Holz zur direkten Verwendung als Werkstoff und zu geringeren Teilen zur Verwendung in Karton, eingebunden wird und daher negativ in die Bilanz eingeht. Dieselbe Menge CO_2, die eingebunden wird, wird am Lebensende bei der energetischen Verwertung, der Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) mit Strom und Dampferzeugung, wieder emittiert. Hinzu kommen noch Aufwendungen aus dem Betrieb der MVA und aus dem Betrieb der Deponie für die inerten Abfälle, wie Mineral- und Steinwolle, usw., weshalb die Emissionen größer sind als das eingebundene CO_2. In der MVA werden Strom und Dampf hergestellt, die verkauft und ins öffentliche Netz eingespeist werden. Damit kann die Produktion von Strom und Dampf mit dem konventionellen Energiemix substituiert (vermieden) werden, was zu Gut-

schriften bei der Entsorgung durch den Verkauf von Strom und Dampf führt, die ebenfalls negativ in die Bilanz eingehen (siehe Tabelle 5-18).

5.3.1.5 Weitere Wirkungskategorien

Die weiteren Kategorien werden hier in geringer Detailtiefe betrachtet. Eine detaillierte Betrachtung sollte nur durchgeführt werden, wenn das Ergebnis in einer der Wirkungskategorien den Ergebnissen des Primärenergiebedarfs und denen des Treibhauspotenzials entgegensteht. Die Abbildung 5-19 zeigt, dass die Werte in den weiteren betrachteten Wirkungskategorien ähnliche Werte für die Metall- und Holzständerwand ausweisen. In der Kategorie ODP hat die Massivwand die geringsten Werte.

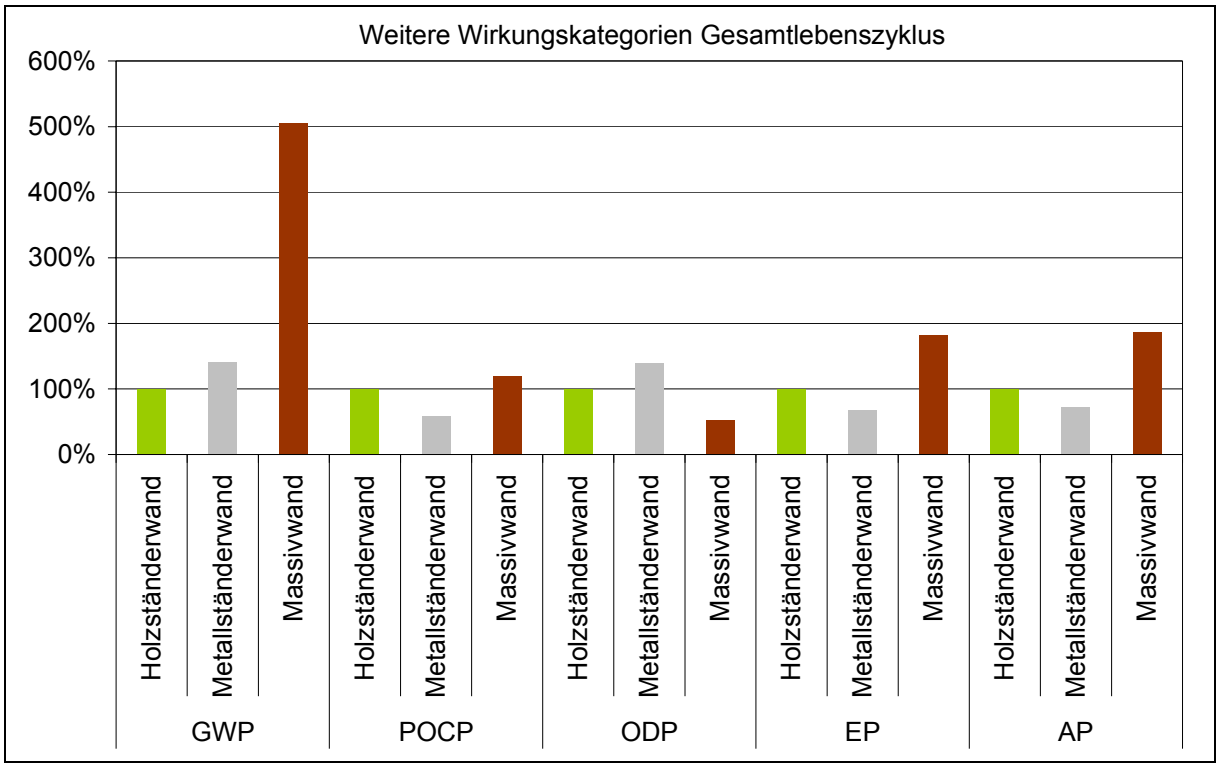


Abbildung 5-19: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Innenwände

Skaliert man diese Werte entsprechend ihrer Marktzahlen für den Gesamtmarkt Innenwände in Deutschland hoch (Werte zu den Marktzahlen des Gesamtmarktes Innenwände finden sich in Kapitel 5.1) und bezieht die Werte auf die jährlichen Gesamtemissionen in den einzelnen Wirkungskategorien in Deutschland im Jahr 2001 /59/, zeigt sich, dass bei den Wirkungskategorien das Treibhauspotenzial als „Leitemission“ fungiert, da es bezogen auf die in Deutschland verursachten Emissionen mengenmäßig den größten Anteil daran hat, was Abbildung 5-20 deutlich zeigt. Hauptbeitragende zum Treibhauspotenzial, ebenso wie zum Versauerungspotenzial, sind die Massivwände. Bezogen auf die emittierte Menge an Ozonschicht abbauenden Substanzen spielen die Innenwände keine Rolle.

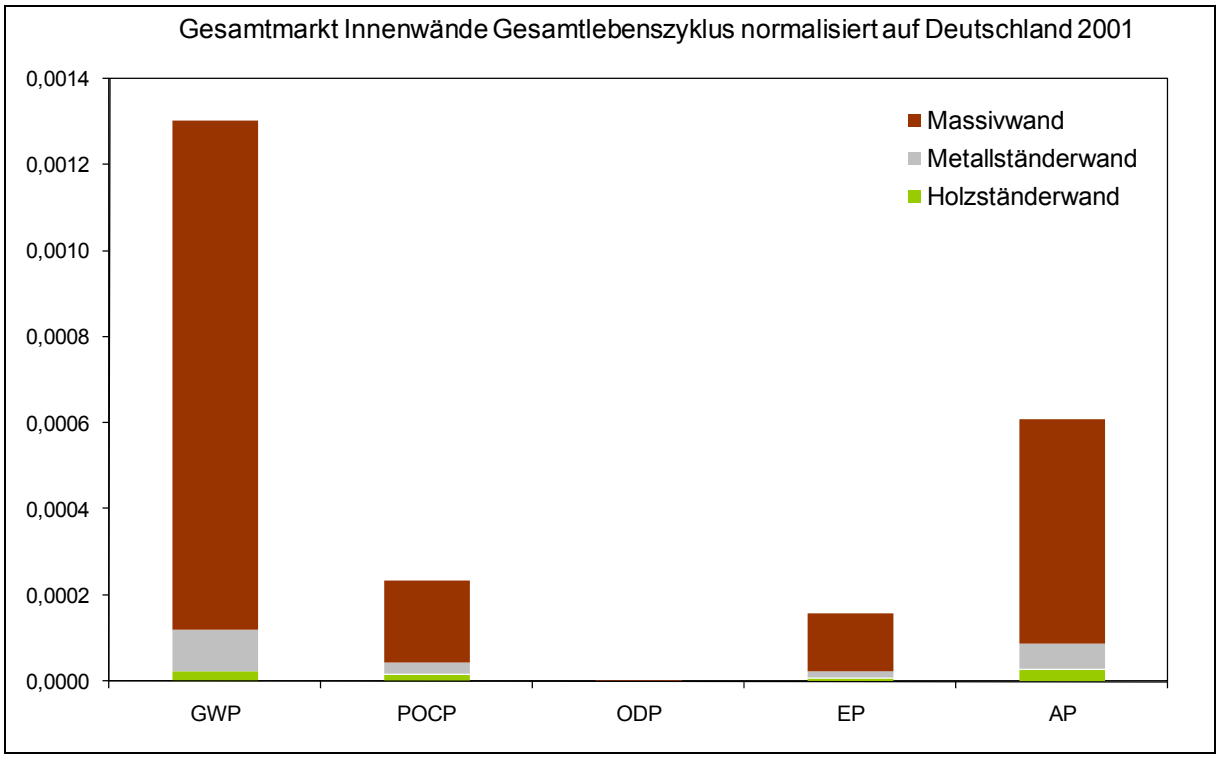


Abbildung 5-20: Weitere Wirkungskategorien Innenwände Gesamtmarkt und Gesamtlebenszyklus normalisiert auf Deutschland 2001

5.3.2 Außenwände

Im Bereich der Außenwände werden zwei grundsätzliche Typen miteinander vergleichen:

- Holzrahmenaußenwände und
- Massivaußenwände.

Gemäß der technischen Spezifikation in Kapitel 5.2 ist die funktionelle Basis des Vergleiches für Außenwände der Wärmedurchgangswert pro Fläche. Verwendet wird ein U-Wert von kleiner 0,19 W/m²K (mit Installationsebene) bzw. 0,3 W/m²K (ohne Installationsebene). Die Aufteilung erfolgt im Verhältnis 75:25 = („ohne Installationsebene":„mit Installationsebene").

Tabelle 5-19: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Hallenträger gemäß Kapitel 5.2

Funktionelle Vergleichsbasis	**Außenwand mit Wärmedurchgangswert U<0,3W/m²K / 0,19 W/m²K**	
Betrachtete Nutzungsdauer	Gebäudelebensdauer	
Herstellung und Instandhaltung	Lebensdauer Holzständeraußenwand	Gebäudelebensdauer
	Instandhaltung Holzständeraußenwand	keine
	Lebensdauer Massivaußenwand	Gebäudelebensdauer
	Instandhaltung Massivaußenwand	keine

Im Bereich der Außenwände wird zugrunde gelegt, dass rund 75% der Holzrahmenwände ohne und 25% mit Installationsebene ausgeführt werden. Im Bereich der massiven Außenwände werden vier Typen unterschieden: zweischalige Massivaußenwände mit Luftschicht und Kerndämmung, zweischalige Massivaußenwände mit Kerndämmung, einschalige Massivaußenwände aus Porenbeton sowie einschalige Massivaußenwände aus Porenbeton mit zusätzlicher Kerndämmung und Klinkerverblendung. Hier wird angenommen, dass die unterschiedlichen Wände je zu 25% Prozent in die Modellierung der durchschnittlichen Massivaußenwand einfließen.

Die detaillierten technischen Spezifikationen und Materiallisten der einzelnen Wandtypen der jeweiligen Holzrahmen- und Massivaußenwände finden sich in Kapitel 5.1.1.2. Auf diese Definitionen stützt sich auch die Modellierung der Lebenszyklen der jeweiligen Holzrahmen- und Massivaußenwände. Die nachfolgende Abbildung 5-21 und Abbildung 5-22 zeigen die Modellierung der Holzrahmenaußenwand zum einen ohne und zum anderen mit Installationsebene.

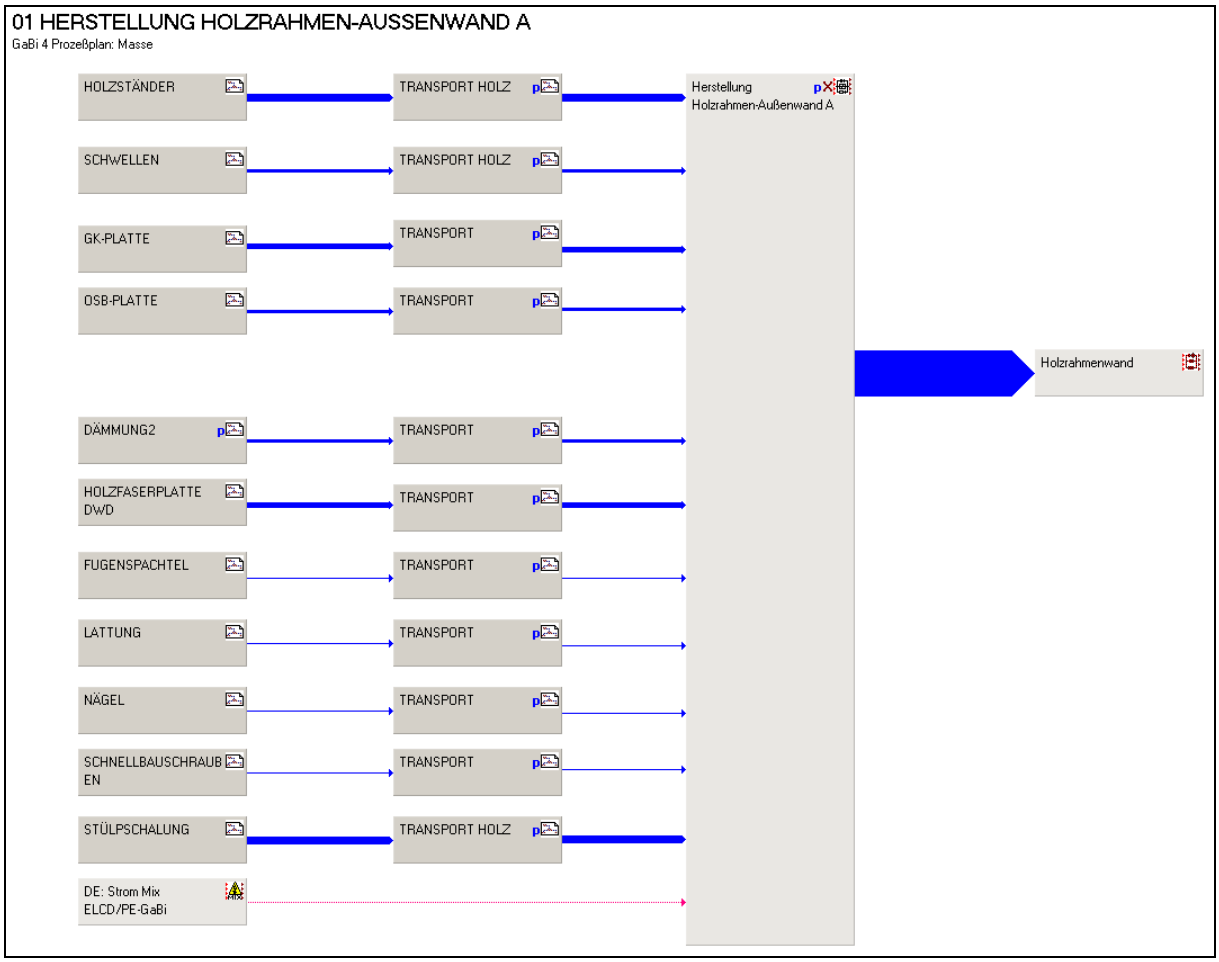


Abbildung 5-21: Modellierung Herstellung Holzrahmenaußenwand A

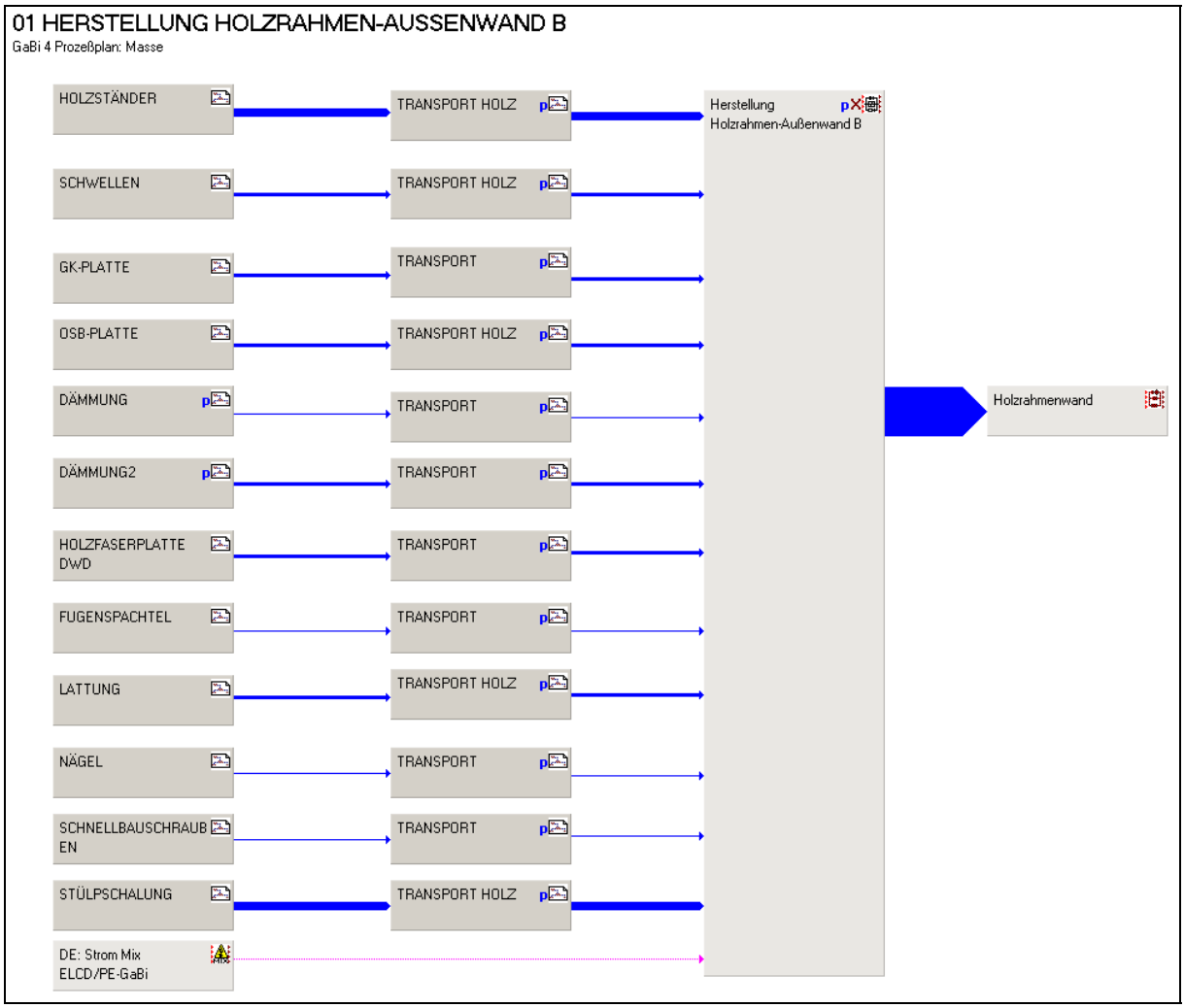


Abbildung 5-22: Modellierung Herstellung Holzrahmenaußenwand B

Die Modellierung der Herstellung basiert auf der technischen Spezifikation der Systeme, die genaue Zusammensetzung der Wände wurde in Kapitel 5.1.1.2 definiert.

Die Zusammensetzungen entsprechen durchschnittlichen Wandtypen, wie sie im Wohnungsbausektor für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie für Reihenhäuser im Außenbereich eingesetzt werden. Sie bilden die Grundlage für den umweltlichen Vergleich der Systeme und darauf aufbauend für die Ökologische Potenzialanalyse in Kapitel 6.1. Für alle sechs Außenwandtypen wurde eine Montageenergie von 2 MJ elektrischer Energie angenommen, abgeschätzt für den Einsatz verschiedener elektrischer Geräte wie Bohrmaschine, usw.

Die Transportdistanzen und weiteren Annahmen zum Transport wurden entsprechend Kapitel 2.2.7.5 gewählt.

Die Nutzungsphase sieht sowohl für die Holzständer- als auch für Massivaußenwände sehr ähnlich aus. Bei allen wird als Lebensdauer grundsätzlich von der Gebäudelebensdauer

ausgegangen, also einer Lebensdauer größer 100 Jahren. Es finden keine signifikanten Instandhaltungsmaßnahmen während des Lebenszyklus statt.

Die Holzbestandteile der Außenwände, die vor allem bei den Holzrahmenwänden vorkommen, werden am Lebensende eine thermischen Verwertung zugeführt und die daraus gewonnene Energie in von Form von Strom und Dampf ins öffentliche Netz eingespeist. Die nicht energetisch oder anders verwertbaren Stoffe werden auf der Inertstoffdeponie deponiert. Die Modellierung der thermischen Verwertung und der Deponierung erfolgte gemäß den Ausführungen in Kapitel 2.2.7.4.

Die Modellierung der Lebenszyklen der massiven Außenwandtypen erfolgte analog.

5.3.2.1 Primärenergiebedarf

Die Holzrahmenaußenwände zeigen im Vergleich zu den massiven Außenwänden einen sehr viel geringeren fossilen Primärenergiebedarf, wie in der Abbildung 5-23 zu sehen ist.

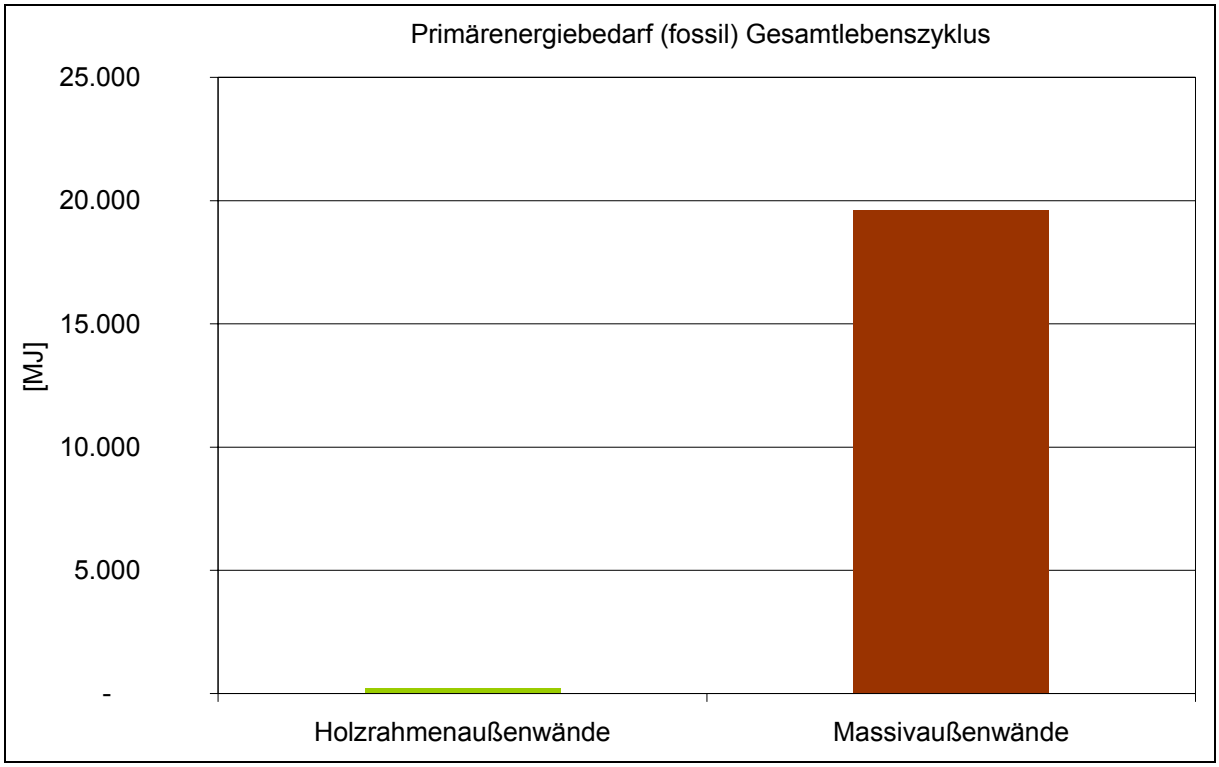


Abbildung 5-23: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (fossil) Gesamtlebenszyklus Außenwände

Dies ist vor allem auf die in den Außenwandtypen verwendeten, in Kapitel 5.2.2 näher definierten, Materialzusammensetzungen zurückzuführen. Der hohe Primärenergiebedarf für die massiven Außenwände stammt zu einem großen Teil, je nach genauer Spezifikation des jeweiligen Wandtyps, aus der Herstellung der Porenbetonsteine, der Hochlochziegel

und/oder der eingesetzten Klinker. Ein weiterer größerer Beiträger zum Primärenergiebedarf ist die Herstellung der eingesetzten Mineralwolledämmung.

Auch bei den Holzrahmenwänden werden mineralische Werkstoffe als Dämmung eingesetzt und haben in gleicher Höhe einen Beitrag zum fossilen Primärenergiebedarf. Wie jedoch Tabelle 5-20 zeigt, kann bei den Holzrahmenwänden der Energieinhalt des Holzes am Lebensende energetisch verwertet werden. Durch die Einspeisung der daraus resultierenden Produkte Dampf und Strom ins öffentliche Netz werden konventionelle fossile Energieträger eingespart und substituiert, was zu einer Gutschrift fossilen Primärenergiebedarfs führt. Dies hat zu Folge, dass die Holzrahmenwandsysteme nur einen sehr geringen fossilen Primärenergiebedarf im Vergleich zu den massiven Außenwandsystemen haben, was die Abbildung 5-23 verdeutlicht.

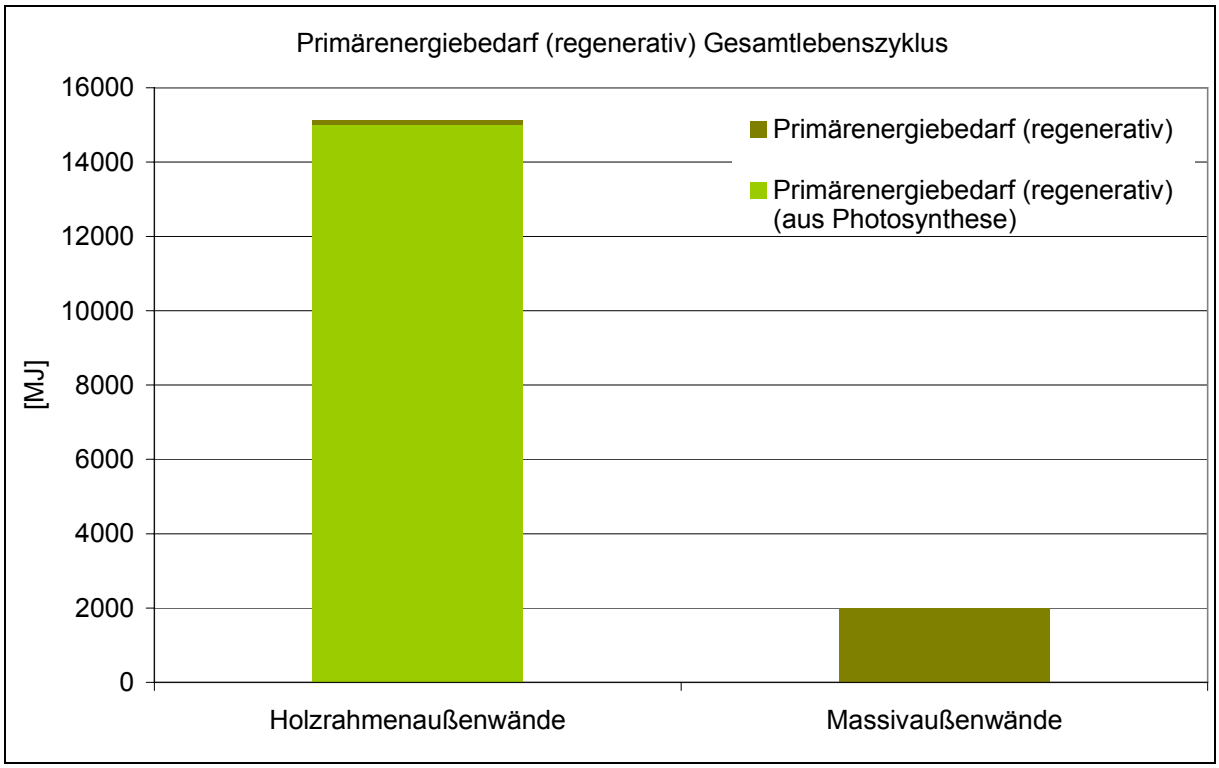


Abbildung 5-24: Primärenergiebedarf erneuerbar (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Außenwände

Dies wird durch die große Menge eingesetzter regenerativer Primärenergie bestätigt die, unter der Annahme einer nachhaltigen Waldwirtschaft, am Lebensende, wie im vorigen Abschnitt bereits erwähnt, energetisch weiter verwertet werden kann und damit das Potenzial bietet, fossile Energieträger zu substituieren, wie die Tabelle 5-20 verdeutlicht.

Tabelle 5-20: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Außenwände

	Holzrahmenaußenwand	Massivaußenwand
PE reg. [MJ]	15268	1996
PE fossil [MJ]	11661	19620
PE reg. (Gutschrift) [MJ]	-125	0
PE fossil (Gutschrift) [MJ]	-11449	0
PE reg. gesamt [MJ]	15142	1996
PE fossil gesamt [MJ]	211	19620

Die in Tabelle 5-21 errechneten Verhältnisse des Einsatzes fossiler zu regenerativer Primärenergie, sind ein guter Hinweis auf eine möglich Substitution fossiler durch regenerative Primärenergie.

Tabelle 5-21: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Außenwände

	Holzrahmenaußenwände	Massivaußenwände
PE reg.	99%	9%
PE fossil	1%	91%

5.3.2.2 Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial verhält sich hier in der Tendenz ähnlich dem Primärenergiebedarf. Abbildung 5-25 und Tabelle 5-22 zeigen für die Holzrahmen- und die Massivaußenwände die Beiträge der Lebensphasen zum Treibhauspotenzial. Dabei zeigt sich, dass die Massivwände während der Herstellung die meisten treibhausrelevanten Emissionen verursachen, während die Emissionen der Entsorgung im Vergleich dazu deutlich geringer sind. Dies ist auf die energieintensive Herstellung von Porenbeton, Hochlochziegel, Klinker, Mineralwolle zurückzuführen. Die Deponierung am Lebensende hat nur geringe Auswirkung auf das Treibhauspotenzial.

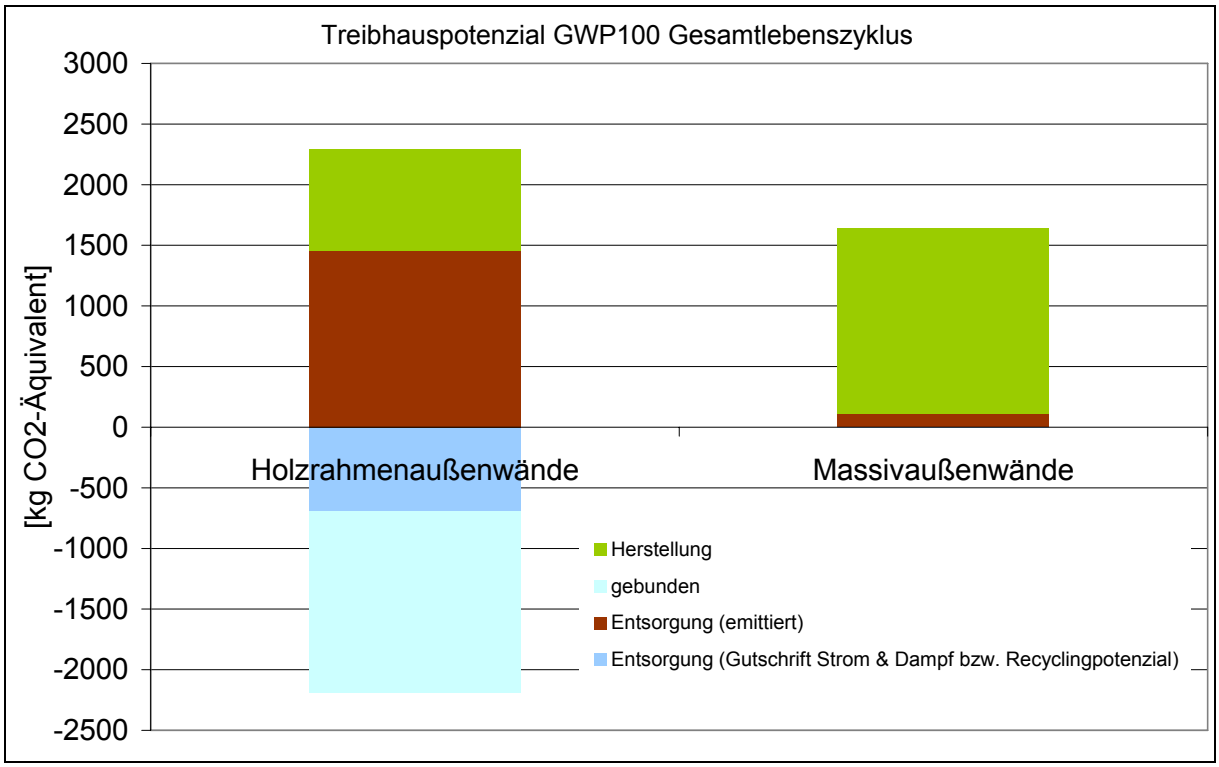


Abbildung 5-25: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Außenwände

Die Holzrahmenwände weisen ebenfalls signifikante Treibhausemissionen während der Herstellung auf, die durch Emissionen der Energiebereitstellung zur Herstellung der verschiedenen Werkstoffe bedingt sind. Den größten Beitrag jedoch hat die Verbrennung des Holzes am Lebensende und die damit verbundenen Emission des darin enthaltenen CO_2 in der Müllverbrennungsanlage. Allerdings wird dieses Kohlendioxid, das am Lebensende emittiert wird, bereits während des biologischen Wachstums aus der Atmosphäre entnommen und liegt während der Nutzungsdauer des Holzes in gebundener Form im Bauteil vor. Durch die Verbrennung am Lebensende kann Energie gewonnen werden, die die Herstellung dieser Menge an Energie durch fossile Energieträger ersetzen kann und somit zu Gutschriften bezüglich des Beitrags zum Treibhauspotenzial führt.

Tabelle 5-22: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Außenwände

Treibhauspotenzial [kg CO_2-Äquiv.]	Holzrahmenaußenwände	Massivaußenwände
Herstellung	837	1531
Im Holz gebundenes CO2	-1496	0
Entsorgung (emittiert)	1453	114
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-693	-5
NETTO	102	1531

In der obenstehenden Tabelle 5-22 sind diese Werte aufgeführt und schließlich zu den Nettotreibhausemissionen der beiden Außenwandsysteme aufsummiert. Hier zeigt sich schließ-

lich ein deutlich geringerer Nettobeitrag der Holzrahmenwände zum Treibhauspotenzial im Vergleich zu den hier betrachteten Massivaußenwänden.

5.3.2.3 Weitere Wirkungskategorien

Der umweltliche Vergleich in den weiteren hier betrachteten Wirkungskategorien zeigt in Abbildung 5-26 (prozentual bezogen auf die Holzständerwand) und Abbildung 5-27 (normalisiert auf die Gesamtemissionen in Deutschland 2001), dass bei einer möglichen Ausweitung der Nutzung von Holzrahmenaußenwänden keine oder keine signifikanten Verschlechterungen mit sich bringt, es also zu keiner Lastenverschiebung in andere Wirkungskategorien kommt (so genanntes „shift-of-burdens“). Es werden nicht zugunsten einer Optimierung des Treibhauspotenzials Verschlechterungen in anderen Wirkungskategorien hervorgerufen.

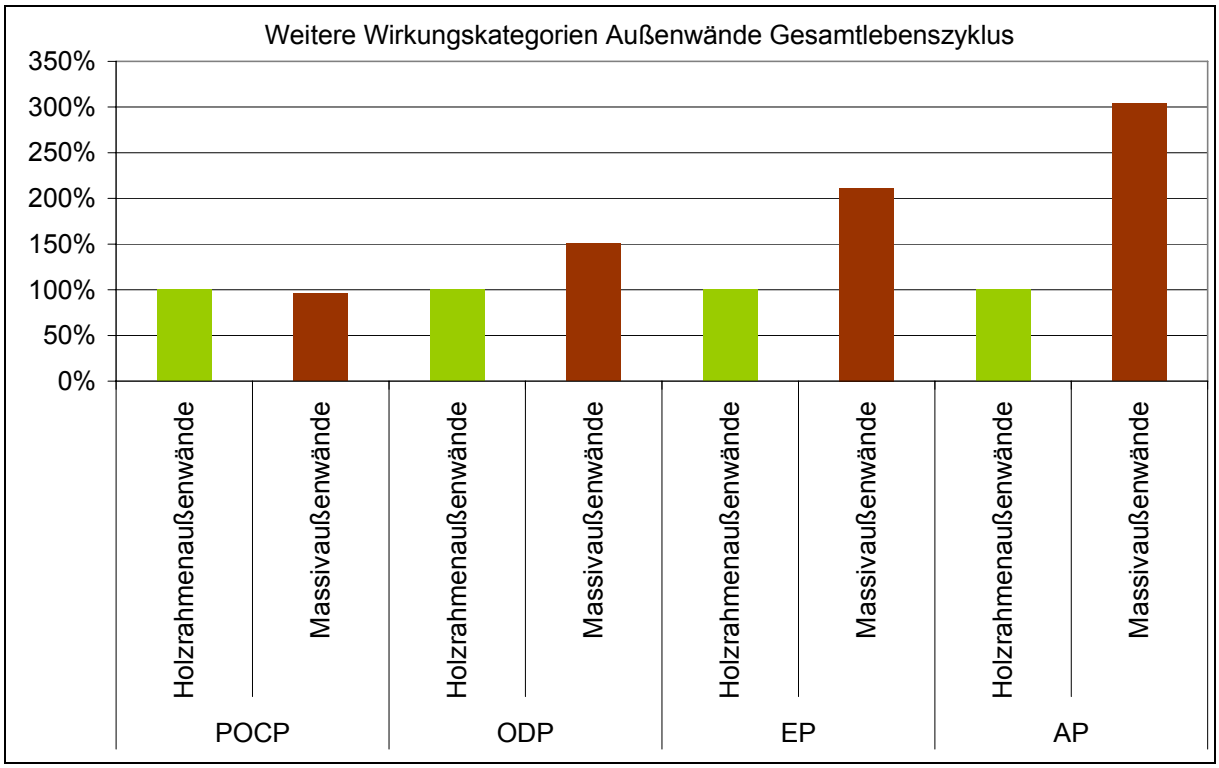


Abbildung 5-26: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Außenwände

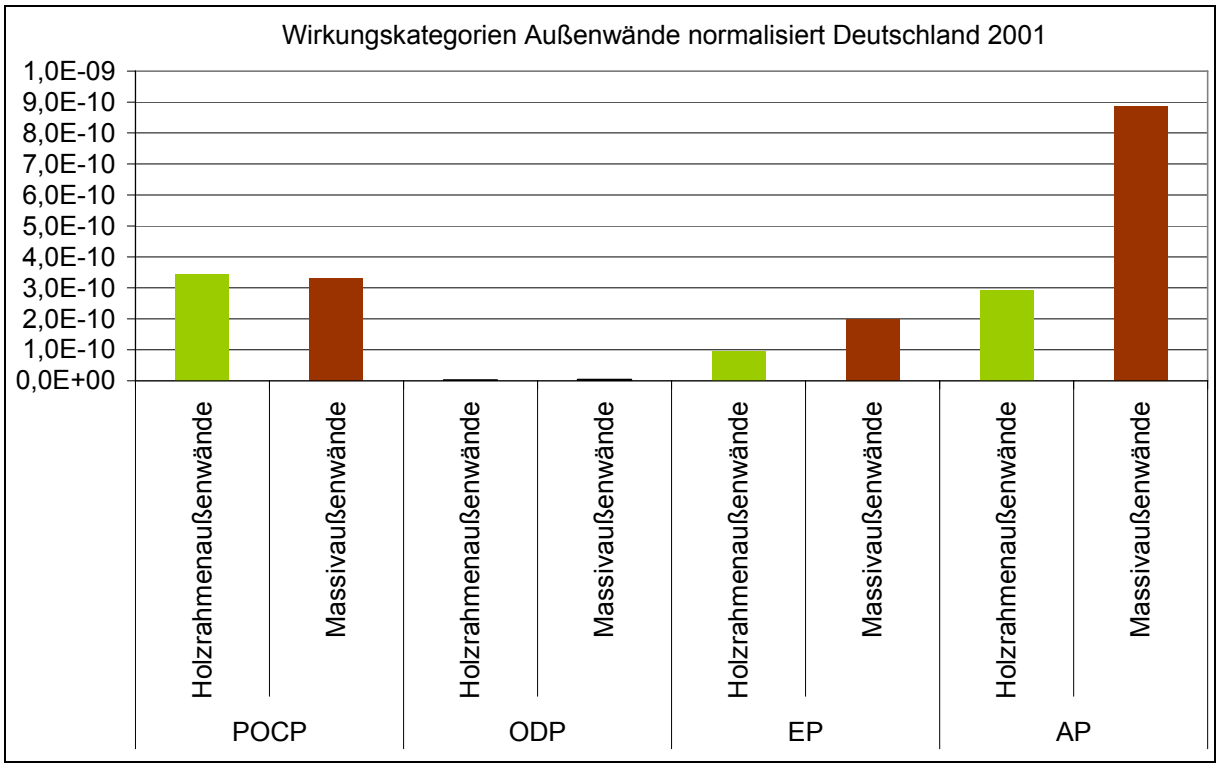


Abbildung 5-27: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Außenwände normalisiert Deutschland 2001

5.3.3 Hallenträger / Dachkonstruktion für Hallen

Für den Vergleich verschiedener Dachkonstruktionen für Hallenbauten werden drei verschiedene Hallenträgersysteme miteinander verglichen. Es werden die drei Hallenträgerarten

- Hallenträger aus Holz
- Hallenträger aus Stahl
- Hallenträger aus Stahlbeton

bezüglich ihrer Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus beurteilt. Die genauen Spezifikationen der jeweiligen Materialzusammensetzungen finden sich in Kapitel 5.1.1.3 und 5.2.3.

Funktionelle Basis des Vergleichs ist für die Hallenträger entsprechend den Ausführungen in Kapitel 5.2 eine überspannte Raumlänge von 10m.

Tabelle 5-23: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Hallenträger gemäß Kapitel 5.2

Funktionelle Vergleichsbasis	**Überspannte Raumlänge von 10m**	
Betrachtete Nutzungsdauer		Gebäudelebensdauer
Herstellung und Instandhaltung	Nutzungsdauer Holzträger	Gebäudelebensdauer
	Instandhaltung Holzträger	keine
	Nutzungsdauer Stahlträger	Gebäudelebensdauer
	Instandhaltung Stahlträger	keine
	Nutzungsdauer Stahlbetonträger	Gebäudelebensdauer
	Instandhaltung Stahlbetonträger	keine

Die nachfolgende Abbildung 5-28 zeigt die Modellierung der Herstellung des Holzhallenträgers. Hauptbestandteil ist dabei ein Brettschichtholzträger (BSH) sowie eine gewisse Menge an elektrischer Energie, die zur Montage benötigt wird.

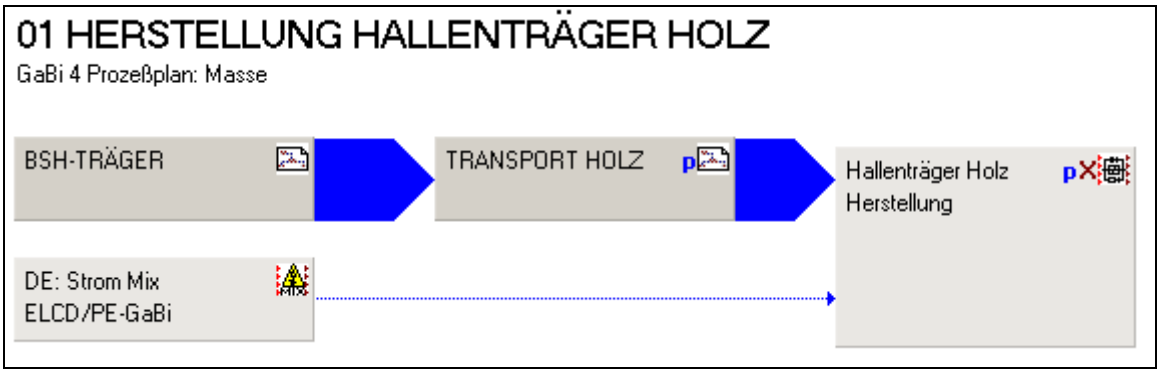


Abbildung 5-28: Modellierung Herstellung BSH-Hallenträger

Die Modellierung der Hallenträger aus Stahl und Stahlbeton erfolgt in analoger Vorgehensweise.

Die Lebensdauer wird für alle drei betrachteten Systeme (siehe auch 2.2.7.6) mit der Gesamtlebensdauer des betrachteten Gebäudes gleichgesetzt und ist damit für die drei Systeme gleich, d.h. die Hallenträger werden bei Erstellung des Gebäudes eingebaut und erst am Lebensende wieder entfernt und entsorgt. Umweltlich relevante Instandhaltungsmaßnahmen finden bei allen drei Systemen nicht statt.

Am Lebensende werden energetisch verwertbare Bestandteile der energetischen Verwertung in der Müllverbrennungsanlage zugeführt: Dies gilt vor allen Dingen für Holz. Die Metall-/Stahlbestandteile werden dem stofflichen Recycling zugeführt, die sonstigen werden schließlich deponiert. Entsprechend den Verwertungswegen erfolgen Gutschriften für die energetische Verwertung durch die Substitution der Herstellung von Strom und Dampf durch

fossile Energieträger sowie für Stahl durch die Substitution von Primärstahl bei Einsatz als Sekundärmaterial.

5.3.3.1 Primärenergiebedarf

Die folgenden Abbildung 5-29 und Abbildung 5-30 zeigen den fossilen und den regenerativen Primärenergiebedarf für die Hallenträger aus Holz, Stahl und Stahlbeton im Vergleich.

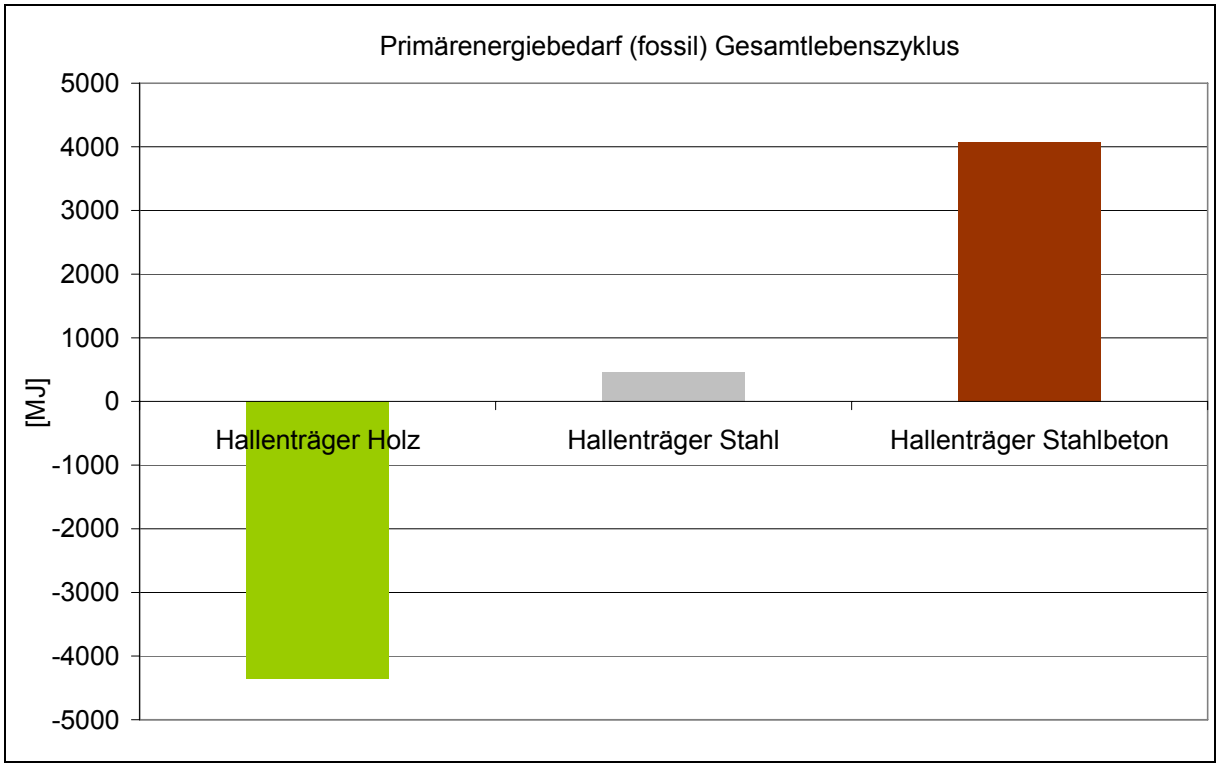


Abbildung 5-29: Primärenergiebedarf (fossil) Gesamtlebenszyklus Hallenträger

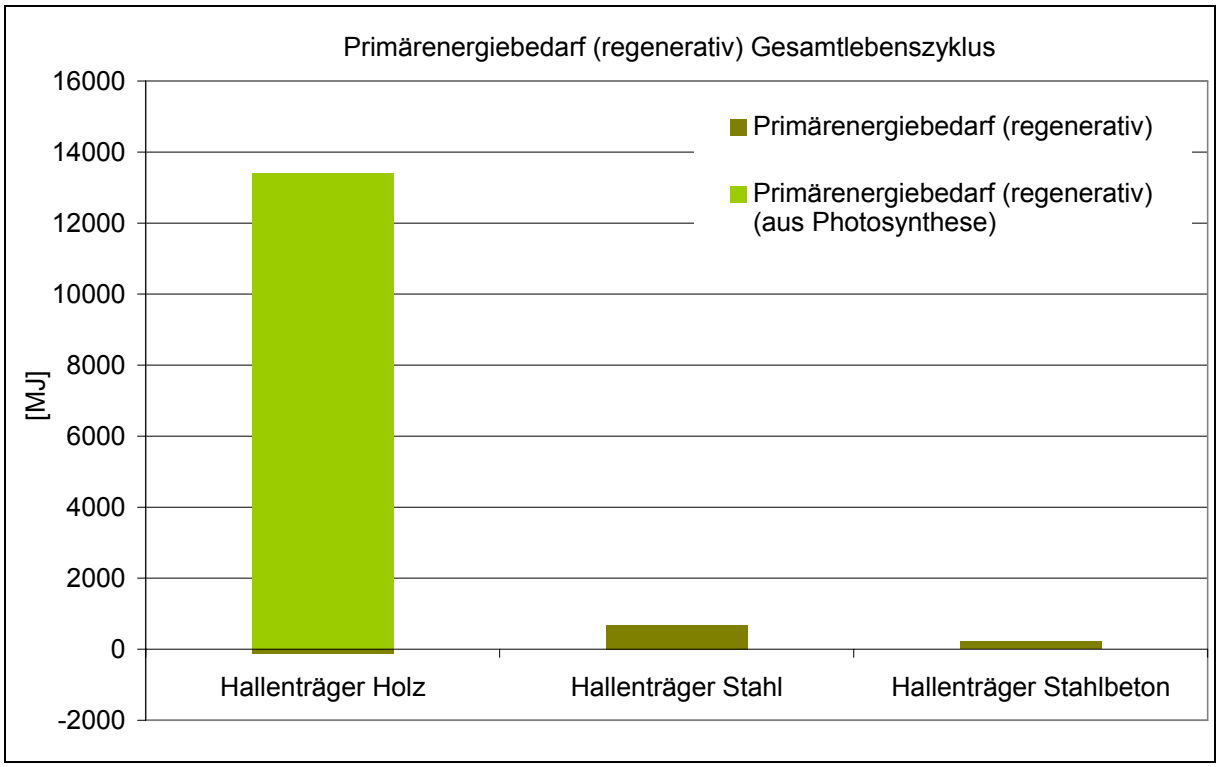


Abbildung 5-30: Primärenergiebedarf erneuerbar (reg.) Hallenträger Gesamtlebenszyklus

Die Tendenzen sind ähnlich derer der Innenwandsysteme und der Außenwandsysteme. Ein hoher Einsatz nachwachsender Rohstoffe bedingt einen großen regenerativen Primärenergiebedarf, der hier beim Holz zum größten Teil gebunden vorliegt und aus der Photosyntheseleistung stammt. Er besitzt aber das Potential, diese regenerative Primärenergie am Lebensende energetisch zu verwerten und damit fossile Primärenergieträger zu substituieren und somit den Abbau fossiler Rohstoffe zu reduzieren.

Auch für Bauteile aus Stahl gibt es gemäß 2.2.7.4 am Lebensende Gutschriften für den weiteren Einsatz des Materials als Sekundärmaterial und somit als Substitut für Primärmaterial in den jeweiligen Kategorien in Höhe dessen, was bei der Herstellung von Sekundärmaterial gegenüber einer Herstellung von Primärmaterial eingespart wird.

Im Fall der Hallenträger zeigt sich eine besondere Situation aufgrund der wenigen verschiedenen Materialien innerhalb eines Systems, d.h. es wird nur Holz, Stahl oder Stahlbeton eingesetzt und keine weiteren Materialien. Es entspricht quasi einem Materialvergleich.

Aufgrund der Betrachtung der Lebenszyklusmodellierung ergibt sich für Hallenträger aus Holz die Situation, dass die Gutschriften aus der energetischen Verwertung des Holzes des Brettschichtholzträgers am Lebensende eine größere Gutschrift fossiler Primärenergieträger erhalten, als während der Herstellung und des Lebenszyklus aufgewendet werden. Somit ergibt sich über den Lebenszyklus betrachtet ein negativer Primärenergiebedarf, was in Abbildung 5-29 und Tabelle 5-24 zu sehen ist.

Tabelle 5-24: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Hallenträger

Primärenergiebedarf [MJ]	Hallenträger Holz	Hallenträger Stahl	Hallenträger Stahlbeton
PE reg.	13404	1127	308
PE fossil	6200	30624	10156
PE reg. (Gutschrift)	-115	-443	-89
PE fossil (Gutschrift)	-10560	-30155	-6075
PE reg. Gesamt	13290	684	219
PE fossil gesamt	-4360	469	4081

Dies liegt zum einen daran, dass die Herstellung des Holzes im Vergleich zum Verwertungspotenzial am Lebensende sehr wenig aufwändig ist und am Lebensende große Gutschriften vergeben werden, und zum anderen daran, dass keine weiteren Materialien zum Einsatz kommen, deren Herstellung den Einsatz von Primärenergie erfordern.

5.3.3.2 Treibhauspotenzial

Die nachfolgende Abbildung 5-31 und die Tabelle 5-25 zeigen die Aufteilung des Treibhauspotenzials in die verschiedenen Lebenszyklusphasen der jeweiligen Hallenträger.

Der Holzhallenträger verursacht die meisten treibhausrelevanten Emissionen bei der Verbrennung des BSH-Trägers in der Müllverbrennungsanlage, gewisse Emissionen stammen noch aus der Herstellung der Trägers und seiner Vorketten/-produkte. Ein Großteil dessen, was in der Müllverbrennungsanlage emittiert wird, liegt jedoch während der Herstellung und Nutzung in gebundener Form im Werkstoff als Heizwert vor und wird erst am Lebensende freigesetzt. Die Verwertung in der Müllverbrennungsanlage führt über den Verkauf der Produkte Strom und Dampf durch Einsparung fossiler Kohlenstoffträger zu Gutschriften beim Treibhauspotential.

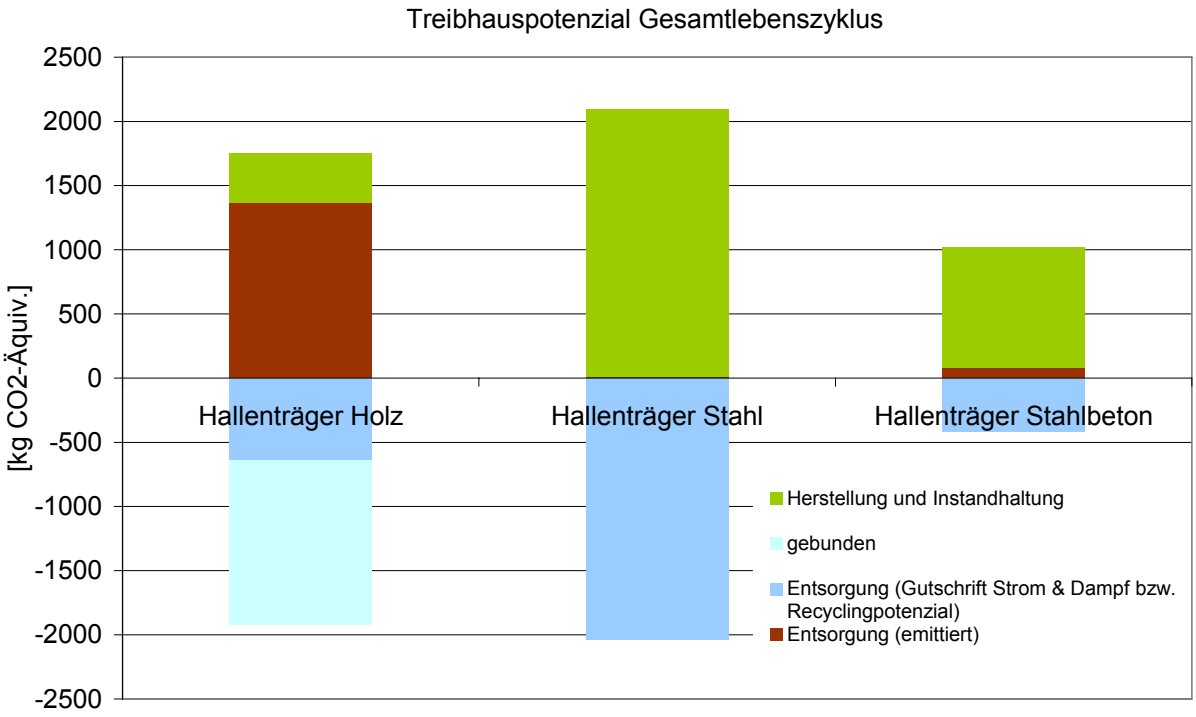


Abbildung 5-31: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Hallenträger

Der Hallenträger aus Stahl ist in der Herstellung deutlicher energieaufwändiger und verursacht damit deutlich mehr treibhausrelevante Emissionen, was sich in einem höheren Treibhauspotenzial im Vergleich zu Holz und Stahlbeton niederschlägt. Aber auch hier reduzieren Gutschriften aus dem Recyclingpotenzial durch Substitution von aufwändiger Primärstahlherstellung gemäß Kapitel 2.2.7.4 die Treibhausemissionen signifikant. Auch für den Hallenträger aus Stahlbeton werden Gutschriften für das Stahlrecyclingpotenzial für den im Werkstoff enthaltenen Stahl verteilt.

