TU Graz

IBX Fachbereich Ingenieurbaukunst

Ökobilanzierung von Wohnhausanlagen

Vergleich der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen von Wohnhausanlagen verschiedener Bauweise

| Einleitung | Nachhaltigkeit | Integrale Qualität von Gebäuden |Gewählte Methodik| Eingangsdaten Ökobilanz | Ökobilanz | Auswertung | Resümee und Ausblick |

D-6-46/2008

M. Michlmair
Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie
mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung
Technische Universtiät Graz

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, am 20. Januar 2008

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich beim Verfassen dieser Diplomarbeit begleitet und unterstützt haben.

Der größte Dank gilt einerseits meinen Eltern Erni und Herbert Michlmair, die mir das Studium überhaupt ermöglicht haben und andererseits meiner Lebensgefährtin Catherine Gratzl. Besonders Catherine war in den letzten Monaten eine unglaubliche Stütze. Vor allem ihr Wissen über methodische Grundsätze und die Kniffe beim Einsatz der deutschen Sprache waren maßgebliche Faktoren für das Gelingen dieser Arbeit. Danke.

Mein Diplomarbeitsbetreuer Professor Peter Maydl hat mir mit seinen Lehrveranstaltungen zum Themengebiet nachhaltiges Bauen Impulse gegeben, die mich wohl während meines gesamten Lebens begleiten werden. Ich habe durch seine Vorträge zu dem Fachbereich gefunden, der meine Augen zum Glänzen bringt.

Während des Zeitraums, in dem ich mit dieser Diplomarbeit beschäftigt war, hat mich mein betreuender Assistent Alexander Passer in so vielfältiger Weise unterstützt und motiviert, dass eine Aufzählung der Gründe, weswegen ich ihm dankbar bin, nur unvollständig sein könnte. Auch Danilo Schulter, der vor allem in der letzten Phase der Arbeit ein unverzichtbarer Begleiter war, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Kurzfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Ermittlung der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen von vier Wohnhausanlagen unterschiedlicher Bauweise. Es soll gezeigt werden, in welchen Lebenswegphasen sich bei den untersuchten Gebäuden die wesentlichen Umweltwirkungen ergeben.

Dazu werden im Rahmen einer Ökobilanz für diese vier Wohnhausanlagen die durch Bauleistungen und Betrieb entstehenden Umweltwirkungen ermittelt. Die Erhebung der Stoff- und Energieflüsse der Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung und Rückbau steht im Zentrum dieser Arbeit. Basierend auf den Leistungsverzeichnissen der Gebäude wird eine Leistungspositions-Analyse durchgeführt, in der durch die zusätzliche Verknüpfung mit Instandhaltungszyklen die Stoffflüsse der Bauleistungen erhoben werden. Die Stoff- und Energieflüsse des Gebäudebetriebs in der Nutzungsphase werden auf Basis vereinfachter Berechnungen und statistischer Daten ermittelt.

Auffallend bei den Ergebnissen ist die starke Dominanz der Nutzungsphase. Der Betrieb der Wohnhausanlagen verursacht beim überwiegenden Teil der untersuchten Wirkungskategorien mehr als 75% der gesamten Umweltwirkungen. Bei den Bauleistungen ist der Anteil der Umweltwirkungen, die auf die Instandhaltung entfallen, annähernd so hoch wie jene der Errichtungsphase. Die in der Rückbauphase entstehenden Umweltwirkungen sind hingegen vernachlässigbar gering. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für eine Reduktion der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen das Hauptaugenmerk auf den Betrieb gelegt werden sollte. Auch bei den Bauleistungen ist jedoch Potential zur Reduktion vorhanden.

Abstract

Objective of this master thesis is to demonstrate the spreading of environmental impacts of buildings on the phases of their life cycle. A detailled life cycle analysis has been carried out to calculate the complete environmental impacts of construction works and operation of four residential buildings. It was necessary to calculate the flow of substances and energy of the life cycle phases construction, utilization and removal. An analysis of the items of the tender documents resulted in the flow of material of construction works. The flow of substances and energy was estimated by simplified calculations and statistical values.

The results of this master thesis show that the dominating environmental impacts are caused by operation of the buildings. Maintenance works, heating and supply with electrical energy effect 70% up to 90% of the whole environmental impacts. The impacts caused by construction works are dominated by construction and maintenance of the building. Those two phases are responsible for up to 50% each. Environmental impacts created by maintenance works are nearly on the same level as those caused by construction of the buildings.

Inhaltsverzeichnis

Abbilungsverzeichnis 16
Tabellenverzeichnis 19
Glossar 21

I Hintergrund **27**

1 Einleitung **29**

2 Nachhaltigkeit **33**
2.1 Der Begriff Nachhaltigkeit 34
2.2 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit 35

3 Integrale Qualität von Gebäuden **39**
3.1 Künftige Gebäudebewertung gemäß CEN/TC 350 40
3.2 Methode der Ökobilanzierung 42
3.2.1 Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen 43
3.2.2 Sachbilanz 46
3.2.3 Wirkungsabschätzung 46
3.2.4 Auswertung 52
3.3 Lebensweg eines Gebäudes 52
3.3.1 Errichtungsphase 54
3.3.2 Nutzungsphase 54
3.3.3 Rückbauphase 56
3.4 Instandhaltung 56
3.4.1 Nutzungsdauer 56
3.4.2 Instandhaltungsarbeiten 56

3.5 Gebäudeenergieausweis . . . 58
3.5.1 EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ . . . 59
3.5.2 Nationale Umsetzung . . . 59
3.5.3 Beschreibung . . . 60
3.6 Transporte und Baustellenabwicklung . . . 62
3.6.1 Transporte . . . 62
3.6.2 Baustellenabwicklung . . . 63

II Ökobilanz 65

4 Gewählte Methodik 67

5 Eingangsdaten Ökobilanz 69
5.1 Beschreibung der Wohnhausanlagen . . . 71
5.1.1 Wohnhausanlage Wörschach . . . 71
5.1.2 Wohnhausanlage Pinggau . . . 73
5.1.3 Wohnhausanlage Nestelbach . . . 74
5.1.4 Wohnhausanlage Hart . . . 75
5.1.5 Zusammenfassung . . . 77
5.2 Gliederung des Betrachtungsrahmens . . . 79
5.2.1 Zeitliche Gliederung . . . 79
5.2.2 Räumliche Gliederung . . . 79
5.2.3 Basismatrix . . . 83
5.3 Vorgangsweise Bauleistungen . . . 84
5.3.1 Unterlagen . . . 84
5.3.2 Abgrenzung der Ersterfassung . . . 85
5.3.3 Leistungspositions-Analyse . . . 86
5.3.4 Instandhaltungszyklen . . . 90
5.3.5 Konsistenzprüfung Bauleistungen . . . 91
5.4 Vorgangsweise Betrieb . . . 95
5.4.1 Unterlagen . . . 95
5.4.2 Stoff- und Energiebedarf des Betriebs . . . 96

5.4.3 Konsistenzprüfung Betrieb . . . 100
5.5 Zusammenfassung . . . 103
5.5.1 Stofffluss Errichtung . . . 104
5.5.2 Stofffluss Nutzung-Instandhaltung . . . 104
5.5.3 Stoff- und Energiefluss Nutzung-Betrieb . . . 104
5.5.4 Materialfluss Rückbau . . . 104
5.5.5 Stoff- und Energiefluss am gesamten Lebensweg . . . 105

6 Ökobilanz 107
6.1 Ziel . . . 107
6.1.1 Auftraggeber . . . 108
6.1.2 Veröffentlichung der Ergebnisse . . . 109
6.2 Untersuchungsrahmen . . . 109
6.2.1 Funktionale Einheit . . . 109
6.2.2 Produktsystem . . . 110
6.2.3 Systemgrenzen . . . 112
6.2.4 Abgrenzung der Ersterfassung . . . 114
6.2.5 Datenherkunft . . . 114
6.2.6 Datenqualität . . . 115
6.3 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung . . . 116
6.3.1 Zuordnung von ecoinvent-Datensätzen . . . 116
6.3.2 Untersuchte Wirkungskategorien . . . 117

7 Auswertung 119
7.1 Plausiblitätsprüfung . . . 119
7.2 Ökologische Kennwerte . . . 120
7.3 Ergebnisdarstellung . . . 122
7.3.1 Übersichtsdarstellungen . . . 122
7.3.2 Darstellungsform . . . 123
7.3.3 Zahlenwerte . . . 125
7.4 Ergebnisse . . . 126
7.4.1 Ebene 1: Gesamter Lebensweg . . . 126
7.4.2 Ebene 2: Leistungsbereiche und Lebenswegphasen . . . 129

7.4.3 Ebene 3: Leistungsgruppen 139
7.5 Sensitivitätsanalysen des Gesamtergebnisses 148
7.5.1 Wechsel des Energieträgers 148
7.5.2 Variation der Nutzungsdauer 150
7.5.3 Einfluss der Entsorgungsszenarien 151
7.6 Qualität der Ergebnisse 153

8 Resümee und Ausblick 155

Literaturverzeichnis 165

III Anhang 167

A Energieausweise 169

B Ergänzende Ergebnisdarstellungen 175
B.1 Ebene 2 – Leistungsbereich und Lebenswegphasen 175
B.1.1 Ebene 2b – Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung) 175
B.1.2 Ebene 2c – Lebenswegphasen der Leistungsbereiche 178
B.2 Ebene 3 – Leistungsgruppen 182
B.3 Sensitivitätsanalysen 192

C Ergebnis-Tabellen 193
C.1 Ebene 1 – Gesamter Lebensweg 193
C.2 Ebene 2 – Leistungsbereiche und Lebenswegphasen 195
C.2.1 Ebene 2a – Leistungsbereiche (räumliche Gliederung) 195
C.2.2 Ebene 2b – Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung) 198
C.2.3 Ebene 2c – Lebenswegphasen in Leistungsbereichen 203
C.3 Ebene 3 – Leistungsgruppen 207

Abbildungsverzeichnis

2.1 Dimensionen und Schutzziele der Nachhaltigkeit (Darstellung aus [29]) 37

3.1 Bestandteile der integralen Qualität von Gebäuden (eigene Darstellung gemäß [32]) . 40

3.2 Wahl der funktionalen Einheit (Darstellungen aus [28]) 44

3.3 Gliederung der Lebenswegphasen eines Gebäudes (eigene Darstellung in Anlehnung an [32]) 53

3.4 Lebensweg eines Gebäudes 53

3.5 Instandhaltungsstrategien für Gebäude (Darstellung aus [25]) 57

3.6 Zusammensetzung des maximalen Endenergiebedarfs eines Wohngebäudes (Darstellung aus [46]) 60

3.7 Spezifischer Nutzenergiebedarf eines Bürogebäudes [kWh/m^{2}a] (Darstellung aus [5]) 61

3.8 Spezifischer Endenergiebedarf eines Bürogebäudes [kWh/m^{2}a] (Darstellung aus [5]) 61

4.1 Vorgangsweise bei der Erstellung der Ökobilanz der vier Wohnhausanlagen 68

5.1 Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten 70

5.2 Übersichtsskizze Wohnhausanlage Wörschach 72

5.3 Übersichtsskizze Wohnhausanlage Pinggau 73

5.4 Übersichtsskizze Wohnhausanlage Nestelbach 74

5.5 Übersichtsskizze Wohnhausanlage Hart 76

5.6 Lebensweg eines Gebäudes (Wiederholung von Abbildung 3.4) 79

5.7 Basismatrix für räumliche und zeitliche Gliederung der Ökobilanz 83

5.8 Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten der Bauleistungen 84

5.9 Bewertungsschema für Ersterfassung der Leistungspositionen 86

5.10 Sensitivitätsanalyse: Solaranlage 93

5.11 Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten des Betriebs 95

5.12 Sensitivitätsanalyse: Vergleich verschiedener Energieträger 101

5.13 Sensitivitätsanalyse: Ländervergleich elektrischer Strom 101

6.1 Lebensweg eines Gebäudes (Wiederholung von Abbildung 3.4) 108
6.2 Zuordnung von ecoinvent-Datensätzen zu Stoff- und Energieflüssen 116

7.1 Übersichtdarstellung der Ebene 2a 123
7.2 Darstellungsformen der Ebenen 1 und 2 (links) und der Ebene 3 (rechts) 123
7.3 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 1 126
7.4 Gesamter Lebensweg der Wohnhausanlagen 127
7.5 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen 128
7.6 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2a 130
7.7 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen (detaillierte Darstellung) 130
7.8 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau . . . 131
7.9 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik . . . 132
7.10 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau . . . 133
7.11 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen 134
7.12 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte . 135
7.13 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b 136
7.14 Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb und Instandhaltung 137
7.15 Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen des Betriebs 138
7.16 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3 139
7.17 Vergleich des Endenergiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitstellung in der Nutzungsphase 140
7.18 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen am Lebensweg 142
7.19 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase 143
7.20 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 144
7.21 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen am Lebensweg 145
7.22 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase 146
7.23 WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 147
7.24 Sensitivitätsanalyse: Wechsel des Energieträgers 149
7.25 Sensitivitätsanalyse: Variation der Nutzungsdauer 151
7.26 Sensitivitätsanalyse: Auswirkung von Recycling 152

A.1 WHA Wörschach: Energieausweis für Wohngebäude 170

A.2 WHA Pinggau: Energieausweis für Wohngebäude 171
A.3 WHA Nestelbach: Energieausweis für Wohngebäude 172
A.4 WHA Hart: Energieausweis für Wohngebäude 173

B.1 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b (Wiederholung von Abbildung 7.13) 175
B.2 Errichtungsphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche . 176
B.3 Nutzungsphase-Betrieb der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche 176
B.4 Nutzungsphase-Instandhaltung der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche 177
B.5 Rückbauphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche . . . 177
B.6 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2c 178
B.7 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau . . . 179
B.8 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik . . . 179
B.9 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau . . . 180
B.10 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen 180
B.11 Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte . 181
B.12 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3 (Wiederholung von Abbildung 7.16) 182
B.13 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg 182
B.14 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase 183
B.15 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 183
B.16 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg 184
B.17 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase 184
B.18 WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 185
B.19 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg 186
B.20 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase 186
B.21 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 187
B.22 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg 187
B.23 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase 188
B.24 WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 188
B.25 WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg 189
B.26 WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase 189
B.27 WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 190

B.28 WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg 190
B.29 WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase 191
B.30 WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung 191
B.31 Sensitivitätsanalyse: Variation der Nutzungsdauer 192

C.1 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 1 (Wiederholung von Abbildung 7.3) 193
C.2 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2a (Wiederholung von Abbildung 7.6) 195
C.3 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b (Wiederholung von Abbildung 7.13) 198
C.4 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2c (Wiederholung von Abbildung B.6) 203
C.5 Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3 (Wiederholung von Abbildung 7.16) 207

Tabellenverzeichnis

3.1 Verwendete Wirkungsindikatoren 50

5.1 Kernpunkte bei der Beschreibung der Ermittlung der Eingangsdaten 69

5.2 Übersicht über die untersuchten Wohnhausanlagen 71

5.3 Zusammenfassung der Wohnhausanlagen 78

5.4 Kostenbereiche der ÖNORM B 1801-1 (eigene Tabelle gemäß [33]) 80

5.5 Übersicht über planungs- und ausführungsorientierte Kostengliederung (eigene Tabelle gemäß [33]) 81

5.6 Zuordnung der Leistungsgruppen zu Leistungsbereichen 82

5.7 Gewählte Zuschlagsfaktoren der Haupt-Leistungsgruppen des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik 88

5.8 Gesamtergebnis Lkw-Verkehr bei der Errichtung der „Siedlung Rodaun“ (eigene Tabelle gemäß [55]) 89

5.9 Jährlicher Bedarf an Trinkwasser der vier untersuchten Wohnhausanlagen 97

5.10 Jährlicher Anfall an Abwasser der vier untersuchten Wohnhausanlagen 97

5.11 Jährlicher Bedarf an Haushaltsstrom der vier untersuchten Wohnhausanlagen 98

5.12 Vergleich der Ergebnisse der Energieausweis-Berechnungen 99

5.13 Jährlicher Bedarf an Heizenergie der vier untersuchten Wohnhausanlagen 99

5.14 Stoffffluss Errichtung (in [to]) 104

5.15 Stoffffluss Nutzung-Instandhaltung (in [to]) 104

5.16 Stoff- und Energiefluss Nutzung-Betrieb (Einheiten variieren) 104

5.17 Stoffffluss Rückbau (in [to]) 104

5.18 Stoffffluss gesamter Lebensweg (in [to]) 105

5.19 Transporte gesamter Lebensweg (in [km]) 105

5.20 Stoff- und Energiefluss gesamter Lebensweg (Einheiten variieren) 105

6.1 Übersicht über die vier untersuchten Wohnhausanlagen 110

6.2 Zusammenfassung der für die Ökobilanz relevanten Daten der Wohnhausanlagen . . 111

6.3 Zeitliche Systemgrenzen der erforderlichen Arbeitsschritte 112

6.4 Nicht berücksichtigte Bauleistungen (außerhalb der räumlichen Systemgrenzen) . . . 113

6.5 Verwendete Wirkungsindikatoren (Wiederholung von Tabelle 3.1) 117

7.1 Zusammenfassung der für die Ökobilanz relevanten Daten der Wohnhausanlagen (Wiederholung von Tabelle 6.2) 121

7.2 Absolute Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen 122

7.3 Dargestellte Leistungsgruppen der Leistungsbereiche Rohbau und Ausbau 139

7.4 Recyclingquoten aus Bundesabfallwirtschaftsplan (Daten aus [3]) 152

C.1 Zahlenwerte zu Abbildung 7.4: *Gesamter Lebensweg der Wohnhausanlagen* 194

C.2 Zahlenwerte zu Abbildung 7.5: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen* . 194

C.3 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Detaillierung in Leistungsbereiche (Teil 1)* 196

C.4 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Detaillierung in Leistungsbereiche (Teil 2)* 197

C.5 Zahlenwerte zu Abbildung B.2: *Errichtungsphase der Wohnhausanlagen* 199

C.6 Zahlenwerte zu Abbildung 7.14: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb und Instandhaltung* 199

C.7 Zahlenwerte zu Abbildung B.3: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb* . . . 200

C.8 Zahlenwerte zu Abbildung B.4: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Instandhaltung* 201

C.9 Zahlenwerte zu Abbildung B.5: *Rückbauphase der Wohnhausanlagen* 202

C.10 Zahlenwerte zu Abbildung B.7: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau* 204

C.11 Zahlenwerte zu Abbildung B.8: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik* 204

C.12 Zahlenwerte zu Abbildung B.9: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau* 205

C.13 Zahlenwerte zu Abbildung B.10: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen* 205

C.14 Zahlenwerte zu Abbildung B.11: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte* 206

C.15 Zahlenwerte zu Abbildung 7.17: *Nutzungsphase-Betrieb – Energiebedarf Warmwasser, Heizung (in [kWh/m²a])* 207

C.16 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.18, B.13, B.19, B.25: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen am Lebensweg* 208

C.17 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.19, B.14, B.20, B.26: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen der Errichtungsphase* 209

C.18 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.20, B.15, B.21, B.27: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen der Nutzungsphase* 210

C.19 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.21, B.16, B.22, B.28: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen am Lebensweg* 211

C.20 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.22, B.17, B.23, B.29: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen der Errichtungsphase* 212

C.21 Zahlenwerte zu Abbildungen 7.23, B.18, B.24, B.30: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen der Nutzungsphase* 213

Glossar

abiotische Ressourcenerschöpfung (MRnr): Der Wirkungsindikator abiotische Ressourcenerschöpfung stellt dar, wie hoch der Verbrauch an nicht lebenden Ressourcen ist. Es wird hinsichtlich der Dauer der erforderlichen Regenerationszeit zwischen den drei Ressourcentypen „Deposits“ (Regeneration nicht innerhalb der menschlichen Lebenszeit), „Funds“ (Regeneration innerhalb der menschlichen Lebenszeit) und „Flows“ (Regeneration passiert kontinuierlich) unterschieden. In dieser Arbeit werden die „Deposits“ – also die nicht erneuerbaren abiotischen Ressourcen – untersucht [29], [10].

Abschneidekriterien: Die Festlegung der Abschneidekriterien dient dazu, zu bestimmen, unter welchen quantitativen Voraussetzungen eine Erhebung der →*Input*- und →*Outputströme* des →*Produktsystems* nicht erforderlich ist.

In dieser Arbeit stellen die Abschneidekriterien Schwellenwerte dar, unterhalb derer eine Erhebung der Stoff- und Energieflüsse für die untersuchten Wohnhausanlagen nicht erforderlich ist.

Allokation: Im Rahmen der Allokation erfolgt die Zuordnung von →*Input*- und →*Outputströmen* zum untersuchten →*Produktsystem* bzw. zu Koppel- und Nebenprodukten [41].