Tabelle 5-25: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Hallenträger

Treibhauspotenzial [kg CO_2-Äquiv.]	Hallenträger Holz	Hallenträger Stahl	Hallenträger Stahlbeton
Herstellung und Instandhaltung	387	2082	941
Im Holz gebundenes CO2	-1284	0	0
Entsorgung (emittiert)	1364	8	78
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-637	-2041	-415
NETTO	-169	48	604

Analog zum Primärenergiebedarf ergibt sich aus den gleichen Gründen auch beim Treibhauspotential eine negativer Wert für den Hallenträger aus Holz, da die Gutschriften am Lebensende größer sind, als die Aufwendungen entlang des restlichen Lebenszyklus.

5.3.3.3 Weitere Wirkungskategorien

Die folgenden Abbildungen zeigen die Umweltwirkungen in den weiteren hier betrachteten Wirkungskategorien für die Hallenträger aus Stahl und Stahlbeton bezogen auf den Hallenträger aus Holz in Abbildung 5-32 und in Abbildung 5-33 die absoluten Werte normalisiert auf die Gesamtemissionen in den jeweiligen Wirkungskategorien in Deutschland 2001.

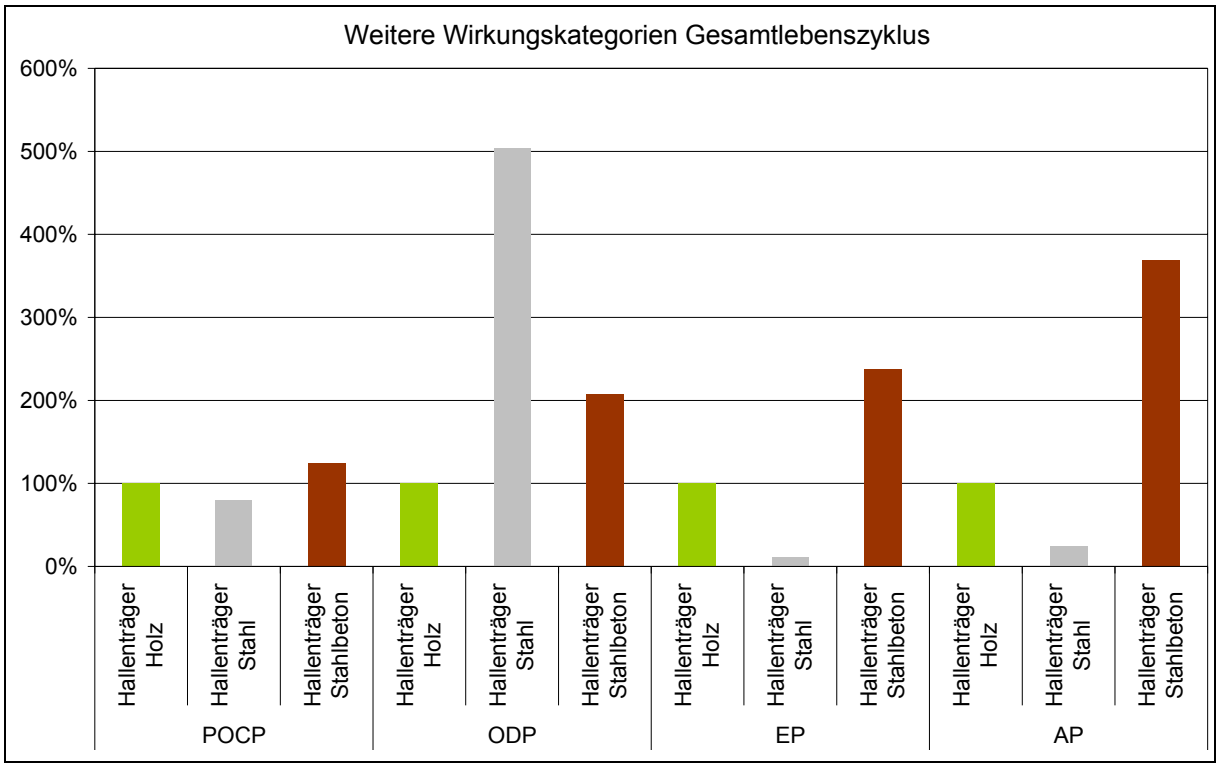


Abbildung 5-32: Weitere Wirkungskategorien Hallenträger Gesamtlebenszyklus

Die weiteren Wirkungskategorien zeigen für den Bereich der Hallenträger sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die Tendenz, dass das Treibhauspotential mengenmäßig als „Leitemission“ innerhalb dieses Projektes betrachtet werden kann, bestätigt sich in Abbildung 5-33.

Die weiteren Wirkungskategorien, wie AP, EP und POCP sind sehr stark von den Einflüssen und Annahmen für die Entsorgung beeinflusst und dominiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier keine Materialmixe, sondern fast ausschließlich einzelne Materialien eingesetzt werden und daher die Entsorgungs- bzw. Verwertungsoptionen, wie die Verbrennung von Holz in der Müllverbrennungsanlage oder das Recyclingpotential des eingesetzten Stahls, ein sehr starkes Gewicht und einen sehr großen Einfluss auf die Lebenszyklusanalyse bekommen.

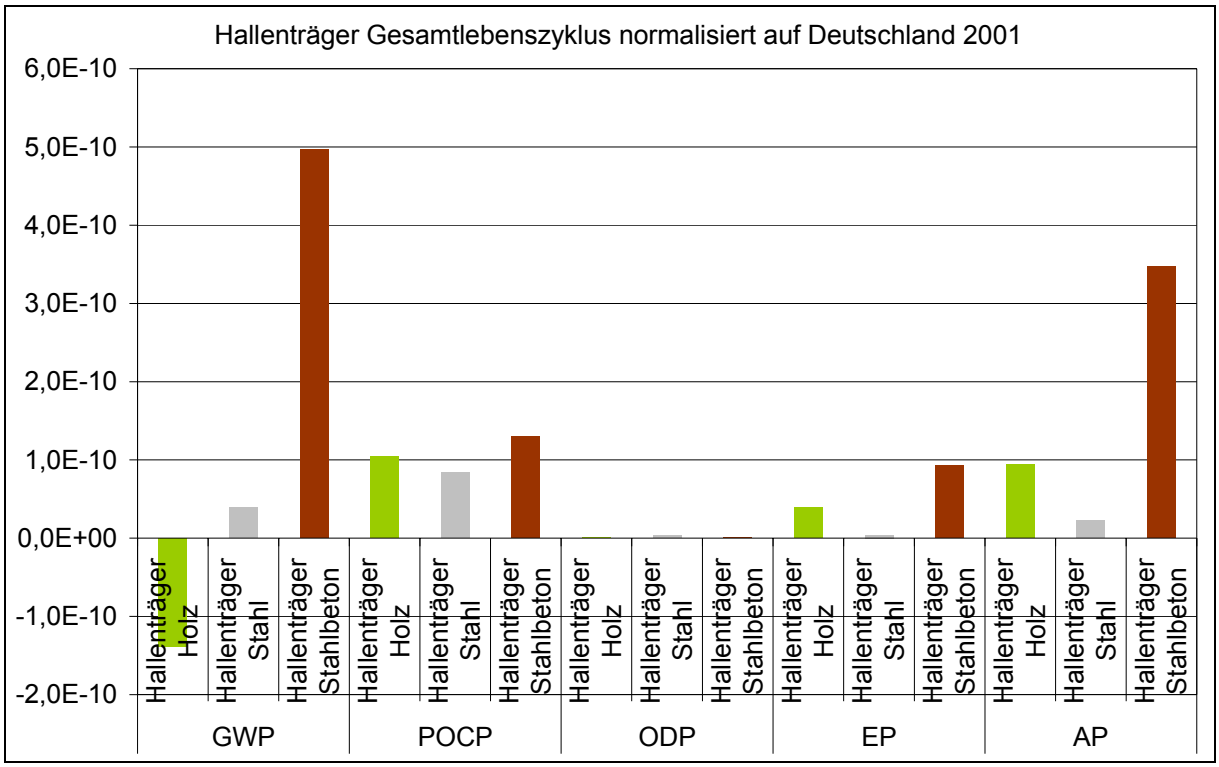


Abbildung 5-33: Weitere Wirkungskategorien Hallenträger Gesamtlebenszyklus normalisiert auf Deutschland 2001

Sowohl für das Versauerungspotenzial als auch für das Eutrophierungspotenzial ergeben sich für den Holzhallenträger höhere Werte als für den Stahlträger. Sowohl der Stahl als auch der Holzträger haben in diesen Kategorien geringere Umweltlasten als Hallenträger aus Stahlbeton.

5.3.4 Fußböden

Im Bereich der Fußböden werden die relevantesten Gruppen im Fußbodenmarkt betrachtet. Verglichen werden Fußbodenbeläge für den Wohnbereich übet den Nutzungszeitraum von 25 Jahren. Dies sind im Einzelnen:

- Parkettfußboden
- Laminatfußboden
- Teppichfußboden
- Linoleumfußboden
- PVC-Fußboden
- Fliesenfußboden

Als Vergleichsbasis geht jeweils die Fläche von 1m² (im Wohnbereich) des jeweiligen Fußbodenbelags in den Vergleich ein, gemäß der technischen Spezifikation in Kapitel 5.2.

Tabelle 5-26: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Fußbodenbeläge (Wohnbereich) gemäß Kapitel 5.2

Funktionelle Vergleichsbasis	**Fläche (Wohnbereich) von 20 m²**	
Betrachtete Nutzungsdauer		25 Jahre
Herstellung und Instandhaltung	Nutzungsdauer Parkettfußboden	>25 Jahre
	Instandhaltung Parkettfußboden	Abschleifen und neu versiegeln (alle 10 Jahre)
	Nutzungsdauer Laminatfußboden	12,5 Jahre, dann Erneuerung
	Instandhaltung Laminatfußboden	keine
	Nutzungsdauer Teppichboden	10 Jahre, dann Erneuerung
	Instandhaltung Teppichboden	keine
	Nutzungsdauer Linoleumboden	>25 Jahre
	Instandhaltung Linoleumboden	keine
	Nutzungsdauer PVC-Boden	12,5 Jahre, dann Erneuerung
	Instandhaltung PVC-Boden	keine
	Nutzungsdauer Fliesenboden	>25 Jahre
	Instandhaltung Fliesenboden	keine

Im Bereich des Parkettbodens wird ein Mix verschiedener gängiger Parkettböden angenommen, der gemäß Marktanteil zu 79 % aus Mehrschichtparket und zu 21 % aus Stabparkett besteht. Berücksichtig wurde ein durchschnittliches Mehrschichtparkett mit Nadelholzunterbau und Deckschicht aus Laubholz. Nach /90/ werden beim gängigsten in Deutschland produzierten Mehrschichtparkett als Unterbau 98,4 % Fichtenadelholz und 1,6 % Kiefernnadelholz und bei der Deckschicht 43,2 % Eiche und 56,8 % Buche im Durchschnitt eingesetzt. Diese Werte wurden in der Ökobilanzmodellierung berücksichtigt.

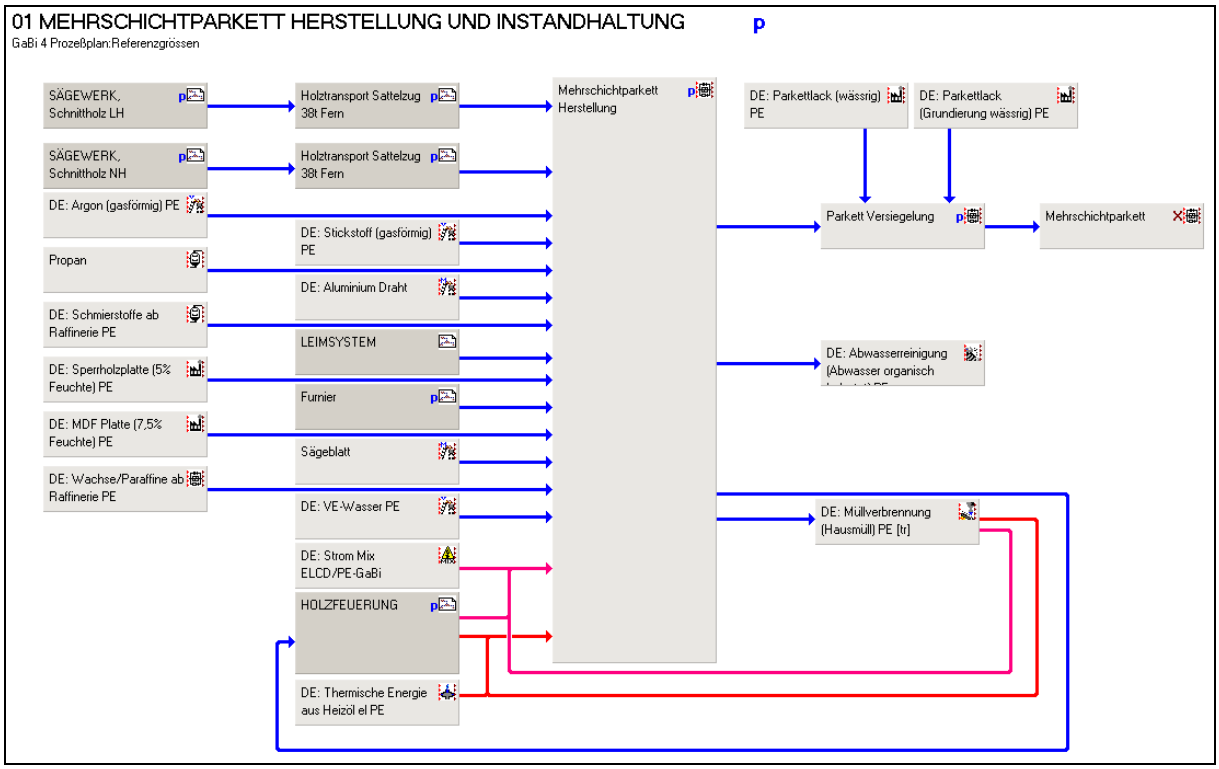


Abbildung 5-34: Modellierung Herstellung Mehrschichtparkett

Neben dem Mehrschichtparkett wurde noch Stabparkett aus Eiche und aus Buche in die Betrachtung integriert. Beim hier betrachteten Stabparkett ist der Laubholzanteil im Vergleich zum Mehrschichtparkett in der Herstellung deutlich größer. Die nachfolgende Abbildung 5-35 zeigt die Modellierung von Stabparkett aus Laubhölzern. Nach /90/ wird Stabparkett in rund 76% der Fälle aus Eichenholz und in 24% der Fälle aus Buche hergestellt. Die Modellierung von Stabparkett erfolgte wie das Mehrschichtparkett ebenfalls nach /90/.

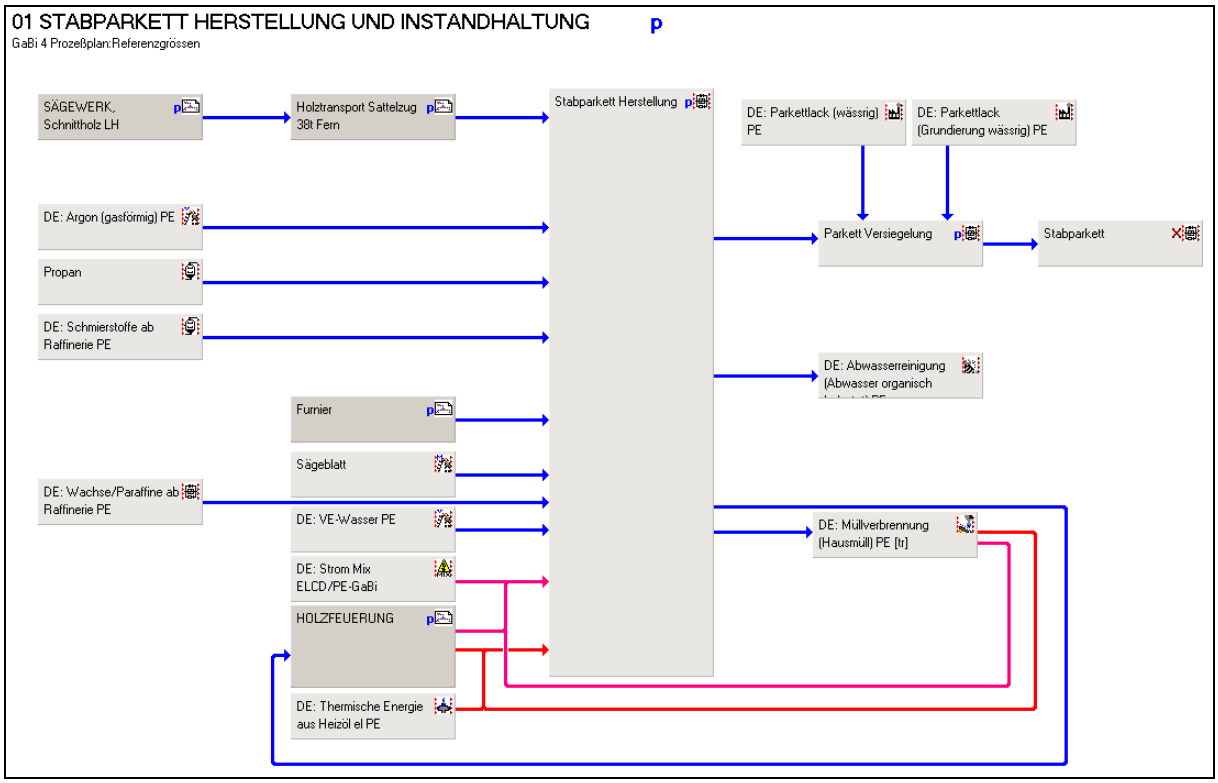


Abbildung 5-35: Modellierung Herstellung Stabparkett Laubholz (Eiche / Buche)

Die Herstellung von Laminatboden für den Wohnbereich gliedert sich, wie in Abbildung 5-36 dargestellt, in mehrere Verfahrensschritte. Der Unterbau besteht aus einer HDF (Hochdichte Faserplatte) bzw. MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte). Im Rahmen der Produktion werden dabei Holzfasern beleimt, gepresst und ausgehärtet. Je nach Dichte ergibt sich daraus eine HDF- bzw. MDF-Platte.

Parallel dazu werden Overlay-, Dekor- und Gegenzugpapier mit Harz (hier Melaminformaldehyd MF-Harz) und weiteren Zusatzstoffen getränkt und anschließend auf die HDF-Platte aufgebracht. Diese werden schließlich unter dem Einfluss von Druck und Temperatur zu Laminathalbformaten verpresst.

Schließlich werden die Halbformate auf die richtige Größe geschnitten, für die Verlegung profiliert und zuletzt versandfertig verpackt.

Der in Abbildung 5-36 modellierte Laminatfußboden ist für eine Verwendung im Wohnbereich geeignet, die Daten für die Modellierung stammen aus /47/, /48/, /20/, /21/.

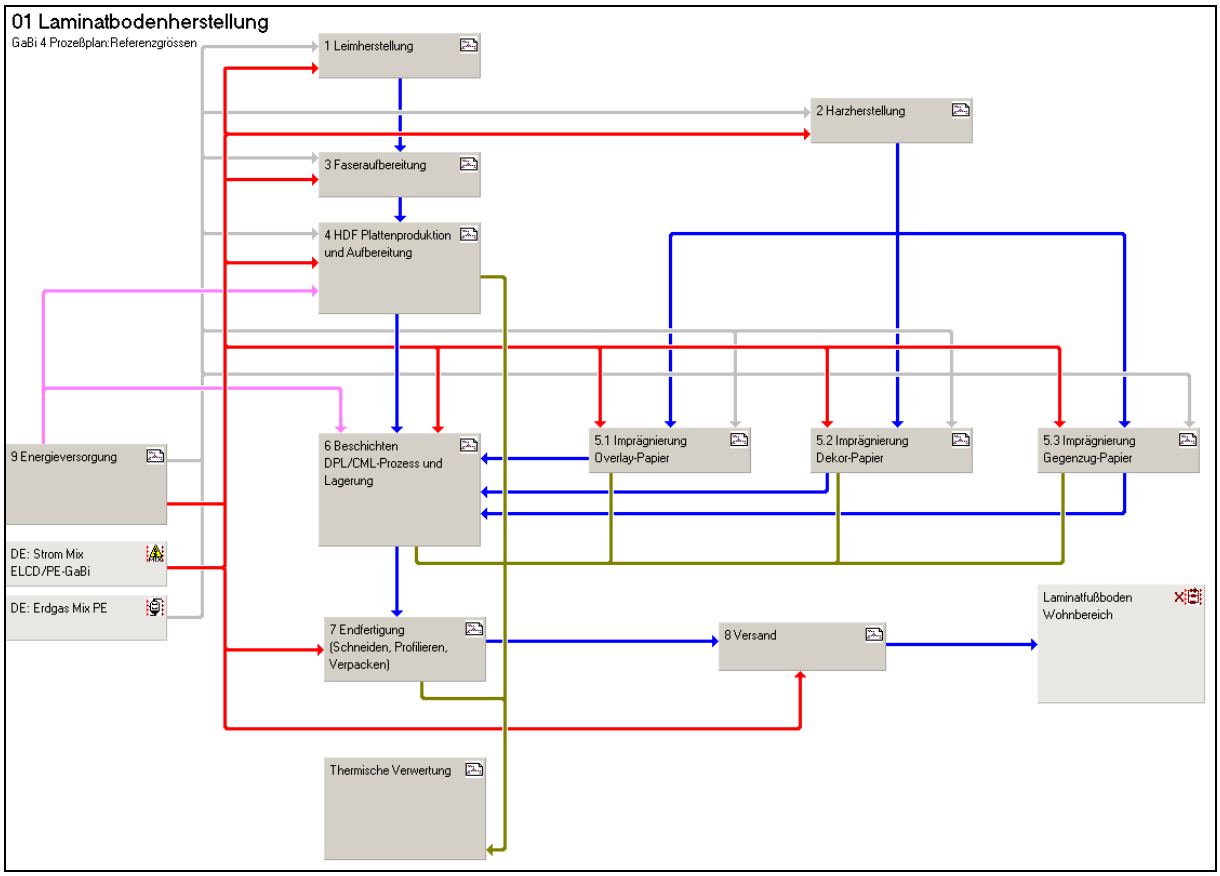


Abbildung 5-36: Modellierung Herstellung Laminatfußboden (Wohnbereich)

Eine spezielle, neu- bzw. weiterentwickelte Form des Laminatfußbodens ist der Direktdruckboden. Der Boden wird nach der EN 15468 als Laminatboden bezeichnet. Als Trägerplatte wird eine hochdichte Faserplatte wie beim vorher beschriebenen Laminatboden verwendet. Die dekorative Zeichnung wird mittels eines Druckzylinders direkt auf die grundierte Trägerplatte aufgedruckt. Um eine hochabriebfeste Oberfläche zu erreichen, wird der obersten Schicht Korund zugegeben. Nach einer entsprechenden Auskühlphase wird die Mutterplatte in die jeweiligen Dielengrößen zersägt und mit einem „Clickprofil“ auf der Längs- und Kurzseite versehen.

Der in Abbildung 5-37 modellierte Direktdruckfußboden ist für eine Verwendung im Wohnbereich geeignet, die Daten für die Modellierung stammen aus /47/, /48/, /20/, /21/.

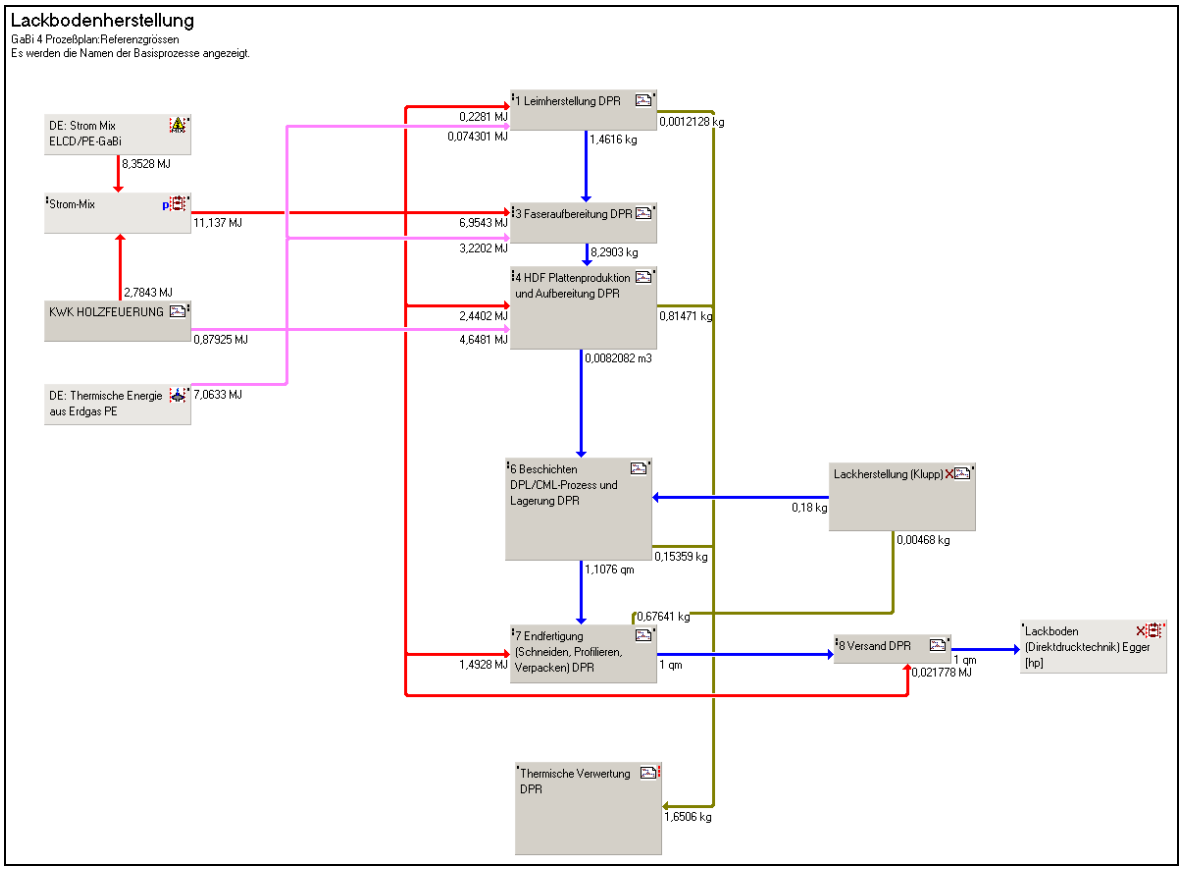


Abbildung 5-37: Modellierung Herstellung Direktdruckboden (Lackboden) (Wohnbereich)

Die Daten für die Modellierung des Laminatfußbodens und des Direktdruckbodens sind industrielle Prozessdaten, die von /47/, /48/, /20/, /21/ zur Erstellung von EPD für Fußböden erhoben wurden. Die Datenqualität ist als sehr hoch einzustufen. Die Daten für die Modellierung der Herstellung der verschiedenen Parkettfußbodentypen wurden der Arbeit von Nebel /90/ entnommen. Auch hier ist die Datenqualität sehr hoch. Die Modellierung der der PVC-Fußbodenherstellung basiert auf /79/ und /53/ die des Linoleumfußbodens auf /79/. Beide sind als qualitativ gut einzuschätzen. Der Keramikfußboden wurde auf Grundlage von /79/ und /70/ modelliert. Die Modellierung des Teppichfußbodens basiert auf den Grunddaten von /79/ und wurde um ergänzend um technische Daten von /103/ modelliert. Obwohl Primärdaten zum Teil fehlen, ist die Datenqualität auch hier als gut einzustufen. Diese Datenlücken konnten jedoch anhand Expertenschätzungen /103/ ergänzt werden.

Befestigende und ergänzende Systemkomponenten wie Fliesenkleber, Parkettkleber, Trittschalldämmung usw. sind nicht Bestandteil der hier angewendeten Ökobilanzmodelle.

5.3.4.1 Primärenergiebedarf

Der fossile Primärenergiebedarf entlang des Lebenszyklus verschiedener Fußbodenbeläge zeigt für die betrachteten Parkettfußböden den geringsten Wert. Dies ist zum einen auf eine

relativ einfache Herstellung, vor allem aber auf Gutschriften für Strom- und Wärmeerzeugung, die am Lebensende durch die thermische Verwertung des Holzes vergeben werden, zurückzuführen. Außerdem wirkt sich die hohe Lebensdauer positiv aus.

Ähnlich kommen die Werte für den Laminatfußboden zustande, jedoch ist die Herstellung deutlich aufwändiger. Der Laminatboden muss nach rund 15 Jahren erneuert werden, d.h. innerhalb des betrachteten Lebenszyklus schlagen der Herstellungsprozess, allerdings auch die Gutschriften doppelt am Lebensende zu Buche.

Die Herstellung der Fliesenböden ist primärenergetisch aufwändiger als die Herstellung von Parkett oder Laminat. Allerdings haben die Fliesen eine hohe Nutzungsdauer, was sich auf die Lebenszyklussicht positiv auf die Ergebnisse für den Fliesenboden auswirkt.

Der deutlich höhere fossile Primärenergiebedarf von Teppich, Linoleum und PVC stammt vor allem aus dem signifikant höheren Einsatz von fossilen Primärenergieträgern, wie Erdöl, usw. Die enthaltene fossile Primärenergie (Heizwert) kann meist am Lebensende teilweise in Form energetischer Verwertung zurückgewonnen werden (siehe Gutschriften in Tabelle 5-27).

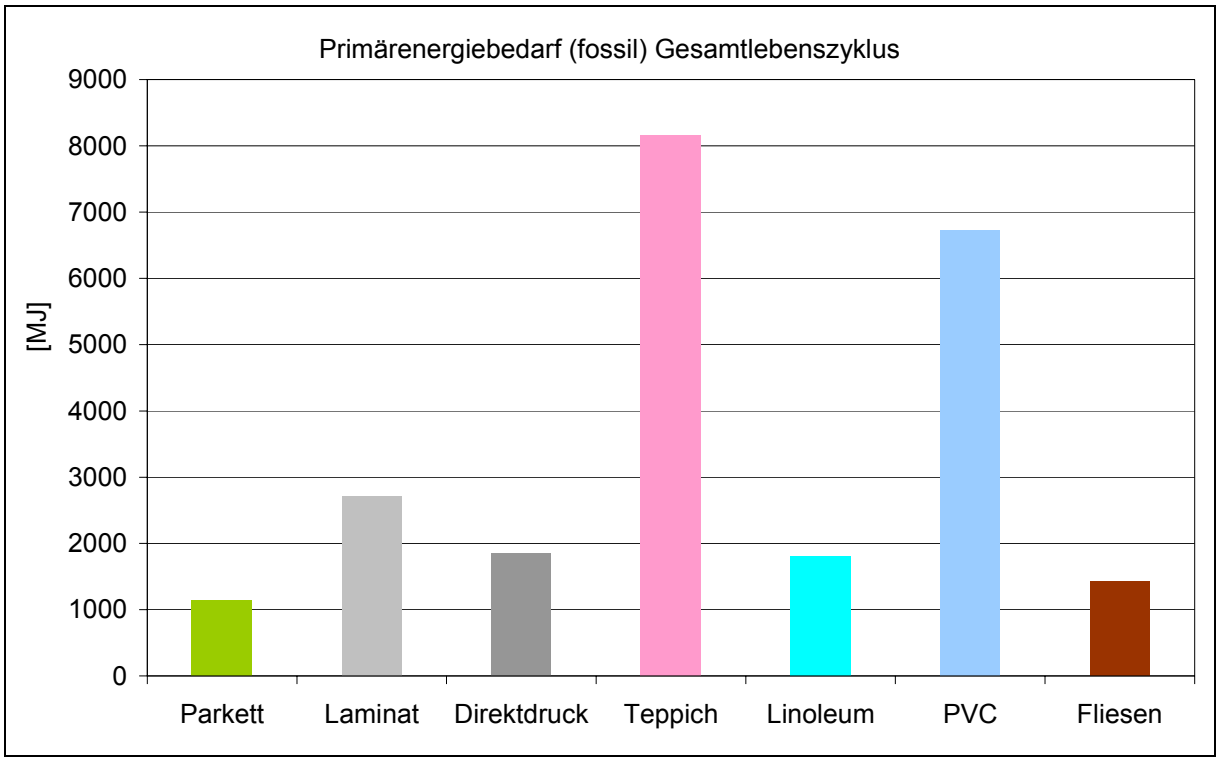


Abbildung 5-38: Primärenergiebedarf (fossil) Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m²

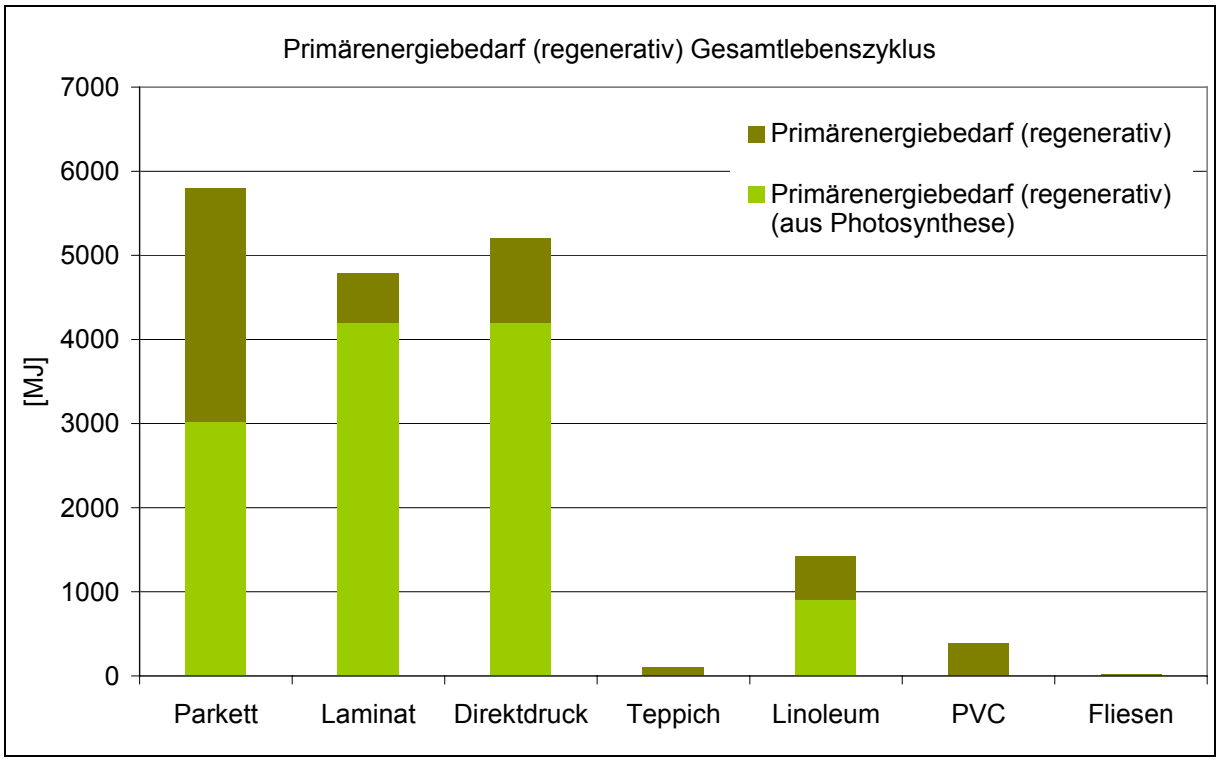


Abbildung 5-39: Primärenergiebedarf (regenerativ) Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m²

Der regenerative Primärenergiebedarf von Parkett und Laminat stammt fasst ausschließlich aus dem eingesetzten Holzwerkstoffen. Die hier gebundene regenerative Primärenergie (aus Photosynthese) kann am Lebensende energetisch verwertet werden und in Form von Strom und Dampf ins Netz eingespeist werden und somit fossile Primärenergieträger substituieren. Dies zeigt sich in den Gutschriften für den fossilen Primärenergiebedarf (siehe Tabelle 5-27).

Der Anteil gebundener regenerativer Primärenergie im Linoleum stammt zum Großteil aus Leinöl.

Tabelle 5-27: Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Fußböden

[MJ]	Parkett	Laminat	Direktdruck	Teppich	Linoleum	PVC	Fliesen
PE reg.	5821	4832	5240	140	1425	389	19
PE fossil	3306	5008	4160	11742	2591	7533	1435
PE reg. (Gutschrift)	-24	-38	-38	-45	-8	-2	0
PE fossil (Gutschrift)	-2163	-2292	-2312	-3581	-790	-807	0
PE reg. netto	5797	4794	5202	96	1416	387	19
PE fossil netto	1143	2716	1848	8161	1801	6726	1435

5.3.4.2 Treibhauspotenzial

Die Verhältnisse beim Treibhauspotenzial stellen sich ähnlich derer beim Primärenergiebedarf dar. Alle Fußböden haben während ihres Lebenszyklus treibhausrelevante Emissionen,

zeigen aber deutliche Unterschiede, was hauptsächlich aus den Aufwendungen der Herstellung und der Verwertung am Lebensende herrührt.

Allerdings haben v.a. die Fußböden aus den erneuerbaren Werkstoffen bereits während der biologischen Produktion, also dem Pflanzenwachstum soviel CO_2 eingebunden, dass mit der Betrachtung der Gutschriften aus der energetischen Verwertung fast kein oder sogar ein negatives Treibhauspotenzial entlang des Lebenszyklus auszuweisen ist.

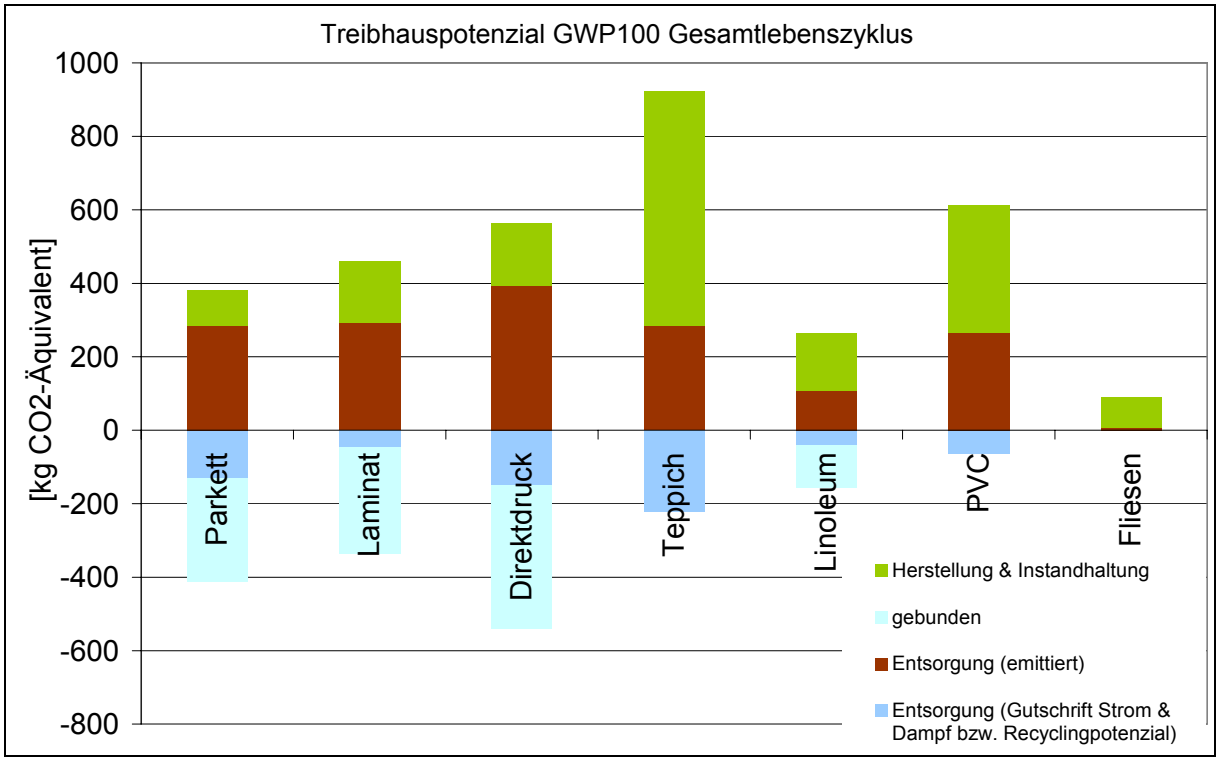


Abbildung 5-40: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m²

Die nachfolgende Tabelle 5-28 zeigt das Treibhauspotenzial für alle Fußbodenbeläge, aufgeschlüsselt nach seiner Herkunft. Es zeigt sich, dass Parkett und Laminatfußböden den geringsten Beitrag zum Treibhauspotenzial aufweisen.

Tabelle 5-28: Treibhauspotenzial Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m²

Treibhauspotenzial [kg CO2-Äquiv.]	Parkett	Laminat	Direktdruck	Teppich	Linoleum	PVC	Fliesen
Herstellung & Instandhaltung	97	167	170	639	157	347	82
gebunden	-280	-291	-392	0	-116	0	0
Entsorgung (emittiert)	284	294	395	286	107	265	6
Entsorgung (Gutschrift Strom & Dampf bzw. Recyclingpotenzial)	-133	-45	-150	-222	-40	-64	0
NETTO	-31	125	23	702	108	548	88

5.3.4.3 Weitere Wirkungskategorien

Auch in den weiteren Wirkungskategorien, dargestellt in Abbildung 5-41und bezogen auf die Gesamtemissionen in Deutschland 2001 in Abbildung 5-42, zeigt sich durchgängig über alle Wirkungskategorien, dass mit einer Ausweitung des Marktes für Parkett- und Holzfußböden keine signifikante Verschlechterung in diesen Wirkungskategorien zu erwarten sind.

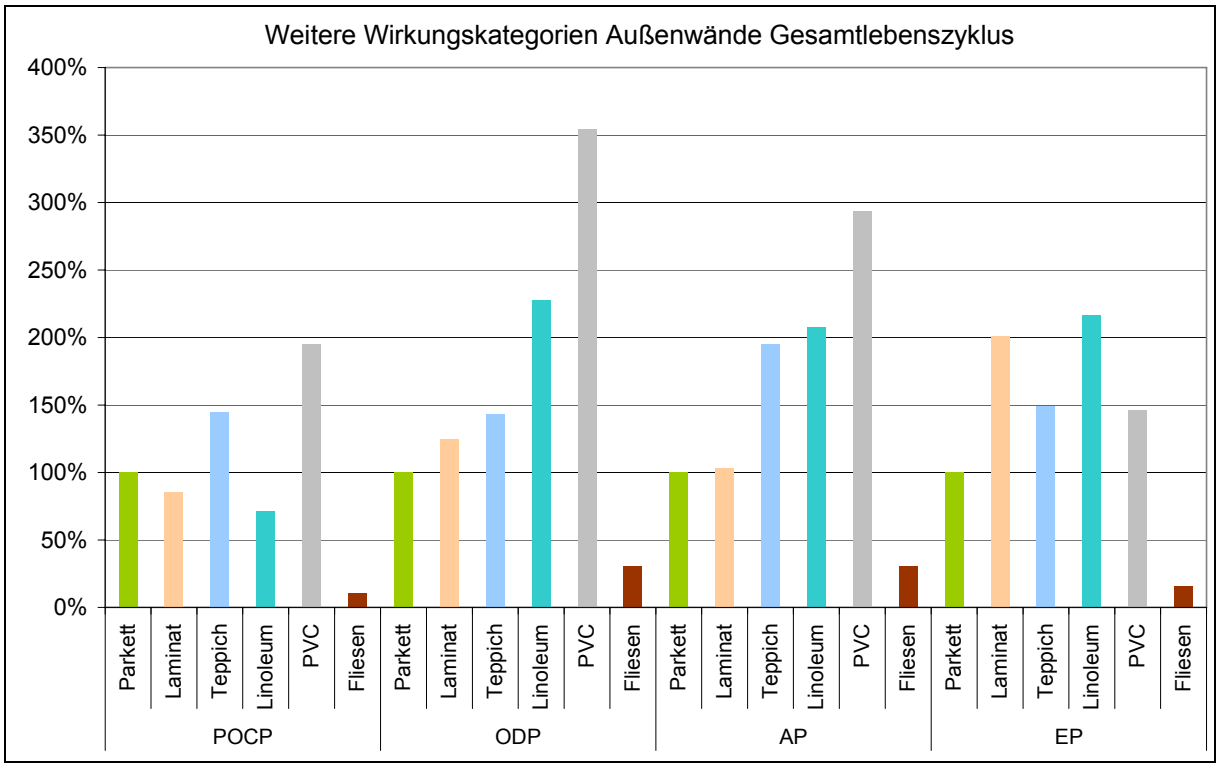


Abbildung 5-41: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m²

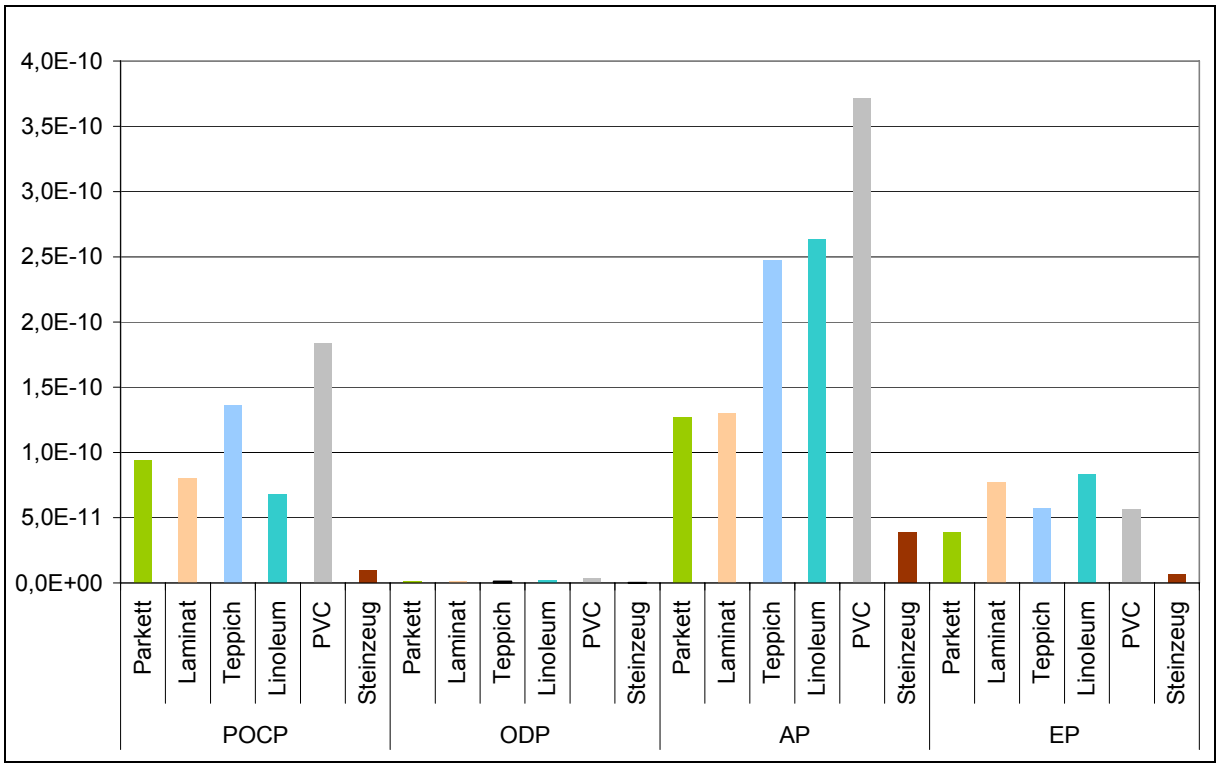


Abbildung 5-42: Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden pro 20 m² (normalisiert Deutschland 2001)

5.3.5 Fenster

Im Bereich der Fenster werden die vier gängigsten Grundtypen an Fenstern miteinander verglichen, die jeweils eine Größe von 1 x 1,5 Metern haben:

- Fenster aus Holz,
- Fenster aus einem Holz-Alu-Werkstoffmix,
- Fenster aus Aluminium und
- Fenster aus Kunststoff (PVC).

Die genauen Spezifikationen der einzelnen Fenstertypen finden sich in den Kapiteln 5.1.1.5 und 5.2.5. Dort werden deren Herstellung sowie die Art und Menge der eingesetzten Materialien beschrieben.

Als Vergleichsbasis geht jeweils die Fläche von 1m² (im Wohnbereich) des jeweiligen Fußbodenbelags in den Vergleich ein, gemäß der technischen Spezifikation in Kapitel 5.2.

Tabelle 5-29: Annahmen Lebenszyklusmodellierung Fenster gemäß Kapitel 5.2

Funktionelle Vergleichsbasis	**Fenster (1m x 1,5 m) mit einem Wärmedurchgangswert k_F < 1,8 W/(m²K)**	
Betrachtete Nutzungsdauer		30 Jahre
Herstellung und Instandhaltung	Nutzungsdauer Holzfenster	>30 Jahre
	Instandhaltung Holzfenster	Alle 4 Jahre Decklack neu Alle 8 Jahre Abschleifen und komplett neu lackieren
	Nutzungsdauer Holz-Alu-Fenster	>30 Jahre
	Instandhaltung Holz-Alu-Fenster	keine
	Nutzungsdauer Aluminiumfenster	>30 Jahre
	Instandhaltung Aluminiumfenster	keine
	Nutzungsdauer PVC-Fenster	>30 Jahre
	Instandhaltung Fenster	keine

Die Werte und die prinzipielle Modellierung der Herstellung, der Nutzung sowie der End-of-Life-Optionen wurden aus der sehr ausführlichen Studie aus dem Jahr 1997, die verschiedene Fensteroptionen umweltlich miteinander vergleicht, übernommen /76/. Sämtlich Vorketten, wie die Bereitstellung von Strom und thermischer Energie, chemische Vorprodukte,…, wurden gemäß der aktuellen Version der Datenbank GaBi 4, die in den Jahren 2005 und 2006 einem umfangreichen Datenbankupdate unterzogen wurden, aktualisiert und entsprechen somit dem neuesten Stand.

Gemäß Kapitel 2.2.7.6 wird für die Fenstertypen von einer Lebensdauer von 25 Jahren ausgegangen. Dabei muss klar gestellt werden, dass die technische Lebensdauer für alle vier betrachteten Systeme deutlich höher anzusetzen ist. SO unterliegen gerade Fenster optischen Einflüssen und technischen Neuerungen in kürzeren Zeiträumen, wie z.B. Verbesserungen im Lärm- oder Wärmeschutz, usw., und daher ist anzunehmen, dass die reale Lebensdauer kürzer als die technisch machbare anzusetzen ist.

Die folgende Abbildung 5-43 zeigt die Modellierung der Herstellung eines Holzfensters nach /76/ und beschreibt die Herstellung eines Vollholzfensters aus Kiefer.

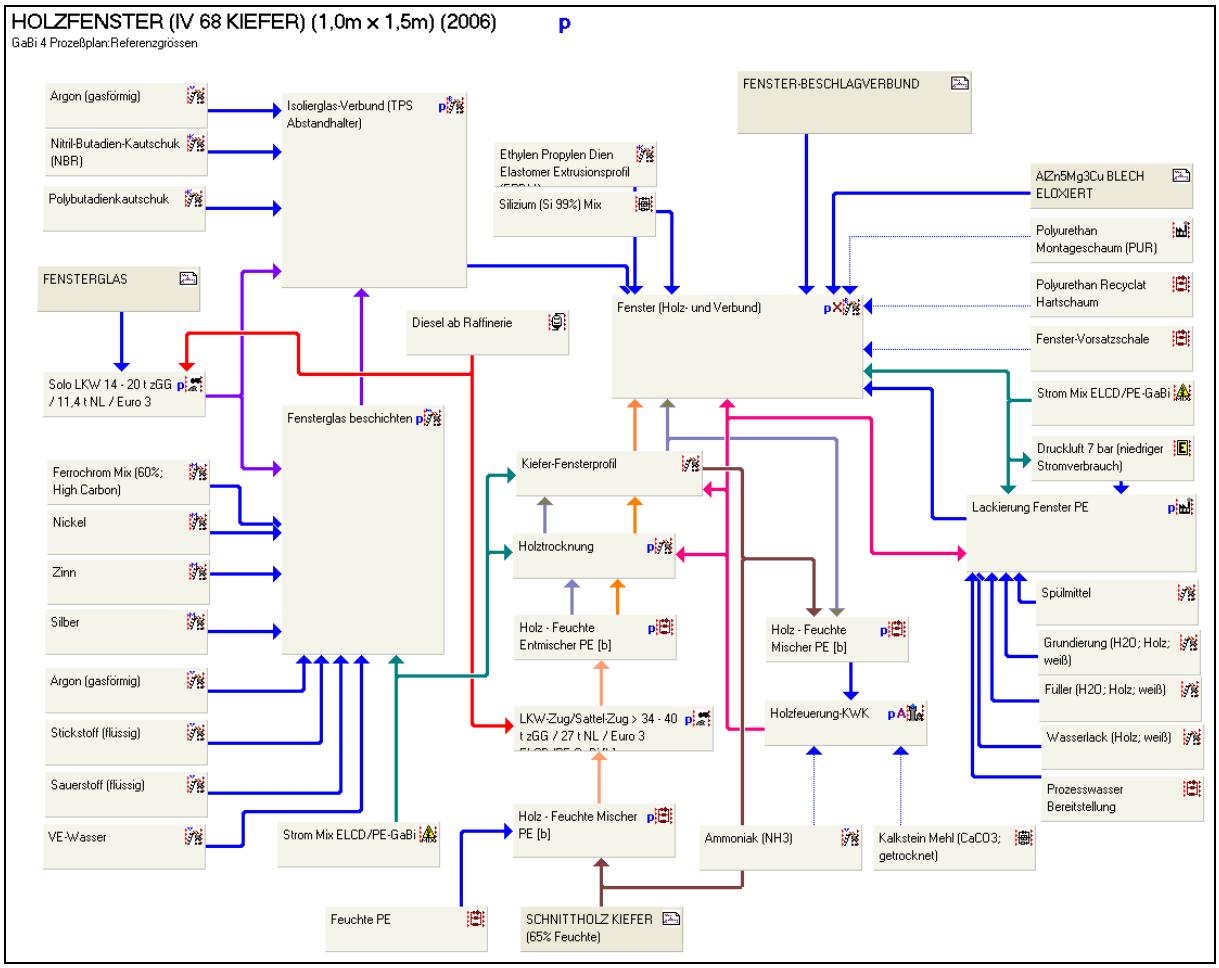


Abbildung 5-43: Modellierung Herstellung Holzfenster

Abbildung 5-44 zeigt die Herstellung eines Fensters, bestehend aus einem Werkstoffmix aus Holz und Aluminium. Die Außenseite des Fensters ist dabei mit Aluminium verkleidet, um Witterungseinflüsse möglichst gering zu halten.