Bauteilnutzungsdauer: Die Bauteilnutzungsdauer definiert die Länge des Zeitraums, in der ein Bauteil die an ihn gestellten wesentlichen Anforderungen der Bauproduktenrichtlinie wirtschaftlich vertretbar erfüllen kann. Am Ende der Bauteilnutzungsdauer ist im Zuge von →*Instandhaltungsarbeiten* der Austausch des Bauteils erforderlich.

Betrachtungsrahmen: Der Betrachtungsrahmen umfasst sämtliche im Rahmen der Ökobilanz untersuchten Prozesse des →*Produktsystems*. Er wird durch die →*Systemgrenzen* beschränkt.

Bei dieser Ökobilanz umfasst der Betrachtungsrahmen alle lebenszyklusweiten Umweltwirkungen, die bei Errichtung, Nutzung und Rückbau der jeweiligen Wohnhausanlage verursacht werden. Bei der Darstellung der Ergebnisse stellt der Betrachtungsrahmen dar, welche zeitliche und räumliche Phase des Lebenswegs in der jeweiligen Darstellung abgebildet ist.

Betrachtungsebenen: Zur übersichtlicheren Gliederung wird der →*Betrachtungsrahmen* in zeitliche (Lebenswegphasen) und räumliche (Bauleistungen und Betrieb) Betrachtungsebenen unterteilt. Die räumlichen Betrachtungsebenen werden weiter in →*Leistungsbereiche* und →*Betriebsbereiche* gegliedert.

Betrieb: Der Betrieb eines Gebäudes umfasst dessen Versorgung mit Energie und Trinkwasser und die Entsorgung des anfallenden Abwassers während der gesamten →*Nutzungsphase*.

Betriebsbereich: Die →*Betrachtungsebene* →*Betrieb* ist in Betriebsbereiche unterteilt. Diese Betriebsbereiche sind Trinkwasserbedarf, Abwasseranfall, Bedarf an Haushaltsstrom und Bedarf an Energie für Beheizung und Warmwasserbereitstellung.

Charakterisierungsfaktor, Charakterisierungsmodell: Über die Zuordnung zu Charakterisierungsmodellen werden bei der Wirkungsabschätzung die unbewerteten →*Input*- und →*Outputströme* zu →*Wirkungsindikator*ergebnissen zusammengefasst. Dazu wird auf Charakterisierungsfaktoren zurückgegriffen, die die Gewichtung der Input- und Outputströme zum Referenzwert der →*Wirkungskategorie* festlegen.

Endenergiebedarf (EEB): Der Endenergiebedarf ist jene Energiemenge, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um die erforderliche Konditionierung gewährleisten zu können. Diese Energiemenge umfasst den →*Heizwärmebedarf*, den Kühlbedarf und den Energiebedarf für Belüftung und Beleuchtung inklusive aller Bereitstellungsverluste etc.

Energieausweis: Der Energieausweis ist ein Dokument zur Beschreibung der energetischen Qualität eines Gebäudes. Er muss zukünftig für jedes neu zu errichtende, zu sanierende und jedes bestehende Gebäude erstellt werden. Bei seiner Erstellung werden bautechnische und haustechnische Elemente des jeweils untersuchten Gebäudes berücksichtigt.

Energiefluss: Der Energiefluss stellt den Energiestrom dar, der von einem Gebäude auf dessen Lebensweg verursacht wird. Im Gegensatz zu →*Input*- und →*Outputströmen* werden hier nicht natürliche Ressourcen und Rohstoffe untersucht, sondern im Gebäude direkt nutzbare Formen von Energie (Strom, Wärme etc.).

Errichtungsphase: Die Errichtungsphase umfasst die gesamte Errichtung des Gebäudes. Sie beginnt beim Abbau der erforderlichen Rohstoffe und endet bei der Übergabe des fertigen Gebäudes an den Nutzer. In dieser Arbeit werden somit alle in dieser Zeitspanne entstehenden Umweltwirkungen in der Lebenswegphase Errichtung abgebildet.

funktionale Einheit: Die funktionale Einheit stellt den quantifizierten Nutzen eines →*Produktsystems* dar. Sie dient zur Verwendung als Vergleichseinheit und ist daher insbesondere bei vergleichenden Ökobilanzen von zentraler Bedeutung [41].

Im Bauwesen sind als funktionale Einheit folgende Ebenen denkbar: Baustoff bzw. Bauprodukt, Bauteil, Gebäude, Gebäudenutzen [23]. In dieser Arbeit wurde der Gebäudenutzen „Wohnen für 70 Jahre“ als funktionale Einheit gewählt.

funktionelle Einheit: siehe →*funktionale Einheit*.
In der Literatur[1] werden die Begriffe „funktionale“ und „funktionelle“ Einheit gleichbedeutend verwendet. In dieser Arbeit erfolgt die Festlegung auf den Begriff →*„funktionale Einheit“*, um terminologische Klarheit zu schaffen.

Gesamtnutzungsdauer: Die Gesamtnutzungsdauer bestimmt die Länge der →*Nutzungsphase* eines Gebäudes. Sie variiert je nach untersuchtem Gebäudetyp und wurde in dieser Arbeit für die untersuchten Wohnhausanlagen mit 70 Jahren festgelegt.

Gebäuderichtlinie: Die Gebäuderichtlinie (EPBD) der Europäischen Union sieht vor, dass bis spätestens Jänner 2009 in allen Mitgliedsstaaten eine verpflichtende Ausstellung von

[1] Auch in der ÖNORM EN ISO 14040 wird der Begriff „funktionelle Einheit“ verwendet.

→*Energieausweisen* für Neu- und Bestandsgebäude einzuführen ist. Dadurch soll im Wohn- und Dienstleistungssektor ein höheres Energiebewusstsein geschaffen und in der Folge größere Energieeffizienz erreicht werden [7].

Heizenergiebedarf (HEB): Der Heizenergiebedarf stellt die Summe aus Heizwärmebedarf, Warmwasserwärmebedarf und dem Heiztechnikenergiebedarf dar. Er ist ein Teil des Endenergiebedarfs.

Heiztechnikenergiebedarf (HTEB): Der Heiztechnikenergiebedarf umfasst Verluste, die bei Erzeugung, Verteilung und Speicherung der Heizenergie entstehen. Somit ist der Heiztechnikenergiebedarf jene Energiemenge, die zusätzlich zum →*Heizwärmebedarf* und zum Warmwasserwärmebedarf bereitgestellt werden muss, um die gewünschte Solltemperatur tatsächlich gewährleisten zu können.

Heizwärmebedarf (HWB): Der Heizwärmebedarf ist jener Teil des →*Endenergiebedarfs*, der für die Beheizung des Gebäudes aufzubringen ist. Diese Wärmemenge muss an einen Raum abgegeben werden, um die gewünschte Solltemperatur zu erreichen.

Hilfsenergie: Hilfsenergie ist jene Energie, die nicht zur unmittelbaren Deckung des Heizwärmebedarfs bzw. der Warmwasserbereitung eingesetzt wird, sondern zum Betrieb der haustechnischen Anlage dient. Als Energieträger für die Hilfsenergie wird meistens Strom eingesetzt. [65]

Humantoxizitätspotential (HTP): Die Humantoxizität beschreibt schädliche Auswirkungen von Schadstoffen (Emissionen in Luft, Wasser, Böden) die über die Luft, Nahrung oder andere Produkte aufgenommen werden, auf den Menschen [29], [10].

Instandhaltung: Die Instandhaltung stellt einen Teil der Nutzungsphase dar. Um die bauliche Substanz eines Gebäudes während der Nutzungsphase in nutzbarem Zustand zu erhalten, sind Instandhaltungsarbeiten erforderlich. Neben regelmäßigen Wartungsarbeiten sind bei der Instandhaltung bauliche Maßnahmen erforderlich. Dabei werden Bauteile, die nicht länger wirtschaftlich nutzbar sind, ausgetauscht.

Maßgeblichen Einfluss auf die Instandhaltung hat die Nutzungsdauer des Gebäudes bzw. der einzelnen Bauteile.

Inputströme: Inputströme sind natürliche Rohstoffe oder Ressourcen, die einem Produkt zugeführt werden müssen.

kumulierter Energieaufwand, (CEDr, CEDnr): Der kumulierte Energieaufwand umfasst alle Primärenergieaufwendungen, die bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes entstehen. Dadurch werden neben den energetisch genutzten auch die stofflich genutzten Energieressourcen berücksichtigt [29], [10].

Lebensweg: Der Lebensweg eines Gebäudes beginnt bei der Gewinnung der eingesetzten Rohstoffe und Ressourcen und endet bei der vollständigen Beseitigung. Er umfasst die Lebenswegphasen →*Errichtung*, →*Nutzung* und →*Rückbau*.

Lebenszyklus: siehe →*Lebensweg*.
In der Literatur ist sowohl der Begriff „Lebensweg“ als auch „Lebenszyklus“ gebräuchlich. Unter Lebenszyklus wird im Allgemeinen das Durchlaufen der Phasen „Erzeugung“, „Nutzung“ und „Entsorgung“ einzelner Produkte verstanden [15]. Nachdem das „Produkt“ Gebäude in den meisten Fällen diese Phasen nur einmal durchläuft, kann der „Zyklus“ hier durch einen

linearen „Lebensweg“ ersetzt werden. Daher wird dieser Begriff in der weiteren Arbeit verwendet.

lebenszyklusweit: siehe →*Lebensweg*. Das Adjektiv „lebenszyklusweit“ beschreibt den gesamten Lebensweg eines Gebäudes.

Leistungsbereiche: In den Leistungsbereichen werden die →*Umweltwirkungen* der Bauleistungen, die in den Leistungspositionen der verschiedenen Leistungsgruppen verursacht werden, zusammengefasst.
Der Begriff ist vom „Kostenbereich“ der ÖNORM B 1801-1 [33] abgeleitet. Es wurden einzelne Kostenbereiche aus dieser Norm übernommen und um zusätzlich erforderliche Bereiche ergänzt.
In dieser Arbeit werden die Leistungsbereiche Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Technik, Bauwerk-Ausbau, Außenanlagen und Transporte untersucht.

Leistungspositions-Analyse: Im Rahmen der Leistungspositions-Analyse wird der →*Stofffluss* der Bauleistungen ermittelt. Dieser dient als Eingangswert in die Sachbilanzphase der eigentlichen →*Ökobilanz*. Es wird die Masse der für eine Einheit einer Leistungsposition eingesetzten Materialien erhoben. Durch die Multiplikation mit dem Vordersatz der Position wird die Positionssumme errechnet, diese ergibt aufsummiert den Stofffluss für alle Positionen des untersuchten Leistungsverzeichnisses.

Nutzungsdauer: Die Nutzungsdauer wird unterschieden in →*Bauteilnutzungsdauer* und →*Gesamtnutzungsdauer*. Sie ist jene Zeitspanne, in der eine bestimmungsgemäße Nutzung eines Gebäudes oder eines zusammengesetzten Bauteils unter bestimmten Nutzungsbedingungen wirtschaftlich sinnvoll möglich ist. Die Länge der Nutzungsdauer wird durch Material, Entwurf, Umfeld, Nutzung und Instandhaltung bestimmt [32].

Nutzungsphase: Die Nutzungsphase stellt jene Periode dar, in der ein Gebäude bestimmungsgemäß genutzt wird.
Ihre Länge ist abhängig vom Gebäudetyp sowie der Art der Nutzung. In der Nutzungsphase muss einerseits der Betrieb des Gebäudes gewährleistet werden und andererseits müssen die erforderlichen Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden, um die bauliche Substanz des Gebäudes zu erhalten. Daher wurde die Nutzungsphase in dieser Arbeit aufgeteilt in die →*Betrachtungsebenen* →*„Betrieb“* und →*„Instandhaltung“*.
Es wurde eine →*Nutzungsdauer* der Wohnhausanlagen von 70 Jahren angenommen.

Ökobilanz: In einer Ökobilanz werden die potentiellen →*Umweltwirkungen* eines →*Produktsystems* auf dessen →*Lebensweg* ermittelt. Der Rahmen einer Ökobilanz umfasst die Ökobilanzphasen „Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen“, „Sachbilanz“, „Wirkungsabschätzung“ und „Auswertung“.

Ökoinventare, Ökoinventar-Datenbank: Ökoinventare (auch Ökoinventar-Datenbanken) ermöglichen die Zuordnung von Wirkungsindikator-Ergebnissen zu unbewerteten →*Stoff- und Energieflüssen*. Dazu werden in Datenbanken Datensätze von Produkten und Dienstleistungen zur Verfügung gestellt, für die eine detaillierte Erhebung der →*Input-* und →*Outputströme* erstellt wurde. Über die Zuordnung dieser Input- und Outputströme zu →*Wirkungskategorien* und die Verknüpfung mit →*Charakterisierungsmodellen* werden die →*Wirkungsindikator-Ergebnisse* gewonnen werden.

Outputströme: Outputströme sind natürlich vorkommende Stoffe, die bei der Herstellung eines Produkts entstehen. Dabei handelt es sich meist um feste, flüssige oder gasförmige Emissionen.

Ozonschichtabbaupotential (ODP): Durch den in erster Linie durch Halogene verursachten Abbau der stratosphärischen Ozonschicht gelangt ein hoher Prozentsatz der ultravioletten Strahlung (UV-B) auf die Erdoberfläche. Dort bewirkt das UV-B Schäden an lebenden Organismen und an Ökosystemen sowie eine Reduktion der Phytoplanktonproduktion [29], [10].

Personenbelegung: Personenbelegung bezeichnet hier die jeweilige Anzahl an Personen, die in einer Wohneinheit (Wohnung, Wohnhausanlage) wohnt. Dabei wird in dieser Arbeit die Maximalbelegung durch die Anzahl der pro Wohnung zur Verfügung stehenden Wohnräume definiert. Die mittlere Personenbelegung stellt eine individuell für jede Wohnhausanlage ermittelte durchschnittliche Auslastung dar.

photochemisches Oxidantenbildungspotential (POCP): Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entsteht durch photochemische Reaktion aus Vorläufersubstanzen wie Kohlenwasserstoffen oder Stickoxiden photochemischer Smog. Dieser sogenannte „Sommersmog“ kann humantoxische Effekte, Vegetationsschäden und Atembeschwerden hervorrufen [29], [10].

Produktsystem: Das Produktsystem stellt die Kombination mehrerer Produkte auf deren Lebensweg dar. In dieser Arbeit entspricht das Produktsystem den untersuchten Wohnhausanlagen.

Rückbauphase: Die Rückbauphase eines Gebäudes umfasst Abbruch und Beseitigung eines Gebäudes.

Stofffluss: Der Stofffluss stellt den Massenstrom dar, der von einem Gebäude auf dessen Lebensweg verursacht wird. Im Gegensatz zu →*Input*- und →*Outputströmen* werden hier keine natürlichen Ressourcen und Rohstoffe untersucht, sondern Bauprodukte und andere stoffliche Produkte, die bei Errichtung, Nutzung und Rückbau eines Gebäudes erforderlich sind oder als Abfallprodukt anfallen (beispielsweise Wasser, Abwasser, Beton, Stahlblech etc.).

Systemgrenzen: Systemgrenzen legen den zeitlichen und räumlichen →*Betrachtungsrahmen* der Ökobilanz fest. Es werden Kriterien festgelegt, die zur Abgrenzung von Prozessen des untersuchten →*Produktsystems* gegenüber Koppel- und Nebenprodukten dienen [41].

terrestrisches Ökotoxizitätspotential (TOTP): Während die Humantoxizität die schädliche Auswirkung von Stoffen auf den Menschen beurteilt, stellt die Ökotoxizität die Wirkung von toxischen Substanzen auf aquatische, terrestrische und sedimentäre Ökosysteme dar. Hier wird die Auswirkung auf terrestrische Ökosysteme betrachtet [29], [10].

Treibhauspotential (GWP): Der Wirkungsindikator Treibhauspotential umfasst diejenigen Substanzen, die zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen. Die Erhöhung der Konzentration von Gasen, die den Treibhauseffkt fördern, führt dazu, dass es auf der Erde zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur und in weiterer Folge zu einer globalen Veränderung des Klimas kommt. Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Flourchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs, H-FKWs) stellen dabei die klassischen anthropogenen Treibhausgase dar [29], [10].

Überdüngungspotential (EP): Das Überdüngungspotential ist ein Maß für die Fähigkeit einer Substanz, die Bildung von Biomasse zu unterstützen. Durch Überdüngung (Eutrophierung) wird ein höheres Wachstum an Pflanzen, Algen und Plankton verursacht [29], [10].

Umweltwirkungen: Umweltwirkungen sind Auswirkungen (positive oder negative Veränderungen) auf die Umwelt, die ganz oder teilweise durch Bauwerke, zusammengesetzte Bauteile oder Prozesse und Dienstleistungen verursacht werden [32].

Versauerungspotential (AP): Durch die Versauerung von Böden und Gewässern ist es wahrscheinlich, dass biologische Veränderungen an aquatischen und terrestrischen Ökosystemen entstehen. Die Reduktion des pH-Werts in Gewässern und Böden kann zur Freisetzung von Schwermetallen führen, die in der Folge von Pflanzen und Tieren aufgenommen werden können. Weiters wird durch die Verarmung an Pflanzennährstoffen eine Verringerung der Artenvielfalt verursacht. Negative Folgen können außerdem die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch lungengängige Partikel sowie Korrosionsschäden an Werkstoffen und Bauteilen sein [29], [10].

Warmwasserwärmebedarf (WWWB): Der Warmwasserwärmebedarf stellt jenen Teil des Energiebedarfs dar, der zur Deckung des Bedarfs an Warmwasser erforderlich ist.

Wirkungsindikator: Ein Wirkungsindikator ist die quantifizierte Darstellung einer →*Wirkungskategorie*.

Wirkungskategorie: Eine Wirkungskategorie stellt eine Klasse dar, die wichtige Umweltthemen repräsentiert und der Sachbilanzergebnisse zugeordnet werden können [41].

Teil I

Hintergrund

Kapitel 1

Einleitung

Das aktuelle Bestreben, dem in den Medien mittlerweile heftig geforderten Umweltschutz und speziell dem Klimaschutz gerecht zu werden, wirkt sich seit einigen Jahren auch direkt auf das Bauwesen aus. Neben der Reduktion des Energiebedarfs werden mittlerweile erste Anstrengungen unternommen, auch eine Reduktion der durch die Baumaßnahmen verursachten Umweltwirkungen zu erreichen.

Dieses Umdenken ist mitunter ein Grund für die politisch motivierte Umgestaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung von Gebäuden in Österreich. Neben der angestrebten Harmonisierung der in Österreich landesweit verschiedenen Baugesetze und der Implementierung der EU-Richtlinie über die „Energy Performance of Buildings“ [7] wurde im Dezember 2004 eine Artikel 15a-Vereinbarung[1] [54] zwischen Bund und Ländern geschlossen. Im Rahmen dieser im Verfassungsrang stehenden Vereinbarung wurden „gemeinsame Qualitätsstandards für die Förderung der Errichtung und Sanierung von Wohngebäuden zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen“ [54] festgelegt. Diese Vereinbarung, die mit Jänner 2006 in Kraft trat, ist von den einzelnen Bundesländern im Rahmen der Wohnbauförderungsprogramme umzusetzen. Dieser Forderung wurde bereits vielfach in Form von neuen Förderungsrichtlinien entsprochen. Im Zuge einer Überarbeitung dieser Artikel 15a-Vereinbarung werden derzeit Verhandlungen über neue, verschärfte Anforderungen an Errichtung und Sanierung von Wohngebäuden geführt.

Demzufolge ist absehbar, dass in wenigen Monaten eine erneute Überarbeitung der Wohnbauförderungsrichtlinien erforderlich sein wird. Das Bestreben der Länder sollte bei dieser Überarbeitung darin liegen, ein – der Definition von Nachhaltigkeit entsprechendes[2] – Optimum an Maßnahmen zu erzielen. Ob dieses Optimum einzig mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs erreicht werden kann, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

Die ursprüngliche Fragestellung, die dieser Arbeit zugrundelag war daher, wie sich die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen von Gebäuden auf die einzelnen Lebenswegphasen[3] verteilen. Im Zuge des Planungsprozesses der Arbeit wurde diese allgemeine Fragestellung dahingehend konkretisiert,

[1] Vereinbarung gemäß Artikel 15a des Bundesverfassungsgesetzes

[2] Details dazu sind Kapitel 2 zu entnehmen.