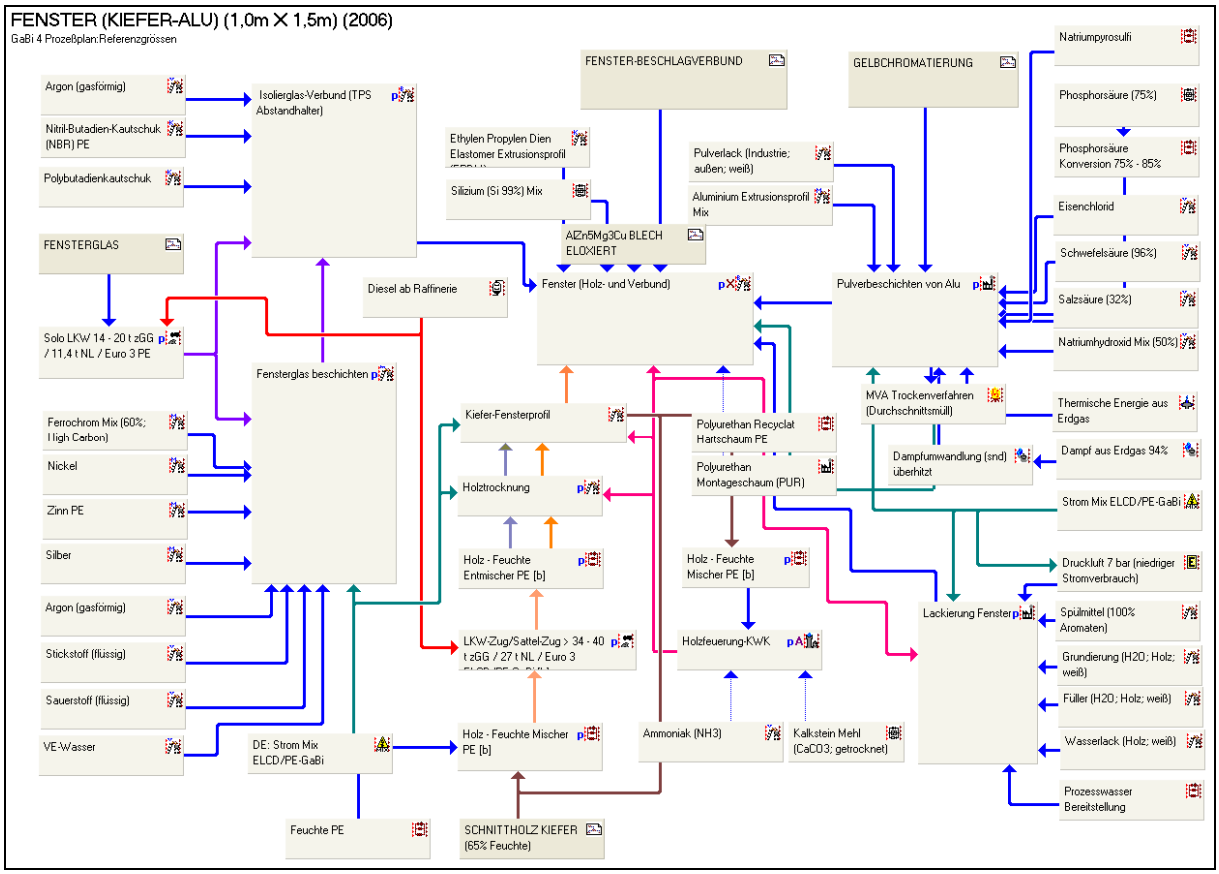


Abbildung 5-44: Modellierung Herstellung Holz-Alu-Fenster

Die Aufwendungen für Reinigung und Pflege werden aufgrund der Abhängigkeit von den jeweiligen Umgebungsbedingungen (Staubbelastung, Witterung, etc.) und der Tatsache, dass sich für die verschiedenen Systeme dabei keine Unterschiede ergeben dürften, nicht in der Bilanz betrachtet.

Es werden nur die technisch notwendigen Erhaltungsaufwendungen für den Fensterrahmen betrachtet. Dies hat zur Folge, dass für Aluminium-, PVC- und Holz-Aluminium-Systeme keine Instandhaltung der Rahmen erforderlich ist.

Für das betrachtete Holzfenster bedeutet dies, dass es in regelmäßigen Abständen gestrichen werden muss. Gemäß /76/ erfolgt ein Anstrich des unteren Drittels nach vier Jahren, nach weiteren vier Jahren wird die komplette Außenoberfläche gestrichen. Diese alternierende Wartungsart ist aus technischen Gründen begründet. Das untere Drittel des Fensters ist wesentlich stärker als der obere Teil der Witterung ausgesetzt. Daher wurde dies als funktionales Äquivalent zugrunde gelegt.

Der Lackauftrag beläuft sich auf 120 g/m² und Arbeitsgang. Es wird derselbe Lackaufbau mit Vorlack und Decklack auf Wasserbasis verwendet, wie in der Produktion. Die Lackzusammensetzungen sind in /76/ angegeben.

Die Entsorgung orientiert sich wieder an den Ausführungen in Kapitel 2.2.7.4. Die jeweiligen energetisch verwertbaren Materialien werden energetisch verwertet (MVA), metallischen Bauteilen wird ein Recyclingpotenzial zugewiesen und inerte Stoffe werden deponiert.

5.3.5.1 Primärenergiebedarf

In Abbildung 5-45 ist der fossile Primärenergiebedarf entlang des Lebenszyklus der vier betrachteten Fensteroptionen zu sehen.

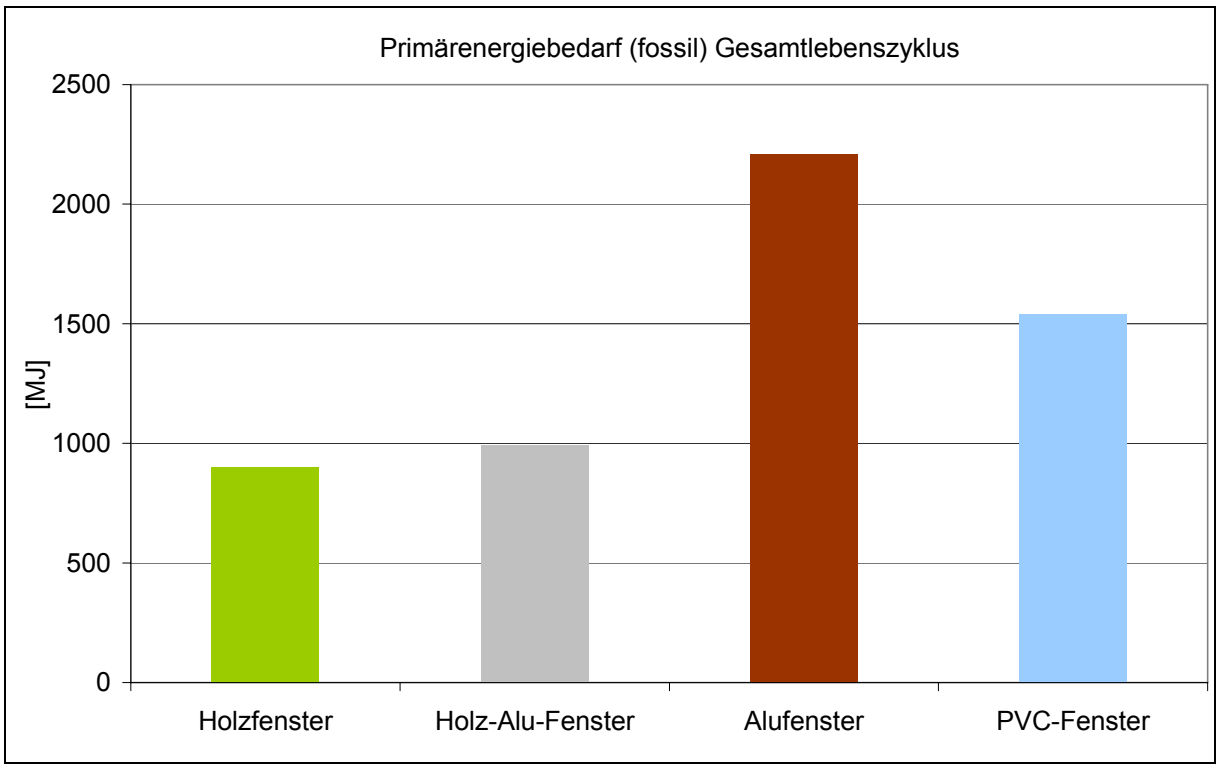


Abbildung 5-45: Primärenergiebedarf (fossil) Fenster Gesamtlebenszyklus

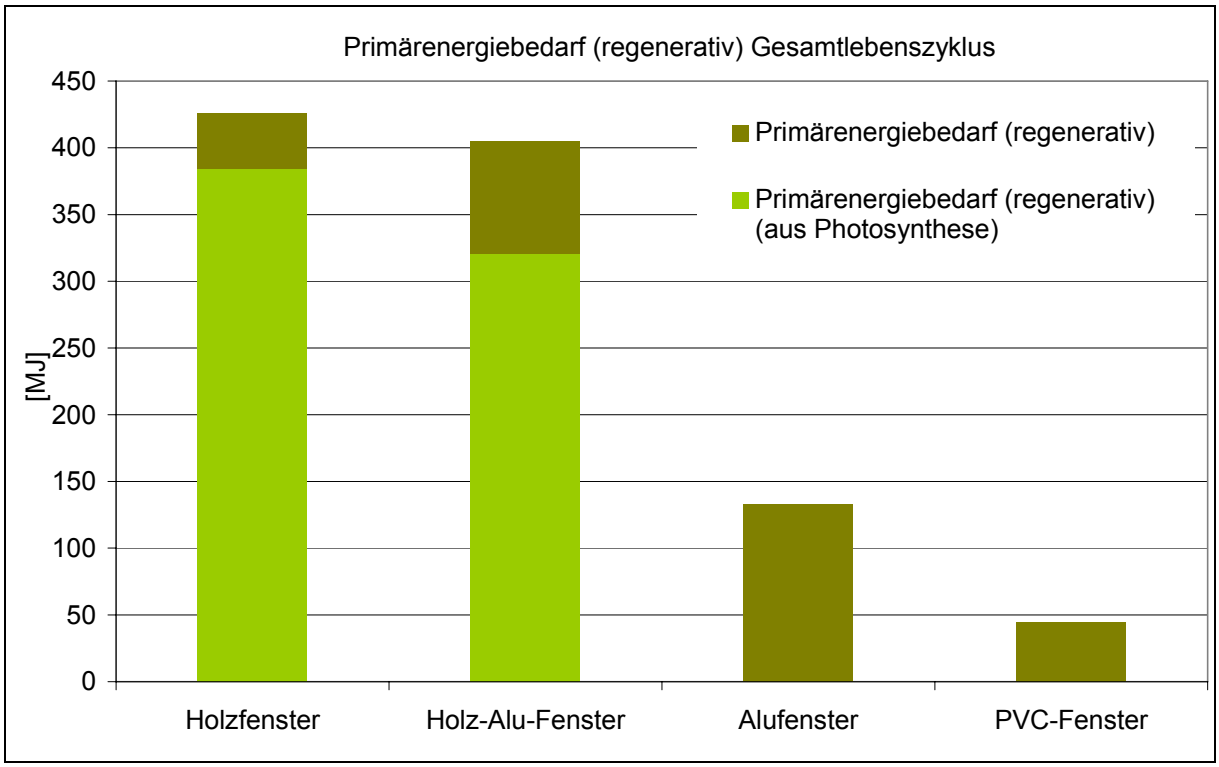


Abbildung 5-46: Primärenergiebedarf erneuerbar (reg.) Fenster Gesamtlebenszyklus

Den geringsten fossilen Primärenergiebedarf zeigt hier das Vollholzfenster. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass der Holzwerkstoff wenig aufwändig in der Herstellung ist und dass der große regenerative Primärenergieinhalt, siehe Abbildung 5-46, des Holzes am Lebensende energetisch verwertet werden kann und damit eine gewisse Menge an konventionell hergestelltem Strom und Dampf substituiert werden kann.

Ähnlich sieht es beim Holz-Alu-Fenster aus. Hier wird jedoch noch als zusätzlicher Witterungsschutz Aluminium eingesetzt, das in der Herstellung sehr energieintensiv ist und dadurch den fossilen Primärenergiebedarf anhebt.

Noch größer ist dieser schließlich bei Fenstern aus reinem Aluminium, die hier den größten fossilen Primärenergiebedarf zeigen. Zwar kann auch dem Aluminium am Lebensende ein Recyclingpotential zugewiesen werden, das eine gewisse Primärproduktion substituiert. Allerdings kann Sekundäraluminium nicht die gleichen technologischen Eigenschaften wie Primäraluminium vorweisen und muss daher in seiner Wertigkeit etwas niedriger angesetzt werden. Der hohe Anteil an regenerativer Primärenergie beim Aluminium ist darin begründet, dass ein Großteil der Aluminiumindustrie in Norwegen und Island angesiedelt und dort ein Großteil der benötigten Energie aus Wasser- und Geothermiekraftwerken bereitgestellt wird.

PVC-Fenster zeigen gegenüber den Holz- und Holz-Alu-Fenstern ebenfalls einen deutlich höheren Primärenergiebedarf. Dies liegt an den fossilen Vorketten auf Erdölbasis. Zwar kann der Energieinhalt des PVC am Lebensende bei der Verbrennung zurück gewonnen werden,

allerdings ist der Heizwert von PVC im Vergleich zu anderen Kunststoffen eher gering und somit die die Gutschrift am Lebensende im Vergleich zur eingesetzten Primärenergie ebenfalls eher gering.

Tabelle 5-30: Primärenergiebedarf Fenster Gesamtlebenszyklus

Primärenergiebedarf [MJ]	Holzfenster	Holz-Alu-Fenster	Alufenster	PVC-Fenster
PE reg.	447,5	624,7	902,1	76,9
PE fossil	1240,0	1801,8	4252,3	2154,6
PE reg. (Gutschrift)	-21,3	-220,1	-769,3	-32,4
PE fossil (Gutschrift)	-338,3	-807,3	-2044,6	-615,3
PE reg. gesamt	426,2	404,6	132,8	44,5
PE fossil gesamt	901,8	994,5	2207,8	1539,2

Tabelle 5-31: Aufteilung Primärenergiebedarf Gesamtlebenszyklus Fenster

	Holzfenster	Holz-Alu-Fenster	Alufenster	PVC-Fenster
PE reg.	27%	26%	18%	3%
PE fossil	73%	74%	82%	97%

Sämtliche Werte zum Primärenergiebedarf der vier betrachteten Fenstertypen sind nochmals in Tabelle 5-30 zusammengefasst. Tabelle 5-31 zeigt das Verhältnis regenerativer zu fossiler Primärenergie.

5.3.5.2 Treibhauspotenzial

Abbildung 5-47 und Tabelle 5-32 stellen die Beiträge zum Treibhauspotenzial pro Stück der betrachteten Fenstertypen dar.

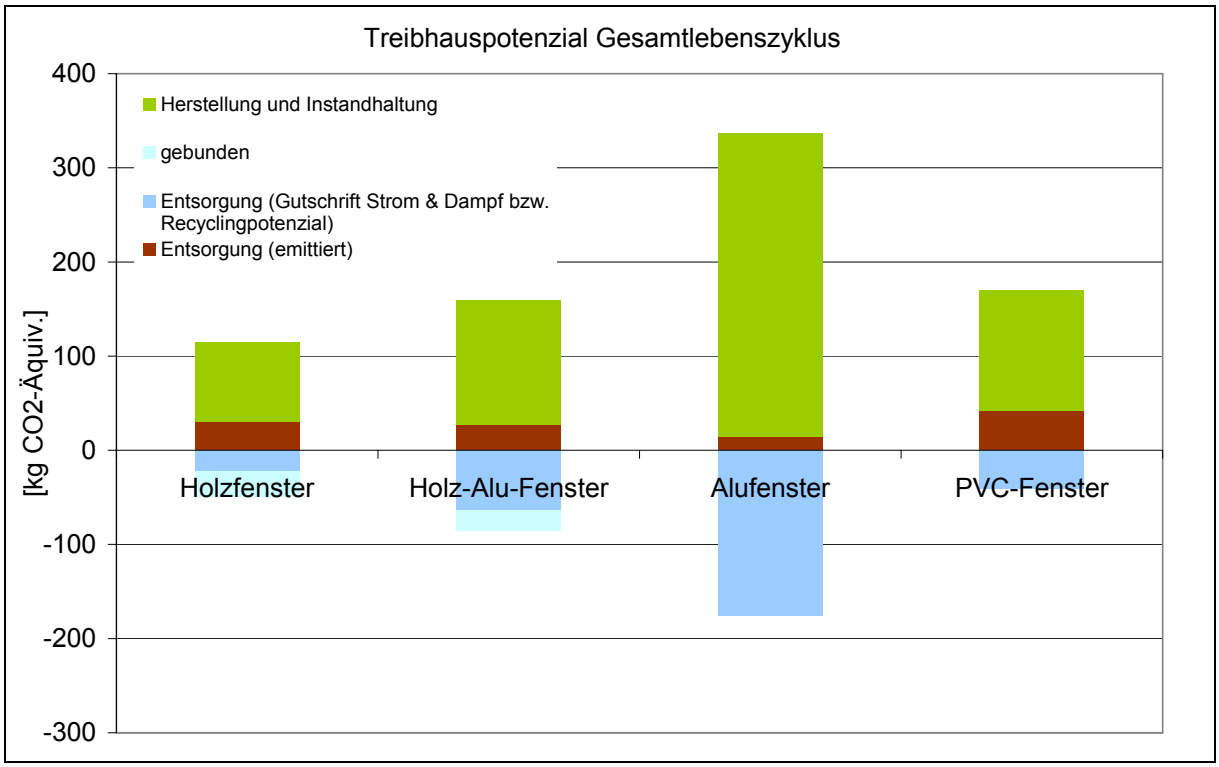


Abbildung 5-47: Treibhauspotenzial Fenster Gesamtlebenszyklus

Es zeigt sich deutlich, dass das Holzfenster den geringsten Beitrag zum Treibhauspotenzial leistet. Bei Betrachtung des Holz-Alu-Fensters und des Aluminiumfensters zeigt sich deutlich der Einfluss der energieintensiven Herstellung von Aluminium in Form von Treibhausemissionen aus der Energiebereitstellung für die Aluminiumherstellung. Auch die Herstellung des PVC-Fensters weist deutliche Treibhausemissionen auf, die aus der Herstellung des PVC und seiner Vorketten herrühren.

Tabelle 5-32: Treibhauspotenzial Fenster Gesamtlebenszyklus

Treibhauspotenzial [kg CO_2-Äquiv.]	Holzfenster	Holz-Alu-Fenster	Alufenster	PVC-Fenster
Herstellung und Instandhaltung	84	133	322	128
Im Holz gebundenes CO2	-27	-22		
Entsorgung (emittiert)	30	27	14	42
Entsorgung (Verrechnung des produzierten Stroms & Dampfes bzw. des Recyclingpotenzials)	-22	-64	-175	-41
NETTO	66	74	161	129

Am Lebensende werden Gutschriften für Strom und Dampf verteilt auf Grund der energetischen Verwertung von Holz und PVC, sowie Recyclingpotenziale ausgewiesen für die Wiederverwendung von Aluminium und damit Substitution einer gewissen Menge an Primäraluminium.

In Tabelle 5-32 sind in der untersten Zeile die Nettowerte für den Beitrag zum Treibhauspotenzial berechnet, sie entsprechen den Werten der Emissionen während der Herstellung und Instandhaltung abzüglich der Gutschriften am Lebensende.

5.3.5.3 Weitere Wirkungskategorien

Die Betrachtung der weiteren Wirkungskategorien in Abbildung 5-48 und Abbildung 5-49 zeigen, dass durch einen verstärkten Einsatz von Holzfenstern oder auch Holz-Alu-Fenstern keine oder kein signifikanten Verschlechterungen in anderen Wirkungskategorien hervorgerufen werden und es somit zu keiner Verschiebung von Umweltlasten, also zu keinem „shift of burdens“ kommt.

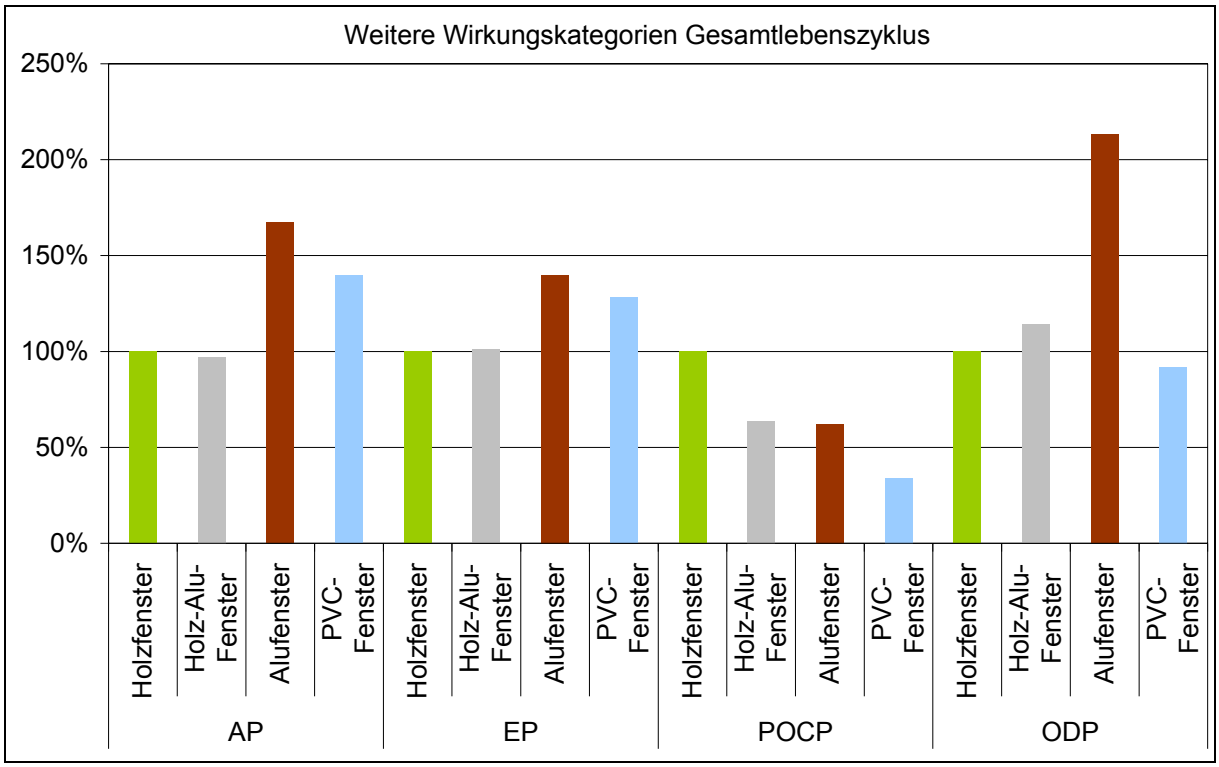


Abbildung 5-48: Weitere Wirkungskategorien Fenster Gesamtlebenszyklus

Der höhere Beitrag zum Sommersmog (POCP) der Holzfenster wird durch deren Lackierung hervorgerufen. Diese wird sowohl bei der Herstellung initial durchgeführt als auch als Instandhaltungsmaßnahme alle vier bzw. acht Jahre (siehe oben). Der Beitrag zum POCP wird fast ausschließlich durch während der Trocknung verdampfende Lösemittel im Fensterlack hervorgerufen. Dies könnte durch den Einsatz von mehr wasserbasierten Lacken reduziert werden.

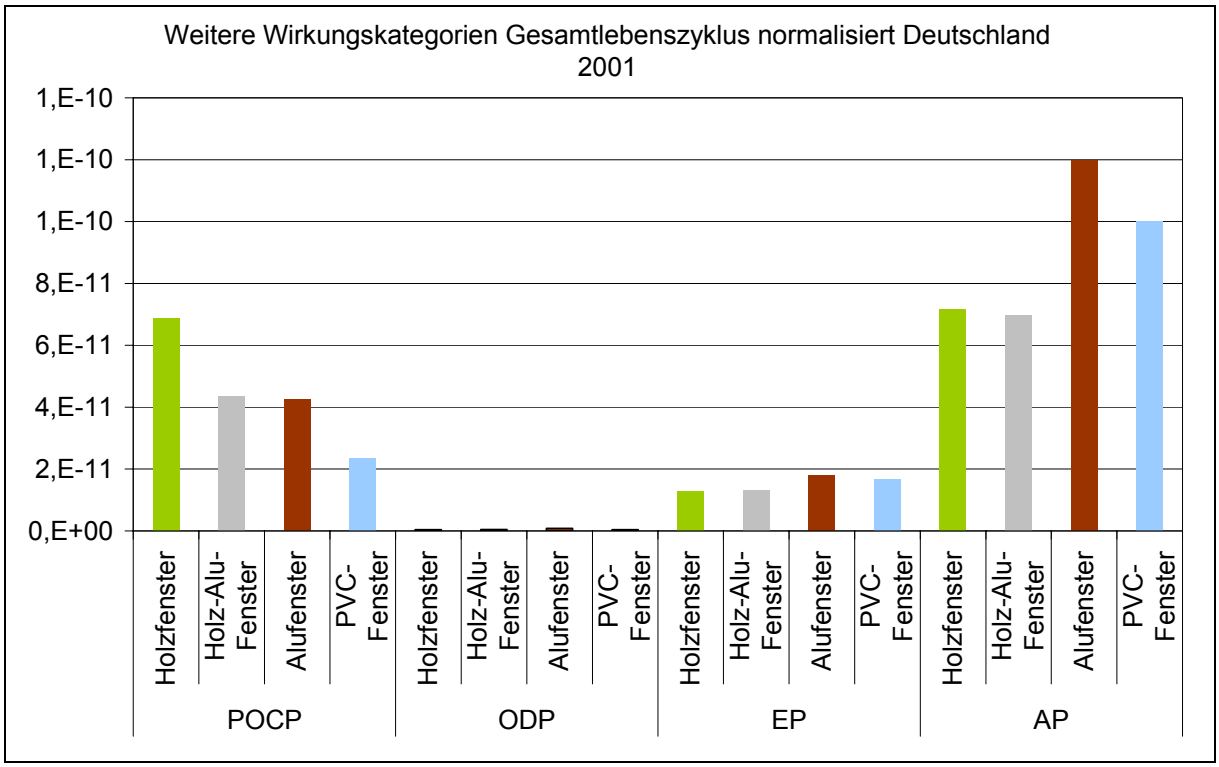


Abbildung 5-49: Weitere Wirkungskategorien Fenster Gesamtlebenszyklus normalisiert Deutschland 2001

6 Die ökologischen Potenziale der Holzprodukte

In diesem Kapitel werden die ökologischen Potenziale anhand der in diesem Projekt entwickelten Methode, die in Kapitel 4 ausführlich vorgestellt wurde, errechnet und ausgewiesen. Diese Methode verknüpft dabei die drei, ansonsten für sich alleinstehenden, methodischen Ansätze der Marktanalyse, der technischen Charakterisierung und des ökobilanziellen Vergleichs zur Ökologischen Potenzialanalyse.

Es werden dabei diejenigen Holzprodukte und deren prinzipielle Konkurrenzprodukte, die, aufbauend auf der Marktanalyse, beschrieben in Kapitel 5.1, und anhand technischer Charakterisierung und Einordnung, beschrieben in Kapitel 5.2, im Rahmen dieser Studie als relevant identifiziert wurden, betrachtet. Die umweltlichen Eigenschaften entlang des Lebenszyklus (Herstellung – Nutzung – Lebensende) der Holz- und ihrer Nichtholzkonkurrenzprodukte wurden in Kapitel 5.3 ermittelt und dargestellt.

Die Modellierung der Szenarien basiert jeweils auf dem den heutigen Stand der Technik und der heutigen Zusammensetzung der Energiebereitstellungskette, d.h., die verschiedenen Szenarien, die im Rahmen dieses Projektes berechnet werden, berücksichtigen keine zeitliche Entwicklung und damit auch keine Änderung der Randbedingungen[11]. Im Falle der hier nicht durchgeführten „consequential LCA“ ergäben sich bei einer Ausweitung der Marktanteile oder bei technologischen Entwicklungen Rückkopplungseffekte auf Vorketten, Koppelprodukte und den Energiemix. Treten die in den Szenarien betrachteten Marktveränderungen tatsächlich ein, müssen die weiteren Potenziale unter zukünftigen aktualisierten Randbedingungen neu bestimmt werden.

Die Festlegung der Marktszenarien ist nicht mit einer Prognose zu verwechseln. Vielmehr wurde unter verschiedenen qualitativen Abwägungen ein maximaler Marktanteilsgewinn angenommen, der aber als realisierbar gelten kann. Die Realisierbarkeit wird durch Argumente begründet, aber nicht prognostiziert.

Ökologische Potenziale von technischen Systemen resultieren nicht nur aus Marktausweitungen und/oder –verschiebungen. Technologischer Fortschritt, z.B. in Form von Einsatz neuartiger Baustoffe, Anwendung energieeffizienter Verfahren, materialeffizienter Wandaufbau, u.ä., kann sicherlich auch zu einer Reduzierung von Umweltauswirkungen beitragen. Solcherlei Fragestellung ist jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes. Aufbauend auf den Ergebnissen dieses Projektes lässt sich jedoch leicht erkennen, ob technologische

[11] Stichwort: Vergleich attributional und consequential LCA

Verbesserungen, gepaart mit entsprechendem Marktanteil zu nennenswerten Veränderungen der Umweltauswirkungen führen können. Hierdurch soll Entscheidungsträgern in Wirtschaft und Politik ein zusätzliches Werkzeug bereitgestellt werden.

6.1 Innenwände

Im Folgenden wird die in Kapitel 4 beschriebene Vorgehensweise der Ökologischen Potenzialanalyse auf das Segment Innenwände angewendet.

6.1.1 Marktszenarien Innenwände

Ursprünglich hatte die Holzständerwand einen dominierenden Marktanteil von nahezu 100% im Bereich der Nichtmassivinnenwände. Im Laufe der Zeit wurde sie zunehmend zurückgedrängt und hat heute fast nur noch den Marktanteil eines Nischenproduktes. Historisch gesehen ist ein Szenario von 30% somit nicht sehr hoch. Gemessen an der aktuellen Situation käme es jedoch einem extremen Strukturbruch gleich. Ein solcher wurde dennoch unterstellt, weil Marktveränderungen in diesem Umfang in der Vergangenheit vorkamen und somit auch für die Zukunft möglich sind.

	2005		Szenario: Marktausweitung Holzständerwand auf 30% (Substitution: 50 /	
Holzständerwand	1.180.000 lfm	7%	5.052.000 lfm	30%
Metallständerwand	3.541.000 lfm	21%	1.605.000 lfm	9,5%
Massivwand KS Massivwand mit Gasbeton (10 cm)	12.114.000 lfm	72%	10.178.000 lfm	60,5%

Die Abbildung 6-1 zeigt die Marktverteilung für den Bestand und Neuerrichtungen im Marktsegment Innenwände für Deutschland für das Jahr 2004. Dabei entfallen mehr als 90 % des Marktsegments auf den Bereich Neuerrichtungen, die Bestandserhaltung hat einen Anteil kleiner 10 %. Es zeigt sich, dass Massivwände vor allem bei Neubauten, die im Wohnungsbau einen sehr großen Anteil haben, einen sehr großen Anteil von rund 72 % haben. Dahinter folgen die Metallständerwände mit einem Markanteil von rund 20 % und dann die Holzständerwände mit dem geringsten Anteil von ca. 7 %.

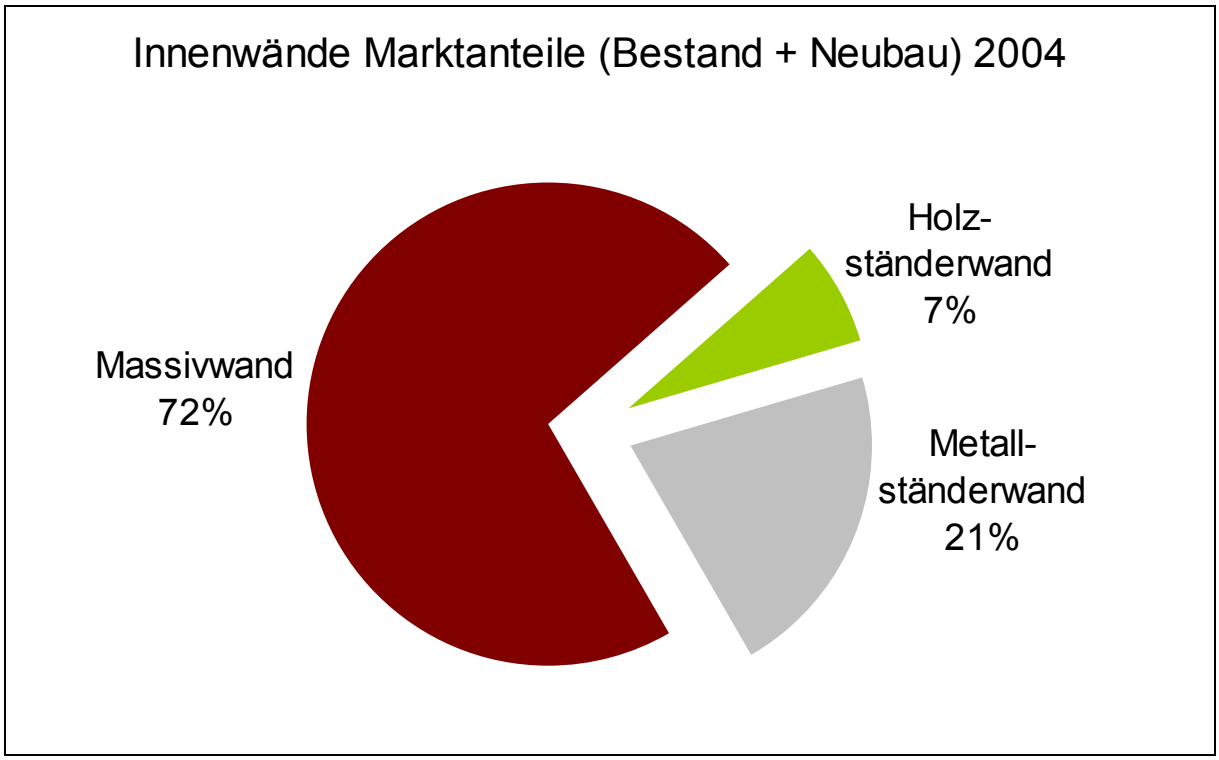


Abbildung 6-1: Marktanteile Innenwände 2004 (Bestand + Neubau)

6.1.2 Ökologische Potenziale Innenwände

Im Folgenden Kapitel werden anhand der im vorangehenden Kapitel 6.1.1 dargestellten Marktszenarien und der in Kapitel 5.3 berechneten ökologischen Eigenschaften die Ökologischen Potenziale für den Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial gemäß der Vorgehensweise in Kapitel 4.4 berechnet.

6.1.2.1 Ökologisches Potenzial Innenwände: Primärenergiebedarf

Eine Steigerung vom geringen momentanen Ist-Marktanteil der Holzständerwand (7% bei Neubau und Bestand) trägt eine Steigerung auf 30% Marktanteil deutlich zu einer Verbesserung der Umweltsituation bei. Dies ist auf Effekte der Substitution der Metallständer- und Massivwände durch das ökologisch vorteilhaftere Holzprodukt zurückzuführen.

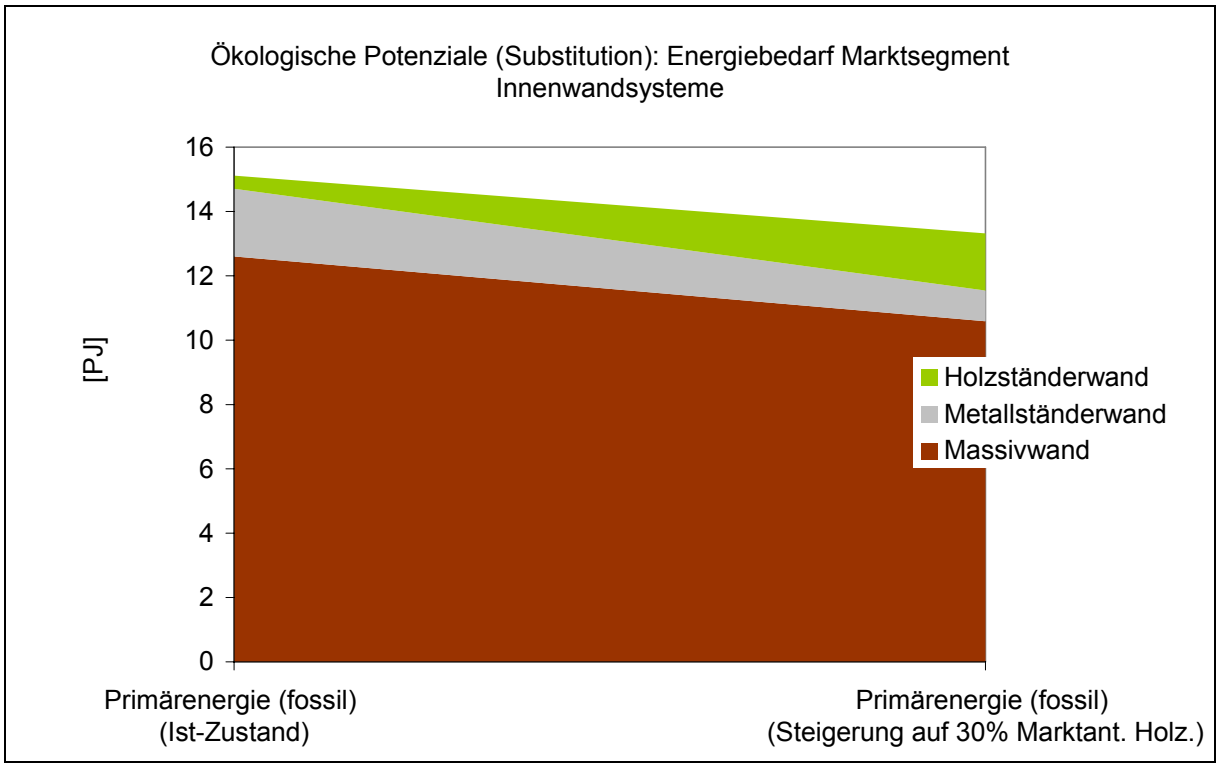


Abbildung 6-2: Ökologisches Potenzial Primärenergiebedarf bei Substitution und Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30% bezüglich des Gesamtmarkts Deutschland 2005

Multipliziert man die Ergebnisse aus Kapitel 5.3.1.3 mit den Marktzahlen aus Kapitel 5.1.1 bzw. Kapitel 6.1 ergibt sich der IST-Zustand für das Marksegment Innenwände für Deutschland, in Abbildung 6-2 auf der linken Seite. Unterstellt man eine gleichmäßige Substitution von Metallständer- und Massivwänden zu gleichen Teilen durch Holzständerwände, könnte bei einem Marktanteil der Holzständerwände von 30 % 1,8 PJ fossiler Primärenergie eingespart werden. Dies entspricht einer Verbesserung um fast 12 % (siehe Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Ökologisches Potenzial Primärenergiebedarf bei Substitution und Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30% bezogen auf den Gesamtmarkt in Deutschland 2005

Einsparung PE fossil (Ökologisches Potenzial)		
absolut	[PJ]	1,8
relativ	[%]	11,9%

6.1.2.2 Ökologisches Potenzial Innenwände: Treibhauspotenzial

Die Vorgehensweise zur Darstellung des ökologischen Potenzials in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial ist analog der Beschreibung in Kapitel 4 und der Darstellung für den nicht regenerativen Primärenergiebedarf in 6.1.2.2.

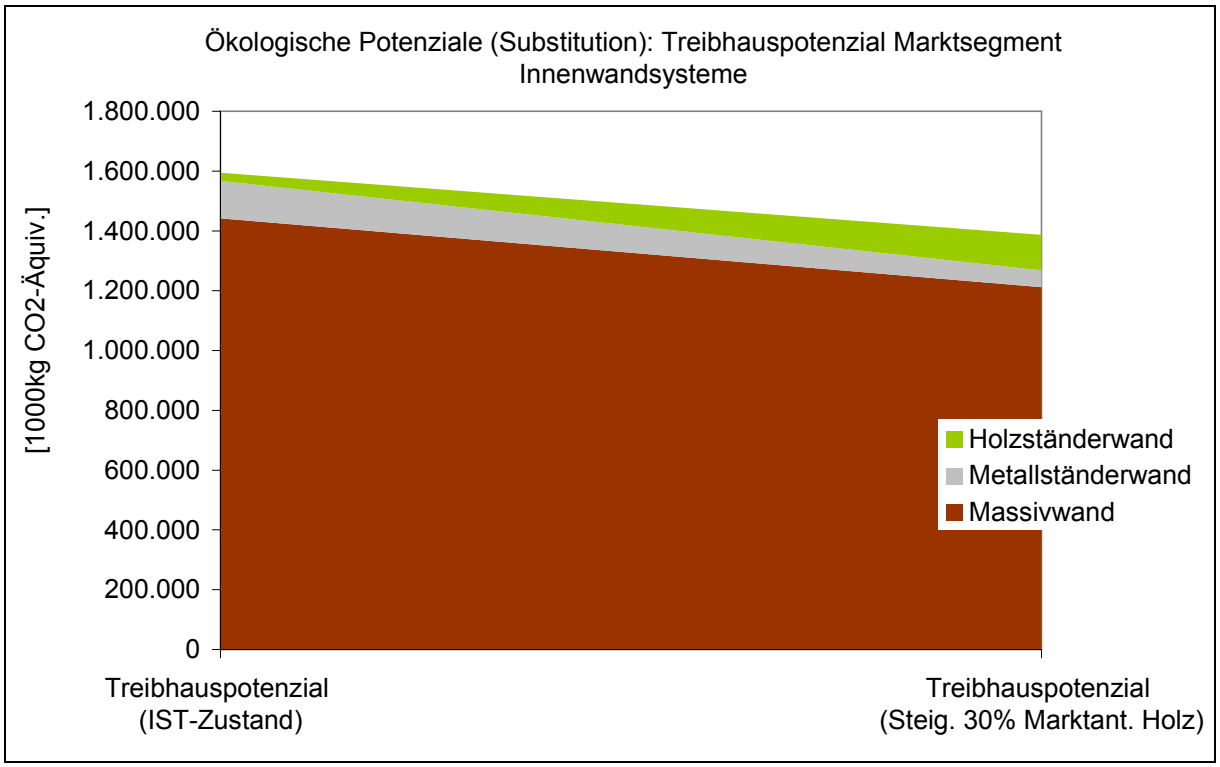


Abbildung 6-3: Ökologisches Potenzial in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial bei Steigerung des Marktanteils der Holzständerwand auf 30%

Unterstellt man die gleiche Substitution von Metallständer- und Massivwänden durch Holzständerwände, könnten bei einem Marktanteil der Holzständerwände von 30 % ca. 208.000 t CO_2-Äquivalente eingespart werden, was einer Reduzierung des Treibhauspotenzials um mehr als 13 % entspricht (siehe Abbildung 6-3 und Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Ökologisches Potenzial Treibhauspotenzial bei Steigerung Marktanteil Holzständerwand auf 30%

Einsparung CO_2-Äquiv. (Ökologisches Potenzial)		
absolut	**[1000 kg CO_2-Äquiv.]**	**208.000**
relativ	**[%]**	**13%**

6.1.3 Detailanalyse Innenwand in Holzständerbauweise

Abbildung 5-10 zeigt das Ökoprofil für die Herstellung einer Holzständerwand. In dieser Darstellung sind weder Nutzungsphase noch Entsorgung mitgerechnet, es wird lediglich die Herstellung betrachtet.

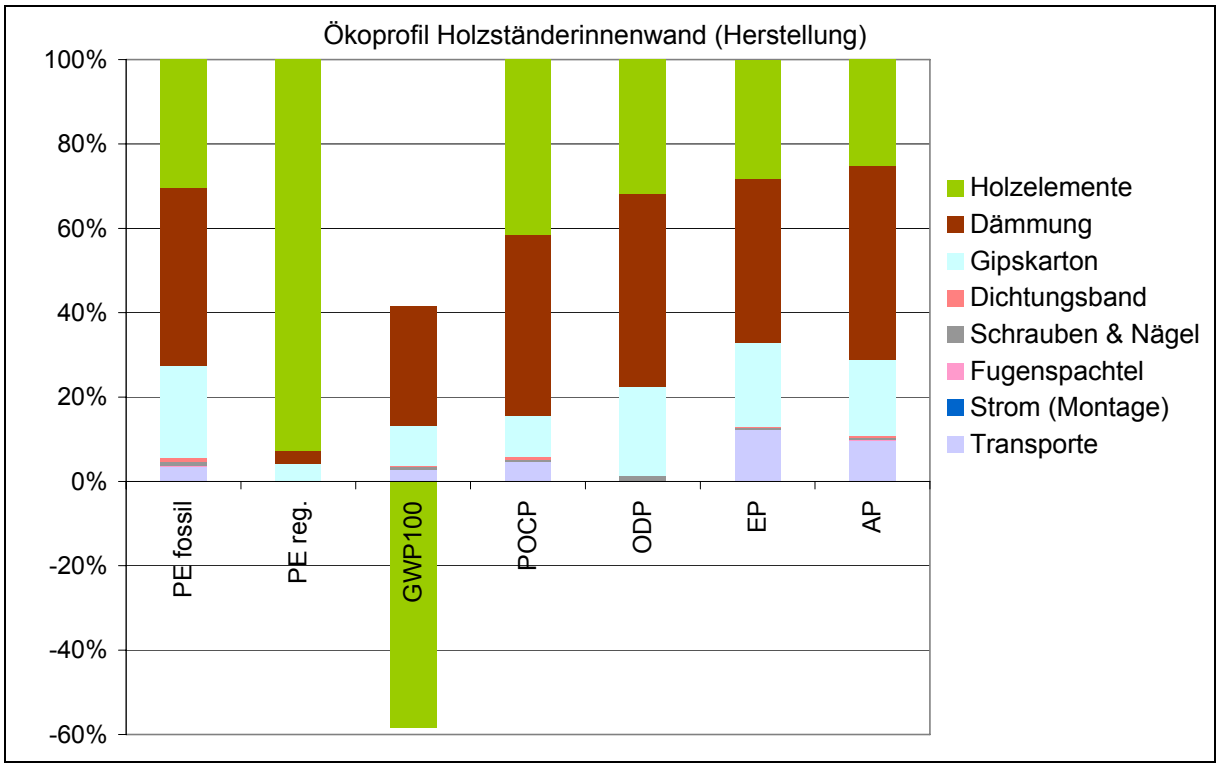


Abbildung 6-4: Ökoprofil Holzständerinnenwand (Herstellung)

Sowohl beim fossilen Primärenergiebedarf als auch in allen betrachteten Wirkungskategorien sind die Hauptreiber die gleichen. Dominierend sind dabei die Herstellung der Holzelemente, also die Herstellung von Konstruktionsvollholz (KVH), die Herstellung der Dämmung aus Mineral- und Steinwolle sowie die Bereitstellung von Gipskartonplatten. Der Einfluss des Transport macht sich nur bezüglich des Eutrophierungs- und des Versauerungspotenzials bemerkbar. Die anderen Materialien sind vernachlässigbar.

Bezüglich des regenerativen Primärenergiebedarfs gibt es nur einen Haupteinflussnehmer. Dies ist die Herstellung der Holzelemente und der damit verbundene nicht-fossile Primärenergiebedarf. Die restlichen Beiträge stammen weitgehend aus dem Anteil regenerativer Energie im deutschen Strommix.

6.2 Außenwände

Die Ermittlung der ökologischen Potenziale erfolgt anhand der in Kapitel 4 beschriebenen Vorgehensweise. Dabei werden die Außenwände in Holzrahmenbauweise entlang ihres Gesamtlebenszyklus betrachtet und mit ihren wichtigsten Konkurrenzprodukten, den massiven Außenwänden, unter Anwendung der Methode der Ökobilanz miteinander verglichen. Diese Ergebnisse werden mit aktuellen Marktzahlen für die Holzbauelemente und ihrer Konkurrenten multipliziert und so ein umweltlicher IST-Zustand für dieses Marktsegment für Deutschland errechnet. Anschließend werden Szenarien gerechnet, die die Marktanteile der holzba-

sierten Wandtypen im entsprechenden Marktsegment variieren. Dadurch können ökologische Potenziale bezüglich des Primärenergiebedarfs und des Treibhauspotenzials durch Substitution von umweltlich unvorteilhaften Produkten identifiziert werden.

6.2.1 Marktszenarien Außenwände

In Deutschland dominiert die Massivbauweise im Eigenheimbau, während in den USA im Eigenheimbau zu 90% in Holz gebaut wird und in Skandinavien zu zwei Dritteln. Die Bauweise bestimmt auch weitgehend den Anteil der Außenwände aus Holz. Dieser liegt zurzeit in Deutschland bei 13%. Seit der Wiedervereinigung 1990 hat sich der Marktanteil von 7% fast verdoppelt und ist weiterhin leicht steigend. Ähnliche Veränderungen sind mit einem Bedeutungswandel im Klimaschutz und im Bereich der Kreislaufwirtschaft durchaus erneut denkbar. Dagegen spricht, dass Marktanteile in wachsenden Märkten (Vereinigungsboom) leichter erreichbar sind als in stagnierenden Märkten wie zurzeit oder gar schrumpfenden Märkten wie unter demografische Schrumpfung künftig für den Eigenheimbau zu erwarten wäre. Somit ist ein Szenario von 20% für den Holzhausbau in Zukunft ein ambitioniertes Szenario, aber eines, das durch zurückliegende Entwicklungen, Strukturen in anderen Ländern und aktuelle umweltpolitische Aspekte durchaus denkbar ist.

Tabelle 6-3: Betrachtete Außenwände in Holzständer- und Massivsauweise

Betrachtete Außenwände in Holzständer- und Massivsauweise	Anteil	Installierte Systeme in 2005	2005 gesamt	betrachtetes Szenario
Holzrahmen-Außenwand A	75%	1.319.000 lfm Fertigbauweise	11%	20%
Holzrahmen-Außenwand B (wie A mit Installationsebene)	25%	257.000 lfm konventionell	2%	
Massiv-Außenwand A1 (Zweischalig mit Luftschicht und Dämmung)	25%	10.627.000 lfm	87%	Substitution: 50 / 50
Massiv-Außenwand A2 (Zweischalig mit Kerndämmung)	25%			
Massiv-Außenwand B1 (Einschalig 36,5 cm Porenbeton)	25%			
Massiv-Außenwand B2 (30cm Porenbeton + 10cm Kerndämmung + 11,5cm Klinker)	25%			

Im Jahr 2005 wurden rund 12.200.000 laufende Meter Außenwände im Wohngebäudebereich erstellt. Davon hatten, wie in Abbildung 6-5 zu sehen, Holzständerwände einen Anteil von rund 13% und die massiven Außenwände eine deutlich größeren von rund 87%.

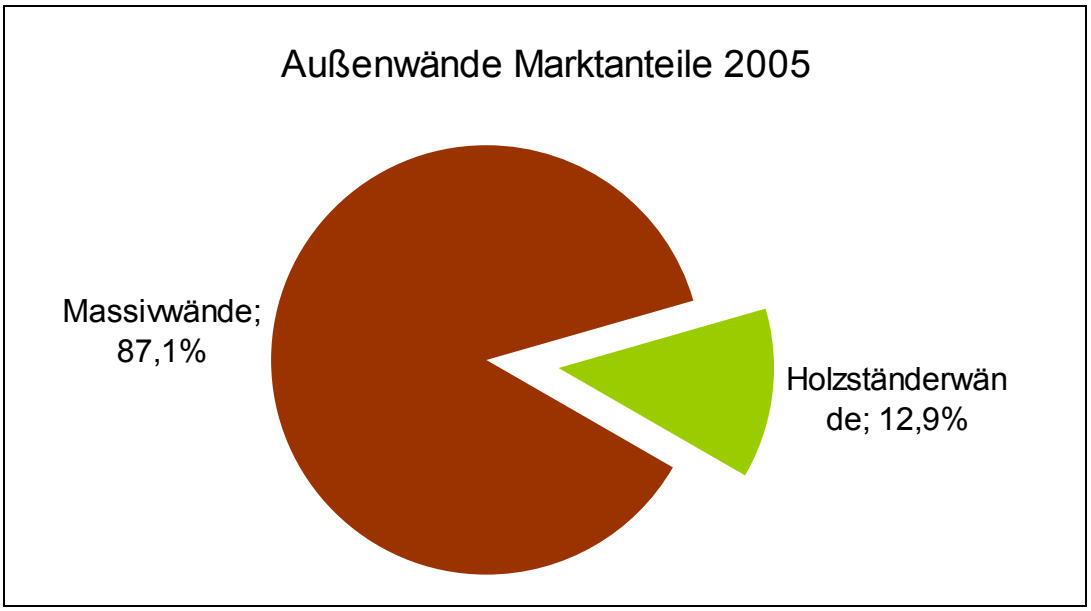


Abbildung 6-5: Marktanteil Außenwände Deutschland 2005

6.2.2 Ökologische Potenziale Außenwände

Im Folgenden werden anhand der im vorangehenden Kapitel 6.2.1 dargestellten Marktszenarien und der in Kapitel 5.3 berechneten ökologischen Eigenschaften die Ökologischen Potenziale für den Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial gemäß der Vorgehensweise in Kapitel 4.4 berechnet.

6.2.2.1 Ökologische Potenziale Außenwände: Primärenergiebedarf

Eine Steigerung des Marktanteils der Außenwände auf Holzbasis von der aktuellen Ist-Situation von knapp 13% auf rund 20% bei Annahme eines gleichbleibenden Marktvolumens führt zu einer Einsparung von rund 2,8 Petajoule beim fossilen Primärenergiebedarfs, siehe Abbildung 6-6. Diese Einsparung entspricht rund 7,3% gegenüber der aktuellen Markverteilung (IST-Zustand).

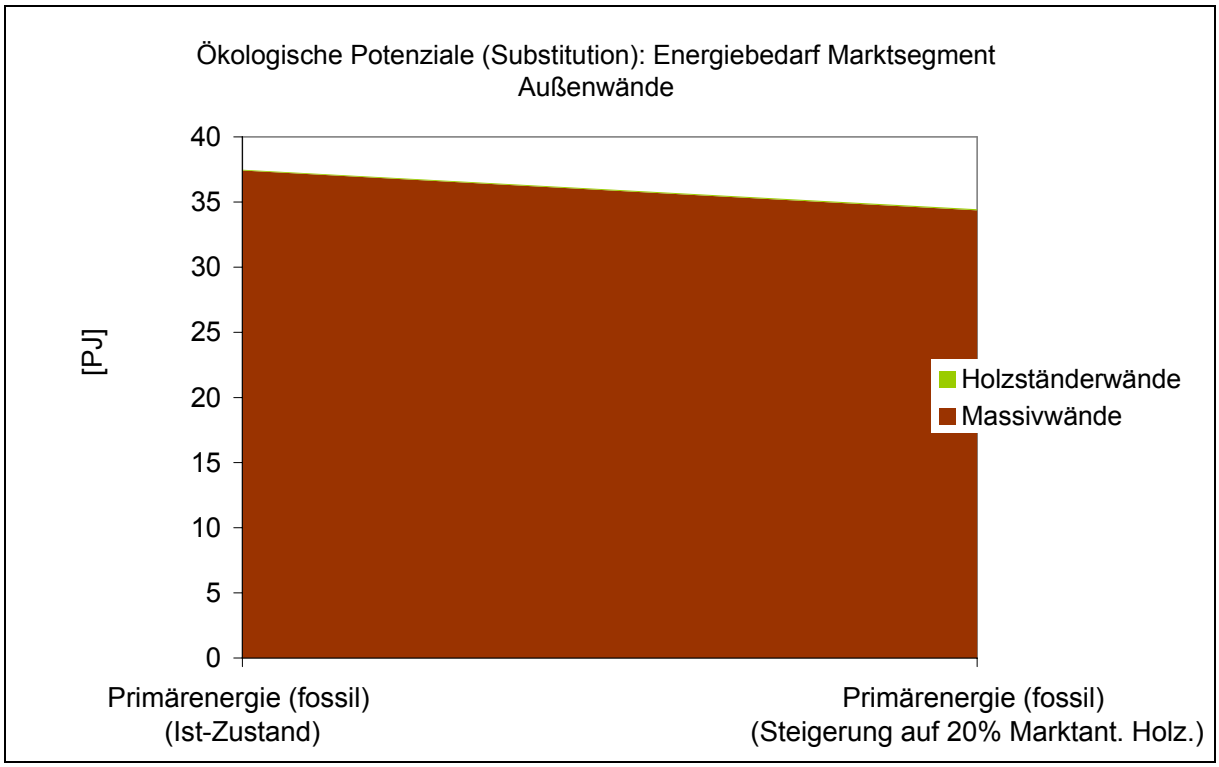


Abbildung 6-6: Ökologische Potenziale Außenwände: Primärenergiebedarf

6.2.2.2 Ökologische Potenziale Außenwände: Treibhauspotenzial

Bezüglich des Treibhaupotenzials kann bei einer Steigerung des Marktanteils von 13% auf 20% (bei gleichbleibendem Marktvolumen) eine Reduzierung der treibhausrelevanten Emissionen von rund 240.000 t CO_2-Äquivalent erreicht werden, wie Abbildung 6-7 zeigt. Dies entspricht einer Einsparung von mehr als 7,6% gegenüber der aktuellen Situation.