[3] Es ist in diesem Zusammenhang sowohl der Begriff „Lebensweg“ als auch „Lebenszyklus“ gebräuchlich. Unter Lebenszyklus wird im Allgemeinen das Durchlaufen der Phasen „Erzeugung“, „Nutzung“ und „Entsorgung“ einzelner Produkte verstanden. Nachdem das „Produkt“ Gebäude in den meisten Fällen diese Phasen nur einmal durchläuft, kann der Terminus „Zyklus“ hier durch den des linearen „Lebenswegs“ ersetzt werden. Dieser Begriff wird im weiteren Text verwendet.
Für die Kosten, die am Lebensweg eines Gebäudes entstehen, hat sich jedoch der Begriff der „Lebenszykluskosten“ etabliert, weswegen er in dieser Arbeit beibehalten wird.

dass vier Wohnhausanlagen verschiedener Bauweise (Holz- und Massivbauweise) untersucht werden sollten. Der beschränkte Zeitrahmen, der bei einer Diplomarbeit zur Verfügung steht, ließ eine Einschränkung dahingehend erforderlich werden, dass eine Grundlagenstudie erstellt werden sollte, die Zusämmenhänge zwischen Lebenswegphasen und Umweltwirkungen aufzeigt.

Auf Grundlage der Literatur wurde die Hypothese aufgestellt, dass je nach untersuchter Wirkungskategorie zwischen 40 und 90% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen durch den Betrieb verursacht werden [14], [19], [49], [50].

Zur Untersuchung der Fragestellung sollen mehrere unterschiedliche Ebenen analysiert werden:

- Im Vordergrund steht der Vergleich der Lebenswegphasen. Damit soll gezeigt werden, ob im Gebäudebetrieb oder bei den Bauleistungen der überwiegende Teil der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen entsteht. Außerdem soll so ermittelt werden, welche Phase der Bauleistungen (Errichtung, Instandhaltung, Rückbau) hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen optimiert werden könnte.

- Auf Grundlage des lebenszyklusweiten Vergleichs soll in einem weiteren Schritt untersucht werden, welche Bereiche besonders hohen Anteil an den Umweltwirkungen haben.

- Diese Analyse von Bauleistungen und Betrieb soll auf Ebene einzelner Positionen so detailliert sein, dass einzelne Positionen benannt werden können, bei deren Errichtung besonders hohe Umweltwirkungen entstehen.

Für diese Vergleiche werden mithilfe der Ökobilanzierung vier Wohnhausanlagen auf ihrem gesamten Lebensweg im Detail untersucht. Um der angestrebten Betrachtung sämtlicher am Lebensweg entstehenden Umweltwirkungen gerecht werden zu können, ist es erforderlich, eine möglichst umfassende Untersuchung durchzuführen. Es sollen dabei keine Teile des Gesamtsystems Gebäude vernachlässigt werden, da eine Einschätzung der Auswirkungen mit dem derzeitigen Stand der Forschungen nur bedingt möglich wäre.

Durch die detaillierten Analysen soll herausgefunden werden, welche Bauteile besonderen Anteil an den Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen haben. Somit kann aufgezeigt werden, in welchen Bereichen das meiste Potential zur Reduktion der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen eines Gebäudes liegt.

Die Arbeit ist in zwei Teile gegliedert:

- Teil I erläutert den für die Durchführung der Ökobilanz erforderlichen theoretischen Hintergrund. Es wird aufgezeigt, wie verschiedene Begriffe in der Literatur verwendet werden und wie diese in der vorliegenden Arbeit eingesetzt sind.

- Im zweiten Teil wird die Durchführung der Ökobilanz von vier ausgewählten Wohnhausanlagen beschrieben. Dabei werden basierend auf einer Leistungspositions-Analyse die Stoff- und Energieflüsse erhoben, die am Lebensweg dieser Gebäude auftreten. Die erhobenen Daten dienen als Grundlage für die Ermittlung der entstehenden lebenszyklusweiten Umweltwirkungen. Die Ergebnisse der Berechnung der Umweltwirkungen werden abschließend dargestellt und im Detail beschrieben.

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Grundlagenstudie. Es sollten daher in zukünftigen Untersuchungen die gewonnenen Daten verdichtet und detaillierter analysiert werden. Es sollten Maßnahmen erarbeitet werden, um die gesamten Umweltwirkungen von Gebäuden zu minimieren. Diese

Maßnahmen könnten beispielsweise in der Anwendung anderer Materialien, der Reduktion des Rohstoffeinsatzes oder der Verlängerung der Bauteillebensdauer liegen. Auch die Weiterentwicklung zu einem einfach zu bedienenden Bewertungstool, auf Basis dessen Optimierungen an Gebäuden vorgenommen werden können, ist wünschenswert und sollte in nachfolgenden Untersuchungen jedenfalls weiter vorangetrieben werden.

Kapitel 2

Nachhaltigkeit

Die aktuelle Diskussion um die zur Neige gehenden fossilen Rohstoffe, die Verschmutzung von Gewässern, die Zersiedelung der Landschaft und über den anthropogenen Anteil am Klimawandel hat das generelle Umweltbewusstsein in den letzten Monaten und Jahren deutlich verändert. Noch vor wenigen Jahrzehnten wurde die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes und damit der Wohlstand seiner Bevölkerung an die erste Stelle der Entwicklungsziele gesetzt. Die starke Medienpräsenz des Themas „Umweltschutz“ erweckt mittlerweile den Eindruck, als hätte – zumindest in den Industrienationen – der Schutz der Umwelt stark an Bedeutung gewonnen. Die Frage nach der wirtschaftlichen Entwicklung ist heutzutage in den meisten Fällen eng mit jener der durch diese Entwicklung hervorgerufenen Belastung der Umwelt verknüpft. Die steigende Bedeutung von Umweltverträglichkeitsprüfungen oder die wachsende Nachfrage nach „ökologischen Geldanlagen“ stellen Beispiele dafür dar. Es scheint nur noch eine Frage der Zeit zu sein, bis die Bedeutung des Umweltschutzes gleich bewertet wird wie Wirtschaftswachstum und Sozialverträglichkeit. Dieser Zeitpunkt wäre somit der Start einer nachhaltigen Entwicklung, wie sie im folgenden Kapitel beschrieben wird.

Auch das Bauwesen kann natürlich aus dieser Diskussion nicht ausgespart werden, weil die Auswirkungen des Bauens auf die Umwelt sehr hoch sind. Darum wurden in den letzten Jahren immer stärkere gesetzliche Anforderungen an das Bauwesen gestellt. Beispielsweise sind Umweltverträglichkeitsprüfungen für Großprojekte bereits seit Jahren obligatorisch, müssen für Großbaustellen im innerstädtischen Bereich ausgeklügelte Logistikkonzepte erstellen werden, oder ist für neu errichtete Gebäude seit dem 1. Jänner 2008 die Erstellung eines Energieausweises verpflichtend.

Anhand der Entwicklung des Bedarfs an Heizenergie von Einfamilienhäusern kann die Sinnhaftigkeit von gesetzlichen Verpflichtungen zur Erfüllung von Umweltschutzbelangen aufgezeigt werden [56]. In den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg, in denen die Schaffung von Wohnraum oberste Priorität hatte, waren Werte jenseits von 200 kWh/m^{2}a für den Heizwärmebedarf üblich. In den 70er-Jahren wirkten sich die Ölpreisschocks stark auf diesen Bereich aus. Das Problem hoher Energiekosten ließ die Thematik „Wärmeschutz“ in einem neuen Licht erscheinen. Nachdem erste gesetzliche Regelungen (Bauordnung, Wärmedämmverordnung) erlassen wurden, wurde binnen weniger Jahre in der Zeit um 1980 – auch Dank neuer Dämmmaterialien – zuerst eine Reduktion des durchschnittlichen Bedarfs an Heizenergie bei Einfamilienhäusern auf ca. 120 kWh/m^{2}a und später auf unter 100 kWh/m^{2}a erreicht. Aus der kontinuierlichen Steigerung der Anforderungen an die Gebäudehülle resultiert heute ein durchschnittlicher Heizwärmebedarf von Neubauten von ca. 50 kWh/m^{2}a. Das Bestreben, die Passivhaustechnologie als Bauweise der Zukunft zu etablieren, würde es ermöglichen, bei neu errichteten Einfamilienhäusern den Heizwärmebedarf unter 15 kWh/m^{2}a sinken lassen.

Der Energiebedarf für die Beheizung wird im Neubaubereich demnach mittlerweile weitgehend optimiert. Bei der Sanierung von bestehenden Gebäuden spielen solche Überlegungen vielfach noch keine große Rolle. Der Anteil von thermischen Sanierungen an den insgesamt durchgeführten Sanierungs- und Erhaltungsarbeiten ist vergleichsweise gering. Um eine Reduktion des Heizwärmebedarfs des gesamten Gebäudebestands zu erreichen, ist es hier unbedingt erforderlich, die Quote der thermischen Sanierungen von derzeit 1% auf künftig 5% zu steigern [56]. Um eine solche Steigerung erreichen zu können, ist eine Reihe von Maßnahmen erforderlich. Als Beispiel für solche Maßnahmen kann etwa die Anpassung der gesetzlichen Rahmenbedingungen[1] für die Sanierung von Wohngebäuden genannt werden.

Der Energiebedarf für Kühlung entwickelt sich genau entgegengesetzt zum Heizwärmebedarf. Durch den steigenden Anspruch an die Behaglichkeit und die Zunahme von Hitzeperioden in Folge des Klimawandels nimmt die Zahl von Klimaanlagen in Österreich, sowie auch in den übrigen Ländern Europas, in den letzten Jahren stetig zu. Dadurch muss mittlerweile in Regionen mit gemäßigtem Klima – wie in Österreich – Bürogebäuden mehr Energie in Form von Kälte im Sommer als Wärme im Winter zugeführt werden. Diese Entwicklung befindet sich jedoch erst am Anfang. Mit der Einführung des Energieausweises, in dem auch der Kühlbedarf von Nichtwohngebäuden ausgewiesen werden muss, soll vermehrtes Augenmerk auf die Vermeidung von Kühlbedarf bereits bei der Konzeption des Gebäudes gelegt werden. Dadurch soll dieser Entwicklung entgegengewirkt werden [7].

Auch bei der Beurteilung, wie sich der Einsatz unterschiedlicher Baumaterialien auf die Umwelt auswirkt, hat sich die Forschung in den letzten Jahren stark in Richtung des „nachhaltigen Bauens“ entwickelt. Die Entscheidung für einen bestimmten Baustoff kann mittlerweile nicht nur durch die an ihn gestellten wesentlichen Anforderungen, wie sie in der Bauproduktenrichtlinie [8] definiert sind, getroffen werden. Durch die Etablierung der Methode der Ökobilanz können nun auch verschiedene zur Auswahl stehende Materialien hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen miteinander verglichen werden. In der Baupraxis hat sich diese Möglichkeit bis dato nur eingeschränkt durchgesetzt. Fortschritte in der Forschung und damit einhergehend eine Vereinfachung der zur Verfügung stehenden Instrumente einerseits und größerer Druck auf die Bauausführenden von Seiten der Auftraggeber und der Politik andererseits könnten dies jedoch in den nächsten Jahren entscheidend verändern.

2.1 Der Begriff Nachhaltigkeit

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ ist seit einiger Zeit zu einem viel verwendeten Ausdruck geworden. Trotz der häufigen Verwendung ist jedoch selten bekannt, was sich eigentlich hinter diesem Begriff verbirgt.

Ursprünglich geprägt wurde der Audruck in der Forstwirtschaft, wobei unter „Nachhaltigkeit“ verstanden wurde, nicht mehr Holz einzuschlagen als im selben Zeitraum nachwachsen könnte. Das folgende Zitat, das den Begriff „nachhaltig“ wesentlich prägte, stammt aus der „Sylvicultura Oeconomica“ von Hanns Carl von Carlowitz aus dem Jahre 1713:

> *„Wird derhalben die größte Kunst, Wissenschaft, Fleiß, und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen, wie eine sothane Conservation und Anbau des Holzes anzustellen, daß es eine continuirliche beständige und nachhaltende Nutzung gebe, weiln es eine unentbehrliche Sache ist, ohnewelche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“ [4]*

[1] Relevante Gesetze sind dabei das Wohnungseigentumgsgesetz (WEG), das Mietrechtsgesetz (MRG) oder das Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz (WGG).

Nach mehr als einem Vierteljahrtausend in dem der Nachhaltigkeit abseits des Forstwesens[2] keine große Bedeutung zugemessen wurde, griff Dennis Meadows in seinem viel zitierten Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ an den Club of Rome im Jahr 1972 das Thema in einem anderen Kontext wieder auf [30]. Er untersuchte in diesem Bericht Szenarien über die zukünftige Entwicklung der Menschheit und stieß dabei auf mögliche Einschränkungen. Seine Untersuchungen ergaben, dass begrenzte Lagerstätten fossiler Rohstoffe zu einer Knappheit dieser Ressourcen führen würden. Als Alternative nannte er die Möglichkeit, ein ökologisches und ökonomisches Gleichgewicht herzustellen, das auch in Zukunft nachhaltig wirken sollte. Seit Meadows für den Begriff „Nachhaltigkeit“ die Brücke von der Forstwirtschaft zu Ökonomie und Ökologie geschlagen hat, wird dieser sehr häufig verwendet und ist aus dem täglichen Sprachgebrauch nur noch schwer wegzudenken.

Ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung des Begriffs „Nachhaltigkeit“ war der von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung veröffentlichte Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“[3] aus dem Jahr 1987. Darin wurde erstmals ein „Leitbild der nachhaltigen Entwicklung“ definiert. Der Bericht beschreibt eine Entwicklung, „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ [69].

Graubner und Hüske definieren das allgemeine Ziel der Nachhaltigkeit in ähnlicher Art und Weise wie im Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ folgendermaßen:

> *„Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ist es, die Verbesserung der Lebensbedingungen des Menschen in wirtschaftlicher und sozialer Hinsicht mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen.“ [15]*

Es soll also – Meadows dachte diesbezüglich bereits 1972 ähnlich – ein Gleichgewicht gefunden werden, das die scheinbar diametralen Interessen von wirtschaftlicher Entwicklung und sozialem Wohlbefinden einerseits und Umweltschutz andererseits bestmöglich befriedigt.

2.2 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

Die Definition von Graubner und Hüske weist auf drei Aspekte hin, die die drei wesentlichen Dimensionen (auch „Säulen“) der Nachhaltigkeit darstellen:

- Ökologische Nachhaltigkeit (Umwelt)
- Ökonomische Nachhaltigkeit (Wirtschaft)
- Soziale Nachhaltigkeit (Gesellschaft)

Im Folgenden werden nun diese drei Säulen der Nachhaltigkeit genauer beschrieben.

Ökologische Nachhaltigkeit: Der sparsame Umgang mit Ressourcen, der Schutz der biologischen Vielfalt und die Risikovermeidung für Mensch und Umwelt stehen im Zentrum dieser Bestrebungen. Zusammengefasst kann man also von einer Verbesserung der gesamten Umweltqualität sprechen. Im Bauwesen stehen zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Umwelt

[2] Im Forstwesen wird „sustained yield forestry“ seit Langem international gelehrt und berücksichtigt.

[3] Der Bericht wird häufig auch als „Brundtland-Bericht“ nach der Vorsitzenden und früheren norwegischen Umweltministerin Gro Harlem Brundtland bezeichnet.

beispielsweise Emissionen[4], der Verbrauch von mineralischen und energetischen Ressourcen, Flächeninanspruchnahme oder Abfallaufkommen zur Verfügung [15]. Gemäß Eyerer kann, wie in Abbildung 2.1 gezeigt wird, eine weitere Aufgliederung der ökologischen Nachhaltigkeit in die drei Schutzziele „Ökosystem“, „menschliche Gesundheit“ und „natürliche Ressourcen“ vorgenommen werden [9].

Ökonomische Nachhaltigkeit Um die ökonomische – also die wirtschaftliche – Nachhaltigkeit darzustellen, sind die entstehenden Lebenszykluskosten des untersuchten Objekts von zentraler Bedeutung. Die Bestrebungen sollten darin bestehen, diese zu minimieren. Das derzeit vorherrschende Denken in Investitionskosten muss also, um ökonomische Nachhaltigkeit zu erreichen durch eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Produktes abgelöst werden. Dabei sind einige der zentralen Parameter beispielsweise die Lebens- und Nutzungsdauer, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, Gebrauchstauglichkeit etc. [28]. Zudem sollte durch die Mitberücksichtigung externer Kosten versucht werden, größtmögliche „Kostenwahrheit“ anzustreben.

Soziale Nachhaltigkeit Im Zentrum der sozialen Nachhaltigkeit steht der Gedanke, das soziale Umfeld des Menschen optimal zu gestalten. Dies umfasst zwar primär die Einhaltung der Menschenrechte, die aktuellen Bestrebungen gehen jedoch weit über diese bereits 1948 festgelegte Grundrechtscharta hinaus [64]. Es soll dabei auch den Ansprüchen an Sicherheit, Behaglichkeit und Lebensqualität Genüge getan werden. [28]. Kernpunkte dieses Bestrebens im Baubereich sind beispielsweise die Schaffung beziehungsweise Sicherung eines lebenswerten und leistbaren Wohnumfeldes, Sicherung von Arbeitsplätzen, räumliches Vernetzen von Arbeit, Wohnen und Freizeit oder das Etablieren von „gesundem Wohnen“ [15].

In Abbildung 2.1 wird dargestellt, welche Aspekte beispielsweise zur Beurteilung in den drei Dimensionen ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit herangezogen werden können. Bei der ökologischen Nachhaltigkeit kann dabei eine weitere Unterteilung in drei Schutzziele – Ökosystem, menschliche Gesundheit und natürliche Ressourcen – vorgenommen werden. Diese Schutzziele dienen dazu, die schwer überschaubare Menge an Bewertungsaspekten übersichtlicher zu gestalten und deren Auswirkungen zusammengefasst darstellen zu können.

[4] Graubner versteht unter „Emissionen“ den Ausstoß fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe, die eine Verunreinigung der Umwelt und dadurch Umweltschäden nach sich ziehen [15].

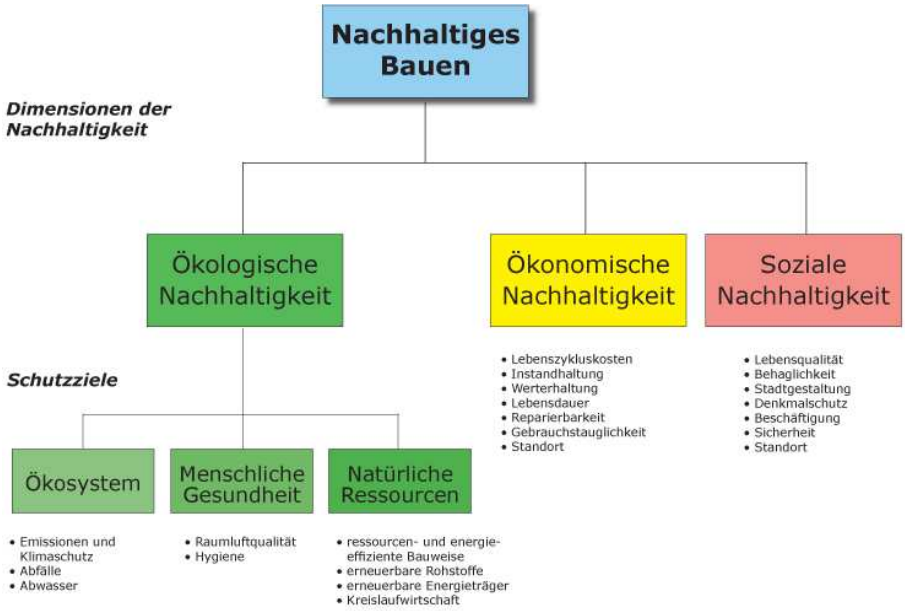

Abbildung 2.1: Dimensionen und Schutzziele der Nachhaltigkeit (Darstellung aus [29])

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch eine Steigerung des Umweltbewusstseins der Begriff „Nachhaltigkeit“ seit einigen Jahren eine Renaissance erlebt. Auch auf das Bauwesen schlägt sich diese Entwicklung nieder. Neben der Reduktion des Heizwärmebedarfs von Wohngebäuden wird mittlerweile auch daran gearbeitet, andere Themen – beispielsweise den Kühlbedarf von Bürogebäuden oder den Einsatz ökologischer Bauprodukte – ebenso unter dem Aspekt des Umweltschutzes zu betrachten. Zum Erreichen von Nachhaltigkeit sind – sowohl generell als auch speziell im Bauwesen – ökologische, ökonomische und soziale Kriterien zu erfüllen. Demnach muss auch bei der monetären Betrachtung ein Umdenken eintreten, sodass anstatt der aktuellen Bewertung der Errichtungskosten von Bauwerken zukünftig die gesamten Lebenszykluskosten betrachtet werden.

Kapitel 3

Integrale Qualität von Gebäuden

Die aktuellen Bestrebungen der internationalen Normungsgremien bestehen darin, den gesamten Lebensweg von Gebäuden möglichst umfassend zu betrachten. Die Berücksichtigung von ökologischer, sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit unter gleichzeitiger Betrachtung von Funktionalität und technischer Leistung der Gebäude wird in prCEN/TS 15643-1 [32][1] als „integrale Qualität von Gebäuden“ bezeichnet.