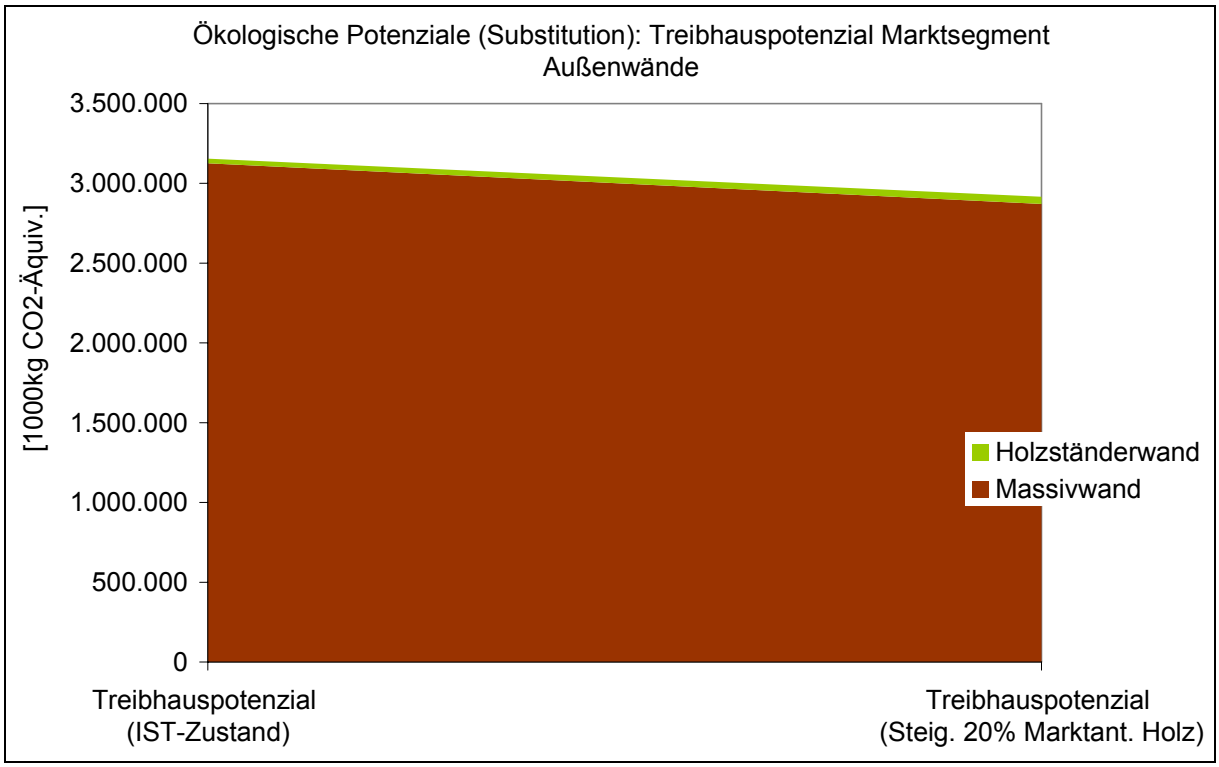


Abbildung 6-7: Ökologische Potenziale Außenwände: Treibhauspotenzial

6.2.3 Detailanalyse Außenwände in Holzbauweise

Sowohl beim fossilen Primärenergiebedarf als auch in allen betrachteten Wirkungskategorien sind die Hauptreiber bei der Herstellung die gleichen, wie die Abbildung 6-8 verdeutlicht.

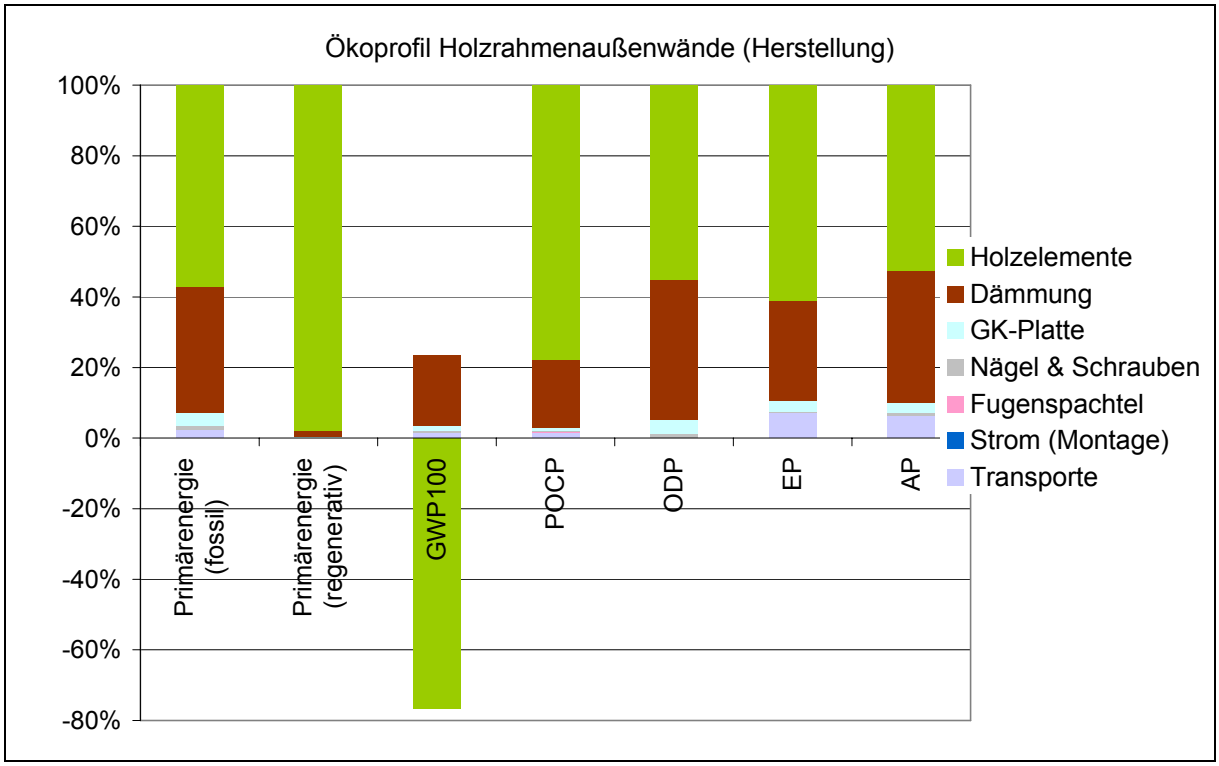


Abbildung 6-8: Ökoprofil Holzrahmenaußenwand (Herstellung)

Dominierend sind dabei die Herstellung der Holzelemente, also die Herstellung von Konstruktionsvollholz KVH sowie die Herstellung der Dämmung aus Mineral- und Steinwolle. Der Einfluss des Transports zeigt sich nur bezüglich des Eutrophierungs- und des Versauerungspotenzials. Die anderen Teile sind vernachlässigbar.

Bezüglich des regenerativen Primärenergiebedarfs gibt es nur einen Haupteinflussnehmer, die Herstellung der Holzelemente und dem damit verbundenen erneuerbaren Primärenergiebedarf.

6.3 Hallenträger

Die Ermittlung der ökologischen Potenziale erfolgt anhand der in Kapitel 4 beschriebenen Vorgehensweise, also analog zu der Potenzialberechnung der Holzständerinnenwände und der Holzrahmenaußenwände.

6.3.1 Marktszenarien Hallenträger

Insgesamt beläuft sich das Marktvolumen der Hallenträger im Jahr 2005 auf 12.900.000 laufende Meter. Davon waren über 50% der Hallenträger aus Stahlbeton. 36% des Marktes sind durch reine Stahlträger abgedeckt und rund 11% der Hallenträger sind aus Holz (siehe Abbildung 6-9). Als künftiges Szenario wird angenommen, dass der Marktanteil der Hallenträger aus Holz jeweils zu 50 zu Lasten der Stahlbeton- und Stahlträger auf 20% steigen kann. Derzeit befindet sich der Hallenbau in einem rasanten Aufwärtstrend. Auch die künftigen Perspektiven sind mit dem Wachstum im Logistikbereich positiv. Deutschland als Handelsdrehscheibe im Zentrum Europas wird von dieser Entwicklung profitieren. Somit sind Marktanteile konjunkturell gut durchsetzbar. Die Globalisierung hat die Rohstoffpreise für Stahl sehr stark steigen lassen. Die Holzpreise sind zwar ebenfalls gestiegen, aber angesichts des großen Holzvorkommens dürften sich weiterhin relative Preisvorteile ergeben. Ein deutlicher Anstieg des Marktanteils ist somit durchaus realisierbar.

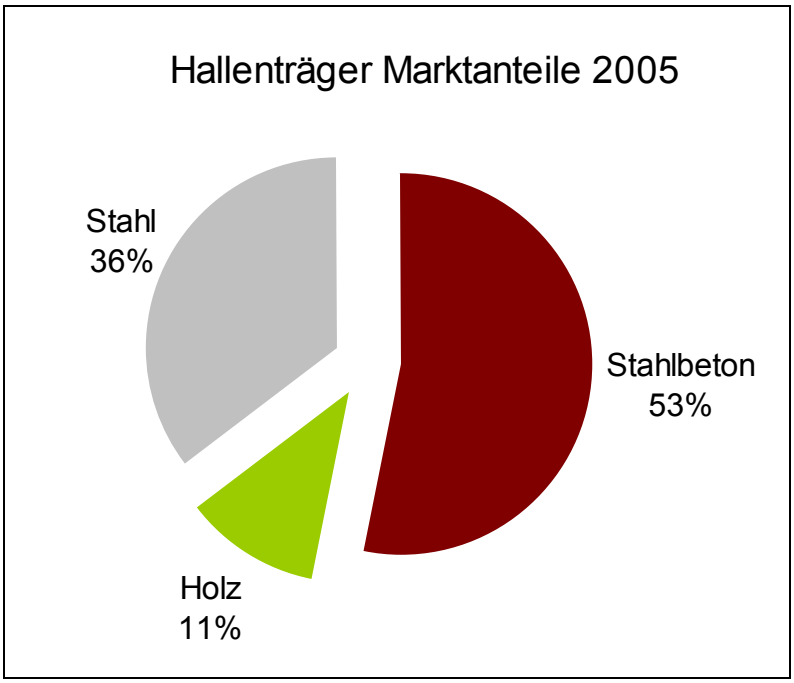


Abbildung 6-9: Marktanteile Hallenträger Deutschland 2005

6.3.2 Ökologische Potenziale Hallenträger

Im Folgenden werden anhand der im vorangehenden Kapitel 6.3.1 dargestellten Marktszenarien und der in Kapitel 5.3 berechneten ökologischen Eigenschaften die Ökologischen Potenziale für den Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial gemäß der Vorgehensweise in Kapitel 4.4 berechnet.

An dieser Stelle sei darauf hinzuweisen, dass sich im Fall der Hallenträger eine spezielle Situation ergibt, da für den Fall der Hallenträger aus Holz sowohl für den fossilen Primärenergiebedarf als auch für das Treibhaupotenzial negative Werte errechnet wurden, wie bereits im Kapitel 5.3.3 erläutert wurde. Diese negativen Werte sind die Folgen aus der Betrachtung des Lebensendes des Holzhallenträgers. Es wird dabei angenommen, dass das Holz am Lebensende energetisch verwertet wird, d.h. das Holz wird in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt und die enthaltene Energie wird genutzt, um Strom und Dampf herzustellen. Damit findet eine Substitution von Strom und Dampf statt, der aus fossilen Energieträgern hätte bereitgestellt werden müssen. Die Aufwendungen für diese Herstellung werden dem Holzhallenträger am Lebensende gutgeschrieben. Da die Herstellung des Holzhallenträgers relativ wenig fossile energetische Ressourcen benötigt, ergeben sich bei der Betrachtung über den gesamten Lebensweg sowohl für den Primärenergiebedarf als auch für das Treibhauspotenzial negative Werte.

6.3.2.1 Ökologische Potenziale Hallenträger: Primärenergiebedarf

Eine Steigerung des Marktanteils von Holzträgern im Hallenbau von derzeit rund 11% auf 20% hat eine Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs von etwa 2,4 Petajoule um rund 0,8 auf 1,6 Petajoule in diesem Marktsegment zur Folge (Abbildung 6-10). Dies entspricht einer Einsparung an nicht regenerierbaren energetischen Ressourcen von über 32%.

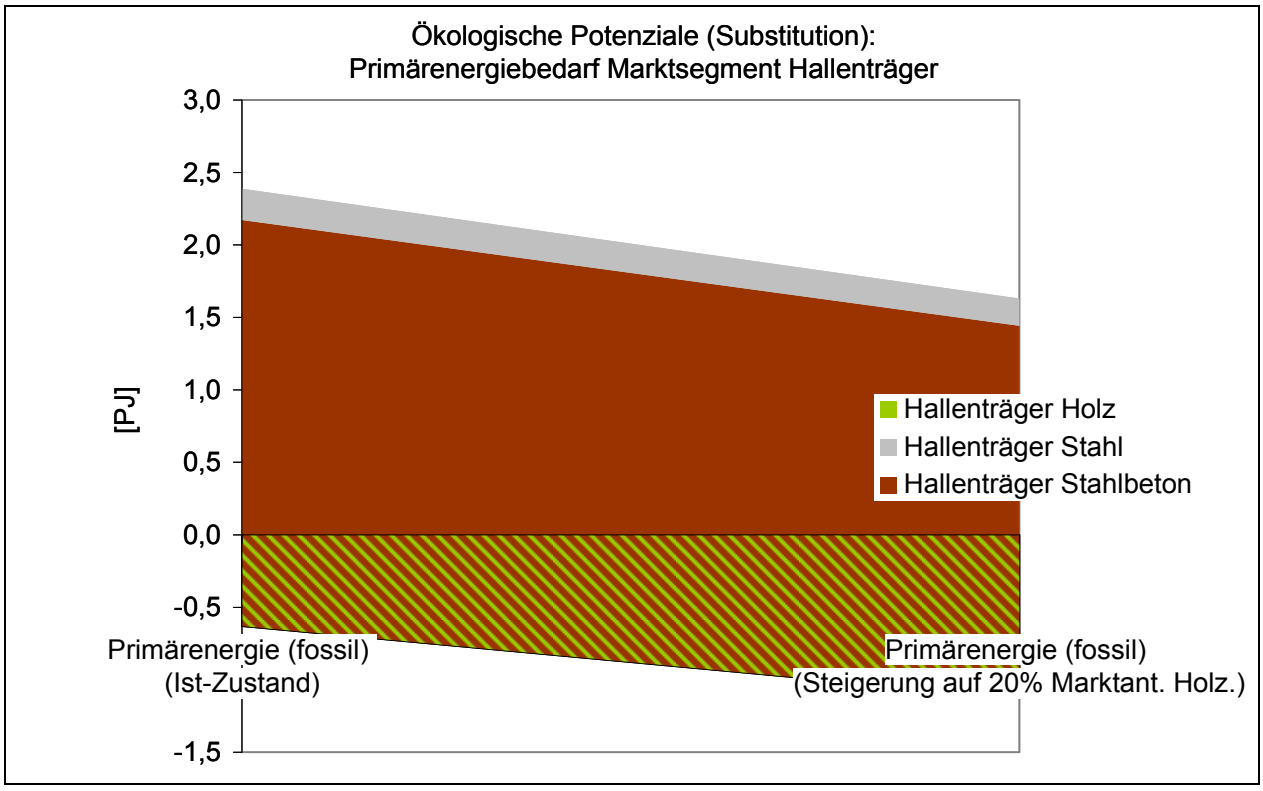


Abbildung 6-10: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Hallenträger

Unter Annahme einer energetischen Verwertung des gesamten eingesetzten Holzes am Lebensende trägt die Verwendung von Holz so stark zur Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs bei, dass sogar negative Werte für den fossilen Primärenergiebedarf, also Gutschriften, errechnet wurden. Dies hat zu Folge, dass die grafische Bestimmung des Primärenergiebedarfs im Diagramm auf der negativen y-Achse beginnt.

Tabelle 6-4: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Hallenträger

Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf (fossil) Marktsegment Hallenträger		
[PJ]	**Primärenergie (fossil) (Ist-Zustand)**	**Primärenergie (fossil) (Steig. auf 20% Marktanteil Holz)**
Hallenträger Holz	-0,6	-1,1
Hallenträger Stahlbeton	2,8	2,6
Hallenträger Stahl	0,2	0,2
GESAMT	**2,4**	**1,6**
RELATIV	**100%**	**68%**

6.3.2.2 Ökologische Potenziale Hallenträger: Treibhauspotenzial

Eine Steigerung des Marktanteils von Holzträgern im Hallenbau von derzeit rund 11% auf 20% trägt zu einer Reduzierung des Treibhauspotenzials in diesem Marktsegment von derzeit etwa 412.000 t CO2-Äquivalenten auf rund 356.000 t CO2-Äquivalenten bei, zu sehen in Abbildung 6-11. Dies entspricht einer Einsparung an treibhausrelevanten Emissionen des Marktsegments von rund 14%.

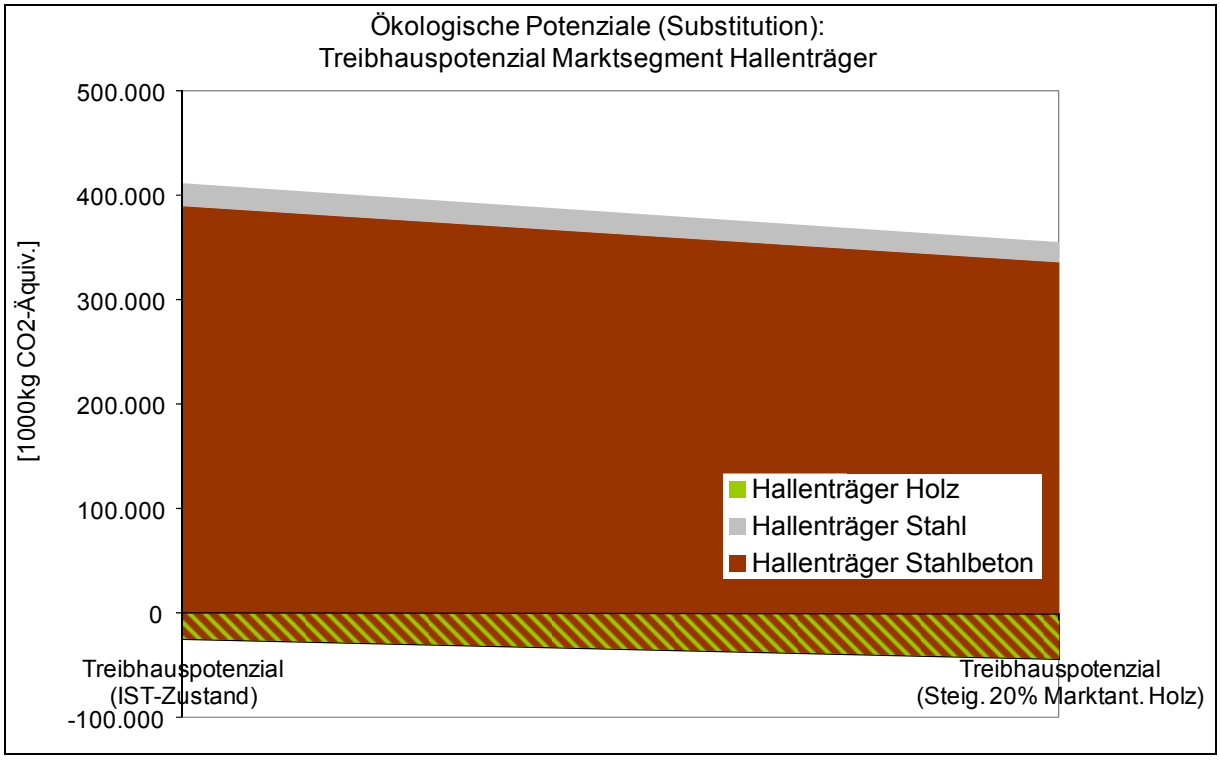


Abbildung 6-11: Ökologische Potenziale (Substitution): Treibhauspotenzial Marktsegment Hallenträger

Unter Annahme einer energetischen Verwertung des gesamten eingesetzten Holzes am Lebensende trägt die Verwendung von Holz so stark zur Reduzierung Treibhauspotenzials bei, dass sogar negative Werte für das Treibhauspotenzials, also Gutschriften, errechnet wurden. Dies hat zu Folge, dass die grafische Bestimmung des Treibhauspotenzials im Diagramm auf der negativen y-Achse beginnt.

Tabelle 6-5: Ökologische Potenziale (Substitution): Treibhauspotenzial Marktsegment Hallenträger

Ökologische Potenziale (Substitution): Treibhauspotenzial Marktsegment Hallenträger		
[1000 kg CO2-Äquiv.]	Treibhauspotenzial (IST)	Treibhauspotenzial (Steigerung auf 20% Marktanteil Holz)
Holzträger	-24459	-43781
Stahlträger	22113	19377
Stahlbetonträger	414551	380103
GESAMT	412204	355699
RELATIV	100%	86%

6.3.3 Detailanalyse Hallenträger in Holzbauweise

Bei der Herstellung der Hallenträger aus Holz ist die Herstellung des Brettschichtholzes für den Hallenträger in allen Kategorien der dominante Einflussnehmer, was in Abbildung 6-12 zu sehen ist.

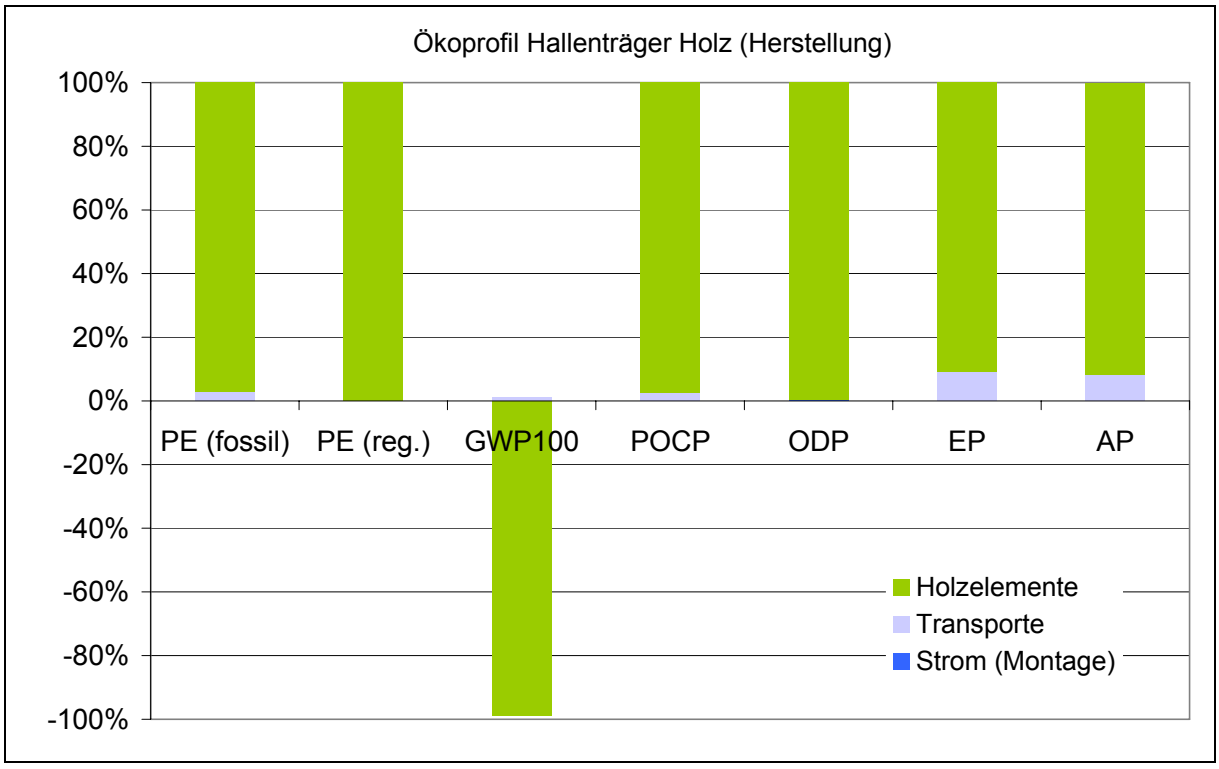


Abbildung 6-12: Ökoprofil Hallenträger aus Holz (Herstellung)

Dies ist nicht weiter verwunderlich, da für die Hallenträger aus Holz keine weiteren Materialen verwendet werden. Der Einfluss der Transporte ist lediglich beim Eutrophierungs- und beim Versauerungspotenzial erkennbar, bewegt sich aber auch in diesen Kategorien in der Größenordnung von 5-10%.

6.4 Fußböden

Die Ermittlung der ökologischen Potenziale erfolgt anhand der in Kapitel 4 beschriebenen Vorgehensweise, also analog zu der Potenzialberechnung der anderen in der Ökologischen Potenzialanalyse betrachteten Produkte.

6.4.1 Marktszenarien Fußböden

Die Entwicklung des Fußbodenmarktes wurde in den letzten Jahren sehr stark vom Laminat geprägt. Als innovatives Produkt erreichte Laminat innerhalb weniger Jahre einen Marktanteil von 17% am Fußbodenmarkt (siehe Abbildung 6-13). Die Jahre der starken Expansion sind zwar vorbei, aber die Tendenz ist weiterhin positiv. Ein Szenario mit einem Marktanteil an Laminat von 20% erscheint somit durchaus möglich.

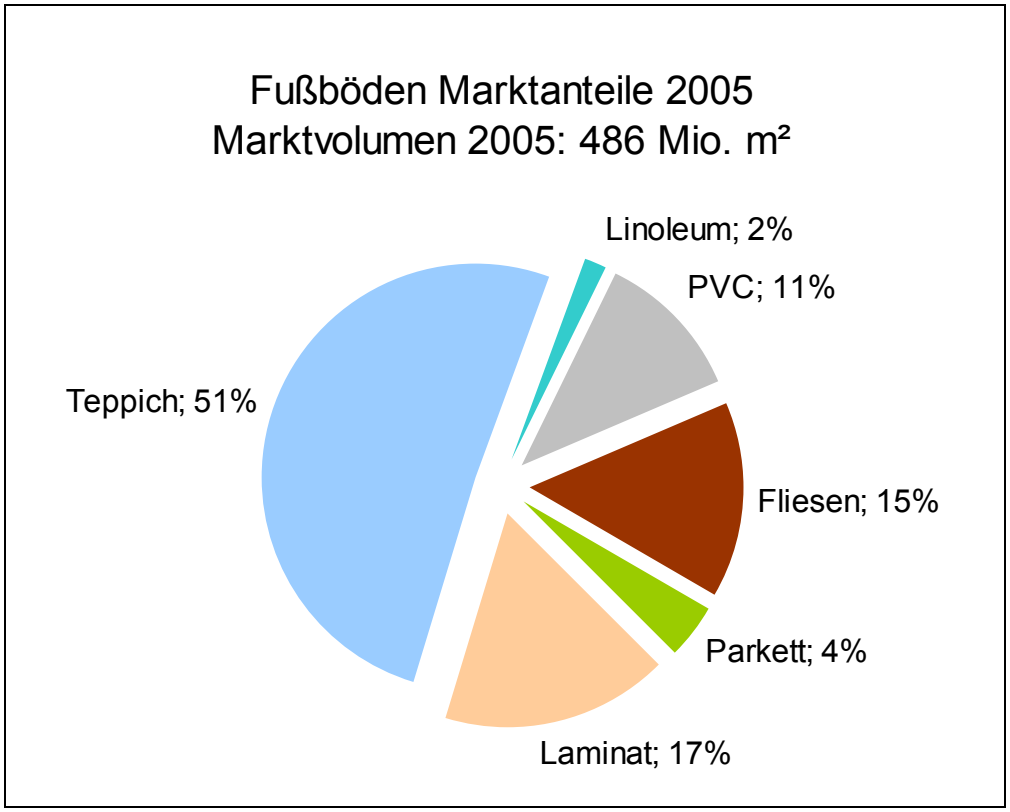


Abbildung 6-13: Anteile am Fußbodenmarkt 2005

Der Parkettverbrauch in Deutschland hat sich von 1990 bis 2000 mehr als verdoppelt und lag 2000 bei etwa 23 Mio. m². Nach einem Rückgang auf 19 Mio. m² 2003 blieb der Verbrauch 2004 bis 2006 ungefähr mit 20 Mio. m² konstant. Der Verbrauch verschiebt sich innerhalb des konstanten Marktvolumens weiter vom Massivparkett zum Fertigparkett. Der Marktanteil für Parkett konnte sich jedoch nicht wesentlich erhöhen. Er liegt derzeit bei 4%. Die stärkere Bedeutung der holzhaltigen Fußböden insgesamt lässt erwarten, dass künftig mehr Verbrau-

cher auf das Premiumsegment umsteigen, was dem Parkettmarkt zugute kommen dürfte. Ein Szenario von 5% Marktanteil erscheint somit gut erreichbar.

6.4.2 Ökologische Potenziale Fußböden

Im Folgenden werden anhand der im vorangehenden Kapitel 6.1.1 dargestellten Marktszenarien und der in Kapitel 5.3 berechneten ökologischen Eigenschaften die Ökologischen Potenziale für den Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial gemäß der Vorgehensweise in Kapitel 4.4 berechnet.

6.4.3 Ökologische Potenziale Laminat- und Parkettfußböden: Primärenergiebedarf

Eine Steigerung des Marktanteils von Fußböden aus Holzwerkstoffen, im Falle von Parkettfußböden von derzeit 4 % Marktanteil auf einen Marktanteil von rund 5 % und beim Laminat von aktuell etwa 17 % auf 20 %, bewirkt eine Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs im gesamten Marktsegment Fußböden von rund 4,2 Petajoule, dargestellt in Abbildung 6-14. Dies entspricht einer Einsparung an nicht regenerierbaren energetischen Ressourcen von mehr als 4 %. Absolut gesehen sind die Einsparungen aufgrund des großen Marktes jedoch beträchtlich.

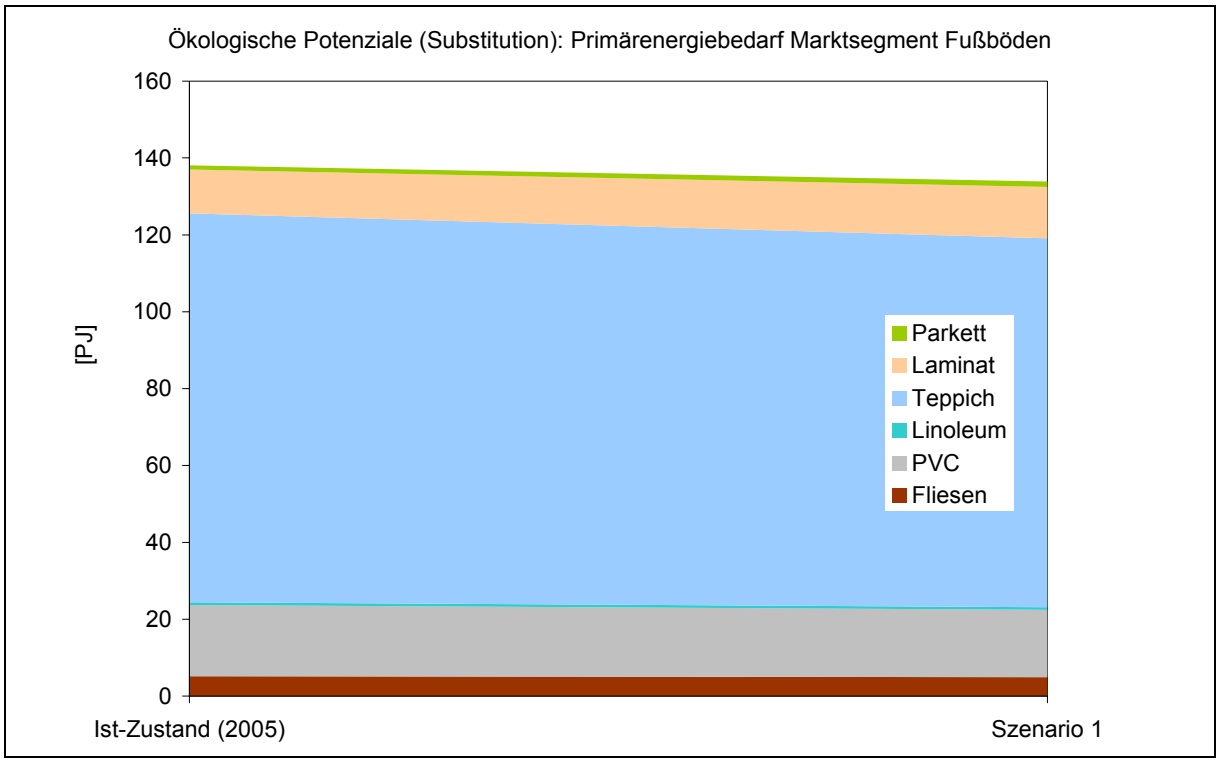


Abbildung 6-14: Ökologisches Potenzial: Primärenergiebedarf Fußböden pro 20 m²

6.4.4 Ökologische Potenziale Laminat- und Parkettfußböden: Treibhauspotenzial

Eine Steigerung des Marktanteils der Parkettfußböden von derzeit 4 % Marktanteil (es wird angenommen, dass davon nach /90/ rund 72% Mehrschichtparkett und 28% Stabparkett sind) auf einen Marktanteil von rund 5 % und beim Laminat von aktuell etwa 17 % auf 20 % im Marktsegment Fußbodenbeläge trägt zu einer Reduzierung des Treibhauspotenzials in diesem Marktsegment von derzeit etwa 11,1 Mio. t CO_2-Äquivalenten auf rund 10,6 Mio. t CO_2-Äquivalenten bei, zu sehen in Abbildung 6-15. Dies entspricht einer Einsparung an treibhausrelevanten Emissionen beinahe 5% bzw. 500.000 t .CO_2-Äquivalenten.

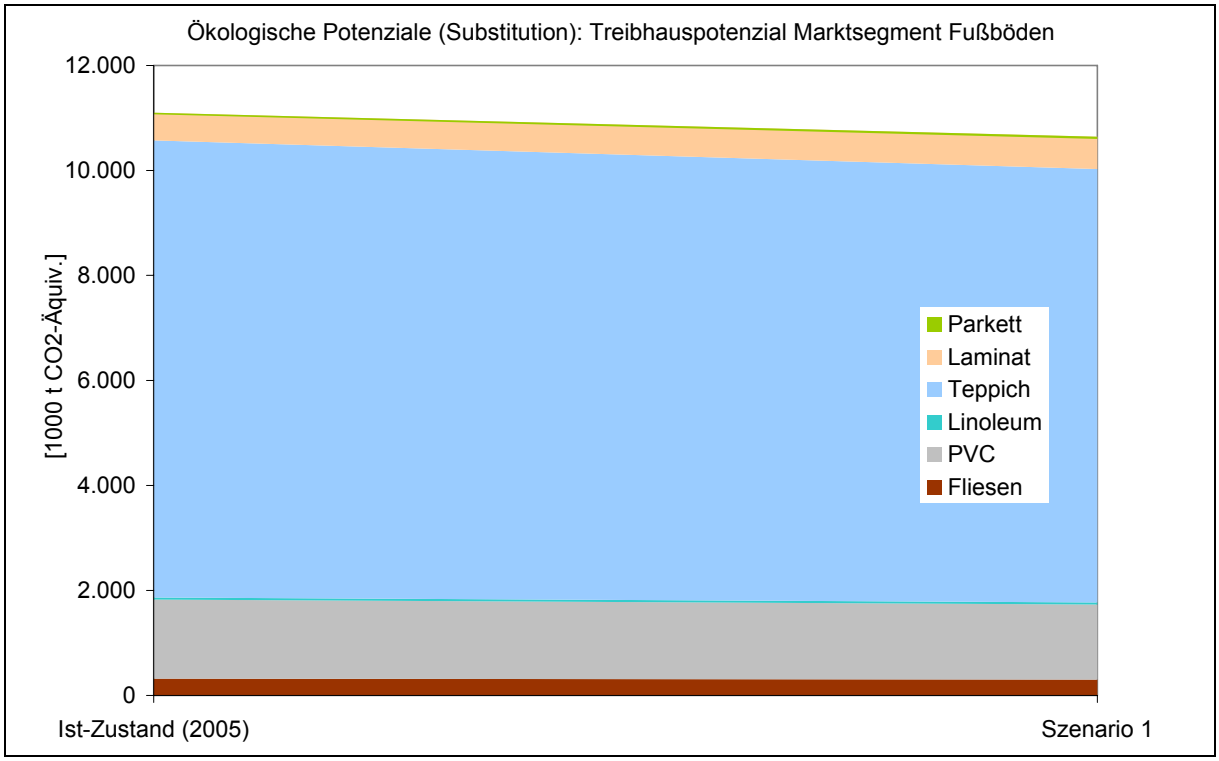


Abbildung 6-15: Ökologisches Potenzial: Treibhauspotenzial Fußböden

Unter Annahme einer energetischen Verwertung des gesamten eingesetzten Holzes am Lebensende trägt die Verwendung von Holz so stark zur Reduzierung Treibhauspotenzials bei, dass sogar negative Werte für das Treibhauspotenzials, also Gutschriften, errechnet wurden. Dies hat zu Folge, dass die grafische Bestimmung des Treibhauspotenzials im Diagramm auf der negativen y-Achse beginnt.

6.4.5 Detailanalyse Fußböden in Holzbauweise

Im folgenden Abschnitt wird für Laminat und für Mehrschichtparkett die Herstellung detailliert untersucht. Die Herstellung für Laminatfußboden ist dabei sehr im Detail formuliert, da die Datenaufnahme direkt mir der Firma Egger /47/ erfolgt ist und ausführlicher die Möglichkei-

ten einer ökobilanziellen Detailanalyse exemplarisch darstellen soll. Die Daten für die Mehrschichtparkettherstellung stammen aus /90/.

6.4.5.1 Detailanalyse Laminatfußboden und Direktdruckboden (Wohnbereich)

Die Herstellung von Laminatboden für den Wohnbereich gliedert sich nach /47/, wie in Abbildung 6-16 dargestellt, in mehrere Verfahrensschritte. Der Unterbau besteht aus einer HDF (Hochdichte Faserplatte) bzw. MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte). Diese wird aus Holzfasern, die beleimt werden, gepresst und ausgehärtet. Je nach Dichte ergibt sich daraus eine HDF- bzw. MDF-Platte.

Parallel dazu werden Overlay-, Dekor- und Gegenzugpapier mit Harz (hier Melaminformaldehyd MF-Harz) und weiteren Zusatzstoffen getränkt und anschließend auf die HDF-Platte aufgebracht. Diese werden schließlich unter dem Einfluss von Druck und Temperatur zu Laminathalbformaten gepresst und getrocknet.

Schließlich werden die Halbformate auf die richtige Größe geschnitten, für die Verlegung profiliert und zuletzt versandfertig verpackt.

Der in Abbildung 6-16 modellierte Laminatfußboden ist für eine Verwendung im Wohnbereich geeignet, die Daten für die Modellierung stammen aus /47/.

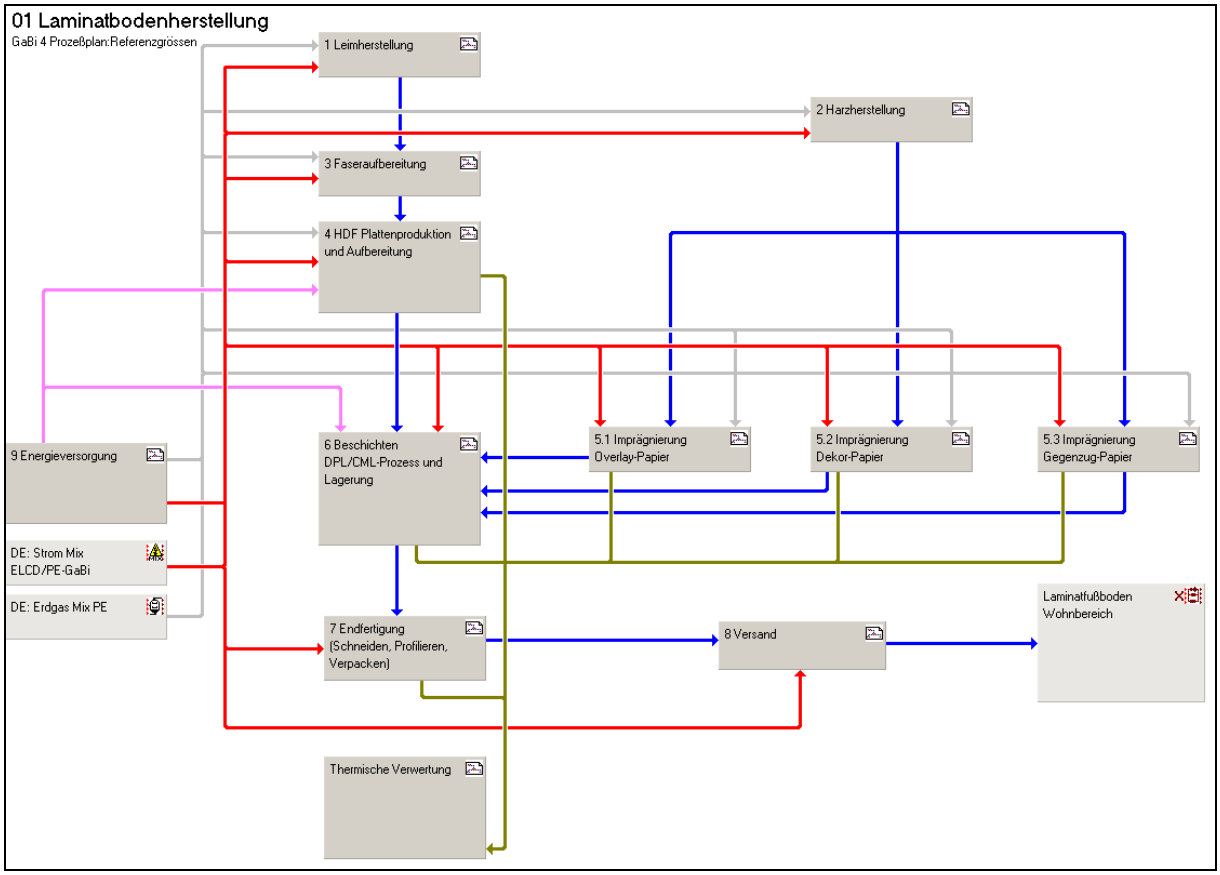


Abbildung 6-16: Herstellungsschema Laminatfußboden

Abbildung 6-17 zeigt die Beiträge der oben kurz beschriebenen Herstellungsschritte zu den Umweltwirkungen der gesamten Herstellung von 20 m² Laminatboden für den Wohnbereich in den verschiedenen Wirkungskategorien.

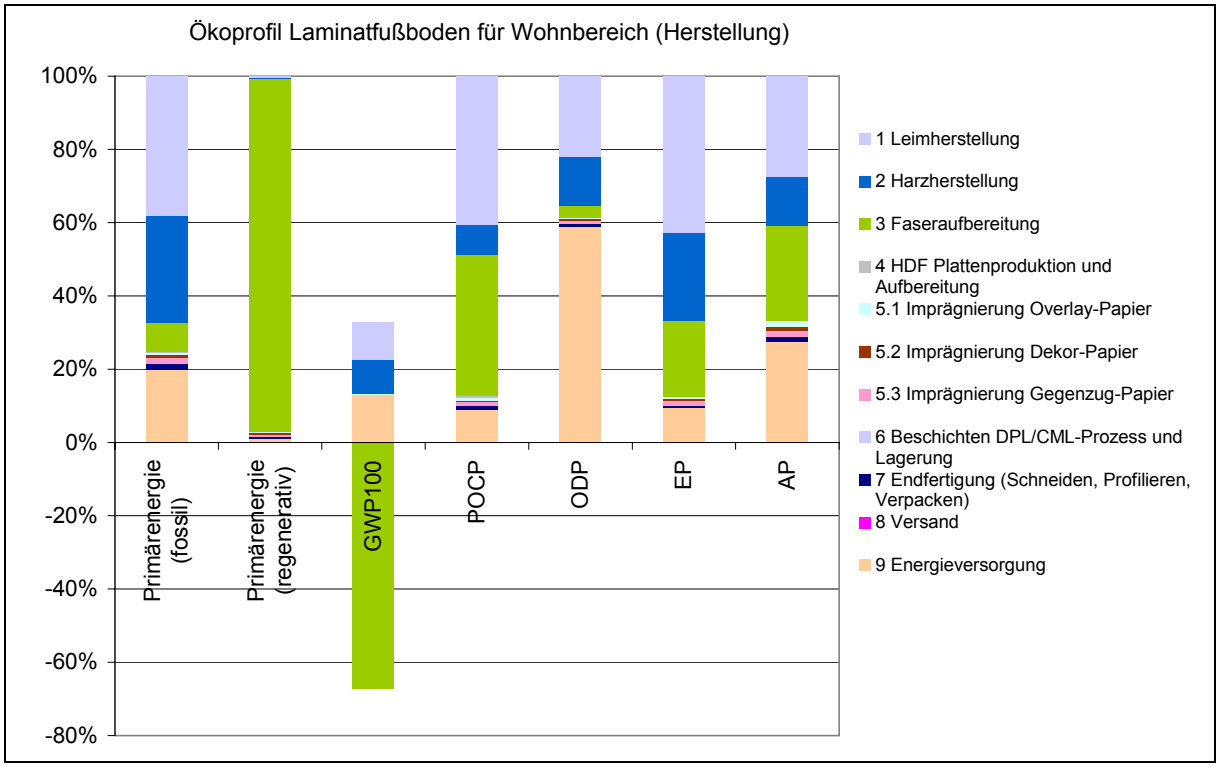


Abbildung 6-17: Detailanalyse Laminatfußboden (Wohnbereich)

Der fossile Primärenergiebedarf wird zu rund 90 % von drei Prozessschritten dominiert. Dies ist zum einen die Leimherstellung. Der Leim nach der Faseraufbereitung mit den Holzfasern vermischt und unter Druck und Wärme zur festen Unterschicht, einer hochdichten Faserplatte (HDF), verpresst. Hauptbestandteile des hier verwendeten Leims sind Harnstoff, wasserhaltiges Harnstoffformaldehyd-Klebesystem und Melamin, die zum fossilen Primärenergiebedarf signifikant. Die Harzherstellung trägt in erheblichem Maße zum fossilen Primärenergiebedarf bei. Das Kunstharz dient der Imprägnierung der Overlay-, Gegenzug- und Dekorpapiere, die die Deck- und Dekorschicht beim fertigen Laminat bilden. Das Harz besteht zu großen Teilen aus Melamin und Formaldehyd und zu kleineren Teilen aus Ethylenglykol sowie weiteren chemischen Vorprodukten. Die genannten Stoffe sind auch die Hauptbeiträger zum fossilen Primärenergiebedarf, v.a. das eingesetzte Melamin. Die eingesetzt Energie in Form thermischer und elektrischer Energie trägt mit rund 20% zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf bei. Vor allem die Faseraufbereitung und die Herstellung der HDF-Platte benötigen sowohl elektrische Energie auch als thermische Energie zum Aufbereiten, Trocknen und Aushärten.

Regenerativer Primärenergiebedarf besteht vor allem in der Faseraufbereitung. Dieser stammt fast ausschließlich aus der Bereitstellung des Holzes für die Holzfasern und ist zum Großteil im Produkt gebunden (Photosynthese). Diese eingebundene Energie kann in späteren Lebenszyklusabschnitten z.B. energetisch verwendet werden.

Die Beiträge zum Treibhauspotenzial stammen hauptsächlich aus vier Quellen. Klimarelevante Emissionen stammen aus der energieaufwändigen Herstellung der Leimbestandteile Harnstoff, Melamin und Formaldehyd sowie Melamin und Formaldehyd als Bestandteil des Harzes. Die Energiebereitstellung und die damit verbundenen Emissionen, hauptsächlich für die Faseraufbereitung sowie die HDF-Plattenherstellung, tragen ebenfalls sichtbar zum Treibhauspotenzial bei. Die Einbindung von Kohlenstoff in Holz und damit in die Holzfasern wirkt sich als negatives Treibhauspotenzial aus, d.h. es ist eine große Menge an CO_2 im Holz gebunden.

Beiträge zum photochemischen Oxidantienbildungspotenzial (Sommersmog) resultieren zum Großteil aus der Leimherstellung und der Faseraufbereitung. Hauptbeiträger zum POCP sind flüchtige Kohlenwasserstoffe, sogenannte VOC-Emissionen. Quellen hierfür sind z.T. Lösungsmittel, wie sie beispielsweise in der Leimherstellung eingesetzt werden. Weiterhin entstehen u.a. Formaldehydemissionen bei Aushärtung des Leims als Reaktionsprodukt. Weitere Quellen sind Emissionen aus der Energiebereitstellung.

Bezüglich de Eutrophierungspotenzials und des Versauerungspotenzial lassen sich die gleichen Hauptverursacher identifizieren. Dies sind die Leimherstellung, die Harzherstellung, die Faseraufbereitung sowie die Energiebereitstellung. Damit sind jeweils mehr als 95% der Emittenten erfasst. Bei der Leimherstellung sind wieder Harnstoff, Melamin und Formaldehyd und deren Reaktionsprodukte die Hauptverursacher der Beiträge zu diesen beiden Wirkungskategorien. Die Harzherstellung trägt vor allem durch den Einsatz von Melamin zum Eutrophierungspotenzial und zum Versauerungspotenzial bei. Die Beiträge der Faseraufbereitung sind deutlich diffuserer Natur, dort tragen viele einzelne Prozessschritte jeweils in geringem Maße zu den Emissionen bei. Die Energiebereitstellung trägt vor allem zum Versauerungspotenzial bei. Dieser Beitrag resultiert aus hauptsächlich aus schwefeldioxidhaltigen Verbrennungsemissionen.

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann also am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

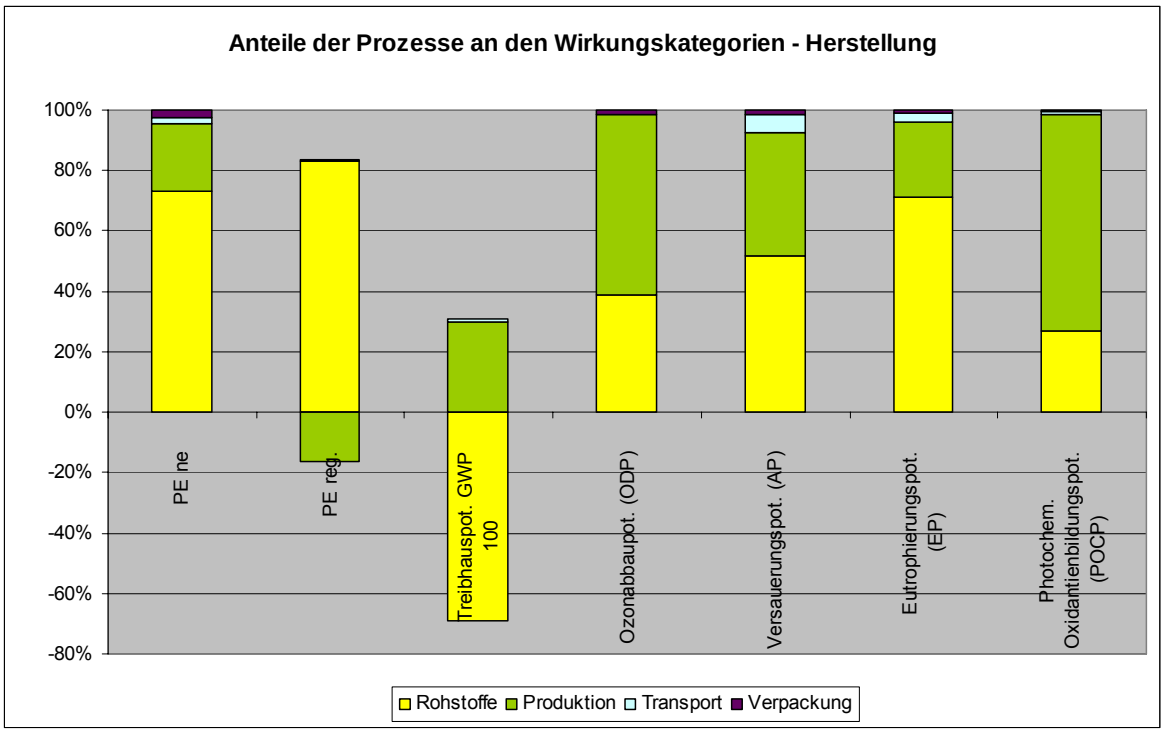


Abbildung 6-18: Detailanalyse Direktdruckboden (Wohnbereich)

In Detailanalyse Direktdruckboden (Wohnbereich) werden die Anteile der Prozesse an den einzelnen Wirkkategorien mit Systemgrenze **Herstellung bis Werkstor** dargestellt. Dabei liegt der Anteil der Rohstoffbereitstellung bei den untersuchten Wirkungskategorien zwischen etwa 35 % und 80 %. Die Produktion (inklusive Energiebereitstellung und thermischer Verwertung der Produktionsrückstände) hat bei den untersuchten Wirkungskategorien Anteile zwischen etwa 15 % und 60 %. Die anteiligen Transporte liegen in einem Bereich zwischen ca. 1 % bis zu 5 % und der Anteil der Verpackungen liegt im Bereich von etwa 1 bis 3 % Anteil.

6.4.5.2 Detailanalyse Mehrschichtparkett

Innerhalb des Parkettsegments hat Mehrschichtparkett einen Anteil von über 70% und stellt somit das bedeutendste Produkte dieser Gruppe dar. Die Sachbilanzdaten bezüglich der Herstellung von Mehrschichtparkett, auf denen die Ökobilanz-Modellierung (Abbildung 6-19) beruht, wurde /90/ entnommen.

Mehrschichtparkett besteht aus mehreren Schichten Holz, meist bildet ein Unterbau aus Nadelholz die Basis. Dieser besteht fast ausschließlich aus Kiefernholz. Die Deckschicht besteht meist aus härteren Laubhölzern. Dies sind meist Eichen- oder Buchenholz. Inder Modellierung wurde ein Mix aus 43 % Eiche und 57 % Buche als Deckschicht berücksichtigt.

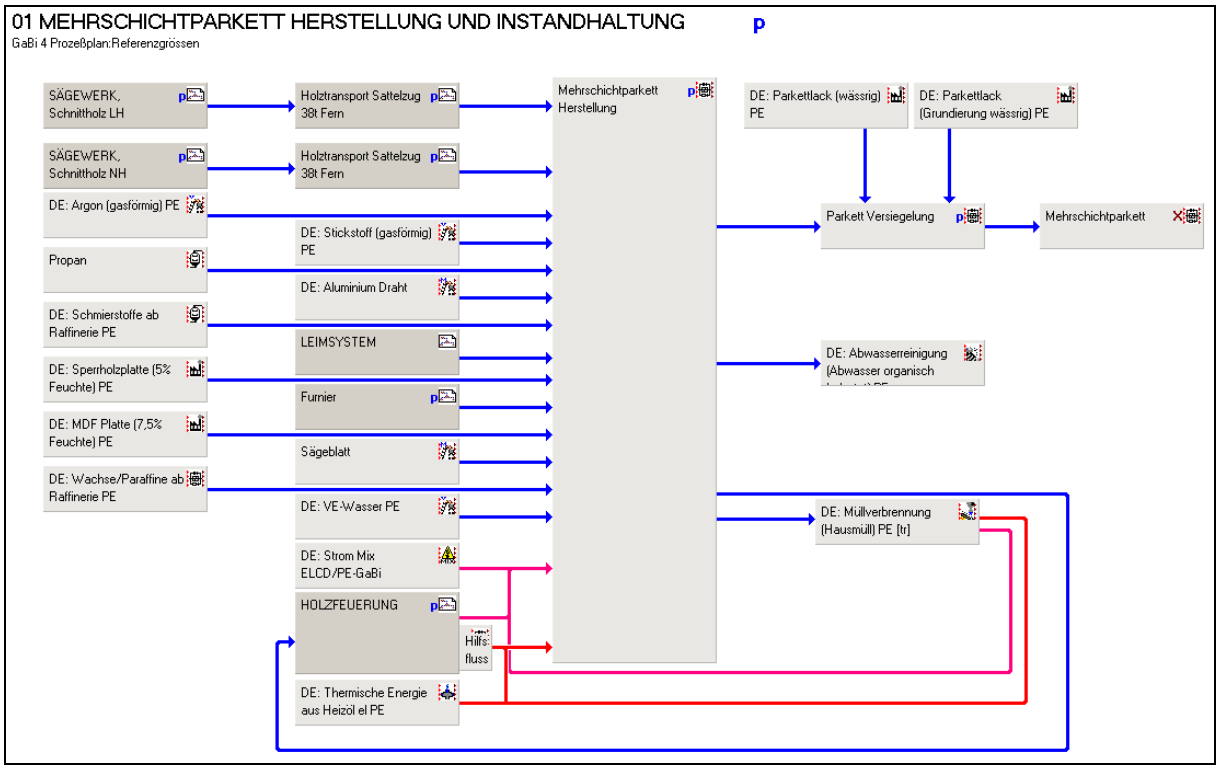


Abbildung 6-19: Modellierung Herstellung Mehrschichtparkett

Die Holzanteile Unterbau und Deckschicht dominieren den regenerativen Primärenergiebedarf (Abbildung 6-20). Die fast ausschließlich durch Photosyntheseleistung eingebundene regenerative Primärenergie ist im Holz gespeichert und kann am Lebensende beispielweise thermisch verwertet werden. Eingebundenes Kohlendioxid wird während des Holzwachstums im Holz gespeichert. Ein gewisser Teil an treibhausrelevanten Emissionen stammt aus der Bereitstellung thermischer Energie zur Holztrocknung.

Die Bereitstellung thermischer Energie hat auch größeren Einfluss auf das Überdüngungs- und das Versauerungspotenzial. Ein großer Teil der thermischen Energie wird durch das Verfeuern von Säge- und anderen Holzresten bereitgestellt. Bei der Holzverfeuerung entstehen jedoch gewisse Menge an Schwefeldioxid und Stickoxiden, die zu diesen Umweltwirkungen führen. Eine Abgasnachbehandlung könnte hier zu Verbesserungen führen.