In dieser Arbeit werden diese Bestrebungen zum Anlass genommen, bei vier Wohnhausanlagen die Säule der ökologischen Nachhaltigkeit der angestrebten „integralen Qualität“ näher zu untersuchen. Dazu werden die während der einzelnen Phasen des Lebenswegs eines Gebäudes auftretenden Umweltwirkungen getrennt voneinander ermittelt und anschließend miteinander verglichen.

Im folgenden Kapitel wird der theoretische Hintergrund für die durchgeführten Berechnungen dargelegt. Es werden grundsätzliche Begriffe und Methoden beschrieben, die in weiterer Folge die Basis für die Untersuchung der Umweltwirkungen bilden.

Folgende Themen werden in diesem Zusammenhang diskutiert:

Zukünftige Gebäudebewertung: Eine allgemeine Beschreibung der aktuellen Normungstätigkeit des CEN/TC 350 „Sustainability of construction works“ gibt einen Überblick über die angestrebte zukünftige Gebäudebewertung. Es wird erläutert, wie in künftigen Normenwerken die integrale Qualität von Gebäuden bewertet wird und welche Faktoren dabei untersucht werden.

Methode der Ökobilanzierung: Um die Umweltwirkungen der Gebäude am Lebensweg ermitteln zu können, ist es erforderlich, eine Ökobilanz für die einzelnen Bauwerke zu erstellen. Die Vorgangsweise zur Erstellung einer Ökobilanz ist in den Normen ÖNORM EN ISO 14040 [41] und ÖNORM EN ISO 14044 [45] beschrieben. Welche konkreten Vorgaben dabei gemacht werden, wird im Kapitel „Methode der Ökobilanzierung“ genauer dargestellt.

Lebensweg von Gebäuden: Die Betrachtung des Lebensweg eines Gebäudes und dessen einzelner Phasen bildet die Grundlage bei der Bewertung der integralen Qualität von Gebäuden. Deshalb wird kurz erläutert, welche Unterschiede in der Literatur bei der Beschreibung des Lebenswegs auftreten und wie für diese Arbeit die Lebenswegphasen klassifiziert wurden.

[1] Die Technische Spezifikation lag bei Erstellung dieses Abschnitts als Entwurf prCEN/TS 15643-1 vom März 2007 den CEN-Mitgliedern zur formellen Abstimmung vor. Im Herbst 2007 wurde sie von den Mitgliedern mehrheitlich abgelehnt.

Instandhaltung: Wesentliche Auswirkungen auf die integrale Qualität eines Gebäudes hat die Länge der Nutzungsphase. Durch den Einfluss auf die Instandhaltung und den Betrieb des Gebäudes können die gesamten entstehenden Umweltwirkungen maßgeblich verändert werden. Die Anzahl der erforderlichen Instandhaltungszyklen wird über die Länge der Bauteilnutzungsdauern definiert.

Gebäudeenergieausweis: In einer kurze Beschreibung wird dargelegt, wie mit Hilfe des Gebäudeenergieausweises der Bedarf an Heizenergie der untersuchten Gebäude ermittelt wird. Dabei ist speziell die Unterscheidung in Nutzenergie für Beheizung und in erforderliche Endenergie wesentlich für diese Arbeit.

Transporte und Baustellenabwicklung: Abschließend erfolgt eine Darstellung, wie sich Transporte und Baustellenabwicklung auf die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen eines Gebäudes auswirken.

3.1 Künftige Gebäudebewertung gemäß CEN/TC 350

Ziel der künftigen Gebäudebewertung ist es, Gebäude hinsichtlich ihrer ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Nachhaltigkeit während des gesamten Lebenszyklus zu bewerten. Dieses Ziel prägt auch die aktuellen Normungsaktivitäten des Europäischen Normungskomitees im Technical Committee CEN/TC 350 „Sustainability of construction works“. Darin soll bis 2009/2010 eine Normenreihe erarbeitet werden, die die Grundlagen dieser ganzheitlichen Bewertung definiert und die auf alle Arten von Gebäuden anwendbar ist. Daraus soll eine gemeinsame Methodik zur Beurteilung der integralen Qualität von Gebäuden abgeleitet werden. Auf Basis dieser Methodik sollen dem Nutzer die Umweltauswirkungen von Gebäuden dargelegt werden, um in weiterer Folge die Notwendigkeit von Verbesserungen hinsichtlich ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte verständlich zu machen.

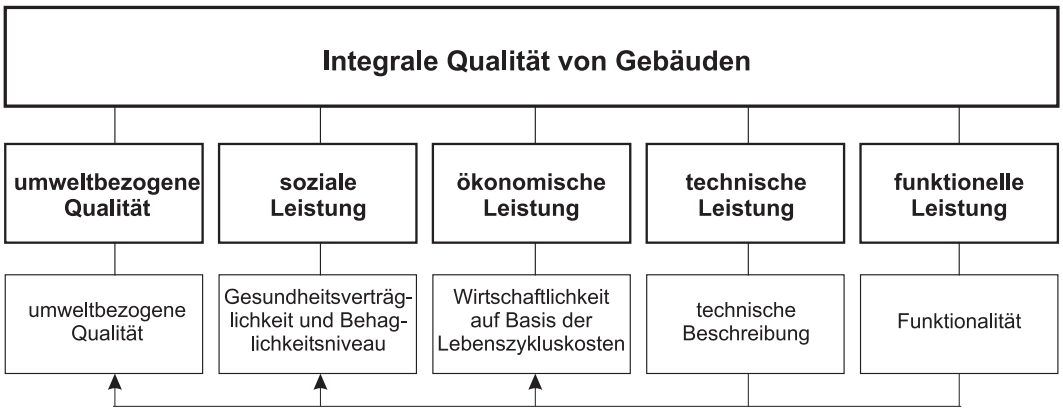

Abbildung 3.1: Bestandteile der integralen Qualität von Gebäuden (eigene Darstellung gemäß [32]) (Anmerkung: Im englischen Original wird von “environmental, social, ecological, technical and functional performance“ gesprochen. In der deutschen Übersetzung wird „performance“ mit Leistung bzw. Qualität übersetzt.)

Die Gliederung der integralen Qualität stellt die Basis der Bestrebungen des CEN/TC 350 dar. Diese Gliederung wird in Abbildung 3.1 gezeigt. Darin werden in der integralen Qualität von Gebäuden neben den Punkten umweltbezogene Qualität, soziale Leistung und ökonomische Leistung, die den

drei Dimensionen der Nachhaltigkeit entsprechen, auch die technische und funktionelle Leistung des Gebäudes als maßgebende Kriterien gesehen. Die aus den beiden letztgenannten Aspekten abgeleiteten Punkte technische Beschreibung und Funktionalität eines Gebäudes üben dabei wesentlichen Einfluss auf die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit aus.

Bis dato wurde im CEN/TC 350 eine Reihe von Rahmendokumenten erarbeitet. Von zentraler Bedeutung war dabei die technische Spezifikation prCEN/TS 15643-1 [32], die die Rahmenbedingungen für die Beschreibung eines Teils der integralen Qualität von Gebäuden umfasst. Dieser Normentwurf wurde jedoch im Herbst 2007 von den CEN-Mitgliedern mehrheitlich abgelehnt. Als Ersatz wird ein Schirmdukument erstellt, in der die drei Dimensionen ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit als Anforderungen für die integrale Qualität von Gebäuden festgelegt werden. In drei weiteren Normen werden die jeweiligen Anforderungen der einzelnen Dimensionen konkretisiert. Diese Entwicklung auf CEN-Ebene wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

In der prCEN/TS 15643-1 wird speziell auf die umweltbezogene Qualität, die Gesundheitsverträglichkeit und das Behaglichkeitsniveau sowie die Wirtschaftlichkeit der Lebenszykluskosten eines Gebäudes eingegangen. Darin werden auch bereits voraussichtlich zur Anwendung kommende Umweltwirkungen, die durch Wirkungskategorien der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz ausgedrückt werden, definiert [32]:

- Treibhauseffekt
- Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht
- Versauerung von Wasser und Boden
- Überdüngung
- Bildung von photochemischen Oxidanten

Dabei bleiben die Kategorien „terrestrische und aquatische Ökotoxizität“ sowie „Humantoxizität“ und „Landnutzung“ bisweilen unberücksichtigt, da hier noch kein wissenschaftlicher Konsens über die Bewertung dieser Kategorien gefunden wurde. Weiters werden folgende Wirkungskategorien festgelegt, bei denen eine Zusammenfassung zu Wirkungsindikatoren nicht erforderlich ist. [32]:

- Erschöpfung und Nutzung nicht erneuerbarer und erneuerbarer Ressourcen (außer Primärenergie)
- Erschöpfung und Nutzung nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergien
- Nutzung von Frischwasserreserven
- Sonderabfälle zur Beseitigung
- Andere Abfälle zur Beseitigung

Die Bewertung der integralen Qualität von Gebäuden soll gemäß prCEN/TS 15643-1 den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfassen. Sie beginnt bei der Bedarfsprüfung und endet bei Abriss und Entsorgung des Bauwerks. In Abhängigkeit von der Nutzungsphase des Gebäudes werden die Stadien des Lebenszyklus dabei gemäß Abbildung 3.3 unterteilt in „vor der Nutzung“, „Nutzung“ und „nach der Nutzung“ [32].

Der Gegenstand der Beschreibung wird dabei als „das Gebäude mitsamt seinem Fundament und äußeren Bauten auf dem zugehörigen Grundstück“ definiert. Geräte, die nicht Teil des Gebäudes sind, sind nicht im Untersuchungsrahmen enthalten [32].

3.2 Die Methode der Ökobilanzierung

Die Methode der Ökobilanz wird zur Beurteilung ökologischer Auswirkungen verwendet [21]. Sundmacher beschreibt sie sehr allgemein als Umweltinformationsinstrument, mit dessen Hilfe eine Beurteilung von Handlungen mit Auswirkungen auf die Umwelt in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten möglich und vor allem auch begründbar ist [62].

Es werden dabei laut Eyerer und Reinhardt „umweltliche Einflüsse, die bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten entstehen, erfasst und bewertet“ [9]. Diese Beschreibung entspricht in etwa der Aussage Sundmachers, dass im Rahmen einer Ökobilanzierung sämtliche Stoffflüsse, die durch Prozesse entlang des Lebenswegs eines Produktes entstehen, berücksichtigt werden sollten. Dabei sollten Rohstoffe, wie sie in der Natur[2] vorkommen, als Input[3] in die Kette der Prozesse des Produkts gewählt werden. Auch auf der Seite des Outputs[4] des Produktsystems sollten neben dem eigentlichen Produkt, das untersucht wird, natürlich vorkommende Rohstoffe als Stoffflüsse stehen, die wieder an die Natur zurückgegeben werden können [62].

Eine Ökobilanz untersucht dementsprechend potentielle Umweltwirkungen von Produkten auf ihrem gesamten Lebensweg. Die Inputströme umfassen dabei die als Ausgangsmaterialien verwendeten Rohstoffe, sowie andere für die Bearbeitung erforderliche Stoffflüsse. Der Verbrauch der Rohstoffe einerseits (Inputströme) und die nicht verwendeten, chemisch oder physikalisch veränderten Reste andererseits (Outputströme wie CO_2-Emissionen durch Verbrennung von fossilen Energieträgern, Abwasseranfall etc.) bedingen Auswirkungen auf die Umwelt. Diese Input- und Outputflüsse werden erhoben und dargestellt.

In den frühen 1990er-Jahren kam es zu ersten Bestrebungen, das Themengebiet „Ökobilanzierung“ normativ zu regeln. Im Jahr 1997 wurde die internationale Normenreihe ISO 14040 ff veröffentlicht [19]. Diese Normenreihe wurde schließlich im Jahr 2006 durch eine Überarbeitung der ISO 14040 und die ISO 14044 ersetzt. Diese Normen haben als ÖNORM EN ISO 14040 [41] sowie ÖNORM EN ISO 14044 [45] in Österreich Gültigkeit. Die letztgenannte Norm kann als Zusammenfassung der zurückgezogenen Normen ÖNORM EN ISO 14041 [42], ÖNROM EN ISO 14042 [43] und ÖNORM EN ISO 14043 [44] betrachtet werden.

In der ÖNORM EN ISO 14040 wird der Rahmen einer Ökobilanz festgelegt. Dieser unterteilt sich in vier Phasen [41]:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

Die einzelnen Bestandteile einer Ökobilanz werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert[5]. Die genannten Phasen werden grundsätzlich der Reihe nach durchlaufen. Im Zuge der Erstellung

[2] In diesem Zusammenhang ist damit die vom Menschen nicht oder nur geringfügig gestaltete Natur gemeint [62].
[3] Input gemäß [41]: „Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der einem Prozessmodul zugeführt wird.“
[4] Output gemäß [41]: „Produkt-, Stoff- oder Energiefluss, der von einem Prozessmodul abgegeben wird.“
[5] Details können bei Frischknecht in [10] und bei Sundmacher in [62] nachgelesen werden.

der Sachbilanz und der anschließenden Wirkungsabschätzung können jedoch Veränderungen in den vorangegangenen Phasen erforderlich werden. Daher ist die Erstellung einer Ökobilanz ein iterativer Prozess, der nicht durch einen vorgegebenen, starren Rahmen eingeschränkt werden sollte, sondern flexible Entwicklungsmöglichkeiten benötigt.

Im Folgenden werden die vier Phasen der Ökobilanz detailliert beschrieben:

3.2.1 Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen

Um eine Ökobilanz für den Leser transparent darstellen zu können, ist es entscheidend, einige Dinge zu Beginn festzulegen [21]. Diese Festlegungen, die große Auswirkungen auf die nachfolgenden Phasen Sachbilanz und Wirkungsabschätzung haben [10], umfassen im Wesentlichen die grundsätzlichen Ziele und den Rahmen der Untersuchung. Durch die äußerst unterschiedlichen Anforderungen an Ökobilanzen variiert die Vorgangsweise in dieser Phase je nach Projekt teilweise erheblich [62]. Daher ist diese Phase im Rahmen der ÖNROM EN ISO 14040 und ÖNORM EN ISO 14044 nur wenig geregelt [41].

Die Normung beschreibt folgende Punkte die im Zuge der Zieldefinition einer Ökobilanz hinreichend genau definiert werden müssen [41]:

- Beabsichtigte Anwendung
- Gründe für die Durchführung
- Angesprochene Zielgruppe
- Verwendung der Ergebnisse

Diese Ziele werden noch dahingehend ergänzt, dass die Rahmenbedingungen der Untersuchung vorab festgelegt werden müssen. Dieser Untersuchungsrahmen betrifft unter anderem Aspekte wie die funktionale Einheit, Systemgrenzen, zu treffende Annahmen, Einschränkungen und Anforderungen an die Datenqualität [41].

Dabei kommt den Aspekten der funktionalen Einheit und der Systemgrenzen besondere Bedeutung zu. Diese bedürfen einer näheren Erläuterung und werden auf den nächsten Seiten genauer beleuchtet.

Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit[6] ist eine Bezugs- und Vergleichsgröße [23]. Sie wird durch die angestrebten Leistungskennwerte des untersuchten Produkts oder des Produktsystems definiert. Sie dient gemäß der ÖNORM EN ISO 14040 dazu, „einen Bezug zu schaffen, auf den die Input- und Outputflüsse bezogen werden“ [41] können. Die Wahl der funktionalen Einheit kann laut Kümmel im Bauwesen auf vier Ebenen erfolgen :

[6] Im Gegensatz zur ÖNORM EN ISO 14040 [41] wird im Zuge dieser Arbeit anstatt der „funktionellen Einheit“ der Begriff „funktionale Einheit“ verwendet. In der Literatur sind beide Begriffe zu finden, weshalb eine Festlegung nötig erschien, um terminologische Klarheit zu gewährleisten.

- *„Baustoff (z.B. 1 to Zement oder 1 m^3 Porenbetonsteine)*
- *Bauteil (z.B. ein Fenster der Größe 1 m x 1 m oder 1 m^2 Außenwand)*
- *Gebäude (z.B. 1 Einfamilienhaus oder 1 Produktionshalle)*
- *Gebäudenutzen (z.B. 500 m^2 beheizte Lagerfläche)“ [23]*

Dabei stellen die ersten drei Ebenen Produktkategorien dar, die vierte Ebene wird durch das Zurverfügungstellen einer Dienstleistung – dem jeweiligen Gebäudenutzen – definiert. In weiterer Folge kann eine Charakterisierung über die sechs wesentlichen Anforderungen an Bauwerke gemäß der Bauproduktenrichtlinie[7] [8] zur exakten Festlegung der funktionalen Einheit vorgenommen werden. Vor allem für vergleichende Ökobilanzen ist eine einheitliche funktionale Einheit, die als Bezugs- und Vergleichsgröße dient, von zentraler Bedeutung [23].

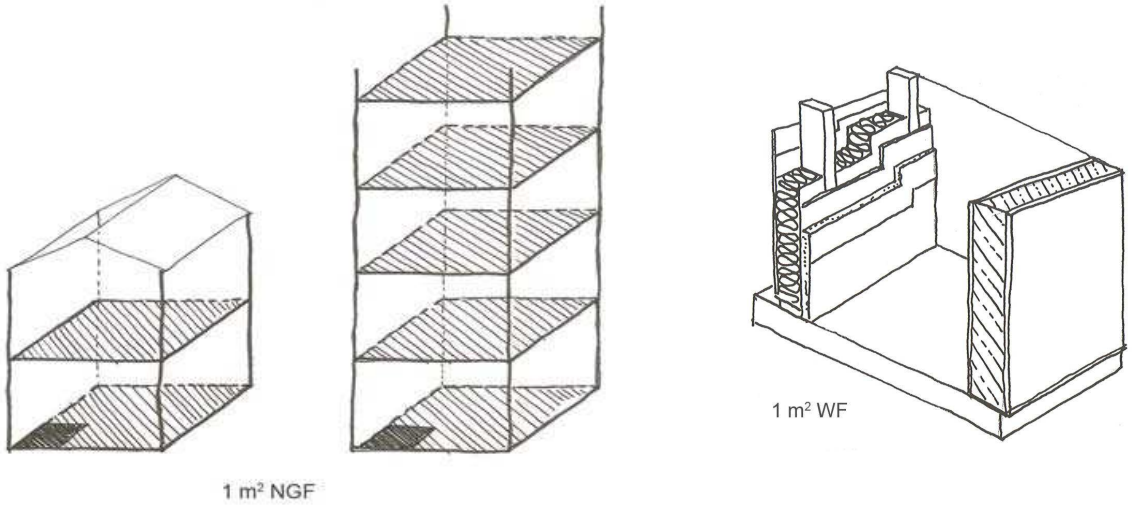

Abbildung 3.2: Wahl der funktionalen Einheit (Darstellungen aus [28])

Anhand von zwei Beispielen wird in Abbildung 3.2 schematisch gezeigt, wo jeweils die Kriterien bei der Festlegung der funktionalen Einheit liegen. Dabei wird in den beiden Darstellungen auf der linken Seite die funktionale Einheit 1 m^2 Geschoßfläche gezeigt die im Falle eines Geschoßwohnbaus – beispielsweise durch ein geringeres A/V-Verhältnis – mit anderen Umweltwirkungen verknüpft ist, als dies bei einem Einfamilienhaus der Fall wäre. Die rechte Darstellung zeigt zwei Wandaufbauten mit der funktionalen Einheit 1 m^2 Wandfläche. Hier ist zu erkennen ist, dass die gezeigten Beispiele mit Sicherheit einen anderen Nutzen im Sinne von wärmedämmender Wirkung erfüllen.

Systemgrenzen

Um einen definierten Rahmen für die Erstellung der Ökobilanz festlegen zu können, ist es erforderlich, Systemgrenzen[8] festzulegen. Diese Systemgrenzen umschließen die in der Untersuchung bilanzierten

[7] Die wesentlichen Anforderungen gemäß BPR sind (1) Mechanische Festigkeit und Standsicherheit; (2) Brandschutz; (3) Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz; (4) Nutzungssicherheit; (5) Schallschutz; (6) Energieeinsparung und Wärmeschutz [8]

[8] Die Bezeichnung „Systemgrenzen“ erfolgt gemäß ÖNORM EN ISO 14040 [41], häufig werden jedoch auch die Begriffe „Bilanzgrenzen“ [62] oder „Abschneidekriterien“ synonym verwendet [9]. In dieser Arbeit wird vom Begriff „Systemgrenzen“ Gebrauch gemacht.

Prozesse. Sie legen daher auch die nicht untersuchten Prozesse fest und beschreiben, warum diese nicht berücksichtigt werden. Gemäß ÖNORM EN ISO 14040 hängt die Auswahl der Elemente im Wesentlichen vom Untersuchtungsrahmen, der Zielgruppe der Ökobilanz, Datenverfügbarkeit und Abschneidekriterien ab [41]. Die Kriterien, die zur Festlegung der Systemgrenze geführt haben, müssen in der Ökobilanz anschaulich und nachvollziehbar beschrieben werden, da andernfalls die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse in Frage gestellt werden könnte.

Sundmacher unterscheidet in drei verschiedene Grenztypen [62]:

1. Grenze zwischen Produktsystem und natürlicher Umwelt
2. Grenze zwischen wesentlichen und unwesentlichen Prozessen des Produktsystems
3. Grenze zwischen verschiedenen Produktsystemen

Dabei handelt es sich bei den Grenztypen 2 und 3 um die häufiger verwendeten: Während der Grenztyp 3 die Allokation von Umweltwirkungen zu verschiedenen Produktsystemen[9] festlegt, regelt der Grenztyp 2, welche Prozesse im Produktsystem jedenfalls berücksichtigt werden müssen. Für die Festlegung der generellen Systemgrenzen schlägt Sundmacher folgende Regeln vor[10] [62]:

- Ausschluss von Hilfsstoffen
- Ausschluss von Anlagen und Kapitalgütern
- Datenarmut bei einzelnen Prozessen
- Allgemeine Abschneideregeln

Bei der Durchführung einer Ökobilanz steht die Definition von zwei Arten von Systemgrenzen im Vordergrund. Es müssen einerseits die „räumlichen“ und andererseits die „zeitlichen“ Systemgrenzen bestimmt werden:

Zeitliche Systemgrenzen: Die zeitlichen Systemgrenzen legen fest, welcher Teil des Lebenszyklus eines Produkts untersucht wird. Dabei kann neben der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus – einer sogenannten „cradle to grave“-Betrachtung – auch die Untersuchung einzelner Abschnitte des Lebenszyklus eines Produkts durchgeführt werden. Man spricht beispielsweise bei der Analyse der Umweltwirkungen, die bei der Erzeugung eines Produkts entstehen, von einer „cradle to gate“-Betrachtung. Damit liegt die Auslieferung der Produkte vom Produktionsstandort nicht mehr innerhalb der zeitlichen Systemgrenze.

Räumliche Systemgrenzen: Bei der Beschreibung der räumlichen Systemgrenzen wird festgelegt, welche Prozesse Teil des untersuchten Produkts sind. Die Stoff- und Energieflüsse, die über die räumlichen Systemgrenzen hinaus zu Begleitprozessen stattfinden, müssen im Rahmen des Allokationsprozesses entsprechend zugeordnet werden. Die Allokation wird im Zuge der Sachbilanz durchgeführt.

[9] Beispielsweise muss bei der Energieerzeugung durch thermische Verwertung von Reststoffen eine Zuordnung der entstehenden Umweltwirkungen zu den beiden Prozessen „Entsorgung der Reststoffe“ und „Energieerzeugung“ durchgeführt werden.

[10] Diese können im Detail in [62] nachgelesen werden können.

Beispielsweise wird bei der Untersuchung der Umweltwirkungen bei der Erzeugung von Holzprodukten das Nebenprodukt Holzspäne meist nicht untersucht. Dieses Abfallprodukt wird häufig zu Holzpellets weiterverarbeitet, die einen Energieträger darstellen. Die Aufteilung der Umweltwirkungen auf das Haupt- und auf eventuelle Nebenprodukte wird bei der Allokation durchgeführt.

3.2.2 Sachbilanz

Im Rahmen einer Sachbilanz wird ein Modell für das zu untersuchende Produktsystem entworfen. Dieses Produktsystem besteht meist aus zahlreichen Einzelprozessen, für die die relevanten Stoff- und Energieflüsse erhoben werden müssen [10].

In der Sachbilanzphase wird außerdem im Zuge der Allokation die Zuordnung von Stoff- und Energieflüssen zu Prozessen, die außerhalb der Systemgrenzen des untersuchten Produkts liegen, durchgeführt. Dies geschieht, um die für das untersuchte Hauptprodukt relevanten Stoff- und Energieflüsse zu definieren. Die Stoff- und Energieflüsse der Nebenprodukte, die außerhalb der Systemgrenzen liegen, werden nicht mehr berücksichtigt.

Der Prozess der Datenerhebung ist stark iterativ, da durch die detaillierte Analyse des Produkts häufig Aspekte sichtbar werden, die bis dahin noch nicht berücksichtigt wurden. Für den Fall, dass dadurch gravierende Änderungen auftreten, kann es unter Umständen auch zu einer Anpassung der – in der Phase Ziel und Untersuchungsrahmen festgelegten – Punkte funktionale Einheit, Systemgrenzen etc. kommen. Durch die arbeitsintensive Datenerhebung erfordert die Sachbilanz meist den höchsten Zeitsaufwand bei der Erstellung einer Ökobilanz.

Zusammengefasst wird also in der Sachbilanz die Datenerhebung, die Datenberechnung sowie die Allokation von Input- und Outputströmen durchgeführt.

3.2.3 Wirkungsabschätzung

In der Phase der Wirkungsabschätzung werden die erhobenen Input- und Outputströme zu Wirkungsindikatorergebnissen verdichtet, sodass eine Darstellung der Auswirkungen auf die Umwelt ermöglicht wird [10]. Die untersuchten Wirkungsindikatoren werden grundsätzlich bei der Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen festgelegt. Die getroffene Auswahl hat entscheidende Auswirkungen auf das Ergebnis und die Aussagefähigkeit der Ökobilanz.

Die im Rahmen der Sachbilanz erhobenen, unbewerteten Stoff- und Energieflüsse werden in dieser Phase der Ökobilanzerstellung entsprechend ihrer Auswirkungen auf die Umwelt verschiedenen Wirkungskategorien zugeteilt. Diese Wirkungskategorien sind beispielsweise Klimaveränderung, Versauerung oder Ozonabbau. Durch eine Gewichtung über Charakterisierungsfaktoren erfolgt die Bewertung der Outputströme und die Zusammenfassung zu Wirkungsindikatorergebnissen.

Ökoinventare

Die Wirkungsabschätzung wird häufig mithilfe von Ökoinventaren durchgeführt. Dabei werden die in der Sachbilanz erhobenen Stoff- und Energieflüsse mit Datensätzen verknüpft, in denen die jeweils erforderlichen Input- und Outputströme errechnet sind. In diesen Datensätzen erfolgt auch die

Zuordnung der unbewerteten Input- und Outputströme zu Wirkungskategorien und durch die Verknüpfung mit Charakterisierungsmodellen die Ermittlung der Wirkungsindikatorergebnisse. Somit wird bei der Verwendung von Ökoinventaren ein Teil der Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung in einem Schritt durchgeführt.

Es stehen mehrere verschiedene Datenbanken zur Verfügung, die Ökoinventare bereitstellen. Die Auswahl der verwendeten Datenbank hat entscheidende Auswirkungen auf die gesamte Untersuchung. Problematisch bei einer Kombination verschiedener Datenbanken ist, dass diese häufig sehr uneinheitlich bezüglich der Erfassungskriterien, Qualitätsanforderungen und Datenformate sind [10]. Neben der Anzahl der in den Datenbanken abgebildeten Wirkungskategorien unterscheiden sich zudem vielfach auch die Systemgrenzen der abgebildeten Datensätze. Dadurch ist die Kombination von Ökoinventaren verschiedener Datenbanken schwierig und stellt oft eine Schwachstelle bei der Erstellung einer Ökobilanz dar.

Eine der umfangreichsten Datenbanken für Ökoinventare stellt das Schweizer Zentrum für Ökoinventare (ecoinvent Zentrum) mit der ecoinvent-Datenbank zur Verfügung [11]. Diese Datenbank umfasst mehr als 2700 Datensätze aus den Bereichen Baumaterialien, Chemikalien, Entsorgungsprozesse, Energie, Transport, Papier, Landwirtschaft etc., deren Daten hinsichtlich funktionaler Einheit und Systemgrenzen in einheitliche Form gebracht wurden [10]. Die Datensätze sind detailliert beschrieben, was dem Benutzer das Nachvollziehen der erhobenen Daten leicht möglich macht.

Beim Großteil der Sachbilanzen von Bauprodukten wird als zeitliche Bilanzgrenze „cradle to gate“ gewählt. Damit beinhaltet der Datensatz des jeweiligen Produkts sämtliche Umweltwirkungen, die bei dessen Herstellung anfallen – begonnen bei der Gewinnung der Rohstoffe über die in der Herstellungsphase des Produkts erforderlichen Transporte bis hin zu Energieaufwendungen und Abfallprodukte. Die anschließend erforderlichen Transporte vom Werk zur Baustelle sowie in der Rückbauphase des Bauwerks von der Baustelle zur Entsorgung sind in diesen Bilanzgrenzen ebenso wie die Stoff- und Energieflüsse die direkt auf der Baustelle entstehen, nicht enthalten.

Für die Sachbilanz der Dienstleistungsprozesse – dazu zählt unter anderem auch die Versorgung mit Wärme, Wasser und Strom – werden Datensätze mit unterschiedlichen Bilanzgrenzen zur Verfügung gestellt. Je nach Anwendungsgebiet können dann die individuell passenden Datensätze ausgewählt werden. In dieser Arbeit wurden die Datensätze der Dienstleistungen mit der Bilanzgrenze des Endverbrauchers gewählt.

Datenherkunft

Die Anforderungen an die Datenherkunft in der Phase der Wirkungsabschätzung gemäß ÖNORM EN ISO 14040 [41] sind wesentlich von der verwendeten Ökoinventar-Datenbank abhängig. Es sollte dabei versucht werden, möglichst einheitliche Daten zu verwenden. Damit sind Ökoinventare einer einzelnen Datenbank vorzuziehen, da der Vergleich verschiedener Datenbanken häufig nur eingeschränkt möglich ist.

Für den Fall nicht verfügbarer Datensätze für einzelne Produkte kann durch eine Kombination verschiedener Basisprozesse der individuell erforderliche Datensatz erstellt werden. Sollte auch dies nicht möglich sein, ist es erforderlich, alternativ dazu andere Produkt-Ökobilanzen oder andere Ökoinventare heranzuziehen. In diesem Fall sollte jedoch die Plausibilität der Datensätze durch Sensitivitätsanalysen überprüft werden.

Somit lässt sich die mögliche Datenherkunft auf folgende drei Datentypen zusammenfassen:

1. Ökoinventare aus Datenbank (ecoinvent)
2. Kombination von Basisprozessen aus Ökoinventar-Datenbank
3. Produkt-Ökobilanzen

- **ad 1) Ökoinventare aus Datenbank (ecoinvent):** In der Ökoinventar-Datenbank ecoinvent erfolgt eine Unterteilung der Datensätze in verschiedene Produkt- und Dienstleistungskategorien. In dieser Arbeit sind dabei in erster Linie die ecoinvent-Kategorien Energiebereitstellung (Strom, Wärme), Wasserver- und Entsorgung, Transporte und bauproduktspezifischen Angaben von Bedeutung. Für die Bauprodukte stehen dabei jeweils Datensätze für Herstellung und Entsorgung zur Verfügung.

- **ad 2) Kombination von Basisprozessen aus Ökoinventar-Datenbank:** Für den Fall, dass die erforderlichen Datensätze nicht in ecoinvent verfügbar sind, kann eine Kombination verschiedener Basisprozesse beziehungsweise eine Anpassung anderer Datensätze vorgenommen werden.

  Beispielhaft wird hier der Datensatz von Normalbeton – in ecoinvent als „concrete, normal, at plant“ bezeichnet – dargestellt. Der Originaldatensatz beruht auf Erhebungen von Stoffflüssen für Beton in der Schweiz. Dabei entspricht einerseits der darin verwendete Zement-Basisdatensatz nicht der in Österreich üblichen Praxis, andererseits ist der Zementanteil höher als in Österreich üblich. Da gerade der Zement sehr hohe Auswirkungen auf die Umweltwirkungen des Betons hat, werden diese Abweichungen derart korrigiert, dass der abgeänderte Datensatz der in Österreich üblichen Zusammensetzung entspricht.

- **ad 3) Produkt-Ökobilanzen:** Für einige Produkte ist auch eine Kombination von Basisprozessen nicht möglich. Dieses Problem tritt vor allem bei Produkten auf, die aus einer Kombination von verschiedenen Materialien bestehen, und der genaue Anteil der einzelnen Bestandteile am jeweiligen Produkt nicht bekannt ist.

  Beispielhaft sind hierfür die häufig für Anschlussleitungen der Wasserversorgung verwendeten Kunststoff-Verbundrohre. Diese Rohre bestehen aus einer Kombination aus mehreren verschiedenen Schichten[11]. Häufig sind dabei weder die Materialien der einzelnen Schichten beschrieben, noch werden von den Herstellern die Massenanteile der einzelnen Materialien bekannt gegeben. Deshalb wird hier eine von der EMPA St. Gallen erstellte und von der Geberit International AG herausgegebene Ökobilanz verwendet, die einen Vergleich verschiedener Versorgungsrohre bietet [6]. Diese Ökobilanz wurde vorwiegend mit Daten der ecoinvent-Datenbank der Version 1.01 erstellt und weist daher grundsätzlich ähnliche Datengrundlagen auf wie der Rest der in dieser Arbeit verwendeten Daten. Zudem wird durch den in der Produktökobilanz durchgeführten Vergleich mit einfacher aufgebauten Versorgungsrohren ein Quervergleich der Daten dieser Arbeit mit jenen der Produktökobilanz ermöglicht. Durch die Tatsache, dass diese Vergleichsrohre auch bei der hier durchgeführten Bewertung mit Datensätzen der ecoinvent-Datenbank Version 1.3 ähnliche Ergebnisse liefern, kann angenommen werden, dass dies auch für eine detaillierte eigene Untersuchung der Verbundrohre gelten würde.

[11] Der Aufbau kann beispielsweise folgendermaßen aussehen: Kunststoff-Innenrohr mit Metallverstärkung, Dämmschicht, Außenrohr, Dämmschicht, Umhüllung

Bewertungsmethoden

Zur Durchführung der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz ist eine Vielzahl an Methoden gebräuchlich. Gemäß Maydl [28] können im Wesentlichen qualitative von quantitativen Verfahren unterschieden werden.

- Qualitative Verfahren beschränken sich meist auf eine vereinfachte, beschreibende Darstellung der in der Sachbilanz gewonnenen Daten. Es erfolgt meist eine subjektive, jedoch gesamtheitliche Betrachtung einer Vielzahl von Umweltwirkungen. Diese Verfahren kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn Daten nicht quantifizierbar sind oder eine detaillierte Erhebung aus zeitlichen Gründen nicht möglich ist.
- Im Gegensatz dazu werden bei quantitativen Verfahren alle gewonnenen Daten in vergleichbare Zahlenwerte umgewandelt. Dabei muss in weiterer Folge hinsichtlich der Anzahl der untersuchten Wirkungskategorien in mono- und multikriterielle Verfahren und hinsichtlich der Ergebnisform in hoch- und niedrigaggregierende Verfahren unterschieden werden.
  - Mono-/ multikriterielle Verfahren:
    Monokriterielle Methoden beziehen sich in der Bewertung auf lediglich eine Wirkungskategorie (z.B. Energieaufwand), während multikriterielle Verfahren eine Vielzahl von Indikatoren untersuchen.
  - Hoch-/ niedrigaggregierend:
    Aufbauend auf einem multikriteriellen Verfahren werden im Rahmen einer hochaggregierenden Bewertung die diversen Indikatoren mithilfe von Gewichtungsfaktoren zu einer Maßzahl zusammengefasst (ähnlich einer Nutzwertanalyse). Im Unterschied dazu werden im Rahmen einer niedrigaggregierenden Bewertung die untersuchten Indikatoren auch in der Ergebnisdarstellung aufgezeigt.

Dementsprechend unterschiedlich sind auch die Vor- und Nachteile der angeführten Bewertungsverfahren. So ist zwar einerseits der Informationsgehalt von niedrigaggregierenden, multikriteriellen Verfahren äußerst hoch, andererseits ist gerade durch die hohe Informationsdichte, die auch widersprüchliche Ergebnisse liefern kann, oft keine eindeutige Aussage möglich. Daher ist die Auswahl der Bewertungsmethode und der Wirkungskategorien wesentlich vom festgelegten Ziel und vor allem der Zielgruppe der jeweiligen Ökobilanz abhängig. Eine Beschreibung verschiedener gängiger Bewertungsmethoden und ihrer Vor- und Nachteile kann bei Frischknecht [10], in der SIA-Dokumentation D0152 [57] oder bei Eyerer und Reinhardt [9] nachgelesen werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit eingesetzte Bewertungsmethode ist die wirkungsorientierte Charakterisierung nach CML[12]. Dabei handelt es sich um eine im Jahr 1992 von Heijungs et al. [18] erstmals veröffentlichte und von Guinée et al. 2001 [16] weiterentwickelte Klassifizierungsmethode, die auf den von SETAC[13] aufgestellten und international anerkannten methodischen Grundsätzen für Wirkungsabschätzungen beruht. [10]

[12] Centre of Environmental Science - Leiden University (CML)
[13] Society of Environmental Toxicology and Chemistry

Wirkungskategorien

Die in dieser Arbeit verwendeten Wirkungsindikatoren werden in Tabelle 3.1 dargelegt. Anschließend werden die Auswirkungen der einzelnen Wirkungskategorien kurz beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung der von CML abgebildeten Wirkungskategorien ist bei Guinée et al. 2001 [16] zu finden.

Tabelle 3.1: Verwendete Wirkungsindikatoren

Abk.	Bezeichnung englisch	Bezeichnung deutsch
GWP	global warming potential	Treibhauspotential
ODP	ozone depletion potential	Ozonschichtabbaupotential
POCP	photochemical ozone creation potential	photochemisches Oxidantenbildungspot.
AP	acidification potential	Versauerungspotential
EP	eutrophification potential	Überdüngungspotential
HTP	human toxicity potential	Humantoxizitätspotential
TETP	terrestrial eco-toxicity potential	terrestrisches Ökotoxizitätspotential
MRnr	abiotic resource depletion potential (not renewable)	abiotische Ressourcen nicht erneuerbar
CEDr	cumulative energy demand (renewable)	kumulierter Energieaufwand (erneuerbar)
CEDnr	cumulative energy demand (not renewable)	kumulierter Energieaufwand (nicht erneuerbar)

Die in der Tabelle angeführten CML-Indikatoren stellen eine niedrigaggregierende, multikriterielle Betrachtungsform der Umweltwirkungen dar. Die Auswahl der untersuchten Wirkungsindikatoren erfolgt dabei in Anlehnung an die prCEN/TS 15643-1 [32]. Ergänzend zu den darin vorgeschlagenen Wirkungsindikatoren GWP, ODP, POCP, AP und EP werden hier auch HTP und TETP untersucht, Auf Ebene des Ressourcenverbrauchs wird der Bedarf an erneuerbaren Rohstoffen sowie die Bewertung des Abfalls nicht berücksichtigt. Die folgende kurze Beschreibung der untersuchten Wirkungsindikatoren erfolgt in Anlehnung an Maydl [29] und Frischknecht [10].

Treibhauspotential: Der Wirkungsindikator Treibhauspotential umfasst diejenigen Substanzen, die zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen. Die Erhöhung der Konzentration von Gasen, die den Treibhauseffkt fördern, führt dazu, dass es auf der Erde zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur und in weiterer Folge zu einer globalen Veränderung des Klimas kommt. Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Flourchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs, H-FKWs) stellen dabei die klassischen anthropogenen[14] Treibhausgase dar. Für die Bewertung des Treibhauspotentials werden die verschiedenen Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung herangezogen und für verschiedene Zeithorizonte auf die Wirkung eines Kilogramms CO_2 bezogen. Die Einheit des GWP lautet daher kg CO_2-Äquivalente.

Ozonschichtabbaupotential: Durch den in erster Linie durch Halogene[15] verursachten Abbau der stratosphärischen[16] Ozonschicht gelangt ein hoher Prozentsatz der ultravioletten Strahlung

[14] anthropogen ... durch Menschen verursacht

[15] Halogene ... chemische Elemente (Flour, Chlor, Brom, Iod und Asat), die die Fähigkeit besitzen, mit Metallen Salze zu bilden (daher Salzbildner, z.B. Halogenlampe) [1]

[16] Stratosphäre ... Atmosphärenschicht in 12 bis 50 Kilometer Höhe [2]

(UV-B) auf die Erdoberfläche. Dort bewirkt das UV-B Schäden an lebenden Organismen und an Ökosystemen sowie eine Reduktion der Phytoplanktonproduktion. Das ODP bezieht sich auf die Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwassserstoff R11, wobei auch hier verschiedene Zeithorizonte angegeben werden. Die Einheit des ODP lautet kg FCKW R11-Äquivalente.