Eher geringeren Einfluss in allen Wirkungskategorien zeigt die Strombereitstellung. Strom wird vor allem beim Sägen und Hobeln benötigt.

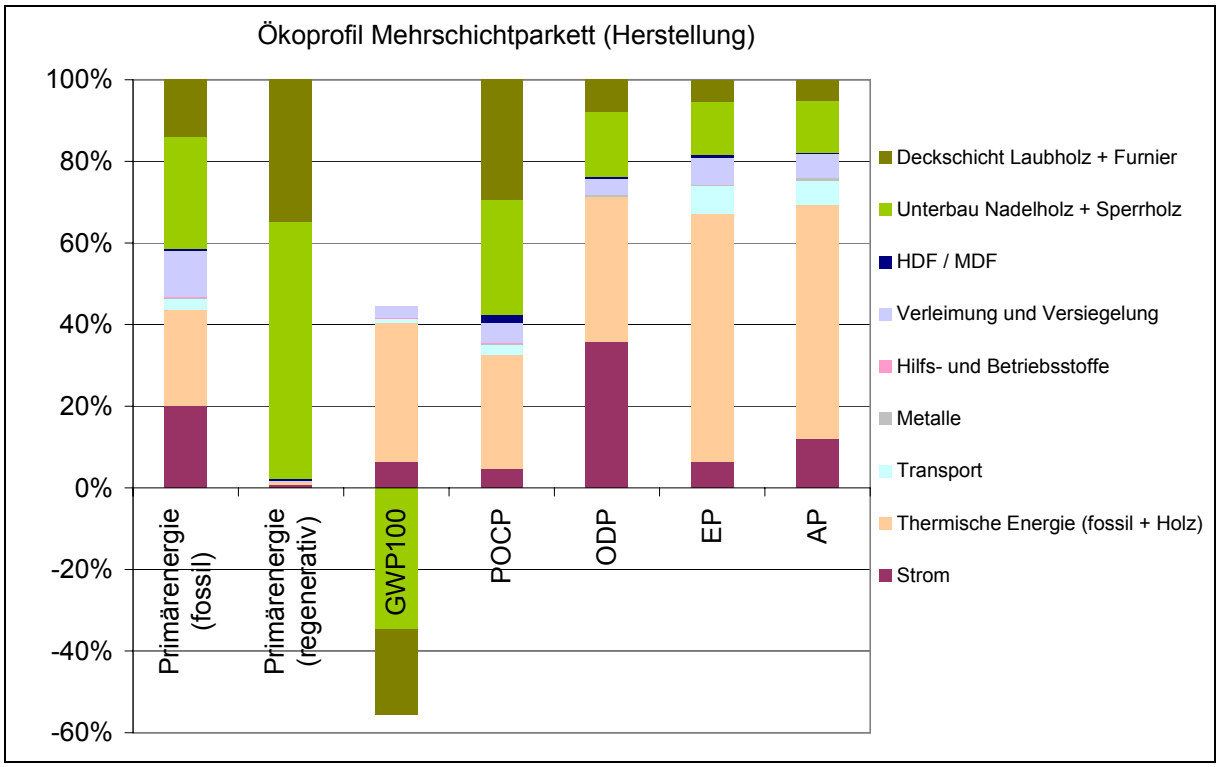


Abbildung 6-20: Detailanalyse Ökoprofil Mehrschichtparkett (Herstellung)

Transporte, Hilfs- und Betriebsstoffe, Metalle, sowie die Verleimung und Versiegelung haben kaum sichtbaren Einfluss auf die Umweltwirkungen in allen betrachteten Kategorien.

6.5 Fenster

Die Ermittlung der ökologischen Potenziale erfolgt anhand der in Kapitel 4 beschriebenen Vorgehensweise, also analog zu der Potenzialberechnung der Holzständerinnenwände, der Holzrahmenaußenwände, der Hallenträger aus Holz und der Holzfenster.

6.5.1 Marktszenarien Fenster

Der Fenstermarkt wird im Jahr 2005 von Kunststofffenstern aus PVC dominiert, PVC-Fenster haben einen Marktanteil von über 50%, wie aus der Abbildung 6-21 zu ersehen ist. Fenster aus Aluminium und Fenster aus Holz haben einen ähnlichen Anteil am Fenstermarkt von jeweils 19% bzw. 20%. Den geringsten Marktanteil haben Holz-Aluminium-Fenster mit rund 5%.

Die Berechnungen des Fenster- und Fassadenverbandes weisen einen kontinuierlich rückläufigen Trend für Holzfenster aus. Dies erschien in der ersten Hälfte der 90er Jahre durchaus plausibel, als der Mehrfamilienhausbau stark zulegte, in dem vor allem PVC-Fenster eingesetzt werden. Mit dem dramatischen Einbruch des Mehrfamilienhausbaus seit Mitte der 90er Jahre hätte sich eigentlich ein Wandel vollziehen müssen. Somit sind die aktuellen An-

gaben zu den Marktanteilen im Fenstermarkt mehr ein Anhaltspunkt als eine wirklich verlässliche Größe.

Wir gehen in unserem Szenario davon aus, dass in der Zukunft die Materialanteile für Holzfenster deutlich höher liegen könnten. Aufgrund der günstigen Entwicklung im Nichtwohnbau wird dies aber kaum zu Lasten des Alufenster gehen, das im Szenario mit einem Marktanteil von 20% angenommen wird. Auch die sehr vorteilhafte Materialkombination von Holz/Alufenstern wird im Szenario noch um 1% auf 6 % zulegen. Noch im Jahr 1987 lag der Anteil des Holzfensters bei 45%. Selbst im Jahr 1995 erreichte er noch 29%. Warum er ausgerechnet in einer Periode einbrach, in der der Eigenheimbau zulegte und der Mehrfamilienhausbau schrumpfte, bleibt ein Rätsel. Wir gehen im Szenario somit von einem Marktanteil für Holzfenster in Höhe von 30% aus. Damit bleibt für PVC-Fenster noch ein Marktanteil von 44% (ggü. 56%). Der Unterschied ergibt sich aus dem begründeten Zweifel an den derzeit vorliegenden Marktdaten als auch aus einer als möglich erachteten künftigen positiven Entwicklung. Wie zuvor erwähnt ist die keine Prognose, sondern ein Szenario zugunsten des Holzfensters, das als möglich angesehen werden kann.

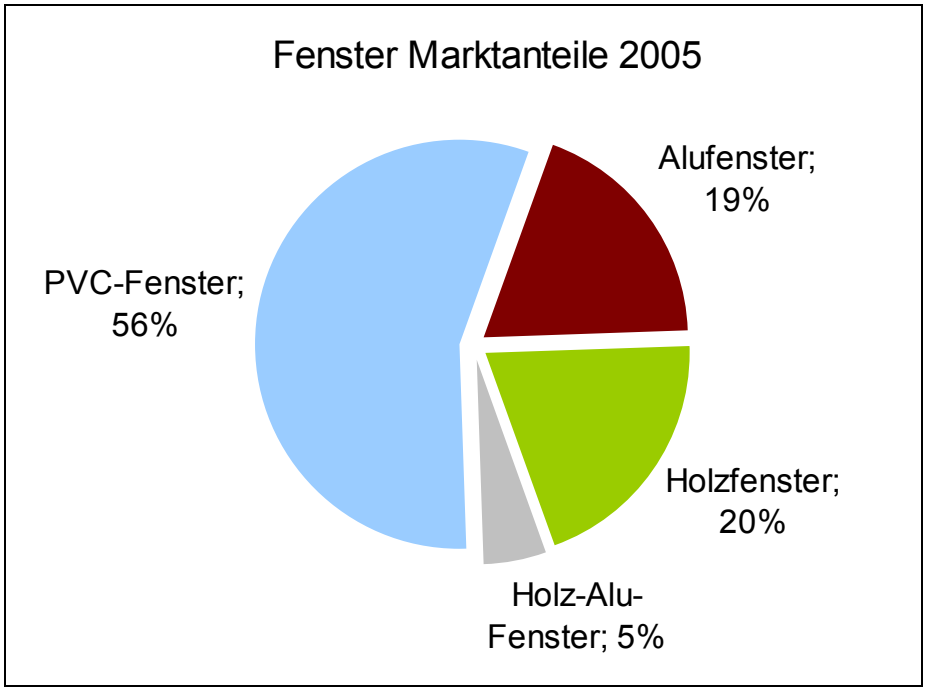


Abbildung 6-21: Marktanteil Fenster Deutschland 2005

Insgesamt ergibt sich für das Jahr 2005 ein Marktvolumen von beinahe 12 Mio. Fenstereinheiten im Jahr 2005 in Deutschland.

6.5.2 Ökologische Potenziale Fenster

Im Folgenden werden anhand der im vorangehenden Kapitel 6.5.1 dargestellten Marktszenarien und der in Kapitel 5.3 berechneten ökologischen Eigenschaften die Ökologischen Potenziale für den Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial gemäß der Vorgehensweise in Kapitel 4.4 berechnet.

6.5.3 Ökologische Potenziale Fenster: Primärenergiebedarf

Mehr als die Hälfte des fossilen Primärenergiebedarfs im Fenstersegment wird derzeit durch PVC-Fenster in Anspruch genommen. Den zweitgrößten Beitrag leisten die Fenster aus Aluminium. Die Annahme einer Verschiebung der derzeitigen Marktverteilung auf 30% Holz, 6% Holz-Alu, 10% Alu und 44% PVC führt zu einer Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs dieses Marktsegments von derzeit 17,5 PJ auf 16,8 PJ (Abbildung 6-22). Dies entspricht einer Einsparung mehr als 4% unter den getroffenen Annahmen. Die relativen Einsparungen beim Wechsel Nicht-Holz- zum Holzwerkstoff sind etwas geringer als in anderen Marktsegmenten, d bei den Fenstern die Verglasung einen sehr hohen Einfluss auf die Umweltwirkungen hat. Aus Marktsicht sind die Änderungen in den Umweltwirkungen aufgrund der hohen Anzahl an verbauten Fenstereinheiten jedoch nicht zu vernachlässigen.

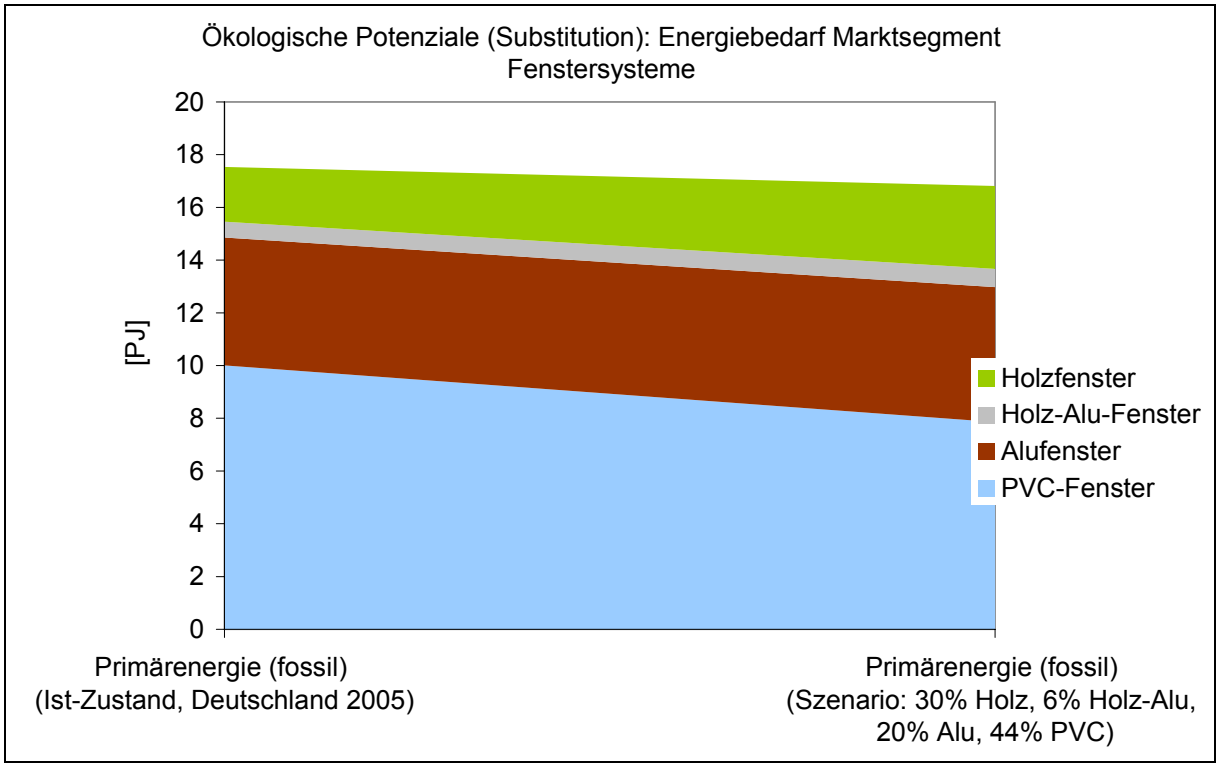


Abbildung 6-22: Ökologische Potenziale (Substitution): Primärenergiebedarf Marktsegment Fenstersysteme

6.5.4 Ökologische Potenziale Fenster: Treibhauspotenzial

Auch zum Treibhaupotenzial im Marktsegment Fenster tragen PVC- und Aluminiumfenster am stärksten bei. Die Annahmen zur Marktverschiebung, die in Abschnitt 6.5.1 getroffen wurden, führen zu einer Reduzierung des Beitrags zum Treibhauspotenzial um mehr als 5,5%, zu sehen in Abbildung 6-23. Dies ist gleichzusetzen mit einer Einsparung von fast 76.000 t CO_2-Äquivalenten in diesem Marktsegment.

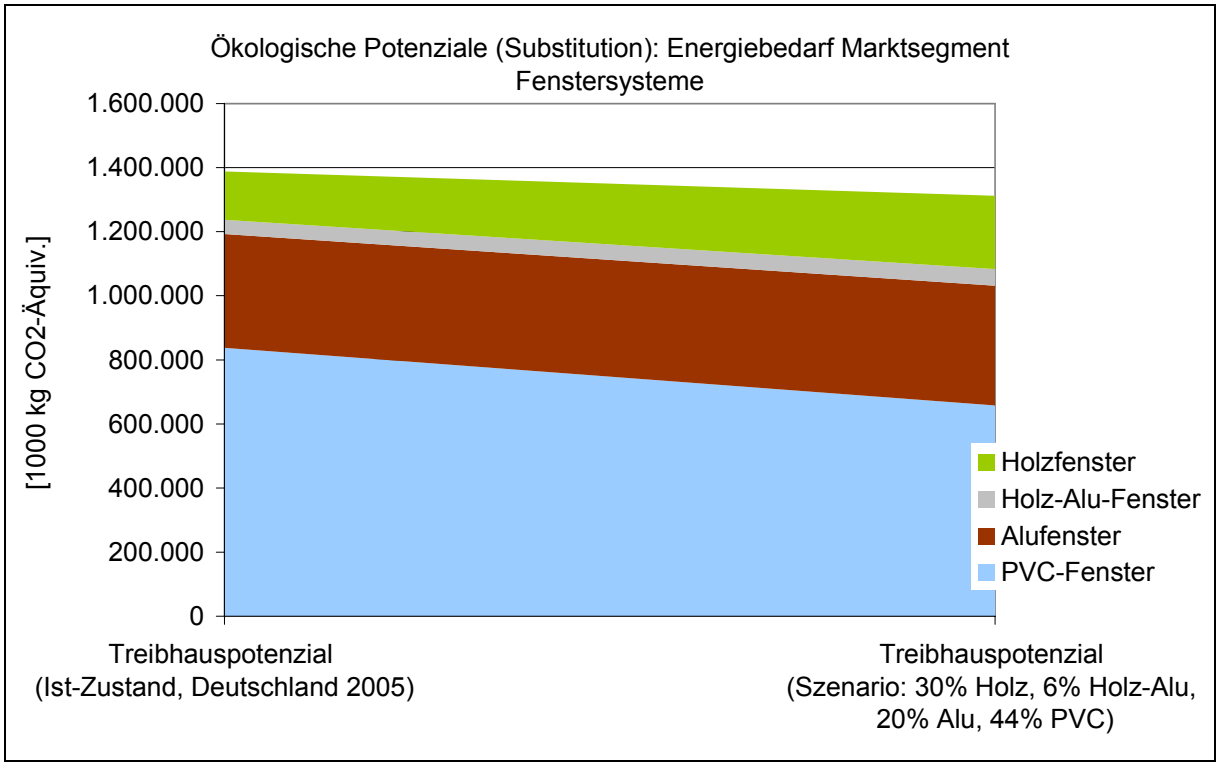


Abbildung 6-23: Ökologische Potenziale (Substitution): Energiebedarf Marktsegment Fenstersysteme

6.5.5 Detailanalyse Fenster in Holzbauweise

Die Detailanalyse der Herstellung der Holzfenster zeigt, dass die Umweltwirkungen in den verschiedenen Wirkungskategorien unterschiedlicher Herkunft sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Herstellung der Holzfenster verschiedene Materialien eingesetzt werden, wie Holz, Glas, Kunststoff, usw. Lediglich der Bedarf an erneuerbarer Primärenergie wird zu über 90% durch die Herstellung der Holzelemente beeinflusst.

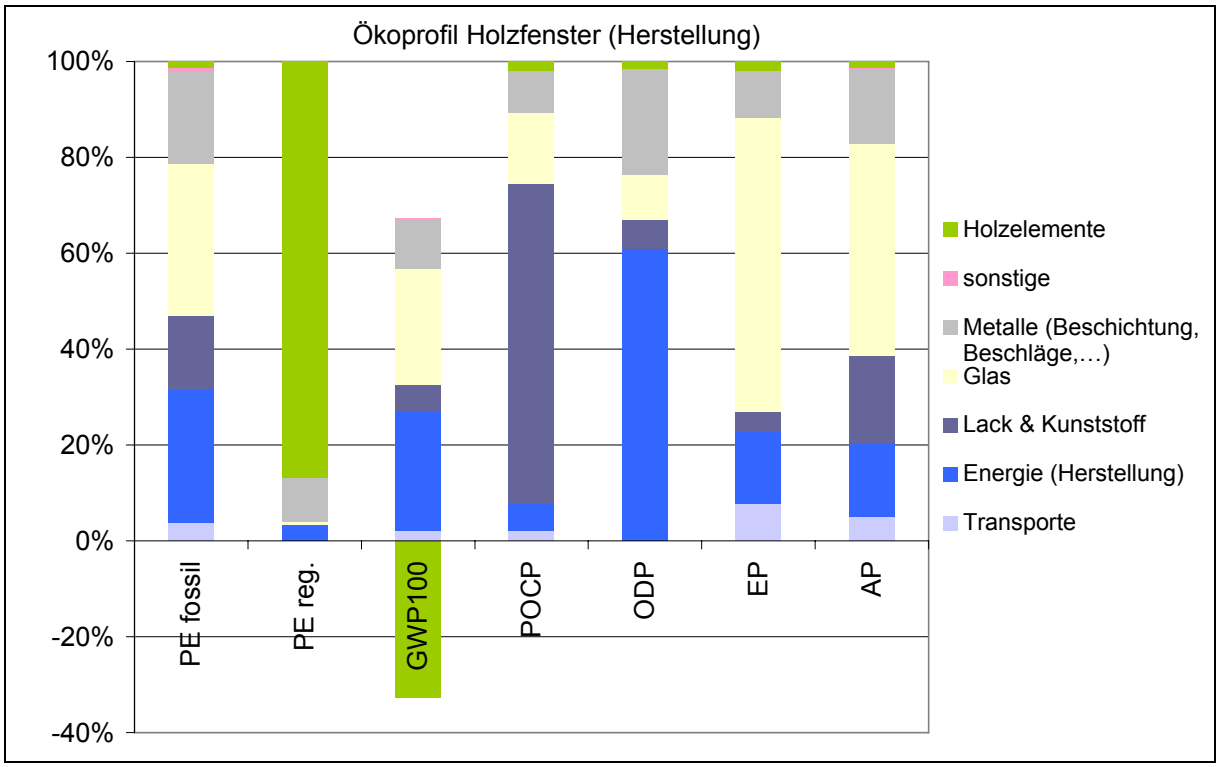


Abbildung 6-24: Ökoprofil (Herstellung) Fenster in Holzbauweise

Der fossile Primärenergiebedarf sowie das Treibhauspotenzial werden zu 10% bis 20% von der Herstellungsenergie, der Verwendung von Metall und Kunststoffen, der Lackierung und der Herstellung der Glasscheiben hervorgerufen. Beim Treibhauspotenzial spielt das während der biologischen Holzproduktion in den Werkstoff eingebundene Kohlendioxid mit -30% Anteil noch eine bedeutende Rolle.

Das Sommersmogpotential (POCP) wird zu kleineren Teilen bei der Glasherstellung, der Metallherstellung sowie der Bereitstellung von Prozessenergie hervorgerufen. Den mit Abstand größten Anteil haben aber der Lack und die Kunststoffe. Dort entstehen flüchtige organische Emissionen, die Hauptverursacher des POCP sind, vor allem beim Verdampfen der Lösemittel beim Trocknen des Lacks.

Die Energiebereitstellung hat den größten Anteil am Ozonabbaupotenzial (ODP).

Die Beiträge zum Überdüngungspotenzial EP und zum Versauerungspotenzial AP werden zu großen Teilen von der Glasherstellung dominiert.

6.5.6 Detailanalyse Fenster in Holz-Alu-Bauweise

Im Vergleich zu Detailanalyse der Herstellung des Holzfensters zeigt das Ökoprofil der Herstellung des Fensters aus Holz-Alu-Werkstoffmix einen deutlichen Einfluss des Aluminiums

auf die Umweltwirkungen in den unterschiedlichen Wirkungskategorien mit Anteilen zwischen 30 bis mehr als 50% in allen Kategorien, wie in Abbildung 6-25 zu sehen ist.

Weiteren sichtbaren Einfluss auf die Wirkungskategorien innerhalb der Herstellung des Hol-Alu-Fensters haben noch die Prozessenergiebereitstellung der Fensterherstellung, der Einfluss von Lack und Kunststoffen, da das Fenster zumindest während der Herstellung auf der Innenseite (Holzelemente) lackiert werden muss sowie die Glasherstellung für das Fensterglas.

Der Einfluss der Holzherstellung wird nur beim regenerativen Primärenergiebedarf und beim Treibhauspotenzial deutlich sichtbar. Auch hier wird durch die biologische Holzproduktion CO_2 im Werkstoff gebunden und ergibt damit einen negativen Wert für die treibhausrelevanten Emissionen.

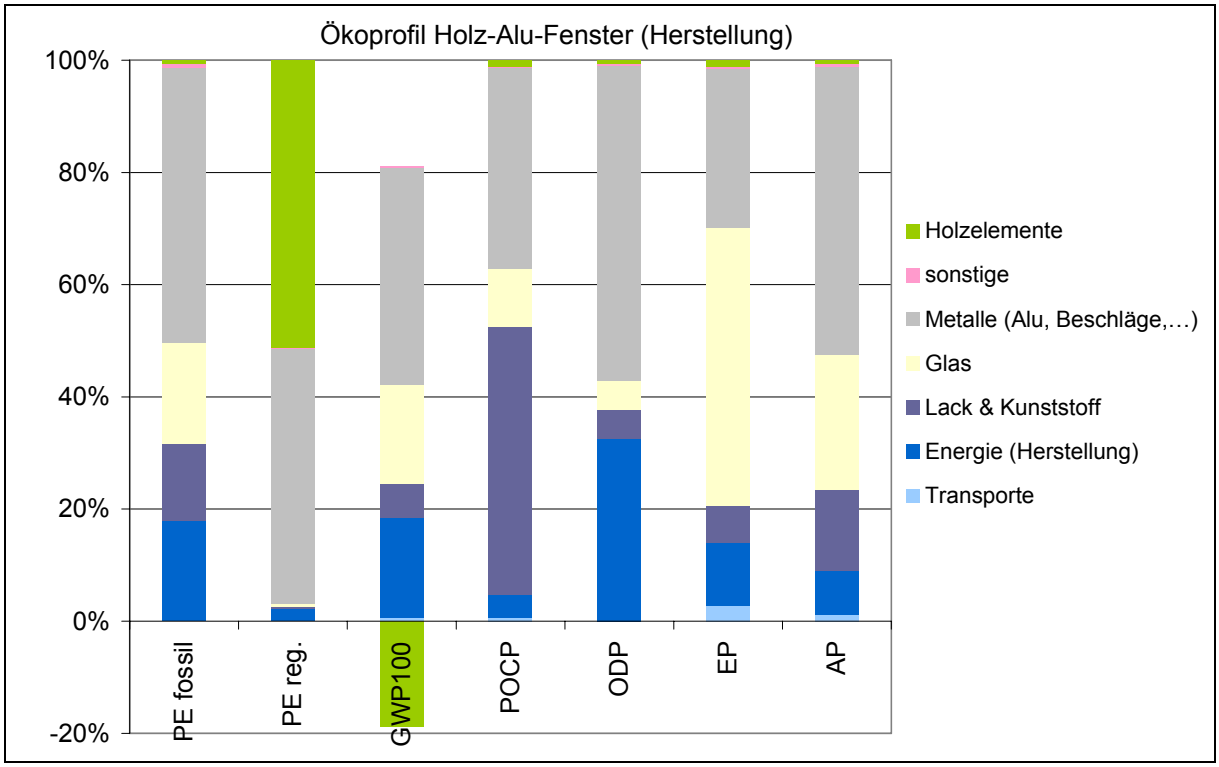


Abbildung 6-25: Ökoprofil (Herstellung) Fenster in Holz-Alu-Bauweise

Der regenerative Primärenergiebedarf stammt ca. zur Hälfte aus der Holzherstellung und ist zum großen Teil in Form des Heizwertes im Holz gespeichert. Diese gespeicherte Primärenergie kann am Lebensende z.B. energetisch verwertet werden. Der hohe Anteil der Aluminiumherstellung am regenerativen Primärenergiebedarf ist darin begründet, dass ein großer Teil der Aluminiumherstellung in Island und Norwegen durchgeführt wird. Dort wird ein sehr großer Teil der Energiebereitstellung mit regenerativen Energiequellen wie Wasserkraft und

Geothermie abgedeckt, was zu einem sehr großen Anteil an regenerativem Primärenergiebedarf im durchschnittlichen Strommix führt.

7 Kommunikation

7.1 Zielgruppen der Kommunikation: Ergebnistransfer innerhalb und außerhalb der Fachöffentlichkeit

Im Projekt ÖkoPot wurde mit der *ökologischen Potenzialanalyse* eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die unterschiedliche ökologische Wirkung beim Einsatz von Produkten aus verschiedenen Materialien zu vergleichen. Im Projekt ÖkoPot wurde die Methode zunächst exemplarisch an Produkten, die im Bauwesen eingesetzt werden, entwickelt und angewandt. Der neue und innovative Ansatz der ÖkoPot-Methode wird mittels Publikationen und Vorträgen den wissenschaftlichen Diskurs in der Fachöffentlichkeit bereichern. Neben der Kommunikation der Ergebnisse innerhalb der „Wissenschaftsgemeinde“ ist es ein Ziel des Projektes ÖkoPot, die Ergebnisse auch für alle sonstigen Zielgruppen (Stakeholder) zugänglich zu machen.

Die folgende Abbildung illustriert die Stakeholder, für die die Ergebnisse des Projektes ÖkoPot zugänglich gemacht werden sollen:

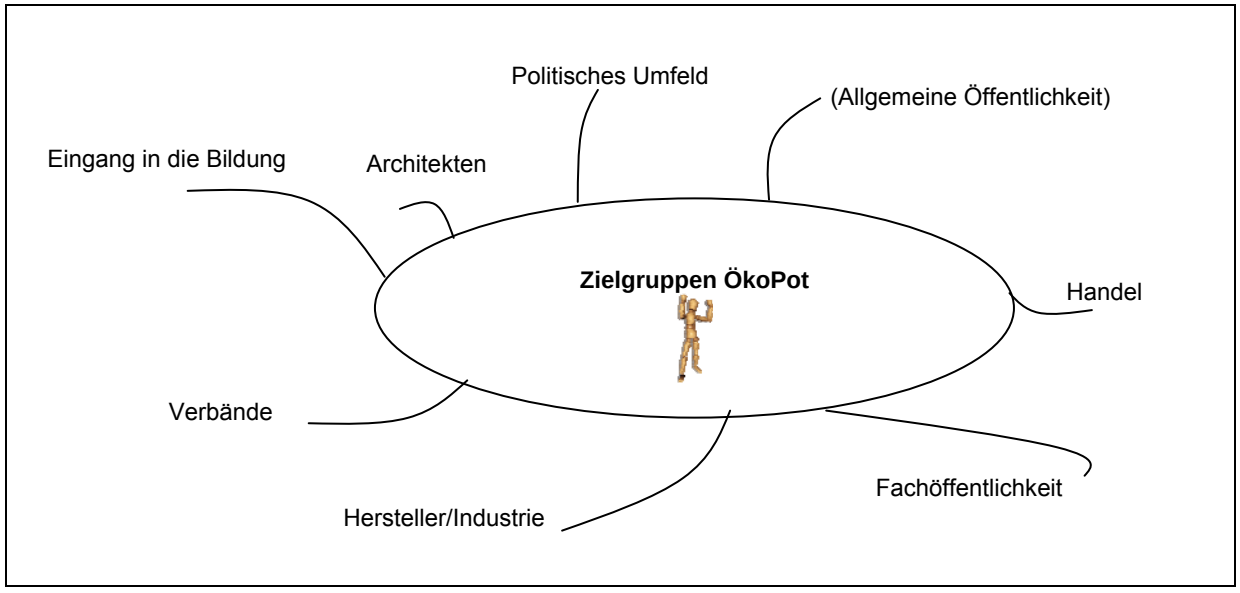


Abbildung 7-1: Zielgruppen der Kommunikation im Projekt ÖkoPot

Die allgemeine Öffentlichkeit soll dabei primär mittelbar durch die Aktivitäten im Projekt adressierten Stakeholder angesprochen werden und nur sekundär durch direkte Projektaktivitäten.

Es zeigte sich, dass die Umsetzung der Ergebnisse für den Bildungsbereich grundsätzlicher als zunächst geplant betrachtet werden muss. Diese tiefere Betrachtung erfolgt in Kooperation mit dem Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Leibnitz Universität

Hannover. Am IBW findet die Gewerbelehrerausbildung für Holz- und Bauberufe statt. Zur Betrachtung der Fragestellung sind zwei Examensarbeiten angefertigt worden (siehe Kapitel 7.6).

Fazit: Die Ergebnisse des ÖkoPot-Projekts sollen politische Entscheider informieren und ihnen helfen, *nachhaltige* Entscheidungen zu treffen. Ziel der Kommunikation muss es sein, diese Adressaten zu informieren und dadurch die Grundlage für deren ökologisches Handeln zu ermöglichen. Gleichzeitig ist es aber auch notwendig, bestimmten Zielgruppen (Handel, Architekten) Argumente an die Hand zu geben, die es ihnen ermöglichen, ihre eigenen Kunden von der ökologischen Vorteilhaftigkeit bestimmter Produkte bzw. im Bausektor von der Verwendung bestimmter Werkstoffe im Rahmen einer Baumaßnahme zu überzeugen. Die Argumente werden in Form von Handlungsempfehlungen entwickelt und den verschiedenen Zielgruppen in individueller Form an die Hand gegeben.

7.2 Partizipation der Stakeholder

7.2.1 Laufende Kommunikation der Ergebnisse während des Forschungsprozesses

Nicht erst nach Beendigung des Projektes sollten die Ergebnisse kommuniziert werden. Das Projekt ÖkoPot ist so angelegt, dass schon von Anfang an, die verschiedenen Zielgruppen beteiligt werden. Diese Beteiligung fand fortlaufend durch Partizipation der Stakeholder statt. Es gab einen direkten Austausch der Projektpartner mit den verschiedenen Gruppen. Nur durch eine enge Zusammenarbeit mit den Herstellern war es möglich, technische Details der Herstellungsprozesse zur Anfertigung der Ökobilanzen zu erhalten. Der Austausch der Projektpartner mit den Herstellern verlief konstruktiv und bildet eine sehr gute Grundlage, dass die in ÖkoPot vorgestellten Ergebnisse auch noch nach Projektende zur Verbesserung genutzt werden. Ebenso fand ein ständiger Austausch mit den Verbandsvertretern und dem Holzhandel statt.

7.2.2 Workshop und Abschlussveranstaltung

Neben dem laufenden Gedankenaustausch mit den verschiedenen Stakeholdern fanden zwei ganztägige Veranstaltungen mit Externen statt. Die erste Veranstaltung war Expertenworkshop in Würzburg zur Projektmitte (2.11.2007), die zweite eine Transferveranstaltung des Projektes für die breitere Fachöffentlichkeit. Sie fand am 10.10.2007 in Hamburg statt. Diese Veranstaltung wurde als gemeinsame Abschlussveranstaltung zusammen mit zwei anderen Verbünden des Forschungsschwerpunkts durchgeführt.

7.2.2.1 Expertenworkshop in Würzburg

Auf dem Workshop in Würzburg wurden erste Ergebnisse des Projektes vorgestellt und mit ca. 25 Vertretern der verschiedenen Zielgruppen diskutiert. Der Workshop diente zum einen der Kommunikation der Zwischenergebnisse des Projektes. So wurde unter anderem die Methode der ökologischen Potenzialanalyse vorgestellt. Zum anderen konnten die Experten ihre Erwartungen und Wünsche an die Darstellung der Projektergebnisse deutlich machen. Die Abschlussveranstaltung in Hamburg sollte die Projektergebnisse vorstellen und ein Forum bieten, die Ansätze für die Kommunikation der Ergebnisse zu diskutieren. Aus dem Expertenworkshop in Würzburg haben sich folgende Ansätze für die Kommunikation ergeben:

- Politisches Umfeld: Es ist wichtig, dass die Kommunikationsmaßnahmen das Problem und die Entscheidung handhabbar machen. Der Vorteil eines Bauproduktes sollte mit einfachen Worten heraus gearbeitet werden: „Dieses Produkt ist ökologisch vorteilhaft, weil...“ Ein mögliches zukünftiges Projekt sollte sich damit beschäftigen, dass man die Betrachtung der Bauteilebene (z.B. Innenwand) auf ein ganzes Haus ausdehnt und die ökologische Vorteilhaftigkeit verschiedener Gebäudeausführungen vergleicht. Es ließen sich zum Beispiel auch mehrere Szenarien von Standardhäusern untersuchen (Realität 2006 vs. Extremszenario Holzhaus). Auch bei diesem Vergleich ist es wichtig, den Vorteil der ökologisch vorteilhaften Gebäudeausführung plakativ herauszuarbeiten.

- Hersteller/Industrie: Bei der Aufarbeitung der Ergebnisse für die Industrie und die Hersteller von Holzprodukten ist ein wesentlich höherer Differenzierungsgrad notwendig, wobei die Herausarbeitung von Maßnahmen für eine ökologische Verbesserung wünschenswert ist. Eine solche Anweisung sollte auch für kleine Betriebe leicht handhabbar sein (einfache Tabellen o.ä.).

- Handel: Es ist wichtig, dass die wissenschaftlichen Ergebnisse des Projekts anschließend von Marketingprofis für die Kommunikation zum Kunden umgesetzt werden. Die Argumente und Ideen für deren Verbreitung sollten Ergebnis des Projekts sein, die Umsetzung der Ideen soll dann durch die Werbefachleute erfolgen.

Wichtig für alle Kommunikationsmaßnahmen ist es, dass die verwendeten Daten, die man der Politik an die Hand gibt, solide hinterfüttert sind. Die Daten aus dem wissenschaftlichen Prozess müssen absolut belastbar sein.

7.2.2.2 Transferveranstaltung/Abschlussveranstaltung in Hamburg

An der Veranstaltung in Hamburg, die zusammen mit den beiden Verbundprojekten „Starkholz“ und „Schälfurnier“ durchgeführt wurde, nahmen insgesamt 45 Personen teil. Das Projekt ÖkoPot wurde in einem ca. 45-minütigen Plenumsvortrag vorgestellt. Daneben wurden in einer Arbeitsgruppe die Ergebnisse des Projektes ÖkoPot mit ca. 15 Personen intensiver diskutiert. Die Umsetzung der Ergebnisse in Kommunikationsmaßnahmen, wie sie in diesem Kapitel des Abschlussberichts beschrieben werden, wurden allgemein vorgestellt und daneben wurde die Umsetzung in Handlungsempfehlungen für die beiden Produktgruppen „Fußboden“ und „Außenwand“ präsentiert und mit den Teilnehmenden der Veranstaltung diskutiert. Der Plenumsvortrag hatte den Fokus auf der Präsentation der ÖkoPot-Methode und zeigte die sich aus ÖkoPot ergebende Kommunikation am Beispiel der Außenwand. In der Arbeitsgruppe stand die Kommunikation von ökologischer Vorteilhaftigkeit auf Basis der ÖkoPot-Methode im Mittelpunkt. Als Input wurde ein Kurzvortrag mit der Umsetzung der Ergebnisse in Kommunikationsmaßnahmen für den Fußboden gewählt.

Insgesamt stießen die Vorgehensweise und die Ergebnisse von ÖkoPot auf dieser Abschlussveranstaltung auf ein großes Interesse der Fachöffentlichkeit. Insbesondere die Ansätze zur Kommunikation wurden als wichtiges Mittel gesehen, um die ökologische Vorteilhaftigkeit von Holzprodukten zu vermitteln. Aus dem Teilnehmerkreis kam der Hinweis, dass die ÖkoPot-Ergebnisse gerade mit Hinblick auf eine aktuelle (aufgrund ihrer Methodik sehr kritisch betrachteten) Ökobilanz-Studie der TU Darmstadt, in der die Bauweise aus Holz und Massivbau ökobilanziell verglichen wird, eine wichtige und fundierte Argumentationshilfe bieten. Aus dem Kreis der Teilnehmenden kam die Anregung, dass die im Projekt ÖkoPot entwickelte Methodik helfen kann, der Politik für Ihre Förderziele eine fundierte Grundlage zu geben (u.a. auch mit Hinblick auf den Konflikt zwischen stofflicher und energetischer Verwertung des Holzes). Die Teilnehmenden sahen die ÖkoPot-Methodik als sehr guten Ausgangspunkt für Politikberatung. In der Abschlussveranstaltung wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sinnvoll ist, neben den bislang betrachteten Produktgruppen noch weitere Holz- und Bauprodukte mit der beschriebenen Methode zu betrachten und zu analysieren.

7.3 Vorgehensweise bei der Kommunikation der ÖkoPot-Ergebnisse

7.3.1 ÖkoPot als Meilenstein, Verbraucherinformationen über Umweltwirkungen auch für Bauprodukte zu entwickeln

Zusätzlich zu den in Kapitel 7.1 genannten zielgruppenspezifischen Unterschieden hat das Projekt ÖkoPot ein gemeinsames Ziel: Neben technischen Argumenten, die bei der Entscheidung für ein bestimmtes Produkt eine große Rolle spielen (Stichwort „technische Performance“), sollen zukünftig auch ökologische Argumente stehen. Der Entscheider bzw. Käufer soll nicht nur die Möglichkeit haben, sich über die technische Leistungsfähigkeit eines bestimmten Produktes zu informieren. Hierfür gibt es allgemein gültige Normen und Richtwerte, z.B. für den Schall- oder Wärmeschutz, ausgedrückt in dB oder im U-Wert. Der Käufer soll auch mittels einer Kenngröße erfahren, wie sich seine Entscheidung ökologisch auswirkt. Da sich die Vor- und Nachteile von Bauprodukten auf technischer Ebene oftmals die Waage halten, könnte für die Verbraucherentscheidung das ökologische Argument das Zünglein an der Waage sein.

ÖkoPot stößt damit die Diskussion zu einer ökologischen Kennzeichnung von Produkten an, die die Politik in vielen Bereichen in den letzten Jahren durchgesetzt hat. Die Kennzeichnung von Produkten ist entstanden, weil deutlich wurde, dass Verbraucher die unterschiedliche Wirkung ihrer Kaufentscheidungen oftmals nicht verstehen (können) und daher Unterstützung benötigen. Beispiele für die gesetzlich festgeschriebene Verbraucherinformation sind die seit längerer Zeit übliche Kennzeichnung von Elektrohaushaltsgeräten in Energieeffizienzklassen, der Energieausweis für Wohngebäude oder die Kennzeichnung von Autos in der Werbung, die Angaben zu Kraftstoffverbrauch und CO_2-Emissionen enthalten muss. Diese Kennzeichnungen geben dem Verbraucher *eine* Kennzahl an die Hand, die es ermöglicht, die ökologische Wirkung von Produkten zu vergleichen. Mit den Ergebnissen des Projektes ÖkoPot ist es möglich, Informationen für Produkt(-gruppen) bereit zu stellen, die sich aus einer Analyse der Marktsituation und der ökologischen Wirkungen ableiten. In einem Punkt unterscheiden sich die genannten Kennzeichnungen von dem, was auf Basis der ökologischen Potenzialanalyse erzielt werden kann: ÖkoPot hilft, das Produkt und seine verschiedenen Umweltwirkungen in seinem Lebensweg darzustellen. Die bei der ökologischen Potenzialanalyse entwickelten Kennzahlen sind produktnäher. Ist die entscheidende Umweltwirkung beim Vergleich von Autos insbesondere der unterschiedlich hohe Kraftstoffverbrauch oder bei der Immobilie der unterschiedliche Verbrauch von Heizenergie in der Nutzung, so bietet ÖkoPot einen erweiterten Blick auf das Produkt: Die verschiedenen Umweltwirkungen werden betrachtet. Gleichzeitig wird über den Lebensweg hinweg sichergestellt, dass es zu keiner Verfälschung der Ergebnisse durch Weglassen wichtiger Aspekte in den Lebensweg-

phasen kommt. Als essentielle Grundlage des Vergleichs verschiedener Produktarten wurde im Projekt viel Wert darauf gelegt, nur Systeme zu vergleichen, die die gleiche Funktion erfüllen (z.B. bei Außenwänden den gleichen Wärmeschutz bieten).

7.3.2 Einfache Kennzeichnung für komplexe Ergebnisse

Es ist wichtig, dass für diese ökologischen Effekte im ÖkoPot-Projekt Kennzeichnungen vorgeschlagen und angewandt werden, die für den Verbraucher fassbar sind. Ökobilanzen liefern Indikatoren, die die Umweltwirkung von Produkten beschreiben. Allgemeiner Konsens bezüglich Berechnungsmethode, Stabilität und Aussagekraft besteht über sieben Indikatoren. Diese Indikatoren sind auch notwendig und wichtig, die verschiedenen Umweltwirkungen durch Emissionen und Ressourcenverbräuche umfassend zu beschreiben. Klimawandel, Ozonschichtzerstörung und Abbau fossiler Energieträger gehören zu diesen Wirkungen. Die Kommunikation der ökologischen Vorteilhaftigkeit mit Hilfe aller Indikatoren gestaltet sich auf Grund der Komplexität der Themen und des Abwägens schwierig. Es bietet sich an, ein oder zwei Indikatoren herauszustellen, die für den Verbraucher besonders anschlussfähig sind. Dazu bietet sich als Leitindikator insbesondere der Indikator „Treibhauspotenzial (GWP)“ an, ausgedrückt in der Menge Emissionen an CO_2-Äquivalenten. Dies ist eine Größe, die in der Holzbranche selbst eine hohe Akzeptanz besitzt. Die Branche beschreibt den Werkstoff Holz z.B. oftmals als „klimaneutral“. Gleichzeitig ist das Thema des Klimaschutzes durch die politische Diskussion der letzten Monate und das Eintreten von Bundeskanzlerin Merkel für bestimmte CO_2-Einsparquoten allgegenwärtig. Die Öffentlichkeit ist für das Argument des Klimaschutzes sensibilisiert und für Botschaften, die CO_2-Minderung versprechen, zurzeit sehr aufnahmebereit. Öffentlichkeit meint hier die Allgemeinheit aber auch das politische Umfeld. Man kann davon ausgehen, dass das Argument des Klimaschutzes bei allen Stakeholdern hohe Beachtung findet. Neben dem Aspekt des Klimaschutzes soll als zweiter Indikator der „Primärenergieverbrauch“ (PE) stärker heraus gestellt werden. Auch bei diesem Punkt wird aufgrund der öffentlichen Wahrnehmung einer Energieverknappung und -verteuerung eine gute Anschlussfähigkeit erwartet.

Besonders wichtig in der Argumentation ist es, dass die betrachteten Produkte in ihrer Wirkung auf die weiteren fünf Indikatoren der Ökobilanz hin genau überprüft werden müssen. Dadurch ist sichergestellt, dass Vorteile einzelner Produkte gegenüber Vergleichsmaterialien auch gut abgesichert sind. Mit der Detailanalyse werden Grundlagen geschaffen, Produktnachteile zu beseitigen.

Die beiden Indikatoren Klimaschutz und Primärenergiegehalt sind zwar anschlussfähig in der Öffentlichkeit. Abstrakte Werte wie die Angabe 10.000 t CO_2-Minderung oder eine Einsparung von 2 Petajoule wissen jedoch nur sehr wenige Menschen einzuordnen. Daher ist es

notwendig, die ökologischen Potenziale in einfach fassbare Einheiten umzurechnen: Die CO_2-Minderung wird dabei in „Fahrleistung eines durchschnittlichen PKW pro Jahr“ umgerechnet. Der Wert von 130 g/CO_2 pro Kilometer ist vielen Menschen als Ergebnis einer Diskussion um veränderte Grenzwerte für die europäische Automobilindustrie im Kopf geblieben. Daher ist die durchschnittliche jährliche Fahrleistung eines Autos als Vergleichswert sehr gut geeignet, eine Treibhauspotenzialminderung anschaulich zu beschreiben. Der Primärenergiegehalt wird in der Vergleichsmenge des Energiegehalts einer entsprechenden Menge Öl angegeben.

Zur Visualisierung bietet es sich an, bestimmte Icons zu verwenden, die ein einfaches Verstehen ermöglichen und die Begriffe des Primärenergieverbrauchs bzw. des Treibhauspotenzials veranschaulichen:

1 Fass leichtes Heizöl (1 Barrel, ca. 159 l) entstspricht ca. 1.870 kWh Primärenergie[12] oder ca. **6,74 GJ (Gigajoule)**	1 Tanklastzug fasst ca. 30.000 Liter leichtes Heizöl, dies entspricht ca. 350.000 kWh Primärenergie oder ca. **1,27 TJ (Terajoule)**	Ein Wagen mit einer durchschnittlichen Fahrleistung von 13.400 km/Jahr und der CO_2-Emission 130 g/km emittiert pro Jahr ca.: **1,74 t CO_2**

Die Veranschaulichung mittels greifbarer Umrechnungen soll für alle Stakeholdergruppen erfolgen. Je nach Stakeholder unterscheidet sich lediglich die Bezugsgröße, auf die sich die mögliche Einsparung an CO_2 bzw. Primärenergie bezieht. Im politischen Raum z.B. ist es sinnvoll den gesamten Markt im Auge zu behalten und ein Gesamtpotenzial auszuweisen. Im Handel ist es hingegen sinnvoll, die einzelne vom Kunden geplante Bau- oder Renovierungsmaßnahme als Bezug zu nehmen bzw. für einen Architekten als Planer die handhabbare Größe Bauteile für ein Einfamilienhaus.

Neben dem Ausweis der Einsparung einer absoluten Größe bei einer Baumaßnahme (z.B. 700 kg CO_2) kann der Ausweis einer prozentualen Einsparung für das politische Umfeld

[12] Es wurde mit folgendem Primärenergiebedarf von leichtem Heizöl gerechnet: 11,78 kWh/Liter

sinnvoll sein. Denn ein solcher Ausweis in % knüpft direkt an die diskutierten und ausgewiesenen Einsparungen des Prozesses von Kyoto an.

7.3.3 Kommunikationsmaßnahmen für das politische Umfeld

Für das politische Umfeld sollen die Ergebnisse des Projektes in ihrer Gesamtwirkung zusammengefasst werden. Dabei soll es möglich sein, ökologisch besonders relevante Bereiche zu identifizieren. Daher ist es sinnvoll, alle untersuchten Produkte in der Gesamtschau zu betrachten. Die folgende Abbildung versucht, die Information für die im ÖkoPot-Projekt betrachteten fünf Bauteilgruppen zusammen zu fassen. Es wird der Indikator CO_2-Einsparung bei Substitution gewählt. Als Bezug wurde die einzelne Baumaßnahme gewählt. Dabei wurde in diesem Fall nicht die für die Berechnung der Ökobilanz verwendete funktionelle Einheit verwendet, sondern der Bau eines Einfamilienhauses. Alle Marktvolumina wurden so betrachtet, als ob die durchschnittliche Baumaßnahme den Umfang eines Einfamilienhausbaus hat. Im Fall der Hallenträger wurde der Bau eines hallenartigen Gebäudes mit einem Durchschnittswert angenommen. Die Darstellung blendet die Zeitkomponente aus und bezieht sich auf die im Projekt erhobenen Marktzahlen von 2004 bis 2006.

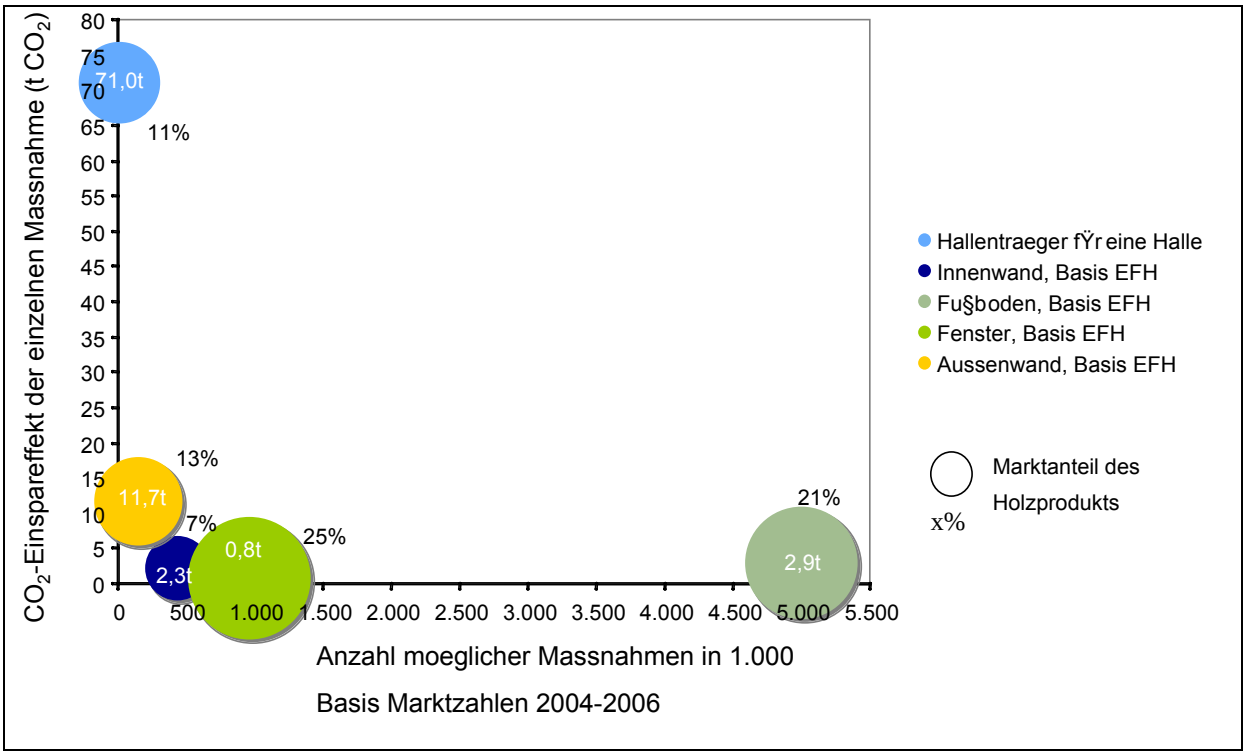


Abbildung 7-2: Darstellung der ökologischen Potenziale (Treibhauspotenzial): Zusammenschau aller im Projekt ÖkoPot betrachteten Produktgruppen

Die Abbildung 7-2 stellt einen Kerngedanken von ÖkoPot dar: Marktinformation (x-Achse mit Anzahl der Baumaßnahmen, normiert auf die Ausstattung eines Einfamilienhauses bzw. den Bau einer Halle) wird mit ökologischer Wirkung (y-Achse mit CO_2-Einsparpotenzial pro Bau-

maßnahme) verknüpft. Über die Größe der Punkte (Blasen im Diagramm) erhält man zudem die Information über den Marktanteil von Holzprodukten am Gesamtmarkt. D.h., je weiter oben ein Punkt im Diagramm verortet ist, desto größer ist die ökologische Wirkung der einzelnen Baumaßnahme. Je weiter rechts ein Punkt steht, desto größer ist die Anzahl der pro Jahr stattfindenden Baumaßnahmen. Durch die Größe des Fußbodenmarktes wirkt die Skalierung in der Abbildung für die Detailbetrachtung der anderen Produktgruppen zunächst etwas unglücklich. An dieser Stelle ist dieser Überblick jedoch sehr hilfreich, zeigt er doch die Spannweite der Ergebnisse: Auf der einen Seite die Träger für das Hallendach mit einem Marktvolumen von ca. 10.000 hallenartigen Gebäuden und einer großen Wirkung pro Maßnahme bei Substitution von Stahl- bzw. Stahlbetonträger durch Holzträger (ca. 71 t CO_2). Dieser Wert bezieht sich in diesem Fall nur auf die Träger des Hallendachs und nicht auf eine komplette Halle! Auf der anderen Seite der Fußboden mit einer deutlich geringeren Wirkung pro Maßnahme, aber mit ca. 5 Mio. Maßnahmen pro Jahr (Grundlage: die relevante Wohnfläche eines EFH, 97 m^2), also einem großen Marktvolumen.

Die Darstellung wie sie in Abbildung 7-2 gewählt wurde, kann ein Masterplan sein, der in Zukunft auch andere Bauprodukte aufnimmt und die ökologische Wirkung von Bauprodukten allgemein darstellt. Eine Darstellung in Anlehnung an Abbildung 7-2 empfahlen die Teilnehmenden der Transferveranstaltung in Hamburg als Ausgangspunkt für weitere Forschung und auch für die Politikberatung.

Bei der Darstellung (wie auch bei den weiter unten vorgestellten Handlungsempfehlungen) werden die Produktgruppen auf *einen* Wert verdichtet, der verschiedene Marktanteile integriert. So werden z.B. die vier Massivbau-Außenwandsysteme auf Basis der verschiedenen Marktanteile mit einem einzelnen Wert dargestellt (durchschnittliche Massivbau-Außenwand). Für eine detailliertere Betrachtung wäre es auch möglich, auf die Ebene des einzelnen Außenwandsystems zu gehen und hier Empfehlungen abzuleiten.

Aus der Gesamtschau der Bauprodukte lässt sich eine unterschiedliche Grundlage für die Kommunikationsmaßnahmen der Produkte ableiten. Für die Produkte auf der linken Seite (wie Hallenträger) lassen sich in der Tendenz folgende Aussagen treffen:

- Relativ kleines Marktvolumen
- Relativ wenige Verkäufe bzw. Entscheidungen
- Käufer sind in der Regel besser informiert
- Auf Seiten der Verkäufer/Berater insgesamt eine relativ hohe Kompetenz
- Oftmals Investitionsgüterentscheidungen

Für die Produkte auf der rechten Seite (z.B. Fußboden) lassen sich folgende Charakteristika für die Kommunikation benennen:

- Extrem viele Verkäufe/Entscheidungen
- Sehr viele Marktteilnehmer
- oftmals relativ schlecht informierte Verkäufer
- Tendenz: konsumnäher
- Gesamtkosten der einzelnen Maßnahme eher geringer

7.3.4 Exemplarische Ableitung spezieller Kommunikationsmaßnahmen für das Produkt des Fußbodens

An dieser Stelle soll die Vorgehensweise des Produktes Fußboden exemplarisch erläutert werden. Für die vier anderen im Projekt betrachteten Produktgruppen lässt sich die Argumentation analog führen.

Im Folgenden werden die Kernaussagen der Kommunikation für drei Zielgruppen zusammengefasst. Die Kernaussagen für Handel/Architekten/Planer und Hersteller wurden in grafisch gestalteten Handlungsempfehlungen zusammengefasst (siehe unten).

7.3.4.1 Politisches Umfeld

Aus der Darstellung in der Gesamtschau (siehe Abbildung im vorherigen Kapitel) lässt sich die große ökologische Bedeutung des Fußbodenmarktes ersehen. Politisch soll auf dieser den gesamten Markt betrachteten Ebene diskutiert werden. Der Fußbodenmarkt lässt sich mit folgenden Charakteristika beschreiben:

- Der Fußboden hat eine hohe ökologische Priorität
- Mit fast 500 Mio. m2 verlegter Fläche/Jahr handelt es sich um einen sehr großen Markt mit enormem ökologischem Potenzial
- Zurzeit ergeben sich treibhausrelevante Emissionen im Fußbodenmarkt von ca. 11 Mio. t CO_2. Dies entspricht der jährlichen Fahrleistung von ca. 6,5 Mio. Autos! Ausgedrückt in Primärenergie (ca. 150 PJ): Ladung von ca. 120.000 mit Heizöl gefüllte Tanklastzügen.