Photochemisches Oxidantenbildungspotential: Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entsteht durch photochemische Reaktion aus Vorläufersubstanzen wie Kohlenwasserstoffen oder Stickoxiden photochemischer Smog. Dieser sogenannte „Sommersmog“ kann humantoxische Effekte, Vegetationsschäden und Atembeschwerden hervorrufen. Durch den Bezug der Beiträge von Luftschadstoffen wie NO_x oder C_xH_x auf die Referenzsubstanz Äthylen (C_2H_4) wird das POCP bestimmt. Daher lautet die Vergleichseinheit kg C_2H_4-Äquivalente.

Versauerungspotential: Durch die Versauerung von Böden und Gewässern ist es wahrscheinlich, dass biologische Veränderungen an aquatischen[17] und terrestrischen[18] Ökosystemen entstehen. Die Reduktion des pH-Werts in Gewässern und Böden kann zur Freisetzung von Schwermetallen führen, die in der Folge von Pflanzen und Tieren aufgenommen werden können. Weiters wird durch die Verarmung an Pflanzennährstoffen eine Verringerung der Artenvielfalt verursacht. Negative Folgen können außerdem die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch lungengängige Partikel sowie Korrosionsschäden an Werkstoffen und Bauteilen sein. Das Potential zur Versauerung wird mit demjenigen von SO_2 verglichen.

Überdüngungspotential: Das Überdüngungspotential ist ein Maß für die Fähigkeit einer Substanz, die Bildung von Biomasse zu unterstützen. Durch Überdüngung (Eutrophierung) wird ein stärkeres Wachstum der Pflanzen, Algen und Plankton verursacht. Die Bezugsgröße für die Beurteilung der Überdüngung ist Phosphat ($PO_4{}^3$).

Humantoxizitätspotential: Die Humantoxizität beschreibt die Wirkung der Schadstoffe auf den Menschen. Als Einheit kommen hier kg zum Einsatz.

Terrestrisches Ökotoxizitätspotential: Während die Humantoxizität die schädliche Auswirkung von Stoffen auf den Menschen beurteilt, stellt die Ökotoxizität die Wirkung von toxischen Substanzen auf aquatische, terrestrische und sedimentäre Ökosysteme dar. In dieser Arbeit wird die Auswirkung auf terrestrische Ökosysteme betrachtet. Die Einheit ist dabei ebenfalls kg.

Abiotische Ressourcenerschöpfung: Der Wirkungsindikator abiotische Ressourcenerschöpfung stellt dar, wie hoch der Verbrauch an nicht lebenden Ressourcen ist. Es wird hinsichtlich der Dauer der erforderlichen Regenerationszeit zwischen den drei Ressourcentypen „Deposits“ (Regeneration nicht innerhalb der menschlichen Lebenszeit), „Funds“ (Regeneration innerhalb der menschlichen Lebenszeit) und „Flows“ (Regeneration passiert kontinuierlich) unterschieden. In dieser Arbeit werden die „Deposits“ – also die nicht erneuerbaren abiotischen Ressourcen – untersucht. Die zugrundegelegte Einheit ist dabei kg Antimon.

Kumulierter Energieaufwand: Der kumulierte Energieaufwand umfasst alle Primärenergieaufwendungen, die bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes entstehen. Dadurch werden neben den energetisch genutzten auch die stofflich genutzten Energieressourcen berücksichtigt. Die Darstellung des Energieaufwands, der in dieser Arbeit getrennt nach erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieressourcen durchgeführt wird, erfolgt in MJ.

[17] aquatisch ... zum Wasser gehörend
[18] terrestrisch ... zur Erde gehörend

3.2.4 Auswertung

Im Zuge der Auswertung und Interpretation werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gemeinsam betrachtet [41]. Der ÖNORM EN ISO 14040 gemäß sollte die Auswertungsphase „Ergebnisse liefern, die mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen übereinstimmen und die zur Ableitung von Schlussfolgerungen, Erläuterung von Einschränkungen und zum Aussprechen von Empfehlungen dienen“ [41]. Frischknecht erweitert die in der Norm dargestellten Auswertungsaspekte dahingehend, dass Unsicherheitsanalysen und Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden sollten [10]. Unsicherheitsanalysen sollen zeigen, wie hoch die Zuverlässigkeit der ermittelten Ergebnisse ist und damit Vertrauensintervalle der Ökobilanz angeben. „Sensitivitätsanalysen“ werden durchgeführt, um die Stabilität der Ergebnisse zu prüfen.

Abschließend erfolgt einerseits eine Berichterstattung, die während der Durchführung der Studie bereits geplant werden soll und die die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der jeweiligen Zielgruppe in adäquater Form näher bringt. Andererseits wird eine kritische Prüfung durchgeführt, die aufzeigt, ob die Ökobilanz den in ÖNORM EN ISO 14040 vorgegebenen Kriterien entsprechend erstellt wurde. Die kritische Prüfung kann der Norm gemäß auf zwei verschiedene Arten erfolgen [41]:

- Kritische Prüfung durch internen oder externen Sachverständigen
- Kritische Prüfung durch einen Ausschuss der interessierten Kreise

3.3 Lebensweg eines Gebäudes

Das Konzept des „Lebenswegs“ ist für die umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes von zentraler Bedeutung. Die ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkte sollen nicht nur für die kurze Phase der Gebäudeerrichtung sondern auch für die anschließende Nutzung und den Abbruch optimiert werden. Um die einzelnen Phasen des Lebenswegs klar voneinander trennen zu können, wird an dieser Stelle untersucht, wie der Lebensweg und dessen Phasen in der Literatur definiert werden. Als Konsequenz daraus wird festgelegt, wie diese Begriffe in weiterer Folge in dieser Arbeit verwendet werden.

Der Lebensweg eines Gebäudes wird von der technischen Spezifikation prCEN/TS 15643-1 als „aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Gewinnung natürlicher Ressourcen bis zur endgültigen Beseitigung“ beschrieben [32]. In dieser als Entwurf vorliegenden technischen Spezifikation werden – wie in Abbildung 3.3 dargestellt – die Lebenswegphasen in Abhängigkeit von der Nutzung als „vor der Nutzung“, „Nutzung“ und „nach der Nutzung“ bezeichnet. Dabei werden die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen in zwei Hauptgruppen unterteilt:

- Auswirkungen bezogen auf den Lebensweg des Gebäudes ohne Energieeinsatz im Betrieb
- Auswirkungen bezogen auf den Energieverbrauch im Betrieb

Eyerer und Reinhardt [9] unterteilen den Lebensweg in die Phasen „Vorketten“, „Bau“, „Nutzung“ und „Nachnutzung“. In dieser vierteiligen Gliederung wird die Phase „vor der Nutzung“ gemäß prCEN/TS 15643-1 weiter unterteilt, um Energieträger- und Rohstoffbereitstellung sowie Materialherstellungsprozesse in einer eigenen Phase abzubilden.

	Lebenszyklus eines Gebäudes		
Phasen	vor der Nutzung	Nutzung	nach der Nutzung
Auswirkungen auf den Lebenszyklus des Gebäudes außer Energieverbrauch im Betrieb	Umweltwirkungen aus Phasen vor der Übergabe	Umweltqualität, Gesundheitsverträglichkeit, Lebenszyklus-kosten aus Nutzung (außer Energieverbrauch im Betrieb)	Umweltqualität und Lebenszykluskosten aus dem Entsorgungsstadium
Auswirkungen auf den Energieverbrauch im Betrieb		Umweltqualität, Gesundheitsverträglichkeit, Lebenszyklus-kosten aus dem Energieverbrauch im Betrieb	

Abbildung 3.3: Gliederung der Lebenswegphasen eines Gebäudes (eigene Darstellung in Anlehnung an [32])

Gewählte Gliederung des Lebenswegs: Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass häufig eine Dreiteilung des Lebenswegs in die Phasen „Errichtung“, „Nutzung“ und „Rückbau“ vorgenommen wird. Die zukünftige Normung sieht dabei eine weitere Unterteilung in Auswirkungen bezogen auf den Energieverbrauch und Auswirkungen bezogen auf andere Tätigkeiten auf dem Lebensweg vor (siehe Abbildung 3.3).

Abbildung 3.4 zeigt die in dieser Arbeit gewählte Gliederung. Dabei wird der Lebensweg in die Phasen „Errichtung“, „Nutzung“ und „Rückbau“ aufgeteilt. In der Nutzungsphase wird zudem zwischen „Betrieb“ und „Instandhaltung“ unterschieden. Diese Gliederung ist demnach stark an die in der prCEN/TS 15643-1 verwendete Unterteilung angelehnt.

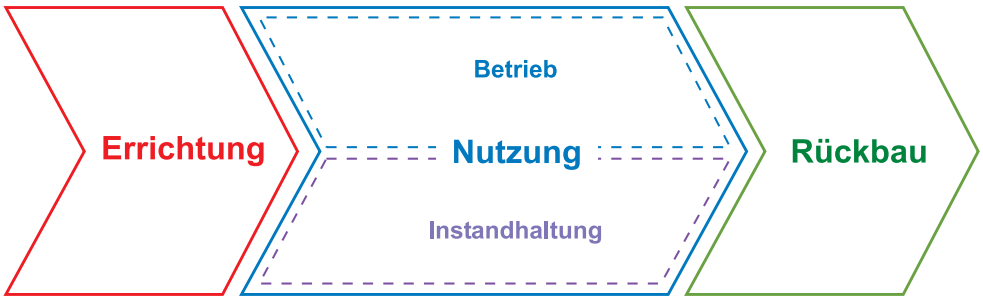

Abbildung 3.4: Lebensweg eines Gebäudes

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Lebenswegphasen im Detail beschrieben. Neben einer Darstellung der in der Literatur verwendeten Definitionen erfolgt jeweils die Festlegung des in dieser Arbeit gewählten Betrachtungsrahmen.

3.3.1 Errichtungsphase

Grundsätzlich umfasst die Errichtungsphase Planung, Rohstoffabbau – inklusive aller erforderlichen Transporte zu den Produktionsstätten der Produkte – Herstellung der eigentlichen Bauprodukte, Transport zur Baustelle und Errichtung des Bauwerks. Die Errichtungsphase endet mit dem Bezug des Gebäudes.

Wie bereits erwähnt, wird bei Eyerer und Reinhardt die Errichtungsphase in die Abschnitte „Vorketten“ und „Bau“ unterteilt [9]. Demzufolge lässt sich eine Unterteilung erstellen, die einerseits die Produktion der Bauprodukte inklusive deren Vorstufen und andererseits die Errichtung des Gebäudes – also das Zusammenfügen der Bauprodukte zu einem Bauwerk im Zuge des Bauprozesses – umfasst [15].

Die Planung des Bauwerks ist ebenfalls Teil der Errichtungsphase. Die darin getroffenen Festlegungen haben entscheidenden Einfluss auf die Stoff- und Energieflüsse, die am gesamten Lebensweg eines Gebäudes entstehen. Dadurch sind zwar die Auswirkungen der Planungsphase bezogen auf die Umweltwirkungen erheblich, bei der Planung selbst entstehen jedoch kaum Umweltwirkungen.

Gewählter Betrachtungsrahmen der Errichtungsphase: Die Errichtungsphase umfasst in dieser Arbeit die Umweltwirkungen vom Abbau der Rohstoffe bis zur Übergabe des fertigen Bauwerks an den Nutzer. Die Planungsphase wird aufgrund ihrer geringen Umweltwirkungen dabei nicht berücksichtigt.

3.3.2 Nutzungsphase

Während der Nutzungsphase, die im Bauwesen im Allgemeinen bis zu 100 Jahre und teilweise mehr betragen kann [25], muss das Gebäude den Anforderungen, die von den Nutzern gestellt werden, genügen. Dazu muss beispielsweise die Energieversorgung oder die Durchführung von Wartungsarbeiten sichergestellt werden.

Eyerer unterscheidet lediglich zwischen thermischer und unterhaltsbedingter Nutzungsphase [9], wogegen laut Lützkendorf eine Unterteilung in drei Teile – das Betreiben, den nutzerabhängigen Aufwand und den Teil Reinigung, Wartung, Instandhaltung und Instandsetzung – erforderlich ist [26]. Dabei stellt er jedoch Folgendes fest: „Nicht immer lässt sich der laufende Aufwand sinnvoll in einen gebäudebedingten und einen nutzabhängigen Anteil trennen“ [26].

Gewählte Unterteilung der Nutzungsphase: Demgemäß erfolgt in dieser Arbeit eine Aufteilung in „Betrieb“ und „Instandhaltung“, wobei „Betrieb“ den gebäude- und nutzerabhängigen Anteil darstellt und „Instandhaltung“ die bauliche Instandhaltung des Gebäudes umfasst.

Betrieb

Lützkendorf sieht im Betrieb den „Aufwand an Nutzenergie und/oder an Endenergieträgern für den gebäudebedingten Energieaufwand“ [26] als Hauptbestandteil. Dabei wird die benötigte Energie für Beheizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Belüftung, Beleuchtung und diverse andere haustechnische Anlagen zusammengefasst. Diese Definition entspricht auch dem Umfang der in prCEN/TS 15643-1 festgelegten Hauptgruppe „Auswirkungen des Energieeinsatzes für den Gebäudebetrieb“ [32].

Weiters kann laut Lützkendorf auch der Energieaufwand, der für die Dienstleistung „Wohnen“ erforderlich ist, bei den Umweltwirkungen des Betriebs mitberücksichtigt werden. Diese Dienstleistung umfasst unter anderem den nutzerabhängigen Stromverbrauch, Abfallaufkommen und Wasserverbrauch sowie den standortbedingten öffentlichen oder privaten Verkehr [26].

Die Ermittlung der Bedarfswerte kann einerseits durch Berechnungen oder Simulationen des Energieverbrauchs, sowie andererseits durch Statistiken zu den nutzerabhängigen Daten erfolgen.

Gewählter Betrachtungsrahmen von Nutzung-Betrieb: Der Bereich Nutzung-Betrieb umfasst in dieser Arbeit folgende Punkte:

- Bedarf an Trinkwasser
- Anfallendes Abwasser
- Bedarf an Haushaltsstrom
- Bedarf an Heizwärme für Beheizung und Warmwasserbereitstellung

Instandhaltung

Lützkendorf schlägt als Bestandteile der Instandhaltung die Tätigkeiten Reinigung, Wartung und Instandhaltung/-setzung vor [26]. Dabei wird durch die Instandhaltung der größte Anteil der Umweltwirkungen erzeugt.

Die Kategorie „Wartung“ – in erster Linie von haustechnischen Anlagen, jedoch auch die Pflege von Holzoberflächen etc. – wird häufig aufgrund des damit verbundenen geringen Stoffstroms nicht weiter berücksichtigt.

Beim Reinigungsaufwand steht einem relativ geringen Energieaufwand ein höherer Stoffstrom an Wasser und Reinigungsmitteln gegenüber. Da die Reinigungszyklen häufig nicht korrekt abgeschätzt werden können und ein stark nutzerabhängiger Einfluss vorhanden ist, wird der zu erwartende Stoffstrom an Wasser vielfach der Kategorie „nutzerabhängiger Wasserverbrauch“ zugerechnet. Die erforderlichen Reinigungsmittel werden häufig nicht berücksichtigt.

Gewählter Betrachtungsrahmen von Nutzung-Instandhaltung: Wie beschrieben wurde, fällt in der Phase der Instandhaltung der größte Anteil der erwarteten Umweltwirkungenan. Wartungsarbeiten und Reinigung werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Bei der Instandhaltung sind sämtliche Baumaßnahmen, die im Zuge der Erhaltung der baulichen Substanz eines Gebäudes erforderlich sind, zu erfassen. Dies umfasst Austausch und Entsorgung der abgenutzten Bauteile sowie die erforderlichen Transporte. Maßgeblichen Einfluss darauf hat die Nutzungsdauer des Gebäudes beziehungsweise der einzelnen Bauteile. Dieser Einfluss wird in der Folge noch detailliert erläutert.

3.3.3 Rückbauphase

Am Ende der Nutzungsdauer erfolgt die Rückbauphase, in der das Gebäude abgebrochen und entsorgt oder in Form von Recycling abermals dem Lebensweg eines neuen Gebäudes zugeführt wird. Die Dauer der Rückbauphase ist im Vergleich zur Nutzungsphase äußerst kurz, die Dimension der Umweltwirkungen wird maßgeblich von der gewählten Bauweise, den zur Anwendung kommenden Bauprodukten und der gewählten Nachnutzungsmaßnahme bestimmt.

Zu den Maßnahmen Rückbau und (Teil-) Recycling ist festzuhalten, dass im Bauwesen gemäß Graubner momentan „nur wenige Baustoffe nach einem Gebäudeabriss weiter genutzt [werden], da viele Recyclingverfahren noch nicht befriedigend anwendbar beziehungsweise zu teuer sind.“ [15]

Gewählter Betrachtungsrahmen der Rückbauphase: Die Rückbauphase umfasst in dieser Arbeit die endgültige Beseitigung des gesamten Gebäudes. Wie groß die Auswirkungen von Recycling sind, wird in einer eigenen Sensitivitätsanalyse untersucht.

3.4 Instandhaltung

Die Nutzungsphase am Lebensweg von Gebäuden ist durch die langen Nutzungszeiträume von bis zu 100 Jahren geprägt. In dieser Zeitspanne muss einerseits das Gebäude betrieben werden, andererseits sind Erhaltungsarbeiten am Bauwerk erforderlich. Die Anzahl der Zyklen, in denen diese Erhaltungsarbeiten durchgeführt werden müssen, ist von den Nutzungsdauern der Bauteile im Vergleich zur Nutzungsdauer des Gebäudes und von der Art der gewählten Instandhaltungsstrategie abhängig.

3.4.1 Nutzungsdauer

Die technische Spezifikation prCEN/TS 15643-1 definiert die Nutzungsdauer als jene „Zeitspanne nach Inbetriebnahme, während der ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil gestellte Qualitätsanforderungen erfüllt oder übertrifft“ [32]. Dagegen wird im Nutzungsdauerkatalog der gerichtlich zertifizierten Sachverständigen (Landesverband Steiermark und Kärnten) die „Zeitspanne von der Anschaffung eines Anlageguts bis zum Ende seiner wirtschaftlich vertretbaren Nutzung“ [17] festgelegt. Diese Definitionen beziehen sich, wie der prCEN/TS 15643-1 zu entnehmen ist, sowohl auf das gesamte Gebäude als auch auf die einzelnen Bauteile. Durch die unterschiedlichen Größenordnungen der Nutzungsdauern von Gebäude und Bauteilen ist es erforderlich, Bauteile während der Nutzungsphase eines Gebäudes einmal oder mehrmals auszutauschen.

3.4.2 Instandhaltungsarbeiten

Diese Austauscharbeiten werden meist als „Instandhaltungsarbeiten“ bezeichnet. Darunter verstehen Potycka und Zabrana [51] jene Arbeiten, die zyklisch anfallen und durch Bewitterung, Alterung und Abnützung des Gebäudes oder dessen Teile entstehen. Die ÖNORM B 1801-2 [34] unterscheidet in Instandhaltung und Instandsetzung, wobei Instandhaltung die Erhaltung der Funktionstauglichkeit anstrebt, die Instandsetzung hingegen versucht eine Verlängerung der Funktionstauglichkeit zu

erreichen. Ergänzend dazu wird in der deutschen DIN 31051, die sich mit den Grundlagen der Instandhaltung beschäftigt, der Begriff „Wartung“ definiert. Wartung umfasst demnach Maßnahmen, die zur Verzögerung des Abbaus des Abnutzungsvorrates beitragen [31]. Die Begriffe „Wartung“, „Instandhaltung“ und „Instandsetzung“ etc. sind in der DIN 31051 anders definiert als in der ÖNORM B 1801-2.

Instandhaltungsstrategien

Kohler [25] fasst die dargestellten Begriffe „Wartung“, „Instandhaltung“ und „Instandsetzung“ zu vier möglichen Strategien zusammen, mit denen der Alterung von Gebäuden begegnet werden kann. Abbildung 3.5 zeigt diese Instandhaltungsstrategien.

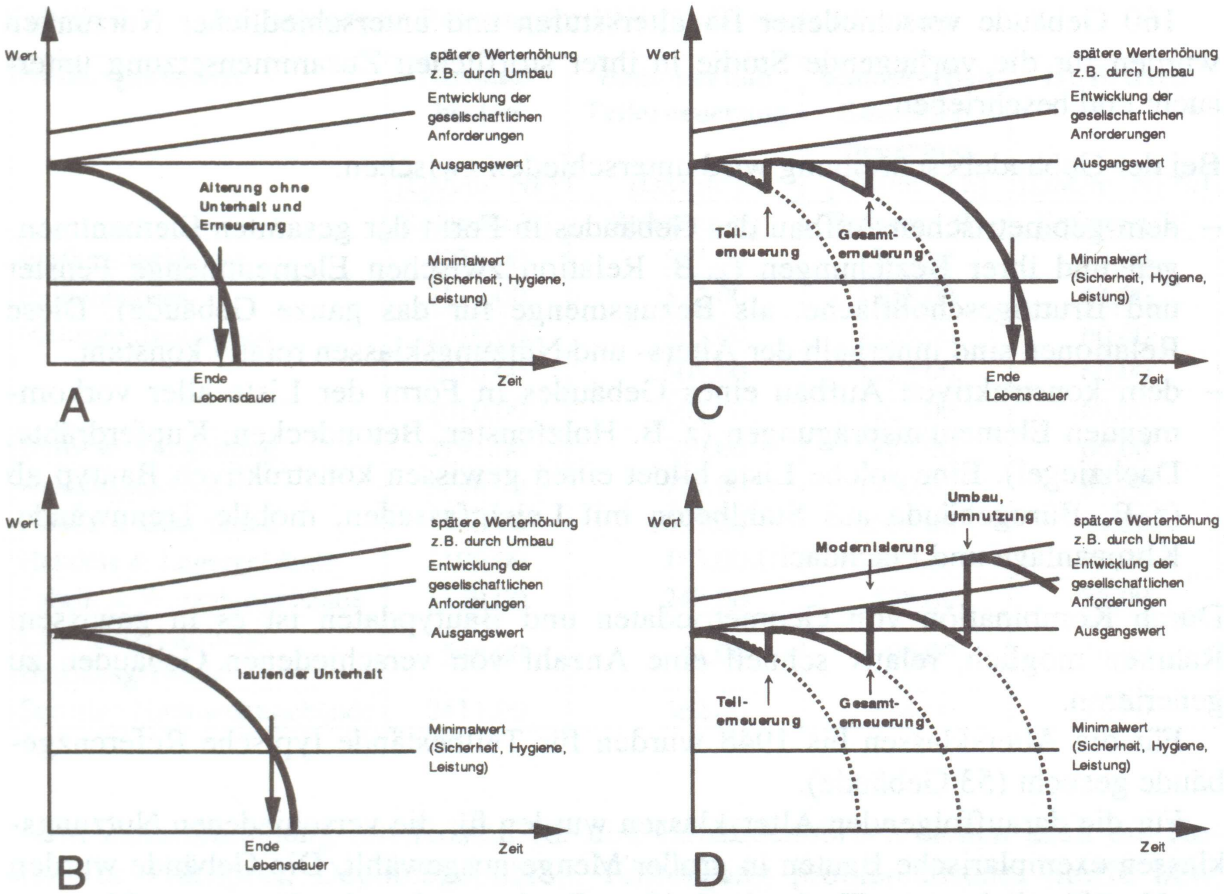

Abbildung 3.5: Instandhaltungsstrategien für Gebäude (Darstellung aus [25])

Die in Abbildung 3.5 enthaltenen Darstellungen A bis D zeigen die folgenden Strategien:

- Darstellung A: Abbruchstrategie
- Darstellung B: Abnutzungsstrategie
- Darstellung C: Substanzerhaltungsstrategie
- Darstellung D: Werterhöhungsstrategie

Diese von Kohler beschriebenen Strategien kennzeichnen sich jeweils durch unterschiedliche Formen des Unterhalts [25]. Je nach Gebäudetyp kommen verschiedene Strategien zur Anwendung. So wird bei einer Produktionshalle, deren prognostizierte Nutzung 15 bis 20 Jahre nicht überschreiten wird, eine andere Instandhaltungsstrategie (Strategie „A“) gewählt werden als bei einem Oberklasse-Hotel. Um den steigenden Ansprüchen der Gäste zu entsprechen, müssen dort ständig Eneuerungen und Modernisierungen durchgeführt werden (Strategie „D“). Detaillierte Beschreibungen der einzelnen Strategien sind bei Kohler in [25] oder bei Herneth in [20] nachzulesen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass bedingt durch die lange Nutzungsdauer eines Gebäudes Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten erforderlich sind. Die Nutzungsdauer der einzelnen Bauteile definiert die Dauer und damit die Anzahl der erforderlichen Instandhaltungszyklen während der voraussichtlichen Gebäudenutzung.

In dieser Arbeit wird die Gesamtnutzungsdauer mit 70 Jahren angenommen. Auf Basis von Durchschnittswerten der Nutzungsdauer von Bauteilen laut [17] wird die erforderliche Anzahl an Instandhaltungszyklen bestimmt, um der Substanzerhaltungsstrategie gerecht zu werden.

Es soll also gemäß Darstellung C in Abbildung 3.5 durch die vorgenommenen Instandhaltungsarbeiten jeweils der Zustand wie nach der Errichtung wiederhergestellt werden. Am Ende der Gebäudenutzung wird zur Abbruch- beziehungsweise Abnutzungsstrategie (Darstellung A bzw. B) übergegangen, bei der keine oder nur geringe Wartungsarbeiten durchgeführt werden, bis ein Minimalwert des Gebäudes – wie in Abbildung 3.5 dargestellt – erreicht ist. Zu diesem Zeitpunkt endet die Nutzungsdauer und es erfolgt der Übergang von der Nutzungs- in die Nachnutzungs- oder Rückbauphase des Lebenswegs. Wartungsarbeiten werden in dieser Arbeit bei der Bewertung der Umweltwirkungen am Lebensweg des Gebäudes nicht berücksichtigt, weil die daraus entstehenden Umweltwirkungen voraussichtlich vergleichsweise gering sein werden.

3.5 Gebäudeenergieausweis

Die dem Gebäudeenergieausweis zugrundegelegten Berechnungsalgorithmen werden im Rahmen dieser Arbeit zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitung der untersuchten Wohnhausanlagen verwendet. Aus diesem Grund wird hier ein kurzer Überblick über den Hintergrund der Entwicklung und die Berechnungsmethode gegeben.

In Österreich trat mit 1. Jänner 2008[19] das Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAV-G) in Kraft, das die Vorlagepflicht eines – höchstens zehn Jahre alten – Energieausweises beim Verkauf, sowie der In-Bestand-Gabe eines Gebäudes oder Nutzungsobjektes[20] regelt [53]. Der vorzulegende Energieausweis stellt übersichtlich das energetische Verhalten des jeweiligen Bauwerks dar. Dadurch soll ein Bewusstsein für die Energieeffizienz von Gebäuden geschaffen werden. Dies soll ein Schritt in Richtung Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden sein und somit zur Verringerung der CO_2-Emissionen in diesem Sektor beitragen.

[19] Dem Gesetzestext entsprechend tritt das Gesetz zu dem Zeitpunkt in Kraft, zu dem alle Bundesländer Regelungen über den Inhalt und die Ausstellung des Energieausweises festgelegt haben, spätestens jedoch mit 1. Jänner 2008 [53].

[20] Es können also auch Energieausweise für einzelne Wohnungen oder Geschäftslokale erstellt werden.

3.5.1 EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“

Das EAV-G [53] ist der gesetzliche Rahmen, der die Umsetzung der Richtlinie der Europäischen Union über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [7] in Österreich gewährleistet. Diese Richtlinie[21] regelt die europaweite Einführung des Gebäudeenergieausweises. In der Richtlinie selbst werden insgesamt 23 Gründe aufgezählt, die zu ihrer Einführung beitrugen, die wesentlichsten sind jedoch folgende:

- Es soll eine Reduzierung des Energieverbrauchs und somit der CO_2-Emissionen des Wohn- und Tertiärsektors[22] erreicht werden, die gemeinsam momentan 40% des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen und weiter im Steigen sind.
- Die Bewertung von Immobilien soll zukünftig nicht einzig auf Grund der Lage, sondern auch nach Energiebedarf beziehungsweise -kosten erfolgen.
- Es soll eine europaweite Angleichung von Beurteilungs- und Berechnungsmethoden, sowie der einschlägigen Normen auf dem Gebiet der Energiebedarfsberechnung von Gebäuden erfolgen.
- Die – ebenfalls verpflichtend vorgesehene – regelmäßige Wartung von Heizkesseln und Klimaanlagen soll einen zusätzlich Beitrag zur Verringerung der Emissionen leisten.

Die Anforderungen, die die Richtlinie vorgibt, sind zwar vielfältig, jedoch genau definiert:

- Es werden Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz neuer Gebäude, sowie bestehender Gebäude ab einer gewissen Größe gestellt, sofern bei diesen eine größere Renovierung durchgeführt wird.
- Es müssen Energieausweise für Gebäude erstellt werden:
  - Bei privaten Gebäuden besteht die Verpflichtung zur Erstellung eines Energieausweises bei Neubau, (Teil-) Veräußerung und größeren Renovierungen.
  - Bei Gebäuden die von Behörden und von öffentlichen Einrichtungen genutzt werden und somit von einer größeren Anzahl von Menschen häufig aufgesucht werden und größer als 1000 m^2 sind, besteht eine öffentliche Aushangpflicht des Energieausweises.
- Es sind regelmäßige Inspektionen von Heizkesseln und Klimaanlagen in Gebäuden durchzuführen. Außerdem ist eine Überprüfung der gesamten Heizungsanlage erforderlich, wenn deren Kessel älter als 15 Jahre sind.

3.5.2 Nationale Umsetzung

Wie bereits beschrieben erfolgt die nationale Umsetzung der EPBD in Österreich auf Basis des EAV-G [53]. Dieses Gesetz verweist – abgesehen von den generellen Vorgaben (wie Inkrafttreten etc.) der EU-Richtlinie – lediglich auf die Umsetzungsrichtlinien beziehungsweise -gesetze der einzelnen Bundesländer.

[21] Der volle Titel lautet „Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ und wird mit EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) abgekürzt.

[22] Tertiärsektor ... Dienstleistungssektor

Nachdem anfangs eine bundesweite Umsetzung im Rahmen der Harmonisierung der Baugesetze vorgesehen war, wurde das österreichische Institut für Bautechnik (OIB) mit der Ausarbeitung der Berechnungsalgorithmen für den Energieausweis beauftragt. Das Ergebnis dieser Arbeit war ein ca. 400-seitiger Leitfaden, der als Anhang der OIB-Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) [48] vorgesehen war. Diese Richtlinie 6 regelt im – zukünftig harmonisierten – österreichischen Baugesetz das Themengebiet Energieeinsparung und Wärmeschutz.

Die zögerliche Vorgangsweise einzelner Bundesländer bei der angestrebten Harmonisierung ließ durch das verbindlich festgelegte Datum der Inkraftsetzung der EPBD bis Jänner 2006 einen gewissen Zeitdruck aufkommen. Unter Ausnützung der Übergangsfrist von maximal drei Jahren wurde die Ausgliederung aus den Baugesetzen in das bereits beschriebene EAV-G veranlasst, wobei gleichzeitig die Bundesländer in Landesgesetzen die endgültigen Regelungen niederschrieben. Dieser Prozess musste – wie oben erwähnt – bis spätestens 1. Jänner 2008 abgeschlossen sein. Zu diesem Zeitpunkt trat die Verpflichtung zur Erstellung eines Energieausweises für Neubauten in Kraft. Ein Jahr später – am 1. Jänner 2009 – muss die Einführung des Energieausweises auch für Bestandgebäude abgeschlossen und in Kraft getreten sein.

Die technische Vorgehensweise bei der Erstellung des Energieausweises – vor allem hinsichtlich der Berechnungsalgorithmen – wurde in der Zwischenzeit aus dem erwähnten, ca. 400-seitigen OIB-Leitfaden ausgegliedert und in Normen gegossen. Die Normenreihen ÖNORM H 5055 bis H 5059 [**?**], [65], [66], [67], [68] und ÖNORM B 8110 Teil 1, 3, 5 und 6 [36], [37], [38], [39] enthalten alle erforderlichen Berechnungsschritte und Angaben, um einen Energieausweis gemäß EPBD sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude erstellen zu können. Der auf einen Umfang von 15 Seiten reduzierte OIB-Leitfaden mit Stand April 2007 [47] verweist nun einerseits nur noch auf diese Normen, andererseits regelt er nicht normativ festgelegte Gebiete des Energieausweises. So wird etwa die Durchführung von vereinfachten Verfahren bei der Energieausweiserstellung für Bestandsgebäude im Leitfaden definiert.

3.5.3 Beschreibung

Ein wesentlicher Grund der zur Einführung der EU-Richtlinie beigetragen hat, war das Bestreben zur Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden. Dabei soll der gesamte Energiebedarf und nicht nur der Heizwärmebedarf verringert werden. Die Betrachtungsgrenzen sind demnach zu erweitern. Neben der zur Verfügung gestellten Wärme zur Beheizung des Gebäudes sollen auch der Energiebedarf für Klimatisierung, Luftförderung, Beleuchtung sowie sämtliche für die Bereitstellung erforderliche Energie berücksichtigt werden. Weiters sollte Augenmerk auf die Vermeidung sommerlicher Überhitzung gelegt werden.

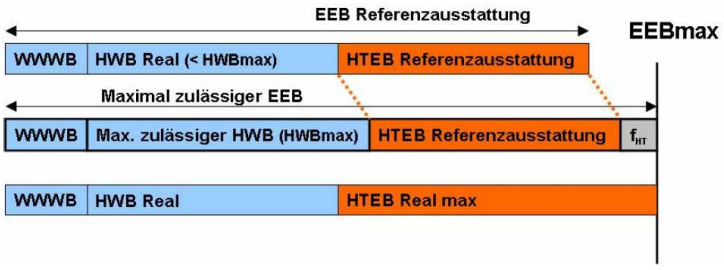

Abbildung 3.6: Zusammensetzung des maximalen Endenergiebedarfs eines Wohngebäudes (Darstellung aus [46])

Abbildung 3.6 zeigt für ein Wohngebäude die Zusammensetzung des maximalen Endenergiebedarfs (EEB), der in der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des harmonisierten Baugesetzes festgelegt ist. Der maximal zulässige Endenergiebedarf (EEB_{max}) eines Gebäudes berechnet sich aus dem zulässigen Heizwärmebedarf (HWB_{max}) und dem Heiztechnikenergiebedarf für die Referenzausstattung ($HTEB_{ref}$) des Gebäudes. Sollte ein geringerer als der maximale Heizwärmebedarf erreicht werden können (HWB_{real}), kann somit der tatsächliche Heiztechnikenergiebedarf ($HTEB_{real}$) des Gebäudes höher sein als jener der Referenzausstattung. Umgekehrt ist dieser Fall jedoch nicht zulässig, da die Obergrenze des Heizwärmebedarfs (HWB_{max}) verbindlich festgelegt ist und nicht überschritten werden darf. [48]

Bei der Umsetzung der EPBD in Österreich wurden sämtliche Berechnungsvorgänge festgelegt, die für die Ermittlung der oben angeführten Energiebedarfszahlen erforderlich sind. Es wurde somit der Übergang von der Bewertung auf Ebene der Nutzenergie hin zur Bewertung der Endenergie durchgeführt. In den Abbildungen 3.7 und 3.8 zeigen Eiper und Streicher [5], wie sich der Energiebedarf eines Bürogebäudes auf Ebene von Nutz- und Endenergie unterscheidet.

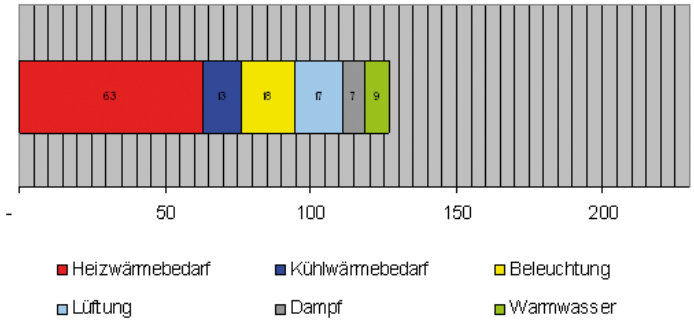

Abbildung 3.7: Spezifischer Nutzenergiebedarf eines Bürogebäudes [kWh/m^{2}a] (Darstellung aus [5])

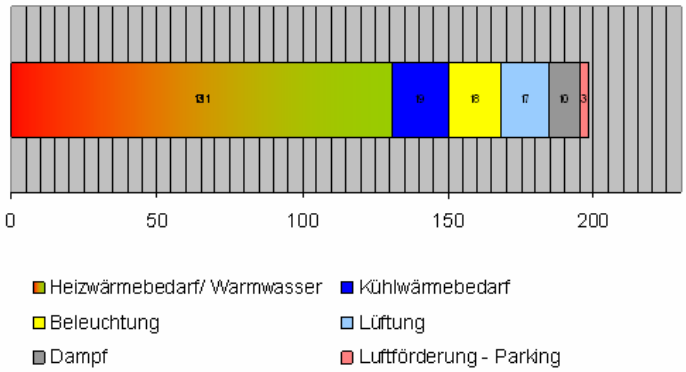

Abbildung 3.8: Spezifischer Endenergiebedarf eines Bürogebäudes [kWh/m^{2}a] (Darstellung aus [5])

Im Zuge der Erstellung eines Energieausweises ist es erforderlich, alle Berechnungen auf Basis des Endenergiebedarfs durchzuführen. Bei der Bewertung des Gebäude dient jedoch der spezifische Heizwärmebedarf bezogen auf die Bruttogrundfläche als Vergleichswert, da dieser Wert in Österreich mittlerweile als Referenzwert verankert ist[23].

[23] Die in dieser Arbeit dargestellten spezifischen Energiebedarfswerte beziehen sich jeweils auf die konditionierte Bruttogrundfläche, wie sie in ÖNORM B 8110-6 [39] definiert ist.

3.6 Transporte und Baustellenabwicklung

Die zeitlichen Systemgrenzen von Ökoinventaren, in denen die Herstellung von Bauprodukten untersucht wird, sind in den meisten Fällen von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor gewählt. Durch diese „cradle to gate"-Betrachtung sind die erforderlichen Transporte zur Baustelle und die auf der Baustelle erforderlichen Tätigkeiten außerhalb der Bilanzgrenzen der Ökoinventar-Datensätze. Deshalb wird in diesem Kapitel beschrieben, wie Transport und Baustellentätigkeit in eine Ökobilanz einfließen können.

3.6.1 Transporte

Bereits im Jahr 1994 stellten Rosinak und Sedlak fest, dass es nur sehr wenige Untersuchungen gibt, die zeigen, welche Transporte bei der Errichtung eines Gebäudes erforderlich sind [55]. An dieser Lage hat sich in den vergangenen Jahren wenig geändert. Zwar wurden im Rahmen des EU-Life-Projekts „RUMBA - Richtlinien für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung" [27] Untersuchungen durchgeführt, wie der durch Baustellentransporte bedingte LKW-Verkehr reduziert werden kann, detaillierte Analysen von verschiedenen Standardbaustellen wurden dabei jedoch nicht angestellt.

Transportgruppen

Die am Lebensweg eines Gebäudes erforderlichen Transportvorgänge lassen sich in Anlehnung an Gautsch [13] im Wesentlichen auf drei Hauptgruppen reduzieren:

- Gruppe 1: Transport der Rohstoffe von der Gewinnung zum Werk
- Gruppe 2: Transport der Bauprodukte vom Werk zur Baustelle
- Gruppe 3: Transport des abgebrochenen Bauwerks vom Gebäudestandort zur Entsorgung

Diese Hauptgruppen geben einen Überblick über die anfallenden Transporte. Verschiedene Bauprodukte erfordern jedoch vor allem in der Gruppe 1 unterschiedliche Transportvorgänge. Je nach Produkttyp und der Art der Fertigung ist eine unterschiedliche Anzahl an Transporten erforderlich. Es kann sich auch die Summe der erforderlichen Transportkilometer (vor allem der Transportgruppe 2) von Projekt zu Projekt erheblich unterscheiden. Je nach regionaler Verfügbarkeit der Baustoffe und der Auswahl der Produkthersteller ergeben sich unterschiedliche Entfernungen beim Antransport der Produkte.

Es kann jedoch insbesondere bei den Transporten der Gruppen 2 und 3 angenommen werden, dass durch die heterogene Zusammensetzung eines Gesamtgebäudes in den meisten Fällen ein ähnlicher Mix an Transportvorgängen und -entfernungen erforderlich sein wird. Die Angabe von erforderlichen Transportkilometern je m^2 Wohnnutzfläche oder je Tonne verbautem Material sollte daher einen Richtwert liefern können, der für den Großteil der üblichen Hochbau-Baustellen passend ist.

Datenverfügbarkeit

Die Datenverfügbarkeit für die drei beschriebenen Gruppen unterscheidet sich erheblich. Transporte der Gruppe 1 sind im Rahmen von Datenbanken wie ecoinvent etc. (siehe Abschnitt 3.2.3) vergleichsweise gut dokumentiert. Der Großteil dieser Datenbanken bilanziert die Stoffströme, die zur Erzeugung eines Produkts erforderlich sind, bis zum Werkstor des Erzeugers („cradle to gate"). Dadurch werden die Transporte der Gruppe 1 bei der Verwendung von Ökoinventaren bereits in der Sachbilanz der Produkte berücksichtigt.