- Fußböden aus Holz (sowohl Parkett als auch Laminatfußboden) haben eine sehr gute CO_2-Bilanz, wegen der energetischen Verwertung am Ende des Produktlebens entstehen insgesamt sogar Gutschriften!

- Jedes Prozent Marktanteil, den der Holzfußboden den Nichtholz-Bodenbelägen abnimmt, bedeutet eine relativ große CO_2-Verminderung bzw. Einsparung von Primärenergie; selbst das vorsichtige Szenario mit einer Marktanteilsverschiebung von 21 % auf 25 % hat die ökologische Wirkung einer Einsparung von ca. 500.000 t Emissionen an CO_2. Dies entspricht der jährlichen Fahrleistung von ca. 300.000 Autos. Auf der Energieseite entspricht diese Marktverschiebung der Ladung von über 3.300 Tanklastzügen mit Heizöl.

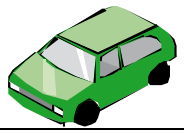
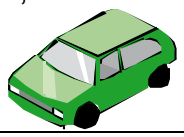
Treibhausrelevante Emissionen im Fußbodenmarkt	120.000	6,5 Mio.
Einsparung an treibhausrelevanten Emissionen im Fußbodenmarkt bei einer Erhöhung des Anteils der Holzfußböden von 21 % auf 25 % (Vorsichtiges Szenario)	3.300	300.000

Es wäre zur Illustrierung sinnvoll, den Umfang an Baumaßnahmen der öffentlichen Hand zu ermitteln, um sie für den Bereich, den die öffentliche Hand direkt als Bauherr beeinflusst, darzustellen. So ergibt sich für die Substitution eines Fußbodenbelags (Holzfußboden statt Nichtholzfußboden) für eine Kindertagestätte mit 1.000 m^2 Grundfläche eine Einsparung von ca. 25 t CO_2. Entsprechend hoch ist alleine für diese einzelne Produktentscheidung die ökologische Wirkung. Bei einem großen Verwaltungsneubau ergeben sich für die Einzelmaßnahme schon erhebliche ökologische Einsparmöglichkeiten.

7.3.4.2 Handel/Architekten/Planer

Für den Handel und für Planer ist es notwendig, diese Werte auf die Größe einer einzelnen Baumaßnahme herunter zu brechen. Natürlich ist für den Kunden auch das Gesamtvolumen interessant, bekommt er doch dadurch eine Vorstellung, dass im Fußbodenmarkt insgesamt eine große Einsparung möglich ist und er selbst dazu beitragen kann. Bei der Darstellung kann man unterschiedliche Bezugsgrößen wählen. In der bisherigen Darstellung wurde von

der Grundfläche eines Einfamilienhauses von ca. 97 m^2 ausgegangen. Diese Größe lässt sich entsprechend variieren.

Ökologischer Vorteil bei der Verwendung eines Holzfußbodens (1 Raum 20 m^2)	0,7	ca. 0,3 
Ökologischer Vorteil bei der Verwendung eines Holzfußbodens (Einfamilienhaus, 97 m^2 relevante Wohnfläche)	3,1	ca. 1,4 

Es lässt sich schon für eine relativ geringe Fläche an verlegtem Fußboden eine relativ große ökologische Wirkung der einzelnen Baumaßnahme nachweisen. Alleine bei einem Raum von ca. 20 m^2 ergibt sich ein CO_2-Äquivalent, das der durchschnittlichen Fahrleistung von mehr als 3 Monaten entspricht. Dies heißt bei einer Renovierungsmaßnahme von 3 Räumen und der Entscheidung für Holz statt einer Alternative aus Nicht-Holz entspricht die ökologische Wirkung einer Fahrleistung von einem Jahr. Mit dieser Argumentation ist der Kunde bzw. Verwender direkt in einer persönlichen Verantwortung – seine Entscheidung hat eine direkte Auswirkung.

7.3.4.3 Hersteller/Industrie

Die Hersteller wurden die Argumente, wie sie zuvor entwickelt wurden, auch für Ihre Marketingmaßnahmen nutzen. Darüber hinaus haben die Hersteller die Möglichkeit auf Basis der Detailanalysen, die im Projekt angestellt wurden (siehe Kap. 6), ihre Produkte ökologisch zu verbessern. Dies ist insgesamt notwendig, weil die grundsätzliche Argumentation für die Kommunikationsmaßnahmen darauf basiert, dass die beiden Leitindikatoren GWP und PE dargestellt werden und die anderen 5 Indikatoren der Ökobilanz keine negativen Ausreißer haben dürfen. In der Regel werden die Hersteller eine Optimierung anstreben, die diese 5 Indikatoren verbessern. Dazu kann die Detailanalyse wertvolle Hinweise geben, denn sie bildet den technischen Prozess detailliert ab. So zeigt sich beim Laminatfußboden, dass das Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial am relativ schlechtesten ist – hier kann die Detailanalyse herausarbeiten, welche Prozessschritte und eingesetzten Materialien diesen vergleichsweise schlechten Indikatorwert verursachen. Durch die Detailbetrachtung besteht die Möglichkeit, den Prozess, ökologisch zu optimieren und diesen Wert zu verbessern.

7.4 Handreichungen (Marketingblätter, Argumentations- und Handlungshilfen) für Handel und Hersteller

7.4.1 Handreichung exemplarisch: Fußboden

Für die wichtigsten Zielgruppen werden die Ergebnisse zusammengefasst und grafisch als Handlungsempfehlung aufgearbeitet (Kaufberatung bzw. Planungshilfe). Die einzelnen Handlungsempfehlungen haben den Umfang von jeweils 2 Seiten und dienen als Grundlage für eine eigene Gestaltung, können aber auch direkt eingesetzt werden (Stichwort Marketingblätter). Die grafische Umsetzung wird hier für die Kaufberatung des Fußbodens gezeigt. Die Handlungsempfehlungen für alle anderen in ÖkoPot untersuchten Produktgruppen finden sich im Anhang und werden auf der Projekthomepage zur Verfügung gestellt.

Abbildung 7-3: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Kaufberatung Fußboden

Diese Handlungsempfehlungen bzw. Planungshilfen haben in erster Linie zum Ziel, den Verbraucher bzw. Nutzer über die Umweltwirkungen beim Einsatz unterschiedlicher Produkte aufzuklären bzw. Händlern und Planern Argumente für die Argumentation ökologischer Vorteile bestimmter Produktgruppen an die Hand zu gaben. Neben diesen an der Verbraucheraufklärung ansetzenden Handlungsempfehlungen wurde für jede Produktgruppe auch eine

zweiseitige Handlungsempfehlung für die Hersteller erstellt. In dieser Handlungsempfehlung werden die technischen Prozesse und ihre Verbesserungsmöglichkeiten dargestellt (Detailanalysen). Da pro Produktgruppe auch mehrere Systeme ökobilanziell verglichen wurden, wurden teilweise auch mehrere Detailanalyse pro Produktgruppe ausgearbeitet (z.B. beim Fußboden neben Laminatfußboden auch Stabparkett und Mehrschichtparkett).

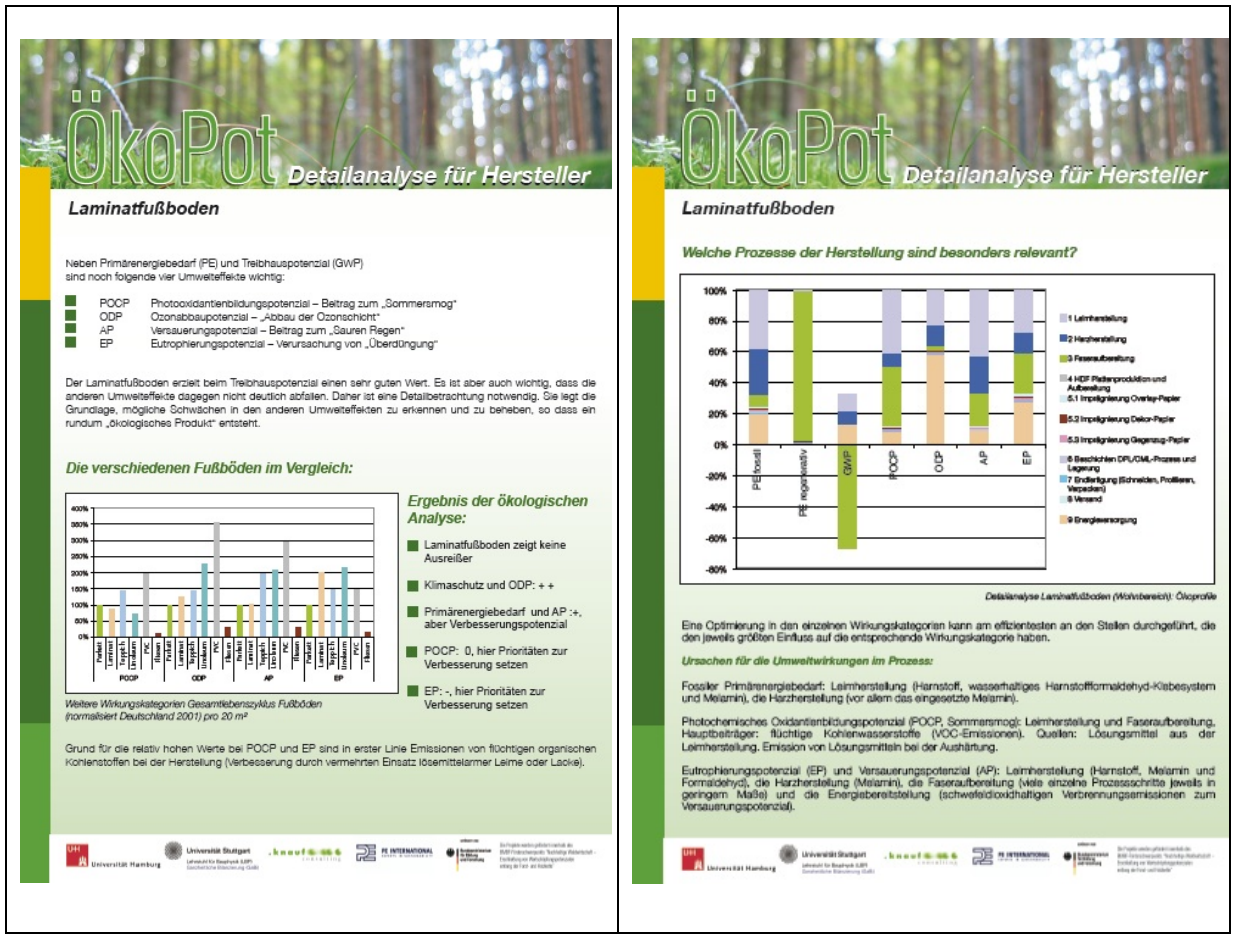


Abbildung 7-4: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Detailanalyse Laminatfußboden

7.4.2 Handreichung exemplarisch: Außenwand

Neben der Handreichung für den Fußboden werden an dieser Stelle als Beispiel auch noch die Handreichungen für die untersuchte Produktgruppe der Außenwand dargestellt.

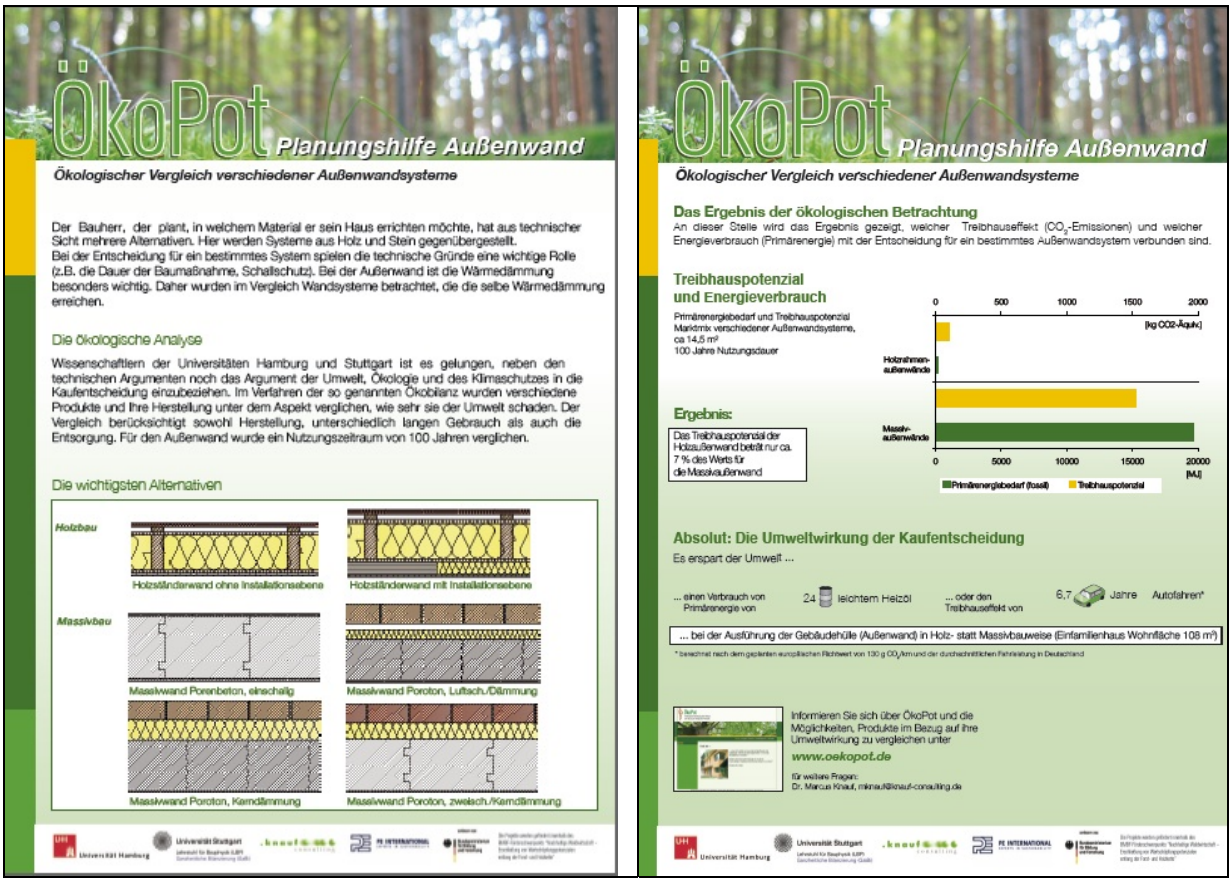


Abbildung 7-5: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Planungshilfe Außenwand

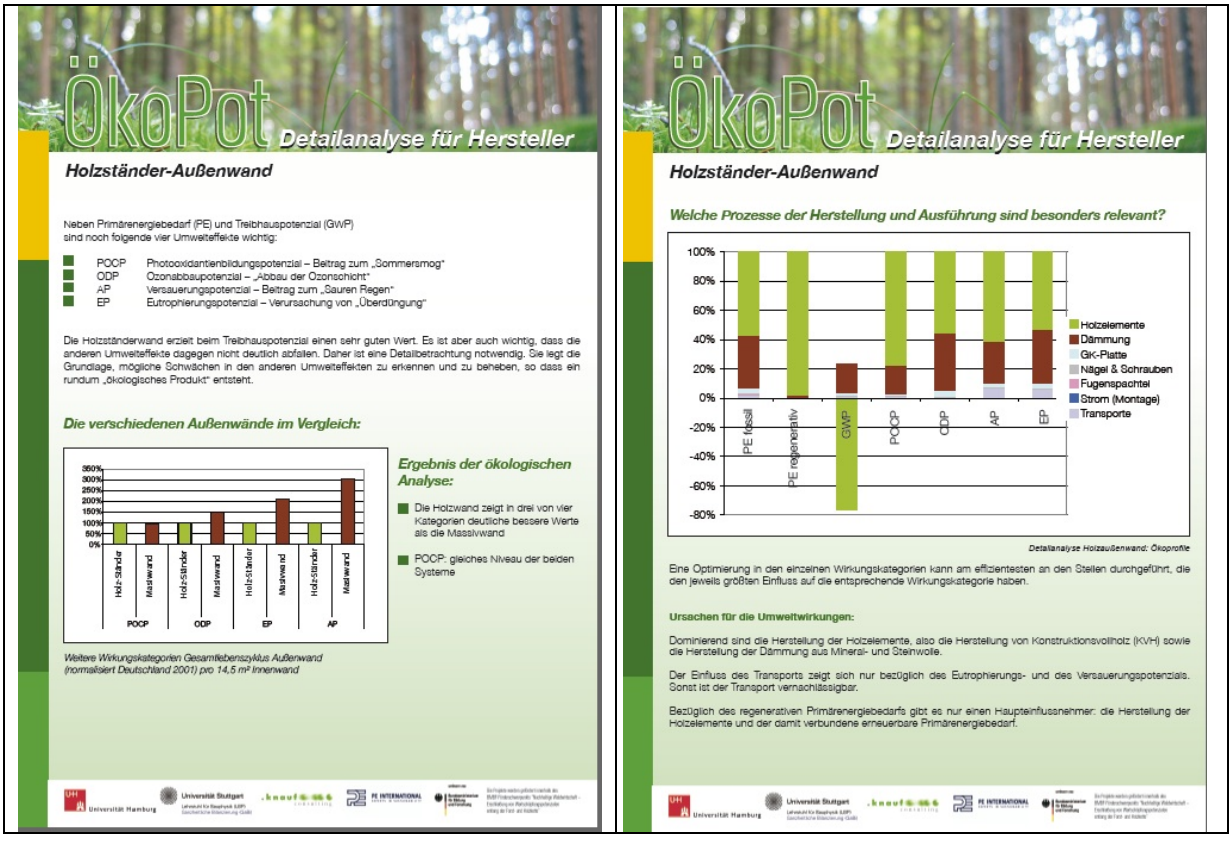


Abbildung 7-6: Umsetzung der Handlungsempfehlungen: Detailanalyse Außenwand

Die weiteren Handreichungen finden sich in Anhang D: Handreichungen.

7.5 Die Projekthomepage als nachhaltige Informationsplattform

Die Ergebnisse werden im Internet auch über das Projektende hinaus auf der Homepage www.oekopot.de zur Verfügung stehen und fortlaufend aktualisiert werden

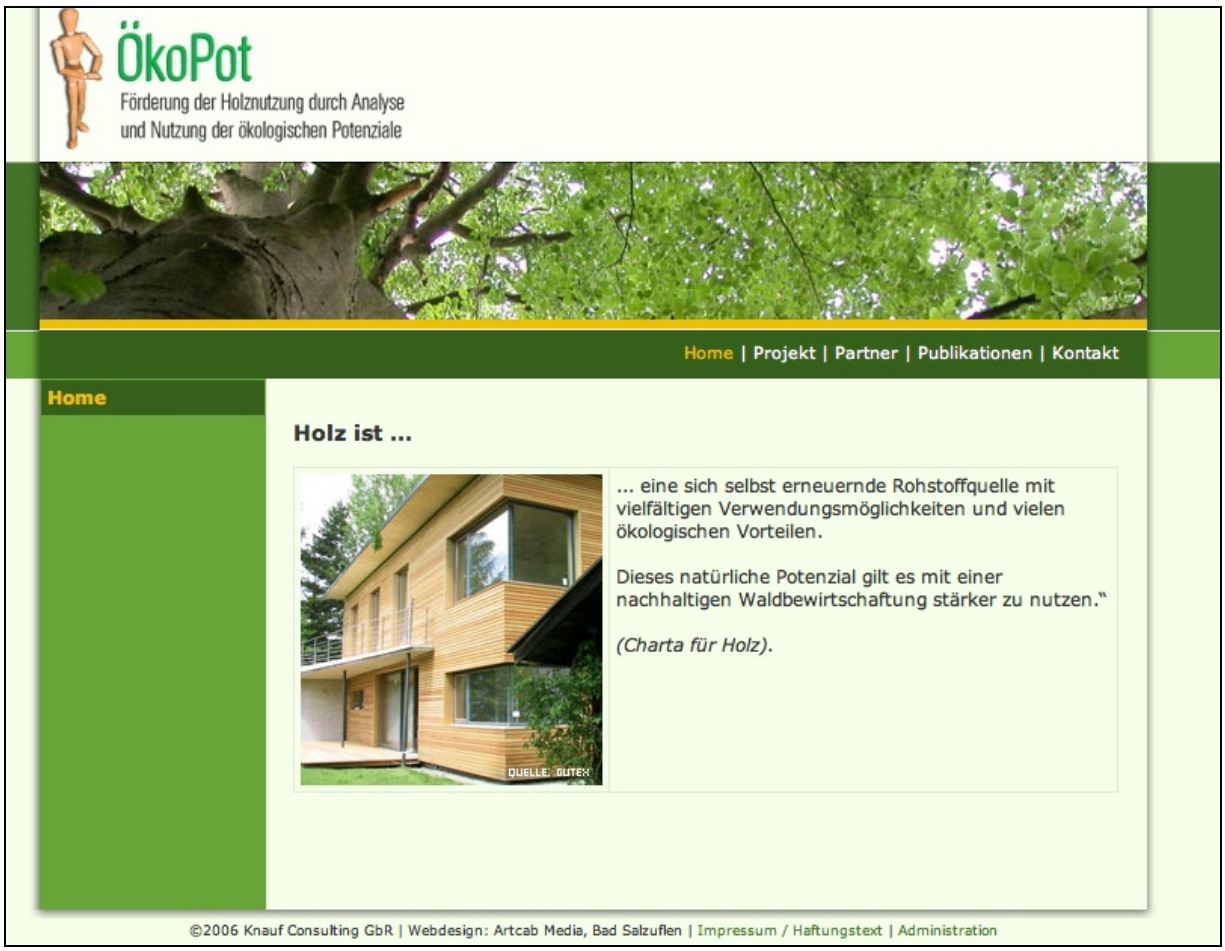


Abbildung 7-7: Projekthomepage als nachhaltige Informationsplattform

7.6 Eingang der Ergebnisse in die Bildung

Das Bildungsthema im Forschungsschwerpunkt wird über die Querschnittsaktivitäten des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) koordiniert. Das Projekt ÖkoPot bringt sich in diese Aktivitäten ein. Das Kommunikationskapitel in diesem Abschlussbericht und die vorgestellten Handreichungen bieten hierbei gute Ansätze.

Innerhalb der 2. Hälfte der Projektlaufzeit wurde in Kooperation mit dem Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Universität Hannover versucht, das Thema der Ökobilanzierung für die berufliche Bildung im Holzhandwerk aufzubereiten. Zur Bearbeitung dieses Thema wurden zwei 4-monatige Examensarbeiten angeregt, die für die Umsetzung des Themas der Ökobilanzierung in die Berufsbildung eine gute Grundlage bilden. Diese Abschlussarbeiten entstanden an einem Institut, dessen Aufgabe die Lehrerausbildung ist. Dadurch ist zugleich auch der Transfer in die Ausbildung von Gewerbelehrern als Multiplikatoren und anschließend durch deren berufliche Tätigkeit auch der Transfer zu den Schüler/innen in den Schulen gesichert.

Zur Anfertigung ihrer Examensarbeiten wurden den Studierenden aus dem Projekt ÖkoPot Material und Ergebnisse zur Verfügung gestellt. Da die Kommunikationsempfehlungen im Projekts ÖkoPot erst zum Projektende ausgearbeitet wurden, standen sie nicht für die Bearbeitung zur Verfügung. Die beiden Examensarbeiten greifen daher auch stärker die bis dahin vorliegenden ökologisch-technischen Aspekte der ökologischen Bewertung auf. Mitarbeiter des Projekt ÖkoPot standen den Studierenden als Ansprechpartner immer zur Verfügung. Die Studierenden und ihr Betreuer Johannes Wolff, Akademischer Oberrat am IBW, nahmen zum Einstieg in ihre Arbeit am Projektworkshop in Würzburg teil. Die beiden Examensarbeiten entstanden in der 1. Jahreshälfte 2007 und wurden von den beiden Studierenden Andreas Pieper und Niels Pohlmann angefertigt. Ihre Ergebnisse liegen öffentlich vor. An dieser Stelle sollen die wichtigsten Ergebnisse der beiden Examensarbeiten dargestellt werden. Für eine differenzierte Auseinandersetzung empfiehlt es sich, auf die Originalarbeiten zurückzugreifen:

- Andreas Pieper (2007): Ökologie und Nachhaltigkeit in der Tischlerausbildung – Ansätze für eine lernfeldgebundene Themenauswahl, Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an berufsbildenden Schulen, angefertigt im Prüfungsfach: Didaktik der beruflichen Fachrichtung, Berufliche Fachrichtung: Holztechnik im Land Niedersachsen, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Leibnitz Universität Hannover.

- Niels Pohlmann (2007): Ökologie im Fensterbau – Ansatz für die Integration ökologischer Zusammenhänge in die grundständige Ausbildung im Tischlerhandwerk, Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an berufsbildenden Schulen, angefertigt im Prüfungsfach: Didaktik der beruflichen Fachrichtung, Berufliche Fachrichtung: Holztechnik im Land Niedersachsen, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Leibnitz Universität Hannover.

Die beiden Examenskandidaten untersuchen in ihren Arbeiten differenziert, wie das Thema Ökologie in die Ausbildung zum Tischler/Schreiner integriert werden kann. Der Beruf des Tischlers/Schreiners wurde 2006 neu geordnet und es wurde von der KMK ein neuer Rahmenlehrplan erlassen. Anhand dieses aktuellen Rahmenlehrplans und seiner Umsetzung in 12 Lernfeldern wird die Integration von Ökologie in die Berufsausbildung des Holzhandwerks untersucht. Die Arbeit von Pieper betrachtet dabei insgesamt die Möglichkeit der Integration von Ökologie und auch der ökologischen Bilanzierung als wichtige Methode in die 12 Lernfelder. Pohlmann begibt sich auf eine tiefere Ebene und beschreibt, wie sich die Ökologie des Fensterbaus in eines der Lernfelder (Lernfeld 10) integrieren lässt und beschreibt detailliert die Umsetzung in die Fachdidaktik.

Pieper kommt zu dem Schluss, dass der seit August 2006 gültige Rahmenlehrplan im Gegensatz zum alten Lehrplan sehr viel allgemeiner ist. Der alte Lehrplan ist detaillierter, sachsystematisch und stärker an Inhalten orientiert (Pieper 2007, S. 30). Diese Offenheit des neuen Lehrplans macht es im Unterricht auch möglich, neue Inhalte, wie den Gedanken des ökologischen Vergleichs zweier Produkte aufzugreifen, stellt jedoch auch die Gefahr dar, dass Ökologie „nur am Rande betrachtet oder ganz vernachlässigt“ wird (ebd., S. 34). Diese Beobachtung erhärtet Pieper durch die Analyse der Lernfelder. Er stellt fest, dass nur in 3 der 12 Lernfelder die Ökologie explizit erwähnt wird. In 3 weiteren Lernfeldern wird zwar Ökologie als Thema nicht explizit genannt, aber es ergeben sich Themen auf dem Lehrplan, die im Sinne von Ökologie interpretiert werden können, z.B. Werkstoffkreislauf (ebd., S. 33). Pieper bemängelt als Fazit seiner Analyse, dass Ökologie und Nachhaltigkeit nicht durchgängig in den Lernfeldern enthalten sind und „damit werden die Lernfelder weder den politischen Forderungen noch den Vorgaben aus dem Bildungsauftrag der Berufsschule gerecht, die ökologischen Themen einen hohen Stellenwert beimessen.“ (ebd., S. 33) In seiner Arbeit stellt Pieper die Operationalisierung der Themen Ökologie und Nachhaltigkeit in die Lernfelder der Tischlerausbildung her und bietet Ansätze für eine lernfeldgebundene Themenauswahl. In den Lernfeldern lässt sich das Thema Ökologie bzw. der ökologischen Bilanzierung umsetzen. An dieser Stelle sollen einige Lernfelder mit ihren Anwendungen wie sie Pieper beschreibt, dargestellt werden (Pieper 2007S. 34ff):

- Lernfeld 1: Im ersten Lernfeld sollen die Schüler einfache Produkte aus Holz planen und fertigen. Dafür sollen sie Holzarten „unter ästhetischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten auswählen. Neben der Verwendung von Tropenholz lässt sich z.B. über Transportvorgänge der Einstieg in das CO_2 -Thema finden.

- Lernfeld 2: Im zweiten Lernfeld bietet es sich an, an die vorgegebenen fachlichen Inhalte, wie z.B. Holzwerkstoffe und Furniere ansetzen. Angeknüpft an die fachlichen Inhalte kann man hier Energieverbrauch thematisieren. Es können z.B. Werkstoffe mit unterschiedlichem Energiegehalt verglichen werden.

- Lernfeld 3: In diesem Lernfeld sollen die Schüler Produkte aus verschiedenen Materialien vergleichen. D.h., sie beschäftigen sich sowohl mit Nichtholz-Werkstoffen (Glas, Metall etc.) wie auch mit Holz und Holzwerkstoffen und vergleichen sie. In den Handreichungen zum Rahmenlehrplan für Tischler wird für dieses Lernfeld auch die ökologische Bewertung von Materialien vorgesehen. Wie diese ökologische Bewertung der Materialien stattfinden soll, wird nicht erläutert. D.h., insbesondere in diesem Lernfeld bietet es sich an, die Ergebnisse des Projekts ÖkoPot mit seinem ganzheitlichen Ansatz aufzunehmen.

- Lernfeld 5: In diesem Lernfeld ist zwar die ökologische Betrachtung nicht ausdrücklich erwähnt, aber im Zusammenhang mit dem Thema „Oberfläche“ könnte man auf die in der Ökobilanz bedeutenden Wirkungskategorien „bodennahes Ozon“ bzw. „Sommersmog“ eingehen

- Lernfeld 10: In diesem Lernfeld lassen sich die Ergebnisse exemplarisch anwenden. Im Lernfeld 10 gestalten, planen und montieren die Schüler/innen abschließende Bauteile wie Fenster und Haustüren. In diesem Lernfeld kann eine Vielzahl der bereits behandelten Aspekte eines ökologisch orientierten Bauens zusammengeführt und vor dem Hintergrund der speziellen Anforderungen des Außenbereichs neu beleuchtet werden. Ein Vergleich der verschiedenen marktüblichen Rahmenmaterialien unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte bietet sich in diesem Lernfeld an. Die fachdidaktische Umsetzung im Anwendungsfall Fenster für dieses Lernfeld beschreibt die Examensarbeit von Pohlmann (siehe unten).

- Lernfeld 12: Im 12. Lernfeld sollen die Schüler einen Arbeitsauftrag aus dem Tätigkeitsfeld ausführen und dazu selbstständig einen vollständigen Kundenauftrag bearbeiten. In diesem Lernfeld lassen sich die Ideen umsetzen, wie Sie in den Handreichungen des ÖkoPot-Projekts erarbeitet wurden. D.h., mit den Ergebnissen von

ÖkoPot lässt sich die Argumentation von ökologischen Gesichtspunkten im Kundengespräch vermitteln.

Pieper ist es in der Argumentation seiner Examensarbeit wichtig, dass im Unterricht neben der Fachebene immer auch die Anbindung an eine gesamtgesellschaftliche Ebene, wie auch die private Lebensführung der Schüler/innen erfolgt

Niels Pohlmann erarbeitet in seiner Examensarbeit die didaktische Aufbereitung der Lernfelder in konkrete Lernsituationen, die er detailliert für die ökologischen Zusammenhänge im Fensterbau (Lernfeld 10) aufbereitet. In seiner Arbeit zeigt Pohlmann, dass die Integration von ökologischen Zusammenhängen als durchgängiges Konzept in eine Unterrichtstruktur durchführbar ist (Pohlmann 2007, S. 80).

Pohlmann weist aber auf die begrenzte Zeit im Lernfeld 10 hin und zieht als Schluss: „Um das Konzept trotzdem in die Praxis umsetzten zu können, ist eine Transformation in andere Lernfelder denkbar. Beispielsweise kann eine reduzierte Ökobilanz in jedem Lernfeld durchgeführt werden. Hierfür ist nur die funktionelle Einheit dem Thema zuzuordnen.“ (ebd., S. 80). D.h., es ist in einer weiteren Betrachtung notwendig, auf Grundlage der Arbeit von Pieper auch innerhalb der anderen Lernfelder konkrete Lernsituationen zu entwickeln, wie sie Pohlmann für das Lernfeld 10 und die Ökobilanzierung von Fenstern beispielhaft zeigt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Forschungsvorhaben ÖkoPot hat das Ziel, eine "produktbezogene ökologische Potenzialanalyse" zu entwickeln, die bei umfassender Anwendung für die Verwendung von Bauprodukten aufzuzeigen könnte, bei welchen Produkten die größten ökologischen Marktpotenziale bestehen und wie man sie gezielt nutzen und ausweiten kann. Weiteres Ziel des Forschungsvorhabens ist es, anhand einzelner Beispiele konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen bereit zu stellen, die Bauprodukte anbieten oder an den ökologischen Potentialen von Bauprodukten interessiert sind.

Das Projektkonsortium bestand aus Spezialisten aus den Bereichen Betriebswirtschaft/Marktanalyse, Technik und Ökobilanzierung. Nur durch die enge interaktive Zusammenarbeit zwischen allen Projektbeteiligten war es möglich, die neue Methode zu entwickeln und gesichertes Datenmaterial aus verschiedenen Bereichen (Holz-basierte Systeme und Nicht-Holz-Konkurrenzsysteme) zusammenzutragen.

Wichtige Holzprodukte und deren wichtigste Nicht-Holz-Konkurrenten wurden hinsichtlich ihrer Marktsituation untersucht und anschließend technisch charakterisiert. Die großen Lücken in den verfügbaren Marktdaten wurden durch Expertenschätzungen geschlossen. Darauf aufbauend wurden die Umweltwirkungen der Bauprodukte mittels der Methode der Ökobilanz quantifiziert. Durch Kombination der Ökobilanzergebnisse mit den Marktdaten und Zukunftsszenarien wurden schließlich ökologische Potenziale aufgezeigt, die aus einer verbesserten Marktsituation für Holzprodukte innerhalb der jeweiligen Produktsegmente resultieren. Im Projekt ÖkoPot wurde mit der produktbezogenen ökologischen Potenzialanalyse eine Methode entwickelt, die es erlaubt, die unterschiedliche ökologische Wirkung beim Einsatz von Produkten aus verschiedenen Materialien zu vergleichen und die ökologischen Potenziale innerhalb eines Marktsegments, die aus einer möglichen Marktverschiebung (zugunsten der Holzprodukte) resultieren, qualifiziert abschätzen zu können. Die Methode wurde entwickelt und anhand von fünf verschiedenen Produktgruppen getestet. Die Ergebnisse wurden für die untersuchten Produktgruppen in Form von Handreichungen für Handel und Industrie aufbereitet. Um die Aussage der Handreichungen belastbar zu machen, ist geplant, den Ökobilanzteil des Berichts einem „Critical Review“ zu unterziehen. Dies wird nach ISO 14040:2006 /41/ und ISO 14044:2006 /42/ gefordert, um vergleichende Aussagen auf Grundlage einer Ökobilanz veröffentlichen zu können.

Es hat sich gezeigt, dass Bauelemente, in denen Holz als Werkstoff verwendet wird, in den Umweltkategorien fossiler Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial ihren Nichtholz-Konkurrenzprodukten gegenüber häufig ökologische Vorteile aufweisen. Dies ist darauf zu-

rückzuführen, dass während der biologischen Produktion des Holzes regenerative Primärenergie im Holz gespeichert wird, die schließlich am Lebensende des Produktes energetisch verwertet werden kann. Ebenso wird während des Wachstums die Menge an Kohlenstoff bzw. Kohlendioxid im Holz gespeichert und während der gesamten Nutzungsdauer gebunden, die am Lebensende bei der energetischen Verwertung freigesetzt wird. Je mehr verschiedene Werkstoffe in einem Bauelement verwendet werden, desto geringer sind die Unterschiede in den Umweltwirkungen zwischen den verschiedenen Varianten. So ist beispielsweise bei den Fenstern die Verglasung, die allerdings bei allen Varianten per Definition gleich ist, einer der Hauptbeiträger zu den Umweltlasten. Weiterhin haben sich Bereiche gezeigt, in denen einzelne Substitutionsmaßnahmen sehr starke Auswirkungen hätten, wie z.B. bei den Hallenträgern, dort ist jedoch das Marktvolumen sehr gering. Dagegen sind die Unterschiede bei den Fenster und Fußböden zwischen den einzelnen Varianten geringer, dafür weisen diese beiden Segment ein sehr hohes Marktvolumen auf, wodurch Marktverschiebungen zugunsten der Holzprodukte sehr große ökologische Potenziale besitzen.

Es hat sich gezeigt, dass die meisten Holzprodukte über ihren Lebenszyklus insgesamt geringere Umweltlasten verursachen als vergleichbare, nicht auf Holz basierende Systeme. Überall dort, wo aus ökonomischer und technischer Sicht Vergleichbarkeit vorliegt, können ökologische Gesichtspunkte dazu beitragen, den Verbraucher bzw. Entscheider von der ökologischen Vorteilhaftigkeit der Bauprodukte zu überzeugen. In Form der Projektergebnisse wird für die ausgewählten Beispiele belastbares Material bereitgestellt. Bei einer umfassenden Analyse aller Produktbereiche könnten Entscheider gezielt ökologische Aspekte in ihre Entscheidungen einfließen lassen. Hierzu sind jedoch noch erhebliche Anstrengungen empirischer Forschung erforderlich. Insbesondere Im Bereich der Marktvolumen mussten vielfach Expertenschätzungen vorgenommen werden. Zudem ändern sich die Marktverhältnisse ständig, so dass nur ein Monitoring zu dauerhaften Anpassungsprozessen führen kann.

Damit wäre es möglich, die Förderung von Bauprodukten gezielt in die Richtung des größten ökologischen Potenzials zu lenken. Auch eine gezielte Betrachtung von CO_2-Einsparpotenzialen ist möglich. Im Projekt ÖkoPot wurde die Methode zunächst exemplarisch an einzelnen Bauprodukten entwickelt und angewandt. Das ÖkoPot- Projekt zielt jedoch nicht nur auf die Entwicklung der Methode, sondern auch darauf, neben der Kommunikation der Ergebnisse innerhalb der „Wissenschaftsgemeinde“ die ausgeführten Beispiele für alle sonstigen Zielgruppen (Stakeholder) zugänglich zu machen. Im Rahmen von insgesamt zwei Workshops bzw. Transferveranstaltungen (Würzburg November 2006, Hamburg Oktober 2007) wurden Vertreter aus Wissenschaft und Praxis (hier waren insbesondere Multiplikatoren aus Verbänden und Interessenvertreter angesprochen) anhand ausgewählter Bei-

spiele über die Methodik der Ökologischen Potenzialanalyse und die Ergebnisses des Projektes informiert.

Es liegen nunmehr fundierte Informationen über die derzeitige Marktstrukturen, die technische Charakterisierung sowie die ökologischen Wirkungen ausgewählter wichtiger Bauprodukte vor. Anhand der im Bericht erläuterten Bespiele kann nicht nur in der schulischen und beruflichen Bildung sondern auch im Rahmen der Aufklärung von Verbrauchern, Entscheidungsträgern und Politikern dargestellt werden, wie man durch die ökologischen Potenziale identifizieren und nutzen kann. Hierfür wurden die Argumente in Form von Handlungsempfehlungen aufbereitet und werden den verschiedenen Zielgruppen nach Abschluss des Critical Review Prozesses in individueller Form an die Hand gegeben. Über die Projekthomepage (www.oekopot.de) werden diese Ergebnisse auch über das Projektende hinaus zur Verfügung gestellt. Vertreter aus der Praxis (insbesondere Verbände, Hersteller und Handel) wurden über die gesamte Laufzeit des Projekts integriert.

Mit der Methode der Ökologischen Potenzialanalyse können Marktdaten, technische Charakterisierungen und ökobilanzielle Informationen in einer Weise miteinander verknüpft werden, dass bei Vorliegen entsprechen gewählter Zukunftsszenarien Vorhersagen über die ökologischen Folgen der resultierenden Änderungen abgeleitet werden können. Die im Rahmen von ÖkoPot entwickelte neue Methode kann, über die innerhalb des Verbundvorhabens betrachteten Produkte hinaus, auch für die gesamte Produktkette des Baumarktes, der Verpackungswirtschaft oder der Möbelindustrie angewendet werden und so dazu beitragen, deren marktweite ökologischen Potenziale zu identifizieren. So lassen sich die Chancen ganzer Branchen für eine umweltfreundliche Entwicklung besser nutzen.

Im Rahmen der Zielsetzung über nachhaltige Entwicklung (Nachhaltigkeitsrat der Bundesregierung) kann das ÖkoPot-Projekt für die gesamten Bauaktivitäten der Volkswirtschaft (270 Mrd. €) Handlungsempfehlungen für Gewerke und Bauprodukte geben und dazu beitragen, eine umweltfreundliche Entwicklung in der Baubranche zu fördern bzw. die zukünftigen Bauaktivitäten für ganz spezielle Problemlösungen, wie z.B. CO_2-Speicherung, Einsparung von fossiler Primärenergie, u.a., zu optimieren.

9 Literatur

/1/ AltholzV: Altholzverordnung 2002

/2/ Anonymus: Möbel Zahlen Daten 2006. Das Statistische Jahrbuch für die Möbelbranche. Ferdinand Holzmann Verlag GmbH. Hamburg, 2006.

/3/ Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) (2007): Internetrecherche bzgl. Flugemissionen , 02.03.2007

/4/ Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., 2006

/5/ Arlt, J. und Pfeiffer, M. (2004). "Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau." Institut für Bauforschung e.V. (IFB), Hannover.

/6/ AUB e.V.: Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V., Cäsariusstraße 83a, 53639 Königswinter; http://www.bau-umwelt.de/aub_deklarationen.html

/7/ Autorenkollektiv: Holz-Lexikon. Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft. 4. Auflage. Leinfelden-Echterdingen, 2003

/8/ B+H 27.4.2007

/9/ B+H 9.6.2006

/10/ Baitz; M. (1995): Erstellung eines Modells zur Simulierung umweltrelevanter Auswirkungen von Transportprozessen. Studienarbeit, IKP, Universität Stuttgart

/11/ Bautabellen für Ingenieure (2001), S. 10.47, 14. Auflage

/12/ Bitter, W.-G. (2006): ZMP Marktbilanz Forst und Holz 2006, ZMP Markt- und Preisberichtstelle GmbH, Bonn.

/13/ Borken, J. , Patyk, A. und G. A. Reinhardt (1999) Basisdaten für ökologische Bilanzierungen, Braunschweig

/14/ Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (1996), „Holzrahmenbau mehrgeschossig“, vbz Verlagsgemeinschaft Bruderverlag Albert Bruder und ZtV Zeittechnik-Verlag GmbH, Karlsruhe und Neu-Isenburg, ISBN 3-9805025-0-3

/15/ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2006): Holzmarktbericht 2/2005, Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2005

/16/ Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (2007). http://ziegel.de/ , 25.04.2007.

/17/ Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (2007). www.kalksandstein.de, 24.04.2007.

/18/ Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (2007). www.bv-porenbeton.de/index.html, 25.04.2007.

/19/ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Brussels, 30.01.2002; COM(2002) 44 final; 2002/0035 (CNS); Proposal for a COUNCIL DECISION on the accession, on behalf of the European Community to the Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone.

/20/ DEUTSCHES INSTITUT für BAUEN und Umwelt, www.bau-umwelt.com, (Programmhalter); EGGER Floor Products GmbH, Am Haffeld 1, D – 23970 Wismar (Deklarationsinhaber); DIBU-EHW-20108-D Deklarationsnummer: Egger Floor Products Laminatboden - Anwendungsklassen 31, 32 und 33 (AC3 bis AC5). Diese Deklaration ist eine Umweltproduktdeklaration gemäß ISO 14025 und beschreibt die Umweltleistung der hier genannten Bauprodukte. Sie soll die Entwicklung des umwelt- und gesundheitsverträglichen Bauens fördern.

/21/ DEUTSCHES INSTITUT für BAUEN und Umwelt, www.bau-umwelt.com, (Programmhalter); EGGER Floor Products GmbH, Im Kissen 19, D – 59929 Brilon (Deklarationsinhaber); DIBU-EHW-30108-D Deklarationsnummer: Egger Floor Products Direktdruckboden - DPR®. Diese Deklaration ist eine Umweltproduktdeklaration gemäß ISO 14025 und beschreibt die Umweltleistung der hier genannten Bauprodukte. Sie soll die Entwicklung des umwelt- und gesundheitsverträglichen Bauens fördern.

/22/ DIN 1025-3:1994 „Warmgewalzte I-Träger“.

/23/ DIN 1045-1:2001 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“

/24/ DIN 1052:2004 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“

/25/ DIN 18230: 1998-05 „Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer“ mit der Berichtigung 1

/26/ DIN 18800-1:1990 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“.

/27/ DIN 4102-4:1994-03 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

/28/ DIN 4108: 1981 „Wärmeschutz im Hochbau – Berechnungsverfahren“

/29/ DIN 4109: 1989 „Schallschutz im Hochbau- Anforderungen und Nachweise“

/30/ DIN 68800-3: 1990 „Holzschutz- Vorbeugender chemischer Holzschutz“

/31/ DIN EN 13226: 2003 „Massivholz- Parkettstäbe mit Nut und/ oder Feder“

/32/ DIN EN 13329:2000 „Laminatböden – Spezifikationen, Anforderungen und Prüfverfahren.

/33/ DIN EN 13489:2002 „Holzfußböden – Mehrschichtparkettelemente“.

/34/ DIN EN 13986:2005 „Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung“

/35/ DIN EN 14024: Metallprofile mit thermischer Trennung- mechanisches Leistungsverhalten- Anforderungen, Nachweis und Prüfungen für die Beurteilung

/36/ DIN EN 14293:2006 „Klebstoffe - Klebstoffe für das Kleben von Parkett auf einen Untergrund - Prüfverfahren und Mindestanforderungen“

/37/ DIN EN 14411:2006 „Keramische Fliesen und Platten - Begriffe, Klassifizierung, Gütemerkmale und Kennzeichnung“ DIN EN 14411"

/38/ DIN EN 18230-1: 1998-05 „Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer“ mit der Berichtigung 1.

/39/ DIN EN 350: 1994 „Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz“

/40/ DIN EN ISO 14025: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltdeklarationen Typ III

/41/ DIN EN ISO, 14040:2006, Oktober 2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006

/42/ DIN EN ISO, 14044:2006, Oktober 2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006

/43/ DIN V 4108: 2002 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 1: Größen und Einheiten

/44/ DIN V 4108: 2002 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: „Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte“

/45/ DIN V EN 1995 Eurocode 5 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken“.

/46/ DIN EN 14351: 2006 „Fenster und Türen - Produktnorm, Leistungseigenschaften“

/47/ EGGER Floor Products: Egger Holzwerkstoffe Brilon GmbH & Co, D-59929 Brilon. Vollständige Prozessdaten zur Erstellung einer Umweltproduktdeklaration (EPD) für Laminatfußboden im Wohnbereich (AC3). August 2007.

/48/ EGGER Floor Products: Ökobilanzgrundlage für die Umweltdeklaration von Laminatböden und Direktdruckböden (DPR®) Firma Egger Floor Products GmbH Hintergrundbericht zur Vorlage bei der AUB, durchgeführt von PE INTERNATIONAL GmbH, Dezember 2007.

/49/ Energieeinsparverordnung 2004

/50/ ENQUETE- Kommission “Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Bundestages (Hrsg.): Verantwortung für die Zukunft - Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, Economica Verlag, Bonn 1993

/51/ EPLF

/52/ EU: REGULATION (EC) No 2037/2000 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 June 2000 on substances that deplete the ozone layer (OJ L 244, 29.9.2000)

/53/ Eyerer, Peter ; Reinhardt, Hans-Wolf: *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden* : *Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung*. Basel: Birkhäuser (Baupraxis), 2000. - ISBN 3-7643-6207-3, - XII, 233 S

/54/ Frühwald, A., Speckels, L., Scharai-Rad, M. und Welling, J. (2000). Ökologische Bilanzierung von Bauschnittholz und veredelten Vollholzprodukten. Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, Hamburg.

/55/ GDA,2007

/56/ Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH. (2005). "Bauteilspezifische Belastungen - Teilbericht: Instrumente zur qualitätsabhängigen Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Materialien und Konstruktionen."

/57/ Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH. (2005). "Bauteilspezifische Belastungen - Teilbericht: Instrumente zur qualitätsabhängigen Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Materialien und Konstruktionen." Forschungsvorhaben 10.0603 – 03.125 im Auftrag des BMVBS, Berlin.

/58/ GHF, Marktkennziffern Bodenbeläge

/59/ Guinée, J. et. al. Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. Centre of Environmental Science, Leiden University (CML); The Netherlands, 2001.

/60/ Hasch, J. (2002) Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten. Dissertation. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, Hamburg, Germany, 300 p.

/61/ Hegger, M. (2004). Internetdatenbank „buildingmaterials“, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, http://www.architektur.tu-darmstadt.de/ee/, 25.06.2007.

/62/ Heijungs, R. et al.: Environmental Life Cycle Assessment – Guide & Background. Centrum voor Milieukunde (CML), Leiden, The Netherlands 1992.

/63/ Hermes, 2001

/64/ Holzlexikon: U. Lohmann und M. Blosen, eds., DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen (2003)

/65/ HPE: Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung e.V. Jahresbericht 2004/2005. Bonn, 2005

/66/ HPE: Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung e.V. Strukturzahlen veröffentlicht unter www.hpe.de. Bonn, 2005

/67/ HZ 2003, Nr. 11, S.185

/68/ HZ Nr. 52 nach Produktionsanteilen der ersten 3 Quartale von 2006

/69/ IFB-Hannover. (2004). "Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau." Institut für Bauforschung e.V., Hannover

/70/ IPPC Reference document on Best Available Technique in Ceramic Manufacturing Industry, December 2006, European Commission

/71/ Klein, W. (1994) Schäden an Fenstern. Schadenfreies Bauen, Band 6. Günter Zimmermann (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1994

/72/ Klugmann, K. (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik) (2006): Laufzeiten und Kosten der Motorsäge in der Holzernte, Ergebnisse einer deutschlandweiten Praxisuntersuchung

/73/ Kollmann, F. (1982). „Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe“, 2. Auflage, 1. Band Ed., Springer, Berlin.

/74/ Kreißig, J. und J. Kümmel (1999): Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V.

/75/ Kreißig, J. und J. Kümmel (1999): Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V.

/76/ Kreißig, J.; Baitz, M.; Betz, M.; Straub, W.; Eyerer, P.: Ganzheitliche Bilanzierung von Fenster und Fassaden, Stuttgart, 1997

/77/ Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (2004): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung, Groß-Umstadt

/78/ LBP, PE: GaBi 4, Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Copyright, TM. Stuttgart, Echterdingen. 2006

/79/ LBP, PE: GaBi 4, Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Copyright, TM. Stuttgart, Echterdingen. 2007

/80/ Mantau, U.: Holzverwendung im Baubereich. Neubau und Modernisierung nach Marktsegmenten und Produktbereichen. Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF). Celle, 2005

/81/ Mantau, U.; Bilitewski, B.: Stoffstrom-Modell-HOLZ. Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP). Celle, 2005

/82/ Mantau, U.; Kaiser, C.: Holzeinsatz im Modernisierungsmarkt 2000 – Abschlussbericht. Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF). Celle, 2002

/83/ Mantau, U.; Sörgel, C.: Schätzung des Absatzpotenzials für hochwertiges Brettschichtholz aus Buchenholz. Teilbericht 1 – Schätzung des aktuellen Brettschichtholz– Marktvolumens. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg, 2003

/84/ Mantau, U.; Sörgel, C.; Weimar, H.: Marktveränderungen bei Bauholz – Verwendung und Erwartungen bei den Zielgruppen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg, 2004

/85/ Mantau, U.; Sörgel, C.;Weimar, H.: Marktanalyse der Holzprodukte und der wichtigsten Konkurrenten. Teilprojekt (Modul1) in: Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern – ÖkoPot. Gefördert vom Bundeministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms „Nachhaltige Waldwirtschaft“ im Bereich „Forschung für die Nachhaltigkeit (FoNa)“.

/86/ Meyer-Ottens, C. (1994). „Feuerhemmende Holzbauteile“, Reihe 3 Teil 4 Folge 2, Informationsdienst Holz, Düsseldorf

/87/ Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz (2007): mündliche Auskunft über Kalkung von Wäldern von Herrn Dr. Harald Egidi

/88/ Nachhaltige Waldwirtschaft Newsletter: HERAUSGEBER Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig REDAKTIONSTEAM Prof. Peter Fritz – UFZ, Ines Höhne – UFZ, Andreas Werntze, MSc. – UFZ, Julia Gabler – Metronom | Agentur für Kommunikation und Design GmbH, Leipzig

/89/ National Research programme ”Sustainable Forestry“ funded by the German Federal Ministry of Education and Research

/90/ Nebel, B.: Ökobilanzierung von Holzfußböden, Dissertation, Holzforschung München, Herbert Utz Verlag, München 2003

/91/ Pieper, Andreas (2007): Ökologie und Nachhaltigkeit in der Tischlerausbildung – Ansätze für eine lernfeldgebundene Themenauswahl, Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an berufsbildenden Schulen, angefertigt im Prüfungsfach: Didaktik der beruflichen Fachrichtung, Berufliche Fachrichtung: Holztechnik im Land Niedersachsen, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Leibnitz Universität Hannover.

/92/ Pohlmann, Niels (2007): Ökologie im Fensterbau – Ansatz für die Integration ökologischer Zusammenhänge in die grundständige Ausbildung im Tischlerhandwerk, Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an berufsbildenden Schulen, angefertigt im Prüfungsfach: Didaktik der beruflichen Fachrichtung, Berufli-

che Fachrichtung: Holztechnik im Land Niedersachsen, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW) der Leibnitz Universität Hannover.

/93/ pw-Internet Solutions GmbH (2007). „Das Baulexikon“, http://www.das-baulexikon.de/

/94/ Rigips GmbH (2007). www.rigips.de, 23.04.2007.

/95/ Rinaldi, M., Erzinger, S. und R. Stark (2006): Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten, FAT-Schriftenreihe Nr.65, agroscope, FAT Tänikon

/96/ Ruske, W., Spang, H. und Stauf, W. (2001). „Parkett – Planungsgrundlagen.“ Holzbauhandbuch Reihe 6 Teil 4 Folge 2, Informationsdienst Holz, Düsseldorf.

/97/ Rüter, S. und Kreißig, J. (2007). „Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten“. Projektbericht im Netzwerk Lebenszyklusdaten, Forschungszentrum Karlsruhe, Hamburg Leinfelden-Echterdingen Karlsruhe. http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de.

/98/ SBT, Tafel 1052a

/99/ Schelling, W. (2003). „Hallenkonstruktionen Teil II“, Vorlesungsskript für Ingenieurholzbau B, Institut für Bautechnik und Holzbau der Universität Hannover.

/100/ Schneider, K.-J. (2001). „Bautabellen für Ingenieure“, 14. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf

/101/ Schweinle, J. (2000): Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen, Mitteilungen der Bundesforstanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Nr. 184

/102/ Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2007). http://www.brettschichtholz.de/, 04.07.2007.

/103/ TFI Teppich Forschungsinstitut Aachen e.V.: Persönliche Kommunikation: Dr. Baitz, PE International, mit Dipl.-Ing. Goerke, TFI Teppich Forschungsinstitut Aachen e.V., 2007

/104/ Thöme et al, 2000

/105/ TKB (2007). „Kleben von Parkett“. TKB-Merkblatt 1, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) und Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf.

/106/ Tritthart, W., Holzer, P., Fusko, M., Dimter, A., Tappeiner, G. und Graggaber, M. (2001). „Check it – Kriterienkatalog zur Berücksichtigung des Umweltschutzes im Beschaffungs- und Auftragswesen, Ordner 7: Technische Gebäudeausstattung und Wassernutzung, Kapitel Bodenbeläge.“ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Land Steiermark, Magistrat Wien, Land Niederösterreich, Land Salzburg, Land Burgenland. http://www.ifz.tugraz.at/oekoeinkauf/, 09.08.2007.

/107/ UNECE: The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

/108/ UNEP: The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer; Published 2000 by Secretariat for The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer & The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer; United Nations Environment Programme; Nairobi, Kenya [ISBN: 92-807-1888-6] http://www.unep.org/ozone

/109/ UNFCCC: Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change, 1997. http://unfccc.int/

/110/ VDP

/111/ VFF Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V.

/112/ Winter, S. (1996). „Grundlagen des Brandschutzes“, Reihe 3 Teil 4 folge 1, Informationsdienst Holz, Düsseldorf.

/113/ ZMP – Forst und Holz. Marktbilanz 2005. Zentrale Markt- und Preisberichtstelle GmbH. Bonn, 2005

Anhang A

Ökobilanzmodell Forst

In den nächsten Abschnitten werden die einzelnen Module des in Kapitel 2.2.7.1 vorgestellten Aufbaus der Frostmodellierung näher erläutert.

Biologische Produktion

Die biologische Produktion von Laubbäumen unterscheidet sich von der von Nadelbäumen: Bei Laubhölzern werden 18.112 MJ/t atro (absolut trocken) m. R. (mit Rinde) Energie aufgenommen, bei Nadelhölzern 19.271 MJ/t atro mit Rinde nach /101/.
Einstellbare Größen im Modell sind:

- Aufgenommene Energie [MJ/t atro m.R.)

Pflanzung

Zur Pflanzung wird ein Forstschlepper mit einer Mindestleistung von 60 kW angenommen. Der Dieselverbrauch wird nach /77/ mit ca. 7 l/MAS (Maschinenarbeitsstunden) angenommen, es werden ca. 500 Pflanzen/MAS /101/ gepflanzt. Die Pflanzenzahl pro Hektar ist abhängig von der Baumart nach /101/:

Buche: 8.000 Pflanzen/ha

Eiche: 10.000 Pflanzen/ha

Fichte: 3.000 Pflanzen/ha

Kiefer: 8.000 Pflanzen/ha

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Pflanzenzahl [gepflanzte Bäume/ha],
- Anzahl gepflanzte Stecklinge/MAS],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Kulturpflege

Kulturpflege bedeutet eine Beseitigung der Begleitvegetation wie Gräser, Farne und Sträucher. Sie wird mit einem Freischneidegerät motormanuell durchgeführt, es wird ein Verbrauch an Gemischkraftstoff von 2,4 l/MAS /101/ angenommen. Des Weiteren wird ein Zeitbedarf von 14 MAS/ha /101/ angenommen. Die Kulturpflege der einzelnen Baumarten unterscheidet sich nicht voneinander.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Leistung bzw. Maschinenarbeitsstunden für Pflegemaßnahmen [MAS/ha],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Jungwuchspflege

Die Jungwuchspflege soll die Bestandsqualität sichern. Daher werden vor der Dickungs- bzw. Gertenholzphase durch Insekten oder Wild geschädigte Bäume oder schlecht geformte Bäume entfernt. Die Maßnahme wird mittels eines Freischneidegeräts motormanuell ausgeführt. Jedoch wird nicht für jede Baumart die gleiche Anzahl an Maßnahmen durchgeführt. So werden bei den Laubbäumen Eiche und Buche jeweils zwei Maßnahmen, bei Fichte keine und bei Kiefer eine Maßnahme umgesetzt. Der Zeitbedarf pro MAS liegt bei ca. 15 MAS/ha /101/, der Kraftstoffbedarf beläuft sich analog zur Kulturpflege auf 2,4 l/MAS /101/.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Anzahl der Maßnahmen [],
- Leistung bzw. Maschinenarbeitsstunden für Pflegemaßnahmen [MAS/ha],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Läuterung

Die Läuterung, auch Dickungspflege genannt, dient der Reduktion der Bestockungsdichte, der selektiven Entfernung nicht gewünschter Bestandesglieder sowie des besseren und vitaleren Wachstums für die verbleibenden Bäume indem der Bestand ausgedünnt wird. Das anfallende Holz wird jedoch nicht genutzt. Die Maßnahmen werden entweder selektiv, schematisch oder selektiv-schematisch ausgeführt. Im vorliegenden Modell sind die selektive und schematische Läuterung als Prozess angelegt. Die selektive Läuterung wird mit Freischneidern oder leichten Motorsägen manuell durchgeführt, die schematische mit Mulch- oder Schlegelgeräten, die an Schlepper montiert werden.

Bei der selektiven Läuterung wird ein Zeitbedarf von 15 MAS/ha /101/ angenommen sowie ein Gemischtkraftstoffverbrauch von 2,4 l/MAS /101/. Für die schematische Läuterung wird ein Zeitbedarf von 3 MAS/ha /101/ und ein Dieselverbrauch des Forstschleppers von 6 l/MAS angenommen /101/.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Anzahl der Maßnahmen [ ],
- Leistung bzw. Maschinenarbeitsstunden für Pflegemaßnahmen [MAS/ha],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Durchforstung

Die Durchforstung dient der Steigerung des Holzertrags hinsichtlich Qualität und Masse. Dazu werden die Bäume aus dem Bestand entfernt, die entweder schlecht geformt sind oder die Vitalität anderer Bäume beeinträchtigen. Im vorliegenden Modell wird die Durchforstung mechanisch, d.h. mit Harvestern angenommen. Eingestellt werden kann der Kraftstoffverbrauch l/Fm. Die voreingestellten Verbrauchszahlen stammen von der CD „Holzernteverfahren – vergleichende Erhebung und Beurteilung vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (kwf)“ /77/.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Kraftstoffverbrauch pro Festmeter [l/Fm]

Die Größe „Kraftstoffverbrauch pro Festmeter“ ist eine sensible Größe, deren Veränderung das Ergebnis stark beeinflusst.

Endnutzung

Die Holzernte wurde im vorliegenden Modell mechanisiert angenommen, d.h. mittels Harvestern. Die eingestellten Kraftstoffverbrauchszahlen pro Festmeter Holz entstammen der CD Holzernteverfahren – vergleichende Erhebung und Beurteilung vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (kwf) /77/. Die Kraftstoffverbrauchszahlen wurden pauschal pro Festmeter angenommen und variieren je nach Holzart geringfügig. Im Prozess Endnutzung wird nach Marktpreis und Masse zwischen Stammholz und Industrieholz alloziiert, d.h. die Kraftstoffaufwendungen des Prozesses Endnutzung werden nach Marktpreis alloziiert, die der vorausgehenden Prozesse nach Masse. Die Preise und Massen wurden aus Holzmarktbericht 2005 /15/ bzw. der ZMP-Marktbilanz /12/ entnommen.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Kraftstoffverbrauch pro Festmeter [l/Fm]

Die Größe „Kraftstoffverbrauch pro Festmeter“ ist eine sensible Größe, deren Variation das Ergebnis stark beeinflusst.

Wegebau

Der Bau von Waldwegen zur Erschließung von Forstgebieten wird im vorliegenden Modell mit betrachtet. Hierbei wird von einem Dieselverbrauch eines Schleppers mit Spezialgerät von 12 l/MAS /101/ausgegangen. Die Leistung liegt bei ca. 450 m/MAS /101/. Es wird von einer Wegedichte von 54 lfm/ha ausgegangen, somit ergibt sich eine Maschinenleistung von 0,12 MAS/ha /101/.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Leistung bzw. Maschinenarbeitsstunden für Wegebaumaßnahmen [MAS/ha],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Kalkung

Um der Versauerung der Waldböden vorzubeugen, wird per Helikopter alle 10 bis 15 Jahre seit den 1980-er Jahren Kalk ausgebracht /87/. Dieser soll die Versauerung abpuffern. Es wird ein Kalkbedarf von 4.500 kg /87/ pro Hektar angenommen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass ein Helikopter pro MAS im Durchschnitt 20.000 kg Kalk /101/ ausbringt und dabei 170 l Kerosin benötigt.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Kalkbedarf [t],
- Leistung bzw. Ausbringung pro Stunde [t/MAS],
- Kraftstoffverbrauch [l/MAS].

Nasslagerung

Besonders bei großem Holzanfall aufgrund von Sturmereignissen kann dieses durch eine Nasslagerung konserviert werden. Hierbei wurde angenommen, dass das Holz mit einer dieselbetriebenen Maschine aufgepoltert wird. Dabei wird nach /101/ eine Leistung von 35 Fm/MAS angenommen und ein Kraftstoffverbrauch von 10 l/MAS. Für die Bewässerung wurde ein Stromverbrauch von 10,8 MJ/Fm und Jahr angenommen /101/. Nasslagerung wird nur für Stammholz angewendet.

Einstellbare Größen im Modell sind:

- Leistung [Fm/MAS], Stromverbrauch [MJ/Fm],
- Kraftstoffverbrauch[l/Fm],
- Zeitspanne der Bewässerung [Jahre]

Transport

Es wird ein Transport mit einem LKW-Zug/Sattel-Zug > 34 - 40 t zulässiges Gesamtgewicht und einer Nutzlast bis maximal 27 t angenommen. Da der Transporter leer in den Wald, und voll aus dem Wald zum Sägewerk fährt wird eine Auslastung von 50 % berechnet. Bei Stammholz wird eine maximale Nutzlast von 22 t, bei Industrieholz 20 t modelliert. Außerdem wird die Verteilung der Fahrtstrecke auf Autobahn, Innerorts und Außerorts wie folgt vorgenommen: 40 % Fahrten auf Autobahn, 30% Innerorts und 30 % Außerorts.

- Einstellbare Größen im Modell sind:
- Distanz hin und rück [km],
- Fahrtanteil Autobahn, Innerorts und Außerorts [],
- Nutzlast [t],
- Tatsächliche Last Hin- und Rückfahrt [t].

Die Veränderung der Größe Distanz beeinträchtigt das Ergebnis sehr.

Emissionen

Die Emissionswerte für Forstschlepper und Harvester basieren auf Veröffentlichungen aus den Jahren 1999 und 2006 /13/, /95/. Die Emissionen von Motorsägen wurden aufgrund von ausstehenden Informationen noch nicht aktualisiert (März 2007). Die Emissionswerte für Helikopter wurden überprüft bzw. angepasst /3/.

Nutzungsdauern Innenwände

Nutzungsdauern Innenwände und Innenwandteile nach /69/, /56/

Innenwände	**Produkt**	**Nutzungsdauer in Jahren nach**				
		/69/ (LB)	/69/ (IEMB)	/69/ (Schmitz)	/56/	gewählt
Innenwände und Stützen	Weichholz	70	70	31-50		
Innenwände und Stützen	Hartholz	90	100	31-50		
Innenwände und Stützen	Massivholz, HWS				80 - 100	
Innenwände und Stützen	**Holzständerwerk, Holztafel**				**70 - 90**	**70**
Innenwände und Stützen	Beton	80	120	>50		
Innenwände und Stützen	Ziegel	80	100	>50	70-90	
Innenwände und Stützen	**Stein**	**80**	**100**	**>50**	**90**	**70**
Bekleidungen	Holz			31-50		
Bekleidungen	**Gipskartonplatten**	**70**	**90**	**31-50**	**40-60**	**40**
Bekleidungen	**Putz**	**80**		**31-51**		**40**
Bekleidungen	Fliesen	95		31-52		
Innenwände und Stützen	**Metall**				**40-60**	**40**

Anhang B: Beschreibung der Wirkungskategorien

Primärenergiebedarf

Der Primarenergiebedarf kann durch unterschiedliche Arten an Energiequellen gedeckt werden. Der Primärenergiebedarf ist das Quantum an direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommenen Energie oder Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurde. Bei fossilen Energieträgern und Uran ist dies z.B. die Menge entnommener Ressource ausgedrückt in Energieäquivalent (Energieinhalt der Energierohstoffe). Bei nachwachsenden Energieträgern wird z.B. die energetisch charakterisierte Menge eingesetzter Biomasse beschrieben. Bei Wasserkraft handelt es sich um die Energiemenge, die aus der Änderung der potentiellen Energie (aus der Höhendifferenz) des Wassers gewonnen wird. Als aggregierte Werte werden folgende Primärenergien ausgewiesen:

Der Summenwert **„Primärenergiebedarf nicht erneuerbar“** angegeben in MJ charakterisiert im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. Erdgas und Erdöl werden sowohl zur Energieerzeugung, als auch stofflich als Bestandteil z.B. von Kunststoffen eingesetzt. Kohle wird im Wesentlichen zur Energieerzeugung genutzt. Uran wird ausschließlich zur Stromgewinnung in Kernkraftwerken eingesetzt.

Der Summenwert **„Primärenergiebedarf erneuerbar“** angegeben in MJ wird in der Regel separat ausgewiesen. Er umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse. Es ist in jedem Fall wichtig, dass genutzte Endenergie (z.B. 1 kWh Strom) und eingesetzte Primärenergie nicht miteinander verrechnet wird, da sonst der Wirkungsgrad zur Herstellung bzw. Bereitstellung der Endenergie nicht berücksichtigt wird.

Der Energieinhalt der hergestellten Produkte wird als stoffgebundener Energieinhalt ausgewiesen. Er wird durch den unteren Heizwert des Produkts charakterisiert. Es stellt den noch nutzbaren Energieinhalt dar.

Treibhauseffekt (GWP)

Der Wirkungsmechanismus des Treibhauseffektes kann im kleineren Maßstab, wie der Name schon sagt, in Gewächs- oder Treibhäusern beobachtet werden. Dieser Effekt findet auch im globalen Maßstab statt. Die eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erdoberfläche und wird dort teilweise absorbiert (was zu einer direkten Erwärmung führt) und teilweise als Infrarotstrahlung reflektiert. Der reflektierte Anteil wird in der Troposphäre durch sogenannte Treibhausgase absorbiert und richtungsunabhängig wieder abgestrahlt, so dass es teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird. Dies führt zu einer weiteren Erwärmung.

Zusätzlich zum natürlichen Treibhauseffekt ist auf Grund menschlicher Aktivitäten ein anthropogener Anteil am Treibhauseffekt zu verzeichnen. Zu den anthropogen freigesetzten Treibhausgasen gehören beispielsweise Kohlendioxid, Methan und FCKWs. Abbildung A 1 zeigt die wesentlichen Vorgänge des anthropogenen Treibhauseffekts. Die Bewertung des Treibhauseffekts sollte die mögliche langfristige globale Auswirkung berücksichtigen.

Das Treibhauspotenzial wird in Kohlendioxid - Äquivalent (CO_2-Äq.) angegeben. Dies bedeutet, dass alle Emissionen bezüglich ihres potentiellen Treibhauseffekts zu CO_2 ins Verhältnis gesetzt werden. Da die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre in die Berechnung mit einfließen, muss der für die Abschätzung betrachtete Zeithorizont immer mit angegeben werden. Üblich ist ein Bezug auf 100 Jahre.

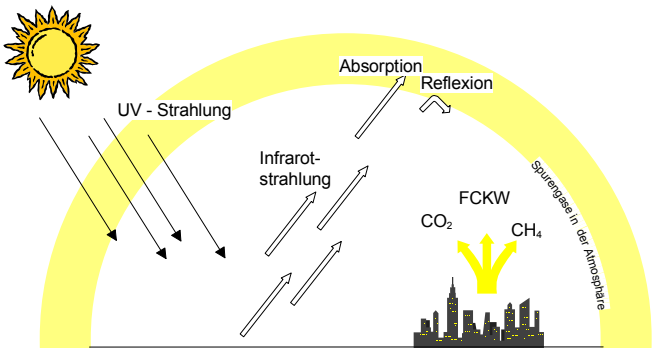


Abbildung A 1: **Anthropogener Treibhauseffekt /75/**

Versauerungspotenzial (AP)

Die Versauerung von Böden und Gewässern entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Regenwasser und Nebel von 5,6 auf 4 und darunter. Relevante Beiträge hierzu liefern Schwefeldioxid und Stickoxide mit ihren Säuren (H_2SO_4 und HNO_3). Schäden entstehen an Ökosystemen, wobei an erster Stelle das Waldsterben zu nennen ist. Dabei kann es zu einer direkten Schädigung oder indirekten Schädigung (Nährstoffauswaschung aus den Böden, verstärkte Löslichkeit von Metallen im Boden) kommen. Aber auch bei Bauwerken und Baustoffen nehmen die Schäden zu. Beispiele hierzu sind Metalle und Natursteine, die verstärkter Korrosion oder Zersetzung ausgesetzt sind. Abbildung A 2 stellt den wesentlichen Wirkungspfad der Versauerung dar.

Das Versauerungspotenzial wird in Schwefeldioxid – Äquivalent (SO_2-Äq.) angegeben. Es wird die Fähigkeit bestimmter Stoffe, H^+-Ionen zu bilden und abzugeben, als Versauerungspotenzial bezeichnet. Bestimmten Emissionen kann ein Versauerungspotenzial zugewiesen werden, indem die vorhandenen S-, N- und Halogenatome zur Molmasse der Emission ins Verhältnis gesetzt werden. Bezugssubstanz ist Schwefeldioxid.

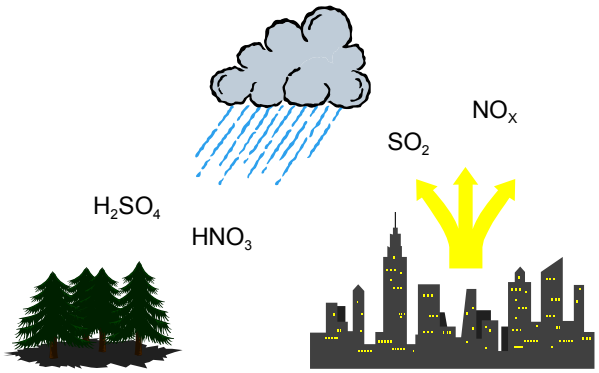


Abbildung A 2: **Versauerung /75/**

Bei der Bewertung der Versauerung ist zu berücksichtigen, dass es sich zwar um ein globales Problem handelt, die Effekte regional jedoch unterschiedlich ausfallen können.

Eutrophierungspotenzial (EP)

Unter Eutrophierung bzw. Nährstoffeintrag versteht man eine Anreicherung von Nährstoffen an einem bestimmten Standort. Man unterscheidet dabei zwischen aquatischem und terrestrischem Nährstoffeintrag. Beiträge zur Eutrophierung stammen aus Luftschadstoffen, Abwässern und der Düngung in der Landwirtschaft.

Die Folgen für Gewässer sind ein verstärktes Algenwachstum. Dadurch dringt weniger Sonnenlicht in tiefere Schichten vor. Dies für zu einer verringerten Photosynthese verbunden mit einer niedrigeren Sauerstoffproduktion. Auch wird für den Abbau abgestorbener Algen Sauerstoff benötigt. Beide Effekte bewirken eine verringerte Sauerstoffkonzentration im Wasser, was letztendlich zu Fischsterben und einer anaeroben Zersetzung (ohne Sauerstoff) führen kann. Es entsteht dabei unter anderem Schwefelwasserstoff und Methan. Man spricht auch von einem „Umkippen des Gewässers“.

Auf eutrophierten Böden kann man bei Pflanzen eine verstärke Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen sowie eine Schwächung des Festigkeitsgewebes beobachten. Ein zu hoher Nährstoffeintrag führt durch Auswaschungsprozesse zu einem erhöhten Nitratgehalt im Grundwasser. Das Nitrat gelangt so auch ins Trinkwasser. Nitrat zumindest in geringen Mengen ist toxikologisch unbedenklich. Problematisch ist jedoch Nitrit als Reaktionsprodukt von Nitrat, welches beim Menschen toxisch wirkt. Quellen der Eutrophierung sind in Abbildung A 3 dargestellt.

Das Eutrophierungspotenzial geht als Phosphat – Äquivalent (PO_4-Äq.) in die Bilanz ein. Wie beim Versauerungspotenzial ist auch beim Eutrophierungspotenzial zu berücksichtigen, dass die Effekte regional sehr unterschiedlich sind.

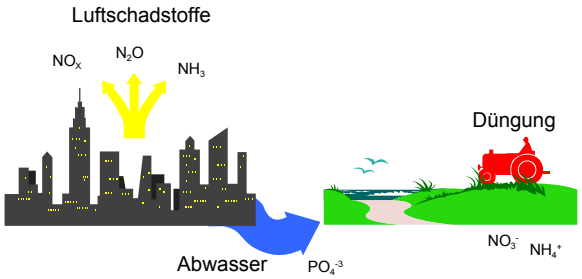


Abbildung A 3: **Quellen der Eutrophierung /75/**

Chemisches Photooxidantienbildungspotenzial (POCP)

Im Gegensatz zur Schutzfunktion in der Stratosphäre ist bodennahes Ozon als schädliches Spurengas einzuordnen. Photochemische Ozonbildung in der Troposphäre, auch als Sommersmog bezeichnet, steht im Verdacht, zu Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch. Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entstehen aus Stickoxid und Kohlenwasserstoffemissionen unter komplexen chemi-

schen Reaktionen aggressive Reaktionsprodukte, wobei das wichtigste Reaktionsprodukt Ozon ist. Stickoxide allein bewirken keine hohe Ozonkonzentration.

Kohlenwasserstoffemissionen treten bei unvollständiger Verbrennung, beim Umgang mit Ottokraftstoffen (Lagerung, Umschlag, Tanken etc.) oder beim Umgang mit Lösungsmitteln auf. Hohe Ozonkonzentrationen treten bei hohen Temperaturen, geringer Luftfeuchtigkeit, geringem Luftaustausch sowie hohen Kohlenwasserstoffkonzentrationen auf. Da das Vorhandensein von CO (meist vom Verkehr) das gebildete Ozon zu CO_2 und O_2 reduziert, kommt es in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen oft nicht zu den höchsten Ozon-Konzentrationen. Diese treten eher in Reinluftgebieten (z.B. Wäldern) auf, in welchen kaum CO vorhanden ist (Abbildung A 4).

Das Photooxidantienpotenzial (POCP) wird in der Ökobilanz als Ethen-Äquivalent (C_2H_4-Äq.) angegeben. Bei einer Bewertung muss berücksichtigt werden, dass die tatsächlichen Ozonkonzentrationen von der Witterung abhängen. Ebenso muss der lokale Charakter der Ozonbildung integriert werden.

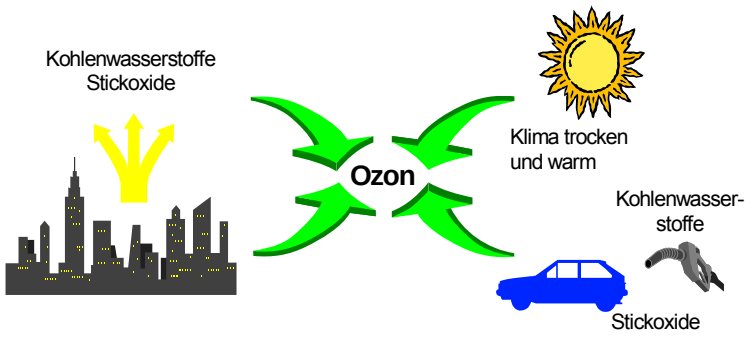


Abbildung A 4: **Bodennahe Ozonbildung (Sommersmog) /75/**

Ozonabbaupotenzial (ODP)

Ozon entsteht in großen Höhen durch die Bestrahlung von Sauerstoff-Molekülen mit kurzwelligem UV-Licht. Dies führt zur Bildung der sogenannten Ozonschicht in der Stratosphäre (15 - 50 km Höhe). Rund 10 % des Ozons gelangt durch Vermischungsvorgänge in die Troposphäre. Trotz seiner geringen Konzentration ist die Wirkung des Ozons wichtig für das Leben auf der Erde. Ozon absorbiert die kurzwellige UV-Strahlung und gibt diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder ab. Nur ein Teil der UV-Strahlung gelangt auf die Erde. Durch anthropogene Emissionen kommt es zum Abbau der Ozonschicht. Allgemein bekannt wurde dies durch Berichte über das Ozonloch. Beschränkte sich dies dabei auf die Gebiete der Antarktis, so ist jetzt auch, wenn auch nicht im selben Ausmaß, ein Ozonabbau über den mittleren Breiten (z.B. Europa) erkennbar.

Eine Ozon abbauende Wirkung wird im Wesentlichen zwei Stoffgruppen zugeschrieben. Dies sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) und die Stickoxide (NO_X). Abbildung A 5 zeigt die wesentlichen Aspekte des Ozonabbaus.

Ein Effekt des Ozonabbaus ist die Erwärmung der Erdoberfläche. Zu berücksichtigen ist insbesondere aber auch die Empfindlichkeit von Mensch, Tier und Pflanzen gegenüber UV-B und UV-A Strahlung. Denkbare Auswirkungen sind z.B. Wuchsveränderungen bzw. Minderung der Ernteerträge (Störung der Photosynthese), Tumorindikationen (Hautkrebs und Augenerkrankungen) und die Abnahme des Meeresplanktons, was erhebliche Auswirkungen auf die Nahrungskette nach sich ziehen würde.

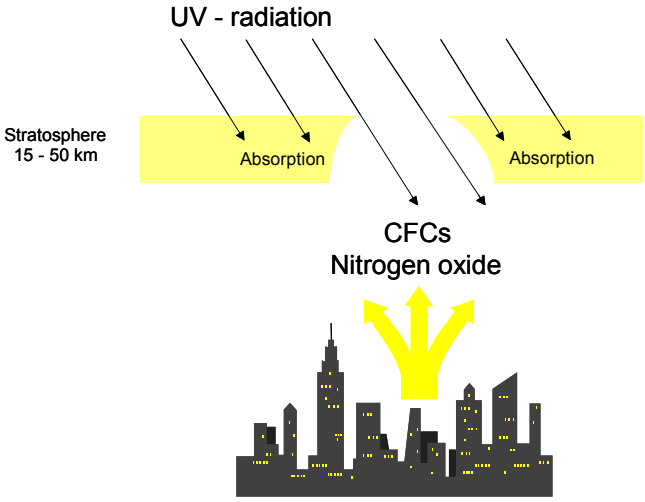


Abbildung A 5: **Ozonabbau /75/**

Im Rahmen des klassischen Konzeptes zur Berechnung des Ozonabbaupotenzials werden vor allem anthropogen emittierte Halogenkohlenwasserstoffe, die als Katalysatormolekül viele Ozonmoleküle zerstören können, erfasst. Aus den Ergebnissen von Modellrechnungen für unterschiedliche ozonrelevante Stoffe ergeben sich sogenannte „Ozonschädigende Potenziale“ (ODP: Ozone Depletion Potenzial). Dabei wird zunächst ein Szenario mit fester Emissionsmenge eines Referenz-FCKW (R11) durchgerechnet. Als Ergebnis erhält man im Gleichgewicht einen bestimmten Wert der Gesamtozonreduktion. Für jede Substanz, für die ein Ozonabbaupotenzial errechnet werden soll, wird das gleiche Szenario betrachtet, wobei R11 durch die gleiche Menge der Substanz ersetzt wird. Als Ergebnis erhält man das Ozonabbaupotenzial für die jeweilige Substanz, das in R11-Äquivalenten angegeben wird.

Eine Bewertung des Ozonabbaupotenzials sollte die langfristigen, globalen und zum Teil irreversiblen Auswirkungen berücksichtigen.

Anhang C: Lebensdauer von Wandaufbauten und deren Komponenten

Bauteilgliederung		Produkt	Lebensdauer in Jahren)[1]					)[2]
			LB	IEMB	Schmitz	befragte Wohnungs-unternehmen	IFB	Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin
Innenwände	Innenwände und Stützen	Weichholz	70	70	31-50			
Innenwände	Innenwände und Stützen	Hartholz	90	100	31-50			
tragende Innenwände		Massivholz, HWS						80 - 100
nicht tragende Innenwände		Holzständerwerk, Holztafel						70 - 90
Innenwände	Innenwände und Stützen	Beton	80	120	>50			
Innenwände	Innenwände und Stützen	Ziegel	80	100	>50			
Innenwände	Innenwände und Stützen	Stein	80	100	>50			
Innenwände	Bekleidungen	Holz			31-50			
Innenwände	Bekleidungen	Gipskartonplatten	70	90	31-50			
Innenwände	Bekleidungen	Putz	80		31-51			
Innenwände	Bekleidungen	Fliesen	95		31-52			
Decken	Deckenkonstruktionen	Weichholz	70	60	>50	80	80	
Decken	Deckenkonstruktionen	Hartholz	90	90	>50	80	80	
Decken	Deckenkonstruktionen	Holzbalken						80 - 100
Decken	Deckenkonstruktionen	Beton		100	>50			
Decken	Deckenkonstruktionen	Stahl	80	60	>50			
Dachkonstruktion	Flachdach	Holz	70		>50	80		

)[1] IFB-Hannover. (2004). "Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau." Institut für Bauforschung e.V., Hannover.

)[2] Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH. (2005). "Bauteilspezifische Belastungen - Teilbericht: Instrumente zur qualitätsabhängigen Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Materialien und Konstruktionen."

Anhang D: Kommunikation - Handreichungen

Die nachfolgenden Seiten beinhalten die im Lauf des Projektes erstellten Handreichungen.

ÖkoPot Planungshilfe Innenwand

Ökologischer Vergleich verschiedener Innenwandsysteme

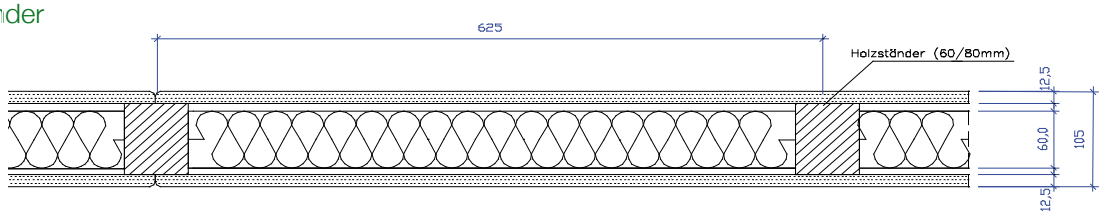
Der Kunde, der plant, mit welchem Material er seine Innenwände bauen bzw. sanieren möchte, hat aus technischer Sicht mehrere Alternativen. Bei der Entscheidung für ein bestimmtes System spielen die technische Gründe eine wichtige Rolle (z.B. die Dauer der Baumaßnahme). Bei Innenwänden is die Schalldämmung besonders wichtig. Daher wurden im Vergleich Wandsysteme betrachtet, die das selbe Schalldämmaß aufweisen.

Die ökologische Analyse

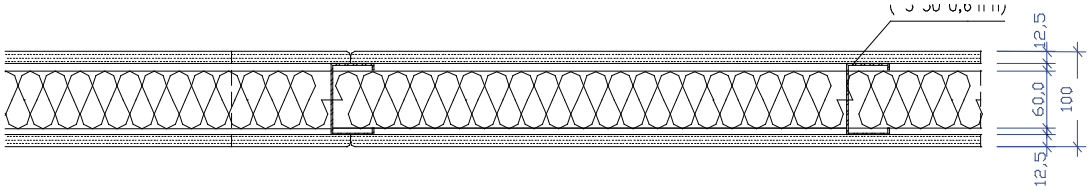
Wissenschaftlern der Universitäten Hamburg und Stuttgart ist es gelungen, neben diesen technischen Argumenten noch das Argument der Umwelt, Ökologie und des Klimaschutzes in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Im Verfahren der so genannten Ökobilanz wurden verschiedene Produkte und Ihre Herstellung unter dem Aspekt verglichen, wie sehr sie der Umwelt schaden. Der Vergleich berücksichtigt sowohl Herstellung, unterschiedlich langen Gebrauch als auch die Entsorgung. Für die Innenwand wurde ein Nutzungszeitraum von 50 Jahren verglichen.

Die wichtigsten Alternativen

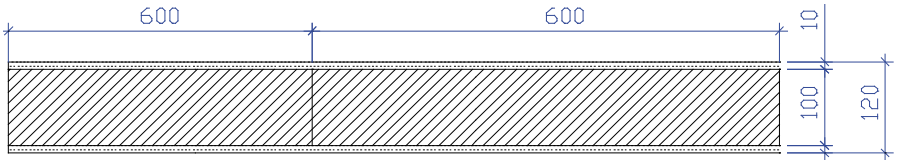
Holz-Ständer



Metall-Ständer



Massivbau*



* Darstellung beispielhaft, in die Untersuchung gingen verschiedene Massivbausysteme ein

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Planungshilfe Innenwand

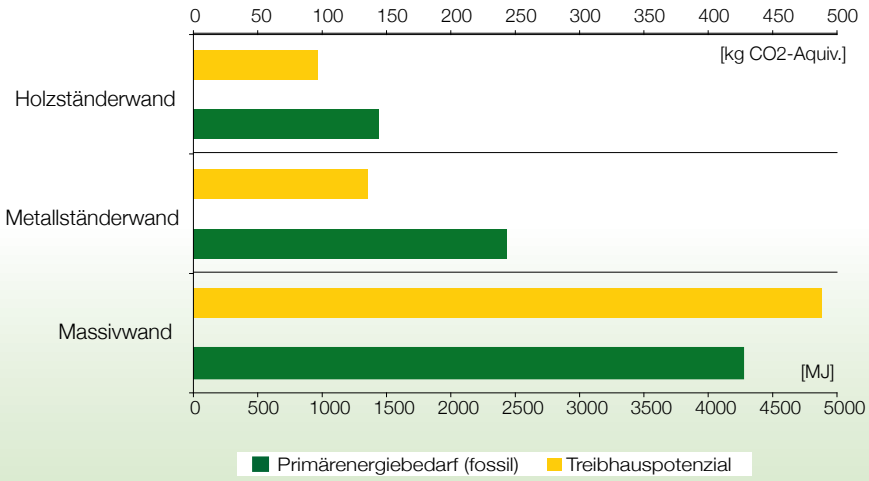
Ökologischer Vergleich verschiedener Innenwandsysteme

Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung

An dieser Stelle wird das Ergebnis gezeigt, welcher Treibhauseffekt (CO_2-Emissionen) und welcher Energieverbrauch (Primärenergie) mit der Entscheidung für ein bestimmtes Innenwandsystem verbunden sind.

Treibhauspotenzial und Energieverbrauch

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial verschiedener Innenwandsysteme,
Eine Innenwand 10,75 $m^{2,}$
50 Jahre Nutzungsdauer



Ergebnis:

Das Treibhauspotenzial der Massivwand ist 5 mal so hoch wie das der Innenwand aus Holzständerwerk

Absolut: Die Umweltwirkung der Kaufentscheidung

Es erspart der Umwelt ...

... einen Verbrauch von Primärenergie von 3 leichtem Heizöl ... oder den Treibhauseffekt von 1,5 Jahre Autofahren*

... bei der Ausführung der Innenwand in Holz- statt Massivbauweise (Einfamilienhaus Wohnfläche 108 m^2)

* berechnet nach dem geplanten europäischen Richtwert von 130 g CO_2/km und der durchschnittlichen Fahrleistung in Deutschland

Informieren Sie sich über ÖkoPot und die Möglichkeiten, Produkte im Bezug auf ihre Umweltwirkung zu vergleichen unter

www.oekopot.de

für weitere Fragen:
Dr. Marcus Knauf, mknauf@knauf-consulting.de

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

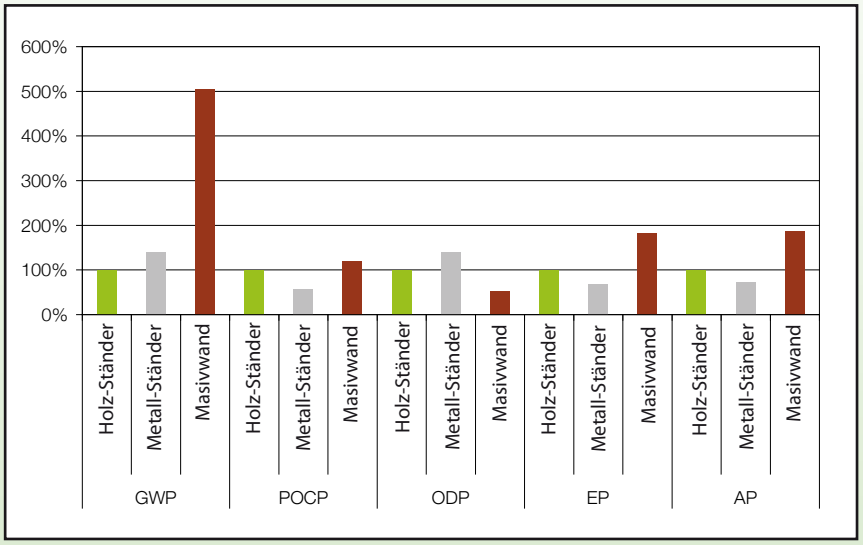
Holzständer-Innenwand

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP)
sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Die Holzständerinnenwand erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Er ließe ich bei der Wahl einer anderen Dämmung aber noch verbessern. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedene Innenwände im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Innenwand (normalisiert Deutschland 2001) pro 10,5 m² Innenwand

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- Holz- und Metall-Ständerwand mit durchschnittlich besseren Werten
- ODP: Massivbau am Besten
- EP, AP und POCP: besser als Massivbau, aber schlechter als Metall-Ständerwand

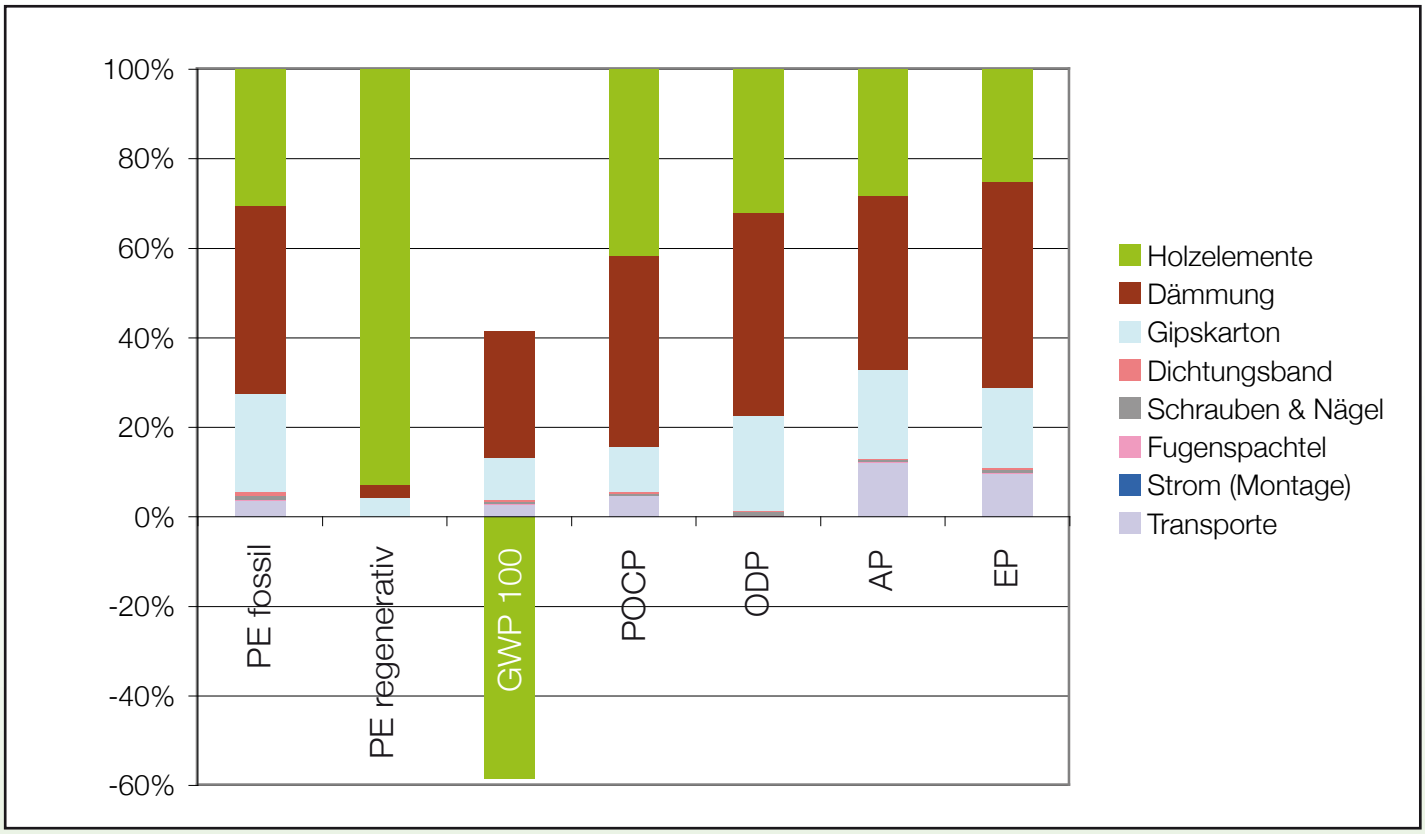
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Holzständer-Innenwand

Welche Prozesse der Herstellung und Ausführung sind besonders relevant?



Detailanalyse Holzinnenwand: Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen:

Sowohl beim fossilen Primärenergiebedarf als auch in allen betrachteten Wirkungskategorien sind die Hauptreiber die gleichen. Dominierend sind dabei die Herstellung der Holzelemente, also die Herstellung von Konstruktionsvollholz KVH, die Herstellung der Dämmung aus Mineral- und Steinwolle sowie die Bereitstellung von Gipskartonplatten.
Einen entscheidenden ökologischen Vorteil erzielt man, wenn man ein Dämmmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen wählt und ggf. auch noch die Gipskartonplatte durch einen Holzwerkstoff substituiert.

Der Einfluss des Transports macht sich nur bezüglich des Eutrophierungs- und des Versauerungspotenzials bemerkbar. Sonst ist der Transport vernachlässigbar.

Bezüglich regenerativen Primärenergiebedarfs gibt es nur einen Haupteinflussnehmer. Dies ist die Herstellung der Holzelemente und der damit verbundene natürliche nicht-fossile Primärenergiebedarf. Die restlichen Beiträge stammen weitgehend aus dem Anteil regenerativer Energie im deutschen Strommix.

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Planungshilfe Außenwand

Ökologischer Vergleich verschiedener Außenwandsysteme

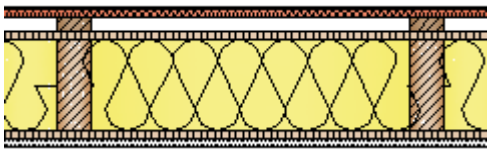
Der Bauherr, der plant, in welchem Material er sein Haus errichten möchte, hat aus technischer Sicht mehrere Alternativen. Hier werden Systeme aus Holz und Stein gegenübergestellt.
Bei der Entscheidung für ein bestimmtes System spielen die technische Gründe eine wichtige Rolle (z.B. die Dauer der Baumaßnahme, Schallschutz). Bei der Außenwand ist die Wärmedämmung besonders wichtig. Daher wurden im Vergleich Wandsysteme betrachtet, die die selbe Wärmedämmung erreichen.

Die ökologische Analyse

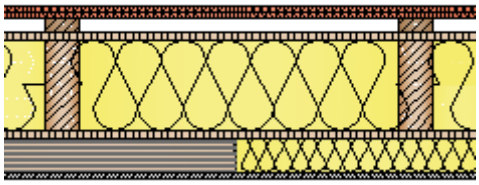
Wissenschaftlern der Universitäten Hamburg und Stuttgart ist es gelungen, neben den technischen Argumenten noch das Argument der Umwelt, Ökologie und des Klimaschutzes in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Im Verfahren der so genannten Ökobilanz wurden verschiedene Produkte und Ihre Herstellung unter dem Aspekt verglichen, wie sehr sie der Umwelt schaden. Der Vergleich berücksichtigt sowohl Herstellung, unterschiedlich langen Gebrauch als auch die Entsorgung. Für den Außenwand wurde ein Nutzungszeitraum von 100 Jahren verglichen.

Die wichtigsten Alternativen

Holzbau

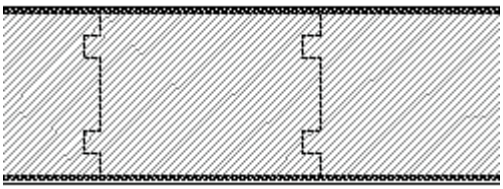


Holzständerwand ohne Installationsebene

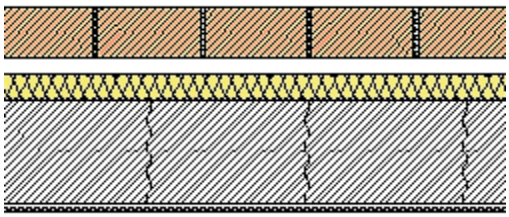


Holzständerwand mit Installationsebene

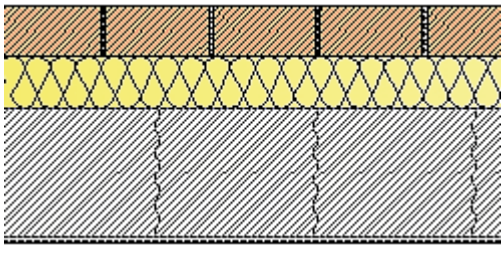
Massivbau



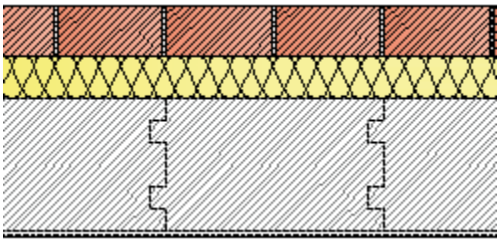
Massivwand Porenbeton, einschalig



Massivwand Poroton, Luftsch./Dämmung



Massivwand Poroton, Kerndämmung



Massivwand Poroton, zweisch./Kerndämmung

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Planungshilfe Außenwand

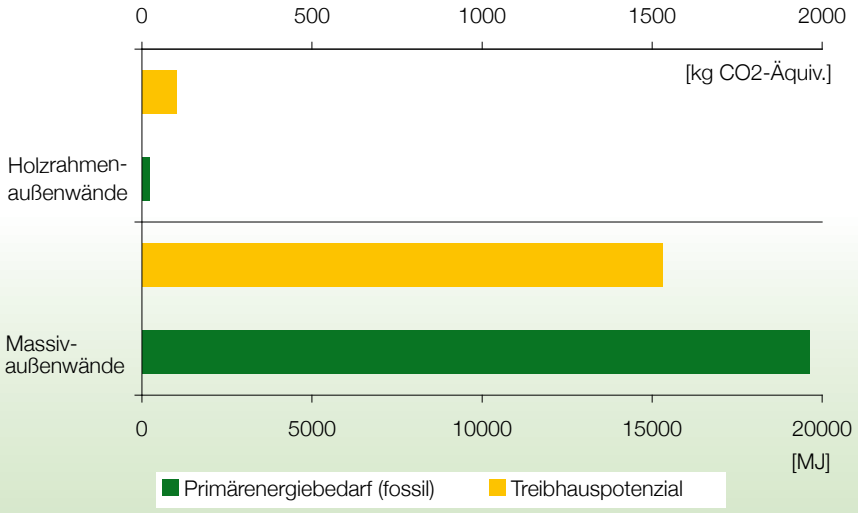
Ökologischer Vergleich verschiedener Außenwandsysteme

Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung

An dieser Stelle wird das Ergebnis gezeigt, welcher Treibhauseffekt (CO_2-Emissionen) und welcher Energieverbrauch (Primärenergie) mit der Entscheidung für ein bestimmtes Außenwandsystem verbunden sind.

Treibhauspotenzial und Energieverbrauch

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial
Marktmix verschiedener Außenwandsysteme,
ca 14,5 m^2
100 Jahre Nutzungsdauer



Ergebnis:

Das Treibhauspotenzial der Holzaußenwand beträt nur ca. 7 % des Werts für die Massivaußenwand

Absolut: Die Umweltwirkung der Kaufentscheidung

Es erspart der Umwelt ...

... einen Verbrauch von Primärenergie von 24 leichtem Heizöl

... oder den Treibhauseffekt von 6,7 Jahre Autofahren*

... bei der Ausführung der Gebäudehülle (Außenwand) in Holz- statt Massivbauweise (Einfamilienhaus Wohnfläche 108 m^2)

* berechnet nach dem geplanten europäischen Richtwert von 130 g CO_2/km und der durchschnittlichen Fahrleistung in Deutschland

Informieren Sie sich über ÖkoPot und die Möglichkeiten, Produkte im Bezug auf ihre Umweltwirkung zu vergleichen unter

www.oekopot.de

für weitere Fragen:
Dr. Marcus Knauf, mknauf@knauf-consulting.de

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

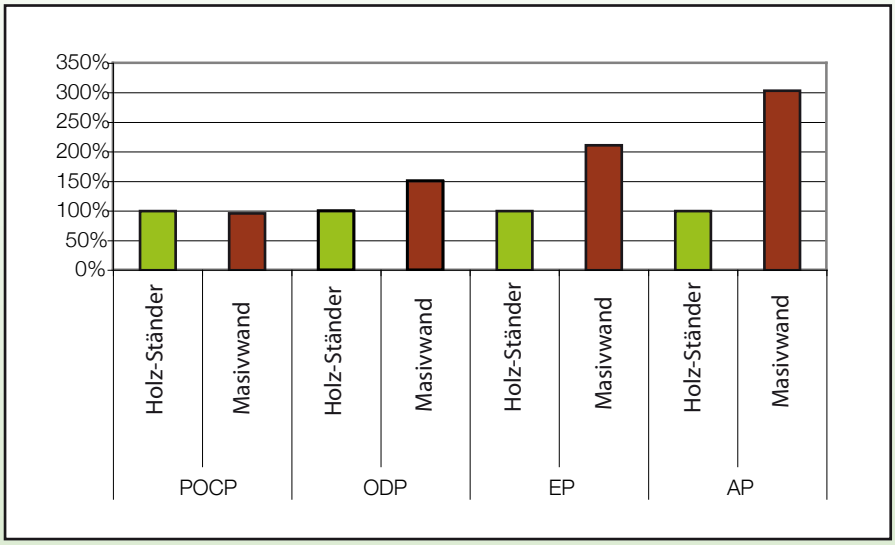
Holzständer-Außenwand

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP) sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Die Holzständerwand erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedenen Außenwände im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Außenwand (normalisiert Deutschland 2001) pro 14,5 m² Innenwand

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- Die Holzwand zeigt in drei von vier Kategorien deutliche bessere Werte als die Massivwand
- POCP: gleiches Niveau der beiden Systeme

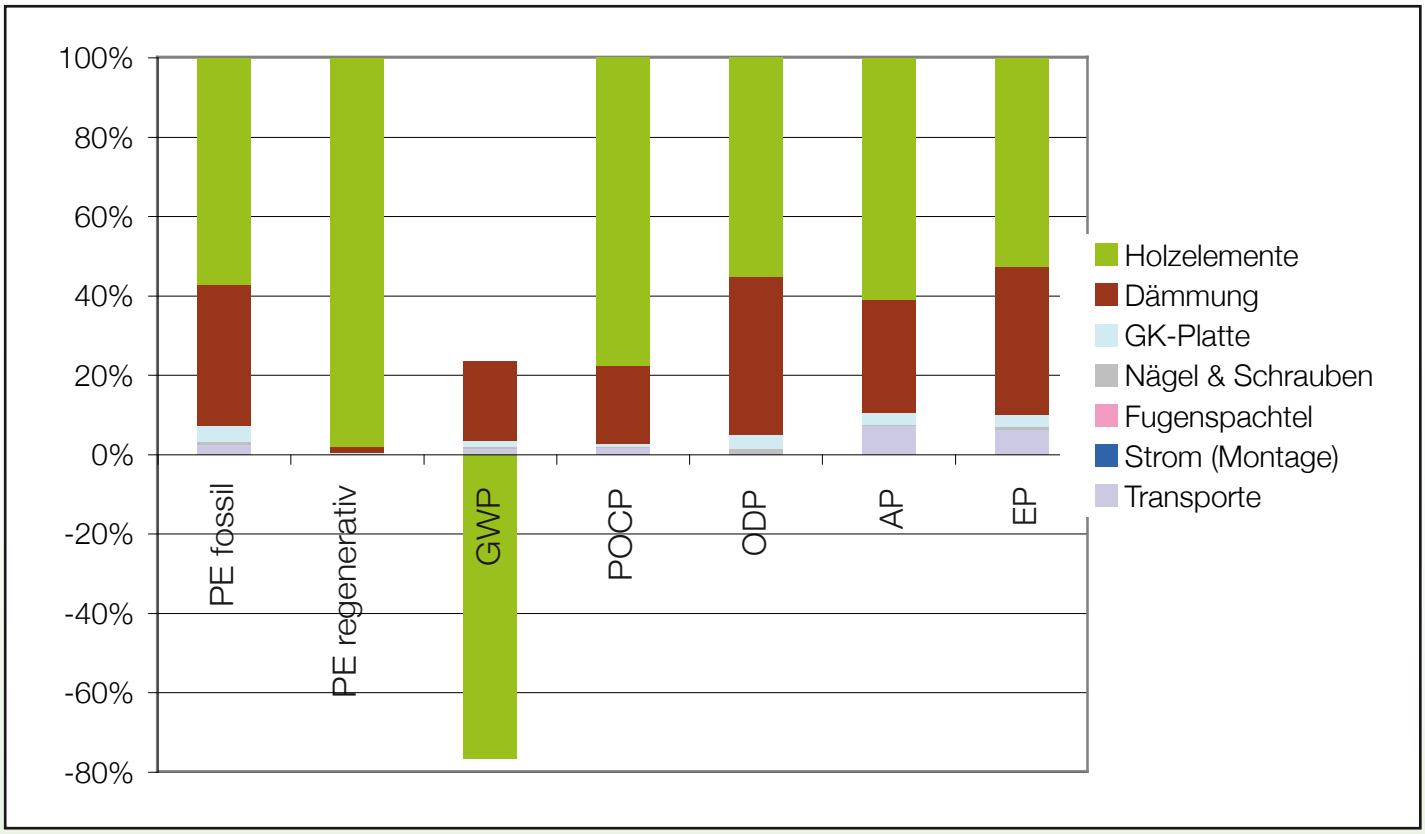
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Holzständer-Außenwand

Welche Prozesse der Herstellung und Ausführung sind besonders relevant?



Detailanalyse Holzaußenwand: Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen:

Dominierend sind die Herstellung der Holzelemente, also die Herstellung von Konstruktionsvollholz (KVH) sowie die Herstellung der Dämmung aus Mineral- und Steinwolle.

Der Einfluss des Transports zeigt sich nur bezüglich des Eutrophierungs- und des Versauerungspotenzials. Sonst ist der Transport vernachlässigbar.

Bezüglich des regenerativen Primärenergiebedarfs gibt es nur einen Haupteinflussnehmer: die Herstellung der Holzelemente und der damit verbundene erneuerbare Primärenergiebedarf.

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Planungshilfe Hallenträger

Ökologischer Vergleich verschiedener Hallenträger

Bei der Planung einer Halle gibt es für die Wahl der Hallenträger Alternativen.
Bei der Entscheidung für ein bestimmtes System spielen technische Gründe eine wichtige Rolle (z.B. der Instandhaltungsaufwand, Brandschutz, Gewicht). Bei Hallenträgern ist das Tragverhalten besonders wichtig. Daher wurden Hallenträger verglichen, die bei einer bestimmtenTraglast 10 m überspannen.

Die ökologische Analyse

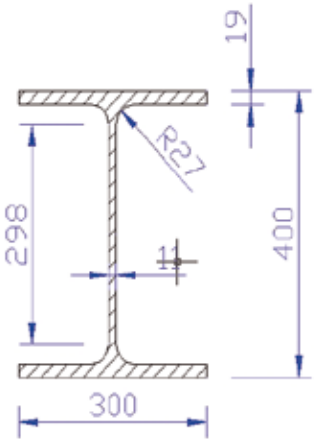
Wissenschaftlern der Universitäten Hamburg und Stuttgart ist es gelungen, neben den technischen Argumenten noch das Argument der Umwelt, Ökologie und des Klimaschutzes in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Im Verfahren der so genannten Ökobilanz wurden verschiedene Produkte und Ihre Herstellung unter dem Aspekt verglichen, wie sehr sie der Umwelt schaden. Der Vergleich berücksichtigt sowohl Herstellung, unterschiedlich langen Gebrauch als auch die Entsorgung. Für die Hallenträger wurde die Nutzungszeitraum mit der Gebäudenutzungsdauer angesetzt.

Die wichtigsten Alternativen

Holz: BSH-Träger

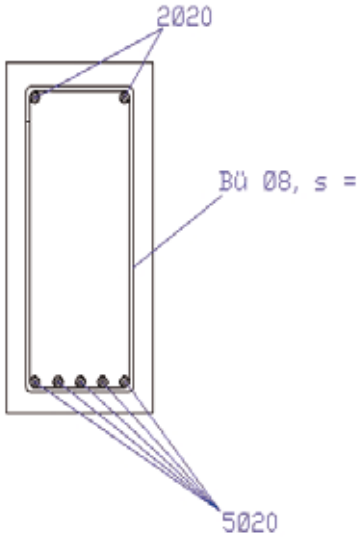
nach DIN 1052 und EC 5

Stahlträger



nach DIN 1025-3

Stahl-Betonträger



nach DIN 1045

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Planungshilfe Hallenträger

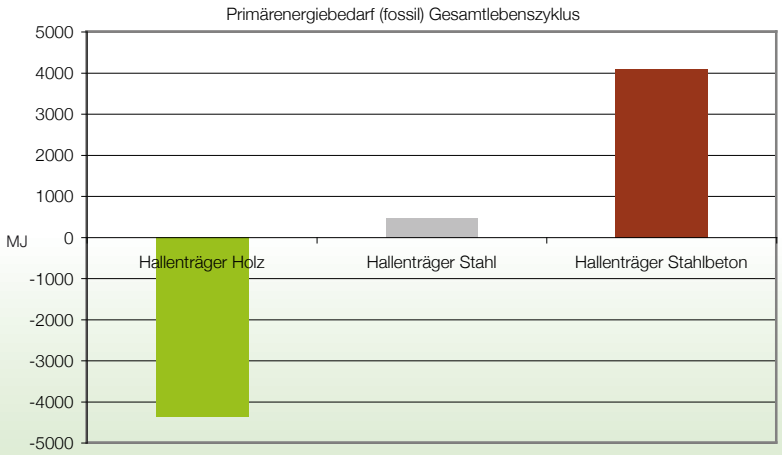
Ökologischer Vergleich verschiedener Hallenträger

Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung

An dieser Stelle wird das Ergebnis gezeigt, welcher Treibhauseffekt (CO_2-Emissionen) und welcher Energieverbrauch (Primärenergie) mit der Entscheidung für einen bestimmten Hallenträger verbunden sind.

Treibhauspotenzial und Energieverbrauch

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial
Marktmix verschiedener Hallenträger,
ein Träger mit Überspannung 10 m
Träger gleicher Traglast
Nutzung = Gesamtlebensdauer des Gebäudes



Absolut: Die Umweltwirkung der Kaufentscheidung

Es erspart der Umwelt ...

den Treibhauseffekt von 40 Jahre Autofahren*

... bei der Ausführung des Daches einer durchschnittlichen Gewerbehalle in Brettschichtholz statt in den Alternativen

* berechnet nach dem geplanten europäischen Richtwert von 130 g CO_2/km und der durchschnittlichen Fahrleistung in Deutschland

Informieren Sie sich über ÖkoPot und die Möglichkeiten, Produkte im Bezug auf ihre Umweltwirkung zu vergleichen unter

www.oekopot.de

für weitere Fragen:
Dr. Marcus Knauf, mknauf@knauf-consulting.de

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

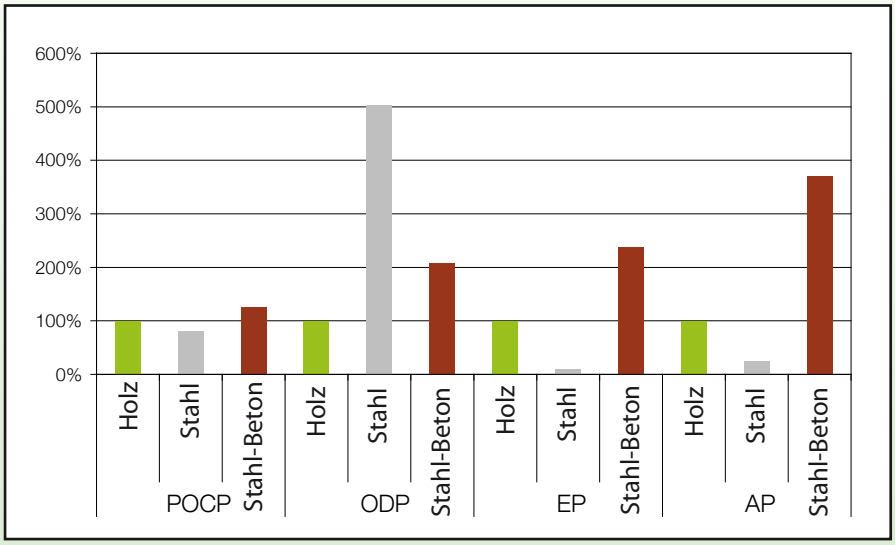
Hallenträger aus BSH

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP)
sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Der Hallenträger aus Brettschichtholz erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedenen Hallenträger im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Hallenträger (normalisiert Deutschland 2001), Träger Spannweite 10 m

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- Gegenüber dem Stahl-Beton-Trägerzeigt ist der BSH-Träger in allen Kategorien überlegen
- Beim ODP ist BSH deutlich besser als der Stahlträger, biem POCP etwas schlechter
- In EP und AP ist Stahl deutlich besser als Holz

Die Wirkungskategorien sind sehr stark von den Einflüssen und Annahmen für die Entsorgung beeinflusst und dominiert (reiner Materialvergleich).

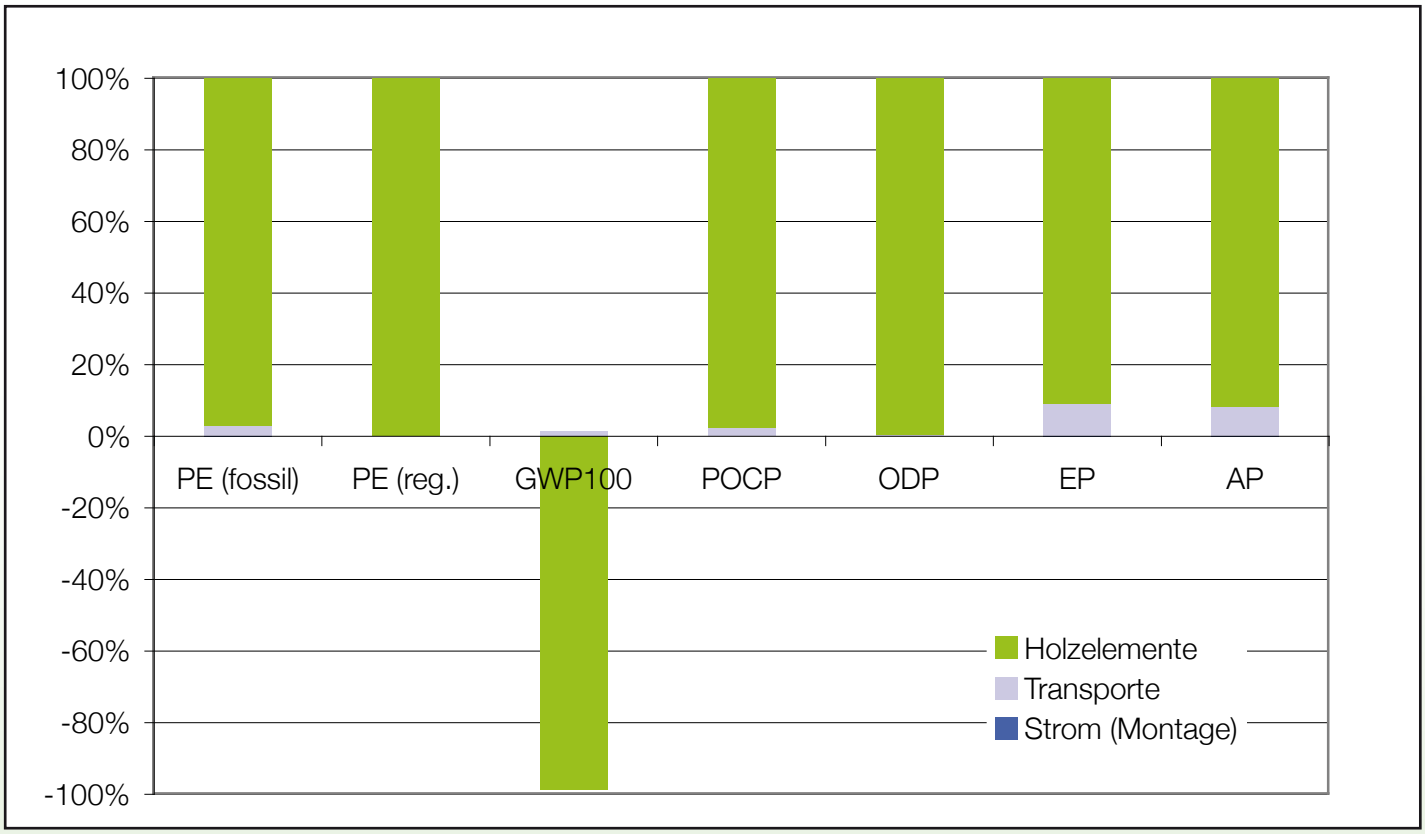
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Hallenträger aus BSH

Welche Prozesse der Herstellung besonders relevant?



Detailanalyse BSH-Träger: Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen:

Bei der Herstellung der Hallenträger aus Holz ist die Herstellung des Brettschichtholzes für den Hallenträger in allen Kategorien der dominante Einflussnehmer.

Dies ist nicht weiter verwunderlich, da für die Hallenträger außer Holz keine weiteren Materialen verwendet werden. Der Einfluss der Transporte ist lediglich beim Eutrophierungs- und beim Versauerungspotenzial erkennbar, bewegt sich aber auch in diesen Kategorien in der Größenordnung von 5-10%.

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Kaufberatung Fußboden

Ökologischer Vergleich verschiedener Fußbodenbodenbeläge

Der Kunde, der den Kauf eines Fußbodens plant, steht vor zahlreichen Alternativen: Aus technischer Sicht gibt es für das eine oder andere Produkt Vor- und Nachteile. Beim Fußboden spielen z.B. Dauerhaftigkeit, Hygiene oder Einfachheit der Verlegung eine Rolle.

Die ökologische Analyse

Wissenschaftlern der Universitäten Hamburg und Stut tgart ist es gelungen, neben diesen technischen Argumenten noch das Argument der Umwelt, Ökologie und des Klimaschutzes in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Im Verfahren der so genannten Ökobilanz wurden verschiedene Produkte und Ihre Herstellung unter dem Aspekt verglichen, wie sehr sie der Umwelt schaden. Der Vergleich berücksichtigt sowohl Herstellung, unterschiedlich langen Gebrauch als auch die Entsorgung. Für den Fußboden wurde ein Nutzungszeitraum von 25 Jahren verglichen.

Die wichtigsten Alternativen

Parkett | Laminat | Teppich | Linoleum | PVC | Fliesen

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Kaufberatung Fußboden

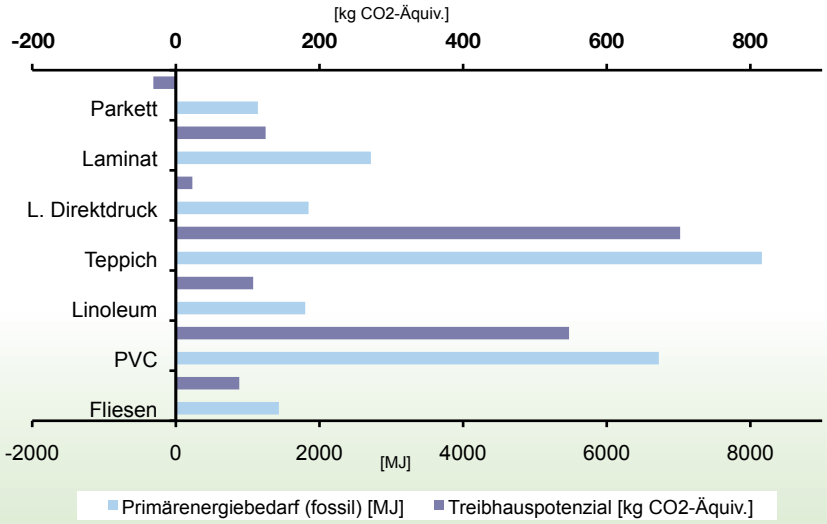
Ökologischer Vergleich verschiedener Fußbodenbodenbeläge

Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung

An dieser Stelle wird das Ergebnis gezeigt, welcher Treibhauseffekt (CO_2-Emissionen) und welcher Energieverbrauch (Primärenergie) mit der Entscheidung für einen bestimmten Fußboden verbunden sind.

Treibhauspotenzial und Energieverbrauch

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial verschiedener Fußböden, 20 m², 25 Jahre Nutzungsdauer



Konkret: Die Umweltwirkung der Kaufentscheidung

Eine Entscheidung für den Fußboden aus Holz statt für einen durchschnittlichen Nicht-Holzfußbodens* erspart der Umwelt ...

... einen Verbrauch von Primärenergie von 0,62 leichtem Heizöl ... oder den Treibhauseffekt von 3 Monaten Autofahren**

... bei der Verwendung eines Holzfußbodens (1 Raum 20 m²)

... einen Verbrauch von Primärenergie von 3 leichtem Heizöl ... oder den Treibhauseffekt von 1,3 Jahren Autofahren**

... bei der Verwendung eines Holzfußbodens (Einfamilienhaus, 97 m² relevante Wohnfläche)

* unterstellt ist der Marktmix aus Parkett/Laminat und der Mix aus Nicht-Holzfußböden
** berechnet nach dem geplanten europäischen Richtwert von 130 g CO_2/km und der durchschnittlichen Fahrleistung in Deutschland

Informieren Sie sich über ÖkoPot und die Möglichkeiten, Produkte im Bezug auf ihre Umweltwirkung zu vergleichen unter

www.oekopot.de

für weitere Fragen:
Dr. Marcus Knauf, mknauf@knauf-consulting.de

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

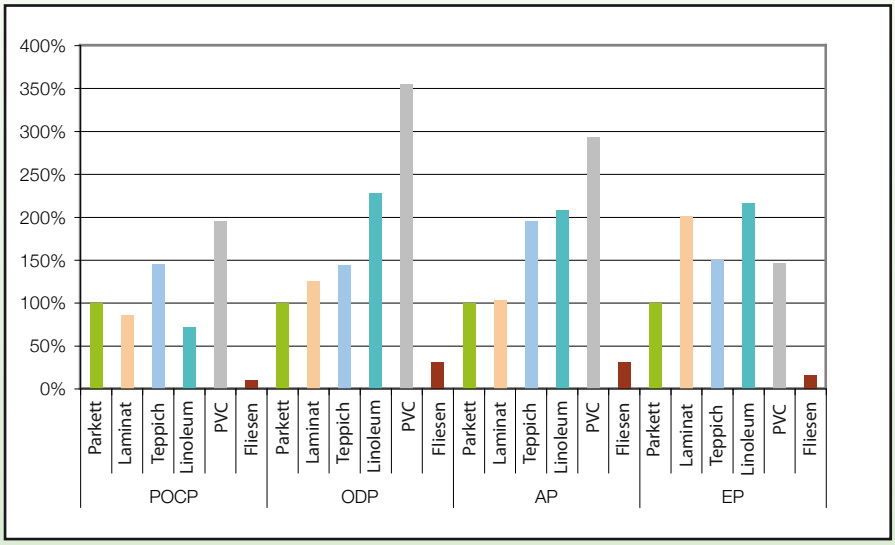
Laminatfußboden

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP)
sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Der Laminatfußboden erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedenen Fußböden im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden (normalisiert Deutschland 2001) pro 20 m²

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- Laminatfußboden zeigt keine Ausreißer
- Klimaschutz und ODP: + +
- Primärenergiebedarf und AP :+, aber Verbesserungspotenzial
- POCP: 0, hier Prioritäten zur Verbesserung setzen
- EP: -, hier Prioritäten zur Verbesserung setzen

Grund für die relativ hohen Werte bei POCP und EP sind in erster Linie Emissionen von flüchtigen organischen Kohlenstoffen bei der Herstellung (Verbesserung durch vermehrten Einsatz lösemittelarmer Leime oder Lacke).

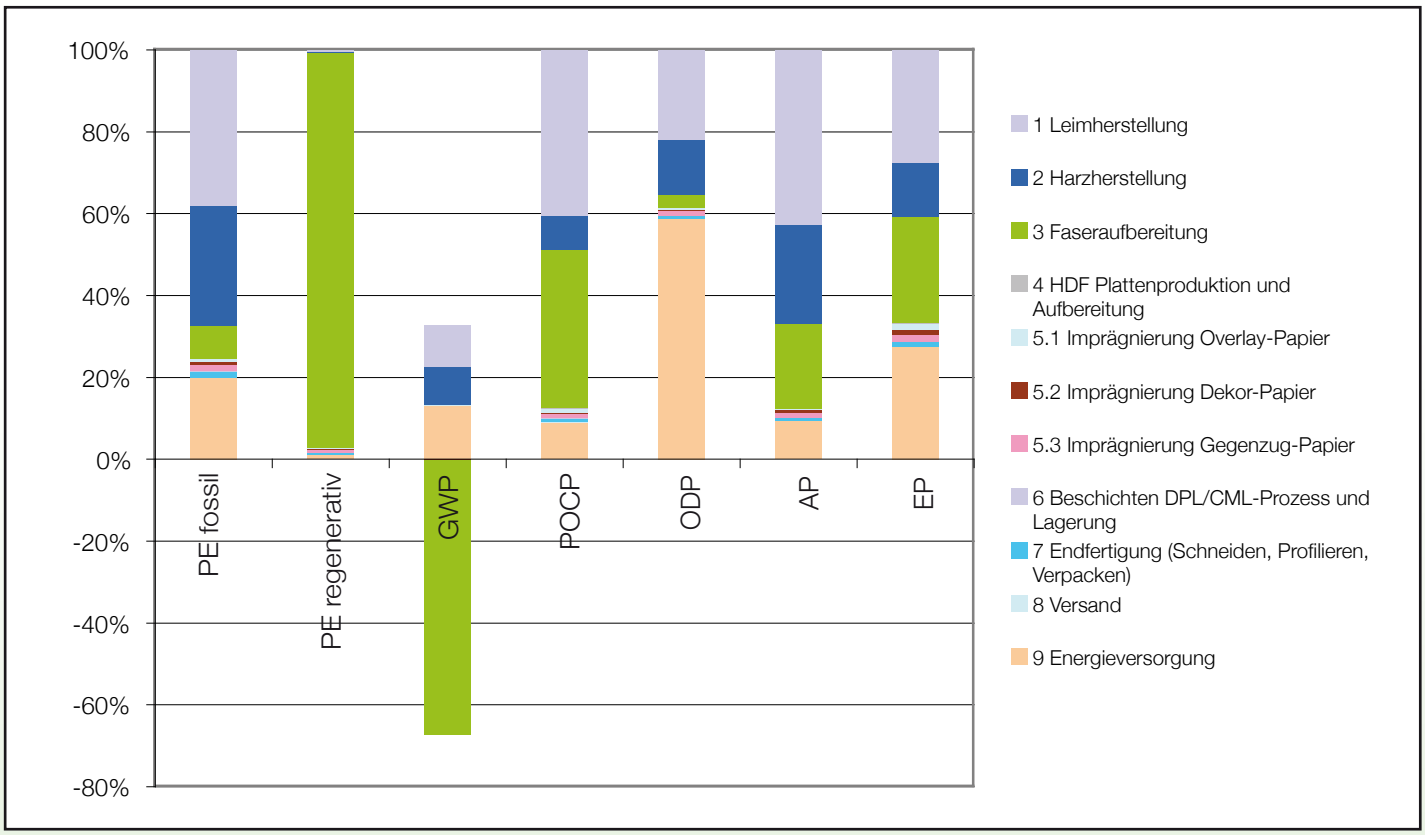
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Laminatfußboden

Welche Prozesse der Herstellung sind besonders relevant?



Detailanalyse Laminatfußboden (Wohnbereich): Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen im Prozess:

Fossiler Primärenergiebedarf: Leimherstellung (Harnstoff, wasserhaltiges Harnstoffformaldehyd-Klebesystem und Melamin), die Harzherstellung (vor allem das eingesetzte Melamin).

Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP, Sommersmog): Leimherstellung und Faseraufbereitung, Hauptbeiträger: flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC-Emissionen). Quellen: Lösungsmittel aus der Leimherstellung. Emission von Lösungsmitteln bei der Aushärtung.

Eutrophierungspotenzial (EP) und Versauerungspotenzial (AP): Leimherstellung (Harnstoff, Melamin und Formaldehyd), die Harzherstellung (Melamin), die Faseraufbereitung (viele einzelne Prozessschritte jeweils in geringem Maße) und die Energiebereitstellung (schwefeldioxidhaltigen Verbrennungsemissionen zum Versauerungspotenzial).

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

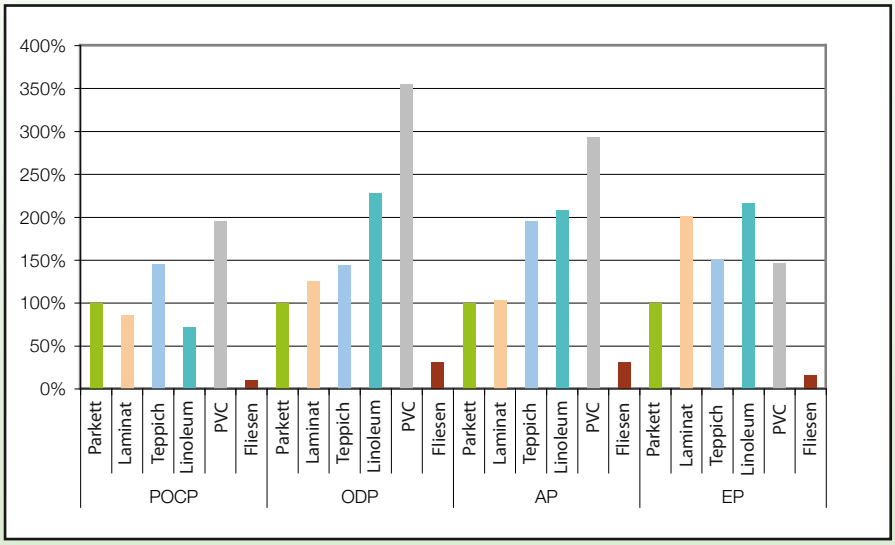
Mehrschichtparkett und Stabparkett Eiche/Buche

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP)
sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Das Mehrschichtparkett erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedenen Fußböden im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fußböden (normalisiert Deutschland 2001) pro 20 m²

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- Im Vergleich zu Teppichboden und PVC ist der Parkettboden in allen Wirkungskategorien besser
- Im Vergleich zum Linoleum ist der Parkettboden nur im POCP etwas schlechter, in allen anderen Kategorien ist er besser
- Fliesen haben in allen vier anderen Wirkungskategrien den besten Wert

TEXT

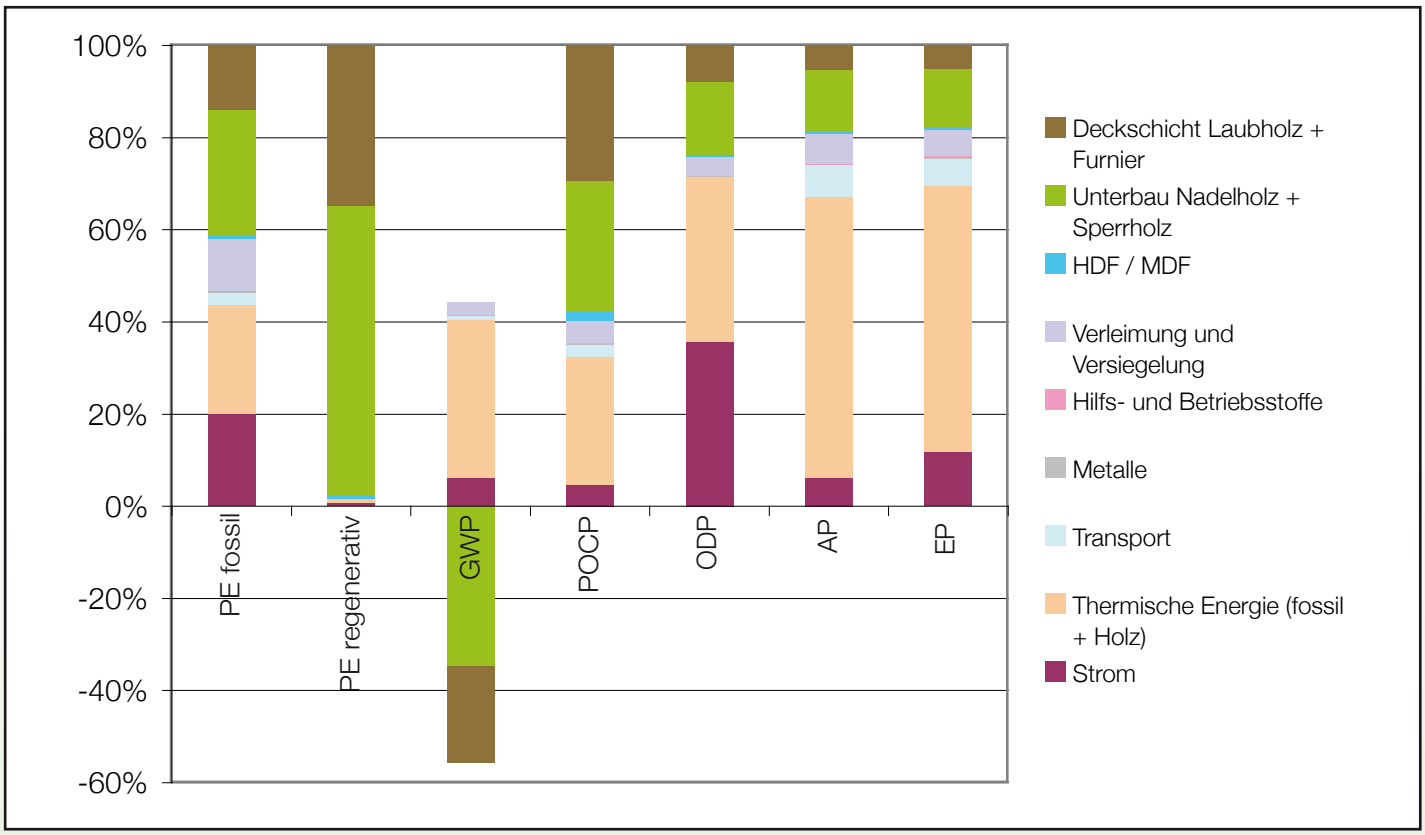
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Mehrschichtparkett

Welche Prozesse der Herstellung sind besonders relevant?



Detailanalyse Mehrschichtparkett (Wohnbereich): Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

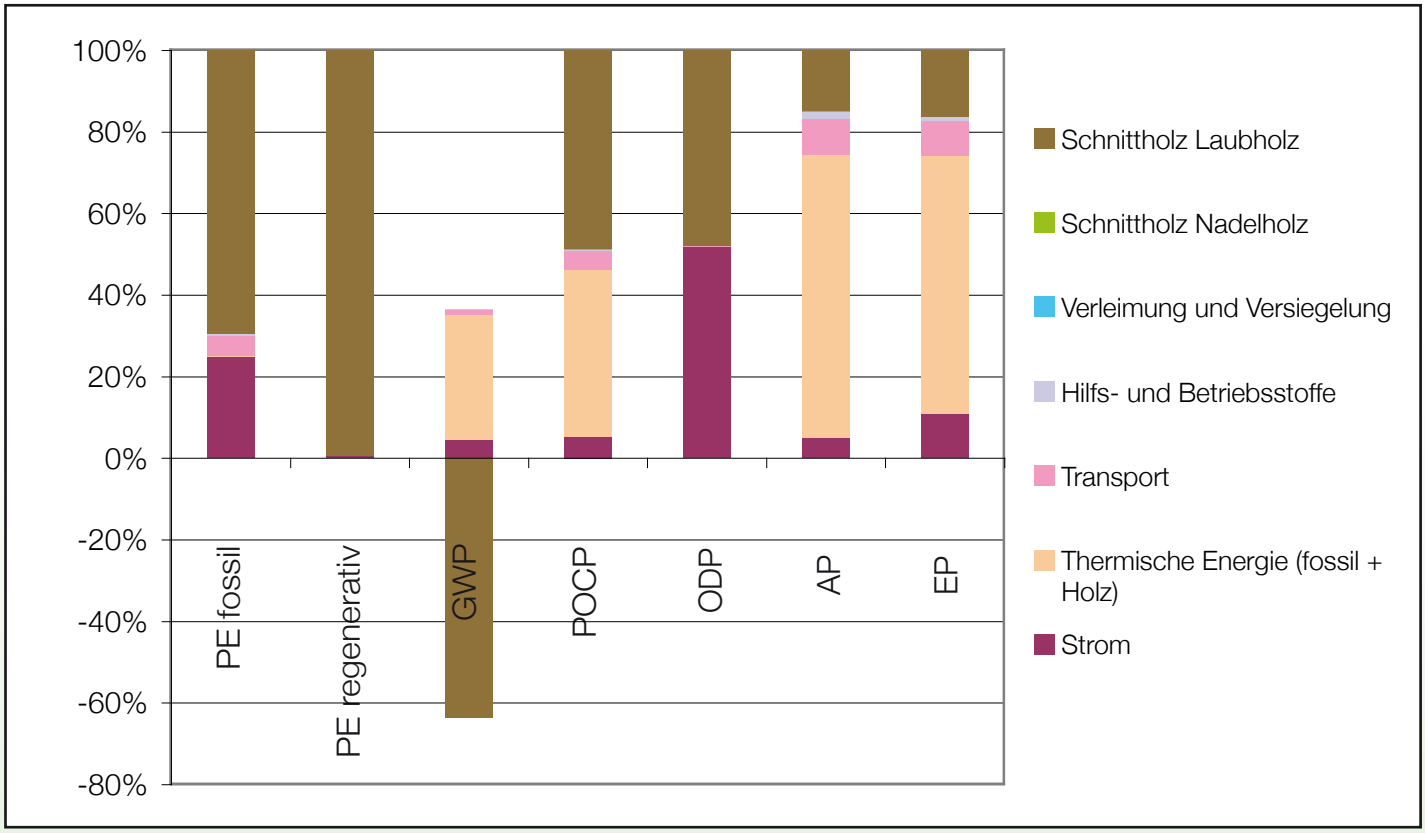
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Stabparkett Buche/Eiche

Welche Prozesse der Herstellung sind besonders relevant?



Detailanalyse Stabparkett (Wohnbereich): Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Planungshilfe Fenster

Ökologischer Vergleich verschiedener Fenstersysteme

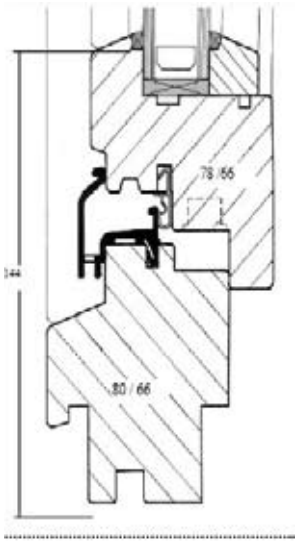
Der Bauherr, der neue Fenster plant bzw. seine alten Fenster sanieren möchte, hat aus technischer Sicht mehrere Alternativen. Bei der Entscheidung für ein bestimmtes System spielen technische Gründe eine wichtige Rolle (z.B. die Dauerhaftigkeit, Schallschutz). Bei Fenstern ist z.B. die Wärmedämmung besonders wichtig. Daher wurden im Vergleich Fenstersysteme betrachtet, die die selbe Wärmedämmung erreichen.

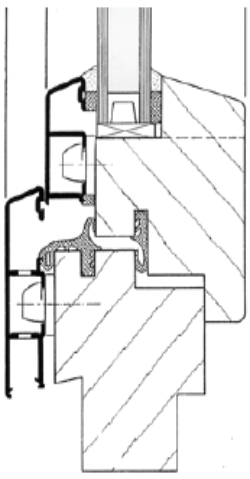
Die ökologische Analyse

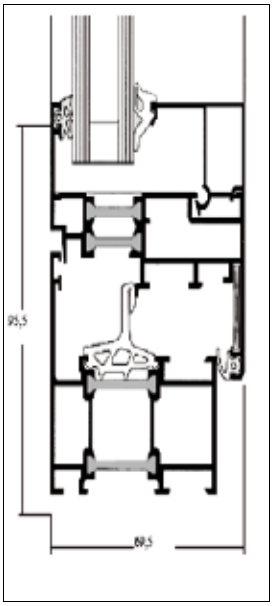
Wissenschaftlern der Universitäten Hamburg und Stuttgart ist es gelungen, neben den technischen Argumenten noch das Argument der Umwelt, Ökologie und des Klimaschutzes in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Im Verfahren der so genannten Ökobilanz wurden verschiedene Produkte und Ihre Herstellung unter dem Aspekt verglichen, wie sehr sie der Umwelt schaden. Der Vergleich berücksichtigt sowohl Herstellung, unterschiedlich langen Gebrauch als auch die Entsorgung. Für die Fenster wurde ein Nutzungszeitraum von 25 Jahren verglichen.

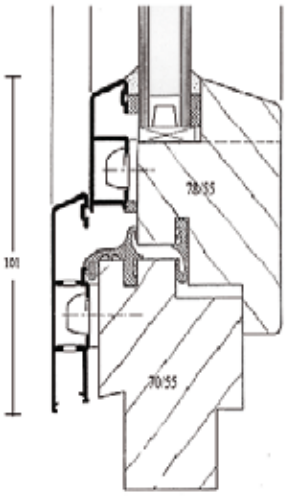
Die wichtigsten Alternativen

Holzfenster ***Holz-Alu-Fenster*** ***Kunststofffenster*** ***Alufenster***









Quelle: Kreissig 1997

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot Planungshilfe Fenster

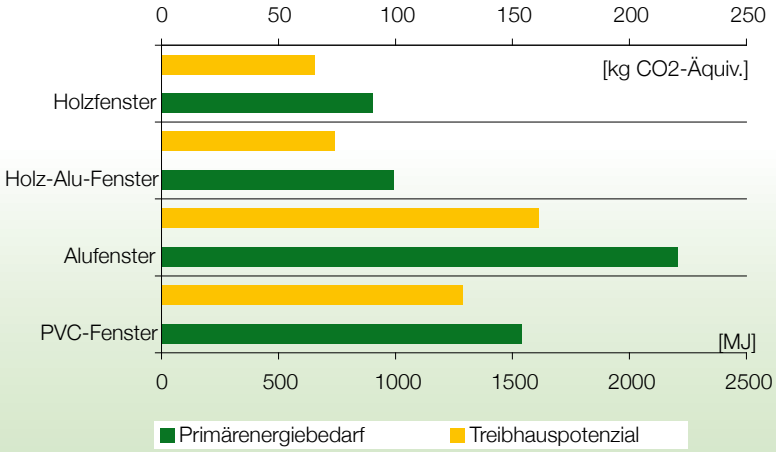
Ökologischer Vergleich verschiedener Fenstersysteme

Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung

An dieser Stelle wird das Ergebnis gezeigt, welcher Treibhauseffekt (CO_2-Emissionen) und welcher Energieverbrauch (Primärenergie) mit der Entscheidung für ein bestimmtes Fenstersystem verbunden sind.

Treibhauspotenzial und Energieverbrauch

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial
Marktmix verschiedener Fenstersysteme,
1 Fenstereinheit
25 Jahre Nutzungsdauer



Ergebnis:

Das Treibhauspotenzial des Holz- bzw. Holz-Alufensters beträt nur ca. die Hälfte des Wertes für ein Kunststoff- oder Alufenster

Absolut: Die Umweltwirkung der Kaufentscheidung

Es erspart der Umwelt ...

den Treibhauseffekt von 0,5 Jahre Autofahren*

... bei der Ausführung in Holz bzw. Holz-Alu statt in Kunststoff oder Alu (Einfamilienhaus mit 12 Fenstereinheiten)

* berechnet nach dem geplanten europäischen Richtwert von 130 g CO_2/km und der durchschnittlichen Fahrleistung in Deutschland

Informieren Sie sich über ÖkoPot und die Möglichkeiten, Produkte im Bezug auf ihre Umweltwirkung zu vergleichen unter

www.oekopot.de

für weitere Fragen:
Dr. Marcus Knauf, mknauf@knauf-consulting.de

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

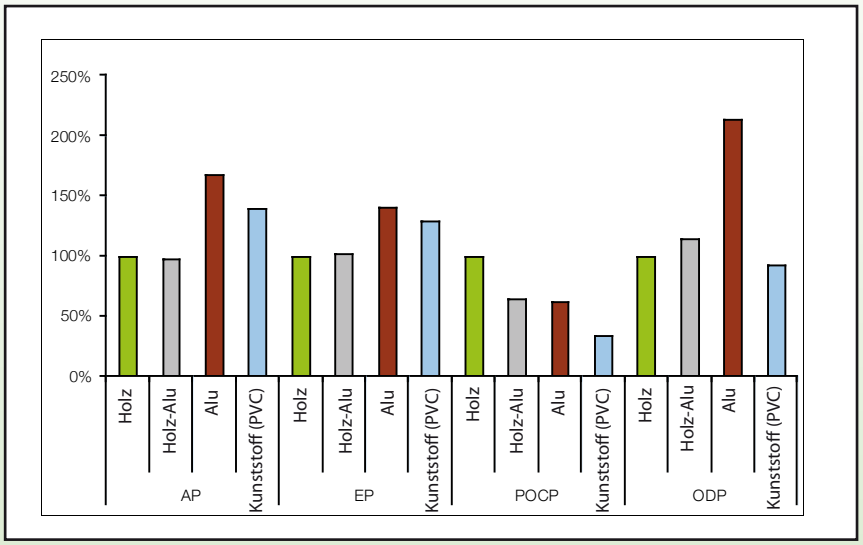
Holzfenster/Holz-Alufenster

Neben Primärenergiebedarf (PE) und Treibhauspotenzial (GWP) sind noch folgende vier Umwelteffekte wichtig:

- POCP Photooxidantienbildungspotenzial – Beitrag zum „Sommersmog“
- ODP Ozonabbaupotenzial – „Abbau der Ozonschicht“
- AP Versauerungspotenzial – Beitrag zum „Sauren Regen“
- EP Eutrophierungspotenzial – Verursachung von „Überdüngung“

Das Holzfenster erzielt beim Treibhauspotenzial einen sehr guten Wert. Es ist aber auch wichtig, dass die anderen Umwelteffekte dagegen nicht deutlich abfallen. Daher ist eine Detailbetrachtung notwendig. Sie legt die Grundlage, mögliche Schwächen in den anderen Umwelteffekten zu erkennen und zu beheben, so dass ein rundum „ökologisches Produkt“ entsteht.

Die verschiedenen Fenster im Vergleich:



Weitere Wirkungskategorien Gesamtlebenszyklus Fenster (normalisiert Deutschland 2001) eine Fenstereinheit (FE)

Ergebnis der ökologischen Analyse:

- ODP: etwas schlechteres Niveau des Holzfensters im Vergleich zum PVC-Fenster
- POCP: Handlungsbedarf! Besonders beim Holzfenster

Der höhere Beitrag zum Sommersmog (POCP) der Holzfenster wird durch deren Lackierung hervorgerufen. Diese wird sowohl bei der Herstellung initial durchgeführt als auch als Instandhaltungsmaßnahme alle vier bzw. acht Jahre. Der Beitrag zum POCP wird fast ausschließlich durch während der Trocknung verdampfende Lösemittel im Fensterlack hervorgerufen. Dies könnte durch den verstrtkten Einsatz von wasserbasierten Lacken reduziert werden.

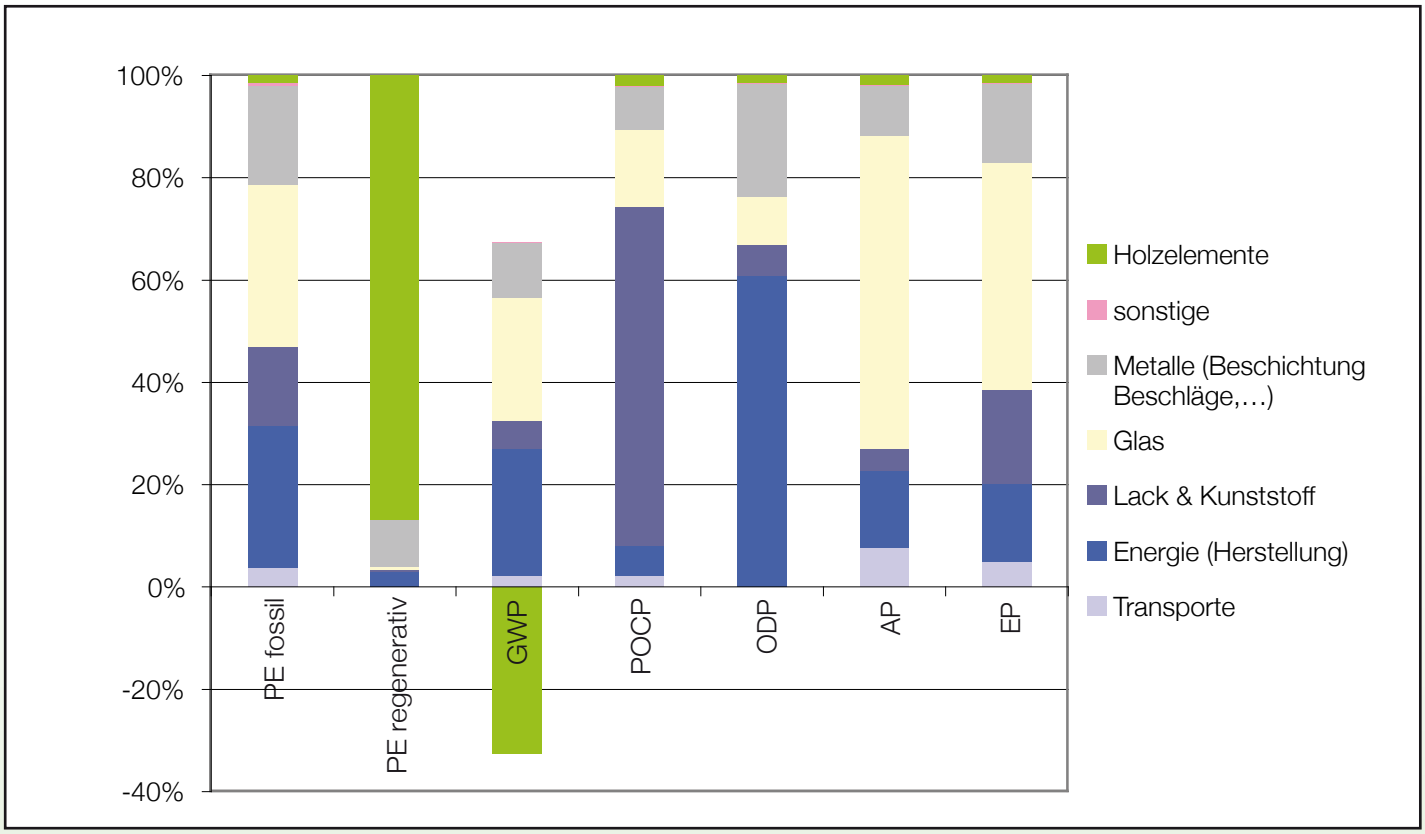
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Holzfenster

Welche Prozesse der Herstellung und Ausführung sind besonders relevant?



Detailanalyse Holzfenster: Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen:

Die Detailanalyse der Herstellung der Holzfenster zeigt, dass die Umweltwirkungen in den verschiedenen Wirkungskategorien unterschiedlicher Herkunft sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Herstellung der Holzfenster verschiedene Materialien (wie Holz, Glas, Kunststoff) eingesetzt werden.
Lediglich der Bedarf an erneuerbarer Primärenergie wird zu über 90% durch die Herstellung der Holzelemente beeinflusst.
Das POCP wird zu kleineren Teilen bei der Glasherstellung, der Metallherstellung sowie der Bereitstellung von Prozessenergie hervorgerufen. Den mit Abstand größten Anteil haben aber der Lack und die Kunststoffe. Dort entstehen flüchtige organische Emissionen, die Hauptverursacher des POCP sind, vor allem beim Verdampfen der Lösemittel beim Trocknen des Lacks.
Die Energiebereitstellung hat den größten Anteil am Ozonabbaupotenzial (ODP).
Die Beiträge zum Überdüngungspotenzial EP und zum Versauerungspotenzial AP werden von der Glasherstellung dominiert.

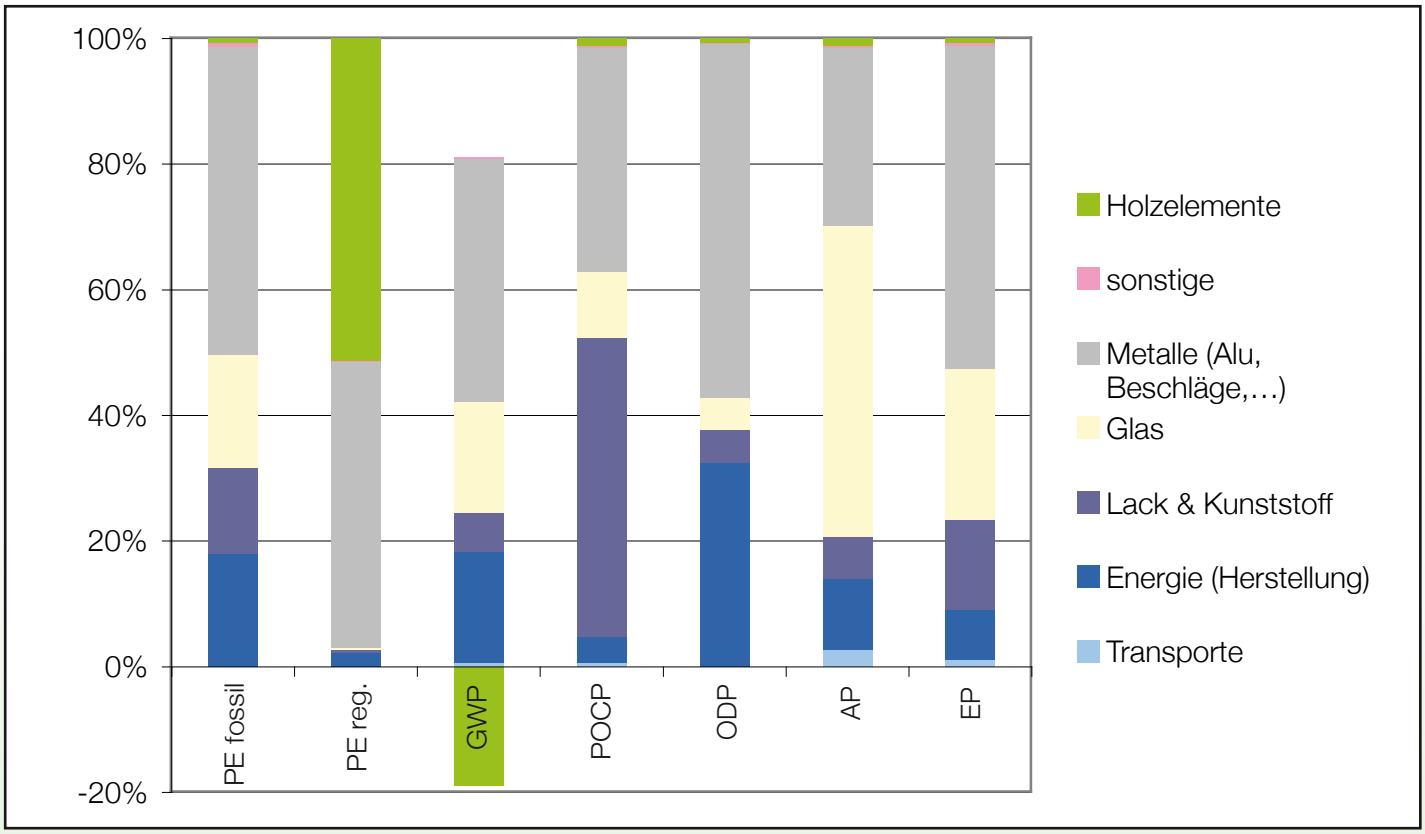
Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
.knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

ÖkoPot

Detailanalyse für Hersteller

Holz-Alufenster

Welche Prozesse der Herstellung und Ausführung sind besonders relevant?



Detailanalyse Holz-Alufenster: Ökoprofile

Eine Optimierung in den einzelnen Wirkungskategorien kann am effizientesten an den Stellen durchgeführt, die den jeweils größten Einfluss auf die entsprechende Wirkungskategorie haben.

Ursachen für die Umweltwirkungen:

Im Vergleich zurr Herstellung des Holzfensters zeigt das Ökoprofil der Herstellung des Fensters aus Holz-Alu-Werkstoffmix in den unterschiedlichen Wirkungskategorien einen sehr deutlichen Einfluss des Aluminiums auf die Umweltwirkungen (Anteil: 30 und >50%).
Weiteren sichtbaren Einfluss auf die Wirkungskategorien innerhalb der Herstellung des Holz-Alu-Fensters haben noch die Prozessenergiebereitstellung der Fensterherstellung, der Einfluss von Lack und Kunststoffen, da das Fenster zumindest während der Herstellung auf der Innenseite (Holzelemente) lackiert werden muss sowie die Glasherstellung für das Fensterglas.
Der Einfluss der Holzherstellung wird nur beim regenerativen Primärenergiebedarf und beim Treibhauspotenzial deutlich sichtbar. Der hohe Anteil der Aluminiumherstellung am regenerativen Primärenergiebedarf ist darin begründet, dass ein großer Teil der Aluminiumherstellung in Island und Norwegen durchgeführt wird. Dort wird ein sehr großer Teil der Energiebereitstellung mit regenerativen Energiequellen wie Wasserkraft und Geothermie abgedeckt, was zu einem sehr großen Anteil an regenerativem Primärenergiebedarf im durchschnittlichen Strommix führt.

Universität Hamburg
Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)
knauf consulting
PE INTERNATIONAL
Experts in Sustainability
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Die Projekte werden gefördert innerhalb des BMBF-Förderschwerpunkts "Nachhaltige Waldwirtschaft – Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen entlang der Forst- und Holzkette"

Anhang E: Kritische Prüfung (Critical Review)

Die nachfolgenden Seiten beinhalten den Bericht des Review Panels, welche die kritische Prüfung der vorliegenden Studie „Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern - ÖkoPot“ durchgeführt hat. Dieser beinhaltet und bestätigt, dass der umweltliche Teil der Studie entsprechend den Normen DIN ISO 14040 und 14044 durchgeführt wurde.

Critical Review Statement

Einleitung

In den Normen ISO 14040 und ISO 14044 werden Anforderungen beschrieben, denen eine Ökobilanz (LCA) nach ISO14040ff zu folgen hat. Besonders im Fall veröffentlichter vergleichender Studien müssen die Studien eine Reihe Kriterien erfüllen; außerdem werden Anforderungen an den Bericht der Studie gestellt. Das Critical Review dient dazu, sicherzustellen, dass diese Anforderungen erfüllt sind. Das Prozedere des Critical Reviews ist selbst auch in der Norm ISO 14040 geregelt.

Gegenstand des Reviews ist der Bericht zum Verbundprojekt "ÖkoPot – Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern", erstellt in Zusammenarbeit der

- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
- Universität Hamburg, Zentrum für Holzwirtschaft
- PE International GmbH
- Knauf Consulting GbR

Mitglieder des Review Panels

Mit der Zusammenstellung eines Review Panels und der Durchführung der Critical Review wurde Ingenieurbüro Trinius von der Universität Hamburg beauftragt.

Auftraggeber des Critical Reviews
Dr. Johannes Welling Universität Hamburg

Mitglieder des Critical Review Panels
Dr. Wolfram Trinius Ingenieurbüro Trinius, Hamburg
Dr. Eva Schmincke FiveWinds International, Tübingen
Dr. Frank Werner Umwelt & Entwicklung, Zürich

Fragestellungen

Die in der ISO 14040 aufgeführten Fragestellungen, die vom Critical Review Panel aufgegriffen und betrachtet werden müssen, sind u.a.:

- Beschreibung der verglichenen technischen Lösungen und Bezug zur Systemgrenze
- Funktionelle Einheit klar und eindeutig beschrieben
- Systemgrenze im Bezug zum Ziel sinnvoll und nachvollziehbar gesetzt
- Beschreibung der Datenqualität
- Angewandte Daten sind korrekt und nachvollziehbar
- Beschreibung der Einheitsprozesse und Allokation
- Auswahl der Wirkungskategorien
- Beziehung der Sachbilanz zur Wirkungsbilanz
- Angewandte Charakterisierungsmodelle
- Faktoren und Umweltmechanismen, zusätzliche umweltbezogene Angaben
- Interpretation / Ergebnis
- Hinreichende Dokumentation
- Interpretation abwägend im Bezug zu Ziel und Einschränkungen
- Anforderungen an den Bericht, nachvollziehbare Dokumentation der Studie, transparent und stimmig

Bei einem Review nach ISO 14040 wird besonderer Wert darauf gelegt, dass Annahmen und Abgrenzungen für alle verglichenen Lösungen gleich sind, und da wo dies nicht möglich ist, fair und nachvollziehbar, sowie nicht einer Lösung dienend getroffen werden.

Vorgehensweise des Critical Review Panels

Dem Critical Review Panel wurde eine Vorabversion des Endberichtes zugänglich gemacht, auf dessen Basis das Panel das Critical Review durchgeführt hat. Die Fragen und Anmerkungen des Panels wurden dann mit dem Auftraggeber (Universität Hamburg) und weiter zwischen dem Auftraggeber und seinen Projektpartnern diskutiert.

Dabei kristallisierten sich Anmerkungen in drei Hauptgruppen heraus

1. Fragen und Anmerkungen, die durch bessere Erläuterungen im Bericht geklärt werden können
2. Fragen und Anmerkungen, die zu einer inhaltlichen Diskussion geführt haben, und wo Strittigkeiten geklärt werden konnten
    a. Durch ergänzende Erläuterungen, so dass die Vorgehensweise in der Studie besser und für den Leser nachvollziehbar deutlich wird
    b. Besondere Berücksichtigung des Zusammenhanges der Ökobilanz als Teil der "Ökopotenzial"-Methodik
3. Anmerkungen und Kommentare des Critical Review Panels, die nach der Diskussion und der folgenden Überarbeitung als kritische Punkte bestehen bleiben

Eine Vielzahl von Fragen und Unklarheiten konnte so in der Diskussion beantwortet werden. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass die Fragen und Anmerkungen nicht nur dem Review Panel erklärt werden, sondern dass die Endversion des Berichtes so ausgeführt wird, dass diese Fragen im Bericht beantwortet bzw. Unklarheiten beseitigt werden.

Wir hoffen, dadurch zusammen einerseits den Endbericht in seiner Qualität verbessert zu haben und andererseits den Review Bericht auf eine geringere Anzahl wichtiger Punkte reduzieren zu können. Dabei obliegt es der Verantwortung der Autoren des Berichtes, die zwischen dem Auftraggeber und dem Critical Review Panel vereinbarten Lösungen im Bericht umzusetzen.

Allgemeine Hinweise an der Leser des Berichtes *ÖkoPot (FKZ 0330545)*

Das Critical Review Panel möchte die Aufmerksamkeit der Leser des Berichtes noch einmal darauf lenken, dass die vorliegende Studie nicht der Bericht einer allein stehenden Ökobilanz ist. Die vorliegende Ökobilanzierung ist vielmehr Teil einer Abwägung von ökologischen Potenzialen, die im Markt erreicht werden könnten, wenn unter den gemachten Annahmen verschiedene Produkt-Markt-Entwicklungsszenarien eintreten. Um diese Potenziale darstellen zu können, werden einige Grundannahmen getroffen, die nicht Gegenstand des Reviews waren, aber zum Verständnis und zur Nachvollziehbarkeit unbedingt beachtet werden müssen. Diese Annahmen haben vielerorts Auswirkungen auf klassische Elemente der Ökobilanz, z.B. auf die funktionelle Gleichwertigkeit der verglichenen Produkte. Der Leser sollte die Beschreibung der Ökopotenzialanalyse verinnerlicht haben, bevor er sich mit den im Kapitel der Ökobilanzierung diskutierten Inhalten auseinandersetzt.

Funktionseinheit (Functional Unit)

Im vorliegenden Fall werden die Alternativen nicht notwendigerweise aus der Sicht der funktionalen Gleichwertigkeit identifiziert und verglichen, sondern aus der Perspektive, dass die verglichenen Lösungen im Markt de Facto als Alternativen existieren. Unterschiede in der Funktionalität werden daher nicht durch ein Verändern der technischen Lösung angeglichen, sondern abwägend präsentiert und diskutiert. Die Vergleichbarkeit ergibt sich also auch aus der Marktsituation, nicht ausschließlich aus der Funktionalität. Dieses stellt eine Abweichung von der ISO 14040 dar, ist aber im Gesamtzusammenhang als sinnvoll zu bewerten. Die verglichenen Produkte ergeben sich aus der Marktsituation, die in der Ökobilanz zu Grunde gelegte Functional Unit (Funktionseinheit) spiegelt dann die Hauptfunktionsmerkmale ab. Die Lebensdauern / Nutzungsdauern der verschiedenen Produkte und die Regeln zu deren Berücksichtigung bei der Modellierung sind nicht einheitlich festgelegt.

Wirkungsbilanz

Die betrachteten Wirkungskategorien sind:

- Primärenergiebedarf (fossil)
- Primärenergiebedarf (erneuerbar)
- Treibhauspotenzial
- Sommersmog (POCP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Eutrophierungspotenzial (EP)
- Ozonabbaupotenzial (ODP)

Andere Wirkungskategorien, z.B. Humantoxikologische- und Ökotoxikologische Wirkungen werden nicht betrachtet.

Im Bericht werden Schwächen und Stärken der betrachteten Alternativen diskutiert. Diese sollte der Leser aufmerksam als zusätzliche Information zu den bewerteten Ökobilanz-kategorien betrachten, da hier wertvolle Zusatzinformationen enthalten sind. Gleichzeitig sollte dem Leser bewusst sein, dass nicht notwendigerweise alle diskutierten positiven oder negativen Aspekte gleichzeitig in Kombination auftreten können.

Zusammenfassung des Critical Review Statement

Die vorliegende Studie sowie der Bericht erfüllen die Anforderungen der ISO 14040. Das Ziel und der Geltungsbereich der Studie sind durch den Zusammenhang im Kontext der "Öko-potenzialanalyse" begründet. Die Datengrundlage entstammt der GaBi4 Datenbank, zur Charakterisierung und zur Abschätzung der Umweltwirkungen wurden Indikatoren der etablierten CML 2001 Methodik angewendet. Die Kernanforderungen an die angewendete Methodik und die angewendeten Daten sind damit erfüllt. Der Bericht erfüllt die Anforderungen an Nachvollziehbarkeit und Transparenz.

Der Leser sollte bei der Interpretation des Inhaltes bedenken,

- dass die Ökobilanzierung hier integrierter Bestandteil der "Ökopotenzialanalyse" ist, woraus sich besondere Voraussetzungen ergeben,
- dass die Funktionseinheiten sich aus der Marksituation ergeben,
- dass Lebensdauern der verglichenen Lösungen nicht einheitlich angesetzt sind,
- dass der Wirkungsbilanz eine in Bezug zur "Ökopotenzialanalyse" sinnvolle, aber nicht vollständige Auswahl von Wirkungskategorien zu Grunde liegt.

Die Studie ist konform zu internationalen Normen durchgeführt und kann als wissenschaftlich und technisch korrekt angesehen werden.

Dr. Wolfram Trinius
Ingenieurbüro Trinius
Dorotheenstr. 21
22301 Hamburg
trinius@trinius.de

Hamburg, den 29.10.2008