Anders verhält es sich mit den Transporten der Gruppen 2 und 3. Durch die Bilanzierung der Bauprodukte „cradle to gate" werden diese in den Stoffflüssen der einzelnen Produkte nicht berücksichtigt und müssen daher anderweitig erhoben werden. Die Datenverfügbarkeit im Bereich der Baustellentransporte ist vergleichsweise schlecht, sodass auf einige wenige Forschungsberichte zurückgegriffen werden muss, um eine Abschätzung des Anteils der Transporte an den Umweltwirkungen des gesamten Lebenszyklus durchführen zu können.

In ihrem Bericht „Umweltschonende Bauabwicklung" erstellten Rosinak und Partner im Jahr 1994 anhand einer Großbaustelle[24] eine ausführliche Dokumentation der durchgeführten LKW-Transporte [55]. Durch die Verknüpfung der Transporte (Aufstellung hinsichtlich Anzahl der Fahrten, beförderte Tonnage sowie gefahrene Kilometer) mit dem jeweiligen Fahrtzweck und Material lassen sich die dargestellten Transporte gut auf andere Bauvorhaben umlegen.

3.6.2 Baustellenabwicklung

Neben den Transporten und den bauproduktbedingten Umweltwirkungen sind bei der lebenszyklusweiten Betrachtung eines Gebäudes auch jene Vorgänge zu berücksichtigen, die direkt auf der Baustelle stattfinden. Die Summe dieser Vorgänge beinhaltet zum Beispiel den Energieeinsatz für sämtliche Baugeräte (sowohl Großgeräte wie Bagger, Kran etc. als auch Kleingeräte wie Bohrmaschinen, Motorsägen etc.) oder die für die Baustelleneinrichtung erforderlichen Bauprodukte[25].

Der Anteil der Baustellenabwicklung an den gesamten Umweltwirkungen während des Lebenswegs ist verhältnismäßig gering. Pohlmann [50] schätzt die erforderliche Produktionsenergie (für den gesamten Herstellungsprozess eines Holzriegelbaus) auf circa 60 MJ je m^2 Gebäudenutzfläche. Dies entspricht rund 17 kWh/m^2, was wiederum in etwa 20% der pro Jahr benötigten Endenergie für Heizung und Warmwasserbereitstellung entspricht[26]. Unter Einbeziehung der Nutzungsdauer von Wohnhausanlagen von 70 Jahren ergibt sich eine Größenordnung von 0,3% der erforderlichen Endenergie für Heizen und Warmwasser, die in der Errichtungsphase des Gebäudes an Errichtungsenergie zusätzlich anfällt.

Aufgrund des geringen Anteils werden die Umweltwirkungen, die durch die Baustellenabwicklung entstehen, in den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

[24] Untersucht wurde die „Siedlung Rodaun" im 23. Wiener Gemeindebezirk mit 102 Wohnungen inklusive einer Tiefgarage mit 60 Stellplätzen.

[25] Da die Baustelleneinrichtung meist mehrmals auf unterschiedlichen Baustellen verwendet wird, können die auftretenden Umweltwirkungen auch auf mehrere Baustellen aufgeteilt werden.

[26] Der Endenergiebedarf aus Heizung und Warmwasserbereitung für ein Niedrigenergiegebäude wird dabei mit circa 100 kWh/m^2a angenommen.

Teil II

Ökobilanz: Vergleich der Lebenswegphasen von Wohnhausanlagen

Kapitel 4

Gewählte Methodik

Dieser Teil der Arbeit widmet sich der Beschreibung der durchgeführten Ökobilanzierung von vier Wohnhausanlagen. Diese wurden für die Erstellung dieser Arbeit ausgewählt und werden in der Folge nach ihrem jeweiligen Standort benannt: Wohnhausanlage Wörschach, Wohnhausanlage Pinggau, Wohnhausanlage Nestelbach, Wohnhausanlage Hart. Detailliert werden sie in Kapitel 5.1 vorgestellt.

Die Vorgangsweise der Erstellung dieser Ökobilanz weicht von dem in den Normen vorgeschlagenen Rahmen ab. Sie wurde dahingehend modifiziert, dass eine Aufteilung der im Rahmen einer Ökobilanz erforderlichen Tätigkeiten in drei Arbeitsschritte vorgenommen wurde. Diese sind Ermittlung der Eingangsdaten der Ökobilanz, die eigentliche Ökobilanz und Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.

- **Eingangsdaten Ökobilanz (Kapitel 5):** Die in der Sachbilanz der Ökobilanz durchzuführende Ermittlung der Stoff- und Energieflüsse wird hier aus der eigentlichen Ökobilanz ausgelagert. Durch die bei einem Gebäude anfallende große Menge an zu erhebenden Daten werden die ermittelten Stoff- und Energieflüsse als Eingangsdaten in die Ökobilanz betrachtet.

  In Kapitel 5 wird die Ermittlung der Eingangsdaten der eigentlichen Ökobilanz dargestellt. Dazu wird nach einer Beschreibung der untersuchten Wohnhausanlagen die Gliederung der Betrachtungsebenen dargestellt. Anschließend wird die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Stoff- und Energieflüsse der Betrachtungsebenen „Bauleistungen“ und „Betrieb“ beschrieben.

- **Ökobilanz (Kapitel 6):** Die Durchführung der Ökobilanz erfolgte in enger Anlehnung an die Normen ÖNORM EN ISO 14040 [41] und ÖNORM EN ISO 14044 [45]. Daher wird bei der Beschreibung dieser Ökobilanz auf die in den Normen beschriebenen Ökobilanzphasen zurückgegriffen. Diese sind: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Durch die Ausgliederung der Erhebung der Stoff- und Energieflüsse ist der Umfang des Abschnittes „Sachbilanz“ stark reduziert. Aus diesem Grund werden bei der Beschreibung der Ökobilanz die Punkte „Sachbilanz“ und „Wirkungsabschätzung“ zusammengefasst. Zur besseren Darstellung der jeweiligen Inhalte wird hingegen die Phase „Ziel und Untersuchungsrahmen“ getrennt dargestellt. In Kapitel 6 „Ökobilanz“ werden die ermittelten Stoff- und Energieflüsse an die gestellten Anforderungen der zugrundeliegenden Normen angepasst.

- **Auswertung (Kapitel 7):** In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse. Nach der Beschreibung der Plausibilitäsprüfung der ermittelten Daten werden die

ökologischen Kennwerte für die Wohnhausanlage getrennt nach Lebenswegphasen in absoluten Zahlen angegeben. Die anschließende Darstellung der Ergebnisse nimmt den Hauptteil des Kapitels ein.

Die bei der Beschreibung der Ökobilanz verwendeten Begriffe entstammen zum Großteil der ÖNORM EN ISO 14040 [41]. Die Begriffsbestimmungen sind demnach im Kapitel „Begriffe“ dieser Norm nachzulesen.

Die gewählte Vorgangsweise ist in Abbildung 4.1 grafisch dargestellt.

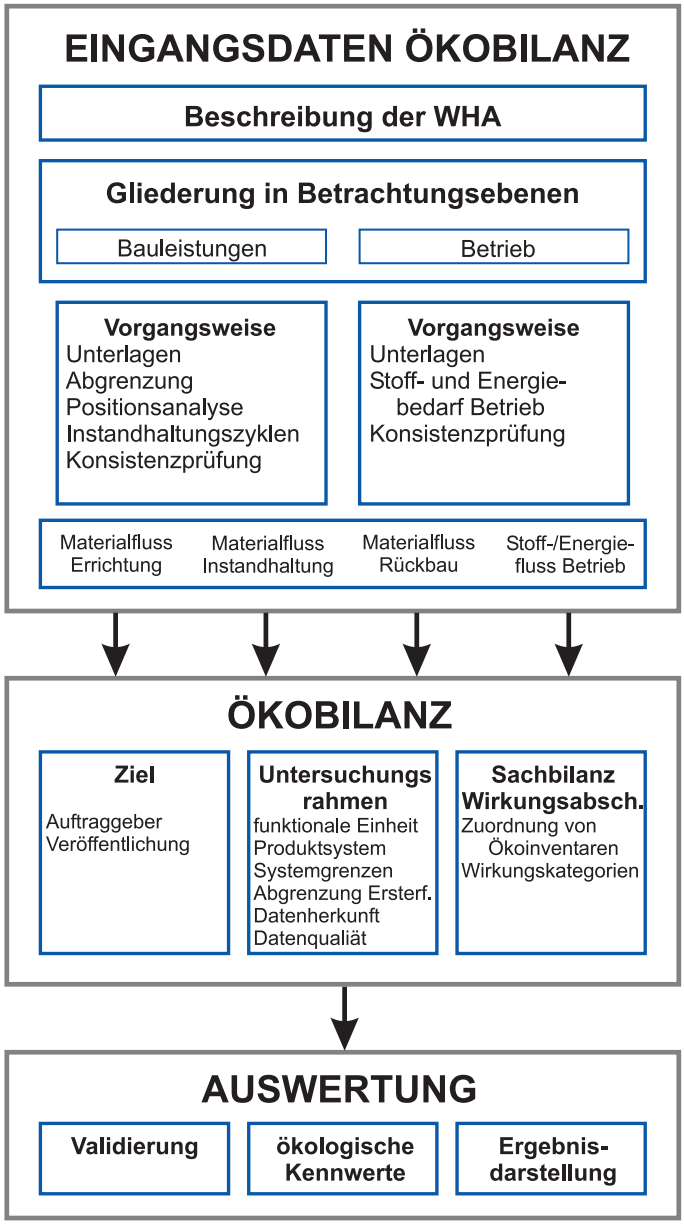

Abbildung 4.1: Vorgangsweise bei der Erstellung der Ökobilanz der vier Wohnhausanlagen

Kapitel 5

Eingangsdaten Ökobilanz

Dieses Kapitel legt die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Eingangsdaten der eigentlichen Ökobilanz dar. Dazu werden zuerst die untersuchten Wohnhausanlagen Wörschach, Pinggau, Nestelbach und Hart beschrieben. Anschließend wird erklärt, wie der umfassende Betrachtungsrahmen der Ökobilanz in einzelne Betrachtungsebenen unterteilt wird. Auf Basis dieser Unterteilung erfolgt die Beschreibung der Vorgangsweise getrennt für die Betrachtungsebenen „Bauleistungen“ und „Betrieb“. Dabei werden jeweils die folgenden Punkte im Detail bearbeitet:

Tabelle 5.1: Kernpunkte bei der Beschreibung der Ermittlung der Eingangsdaten

Vorgangsweise Bauleistungen	**Vorgangsweise Betrieb**
Unterlagen	Unterlagen
Abgrenzung der Ersterfassung	Stoff- und Energiebedarf des Betriebs
Leistungspositions-Analyse	Konsistenzprüfung
Instandhaltungszyklen	
Konsistenzprüfung	

In Abbildung 5.1 wird gezeigt, wie sich auf Basis der vorhandenen Unterlagen die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Eingangsdaten für Bauleistungen und Betrieb gestaltet hat.

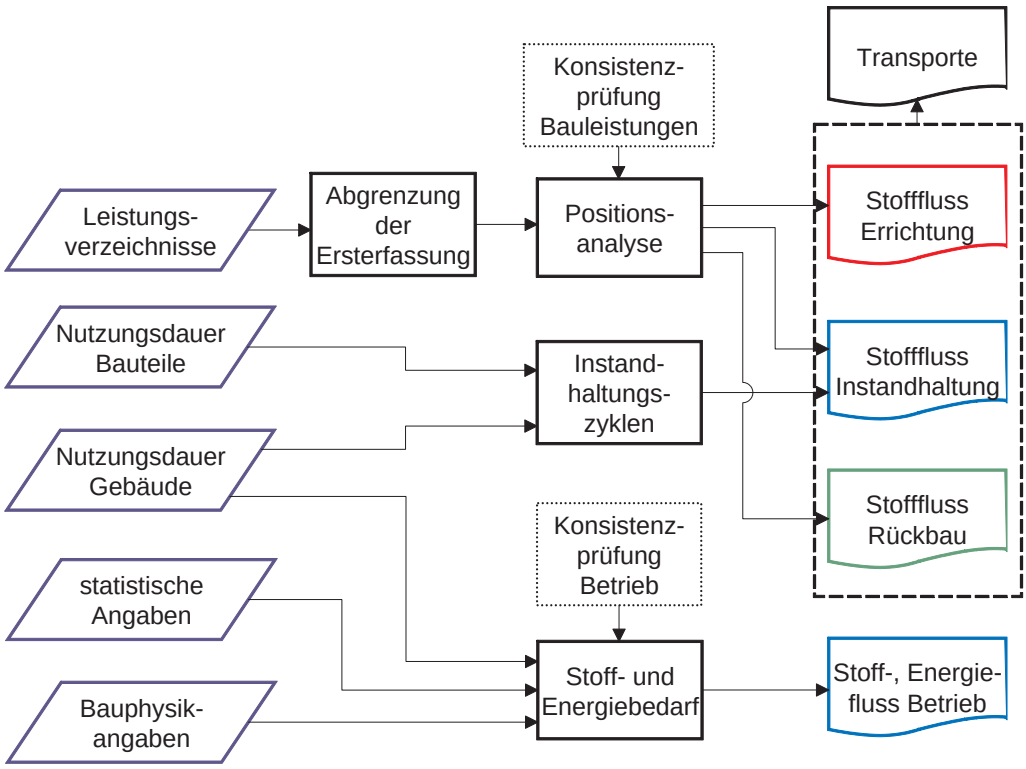

Abbildung 5.1: Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten

5.1 Beschreibung der Wohnhausanlagen

Auf den folgenden Seiten findet sich eine Beschreibung der untersuchten Wohnhausanlagen, die von zwei gemeinnützigen Bauträgern zur Verfügung gestellt wurden. Die Auswahl der Gebäude erfolgte auf Grundlage bestimmter Kriterien:

- Wohnungsanzahl: 10-15 Wohneinheiten je Anlage
- Tragstruktur: je zwei Gebäude in Holz- und Massivbauweise
- Projektunterlagen: Grundlage für Erstellung von Massenauszügen musste vorhanden sein

Die in Tabelle 5.2 aufgelisteten Wohnhausanlagen wurden für diese Arbeit von den Bauträgern ausgewählt.

Tabelle 5.2: Übersicht über die untersuchten Wohnhausanlagen

Wohnhausanlage	Bauweise	Wohnungsanzahl
1. WHA Wörschach	Massivbauweise	10 Wohnungen
2. WHA Pinggau	Massivbauweise	12 Wohnungen
3. WHA Nestelbach	Holzmischbauweise	12 Wohnungen
4. WHA Hart	Holzbauweise	17 Wohnungen

Die zur Beschreibung der untersuchten Wohnhausanlagen erforderlichen Angaben wurden den zur Verfügung gestellten Unterlagen entnommen. Es folgt auf die allgemeinen Projektinformationen jeweils eine genauere Darstellung der Konstruktion des Gebäudes und des haustechnischen Systems. Auch der Energiebedarf der Gebäude für Beheizung und Warmwasserbereitstellung wird dargestellt. Die Ermittlung des Energiebedarfs wurde mithilfe des Berechnungsalgorithmen des Gebäudeenergieausweises durchgeführt und ist im Detail ab Seite 98 beschrieben. Als Ergebnis dieser Berechnung werden der Heizwärmebedarf und der Endenergiebedarf der Gebäude angegeben.

Abschließend werden die wesentlichen Informationen der einzelnen Wohnhausanlagen auf Seite 78 tabellarisch zusammengefasst.

5.1.1 Wohnhausanlage Wörschach

Allgemeines

Die Wohnhausanlage Wörschach umfasst zehn Mietkaufwohnungen und wird in der Gemeinde Wörschach im Ennstal in der Nähe von Irdning errichtet. Sie soll bis September 2008 fertiggestellt sein.

Die Wohnhausanlage besteht aus einem Gebäude mit rechteckigem Grundriss (10,4 x 49,3 m), dessen Längsachse Richtung Nordwesten orientiert ist. An der südwest-seitigen Hauptfassade stehen kleine Gärten für die Mieter der Erdgeschoßwohnungen zur Verfügung. Das Gebäude ist an der Rückseite großteils über ein innenliegendes Stiegenhaus erschlossen. Die Ausnahme bilden dabei zwei Maisonettenwohnungen, bei denen der Zugang direkt von der Zufahrtsstraße aus erfolgt. Die

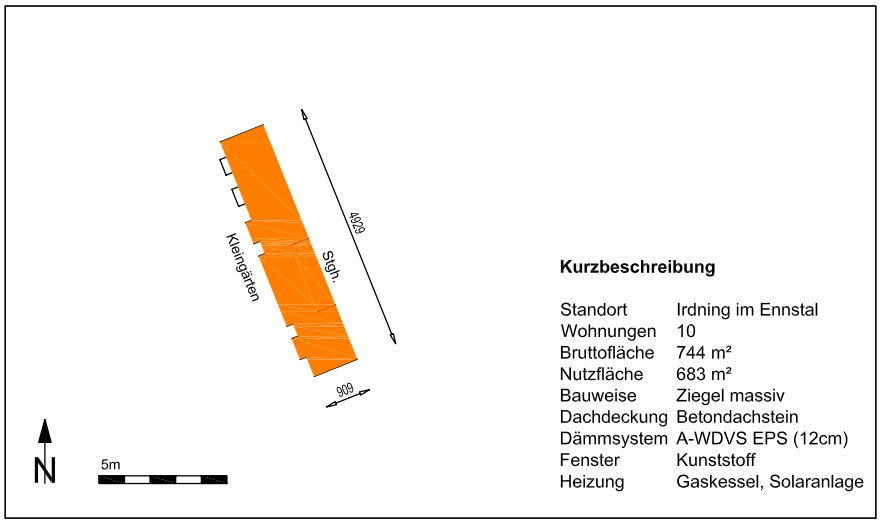

Abbildung 5.2: Übersichtsskizze Wohnhausanlage Wörschach

Zufahrt auf das Grundstück erfolgt aus Südosten, die Parkplätze sind im Nordwesten angeordnet, wodurch eine Zufahrtsstraße erforderlich ist, die an der Rückseite des Gebäudes verläuft.

Die auf zwei Geschoße aufgeteilten zehn Wohneinheiten der Anlage mit einer Größe von jeweils 51 bis 90 m^2 weisen eine gesamte Wohnnutzfläche von 683 m^2 auf. Die Wohnhausanlage verfügt über jeweils vier Zwei- und Dreizimmerwohnungen, sowie über zwei Maisonettenwohnungen mit vier Zimmern. Das Gebäude ist auf ca. 25% seiner Fläche unterkellert. In diesem Kellergeschoß sind ausschließlich Funktionsräume und die Kellerabteile der Wohnungen untergebracht. Die erforderlichen Fahrzeugabstellplätze werden in Form von flugdachartigen Garagen (Holzkonstruktion) zur Verfügung gestellt.

Konstruktion

Die tragende Struktur der Wohnhausanlage Wörschach besteht im Wesentlichen aus einem in Ortbetonbauweise errichteten Kellergeschoß und zwei Obergeschoßen mit Wänden aus Hochlochziegeln und Decken aus Ortbeton. Die Zwischenwände sind in Gipskarton-Ständerbauweise geplant.

Als Wärmedämmung wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit 12 cm expandiertem Polystyrol als Dämmstoff – mit einer Deckschicht aus mineralischem Silikatputz – ausgewählt. Bei stärker beanspruchten Bauteilen wie zum Beispiel dem Sockelbereich wird einerseits extrudiertes Polystyrol als Dämmstoff verwendet, und andererseits eine zweite Lage Textilglasgitter eingelegt. Als Fenster kommen Kunststofffenster zum Einsatz, die mit Außenjalousien aus Aluminium verschattet werden können.

Das Dach ist ein 35° geneigtes Satteldach mit einer Dachdeckung aus Betondachsteinen. Der darunterliegende Dachraum wird nicht ausgebaut.

Haustechnik

Als Heizsystem kommt eine Gas-Zentralheizung zum Einsatz, mit der Heizwärme und Warmwasser bereitgestellt werden. Unterstützt wird die Zentralheizung durch eine thermische Solaranlage mit

einer Fläche von 50 m^2, die in erster Linie zur Warmwasserbereitung verwendet wird. Es steht ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 2500 l zur Verfügung, um die durch die Solaranlage gewonnene Energie speichern zu können. Die Wärmeabgabe in den Räumen erfolgt mit Radiatoren, die mit Thermostatventilen reguliert werden können.

Der standortbezogene spezifische Heizwärmebedarf der Wohnhausanlage beträgt 49,0 kWh/m^{2}a, der Endenergiebedarf 67,9 kWh/m^{2}a.

5.1.2 Wohnhausanlage Pinggau

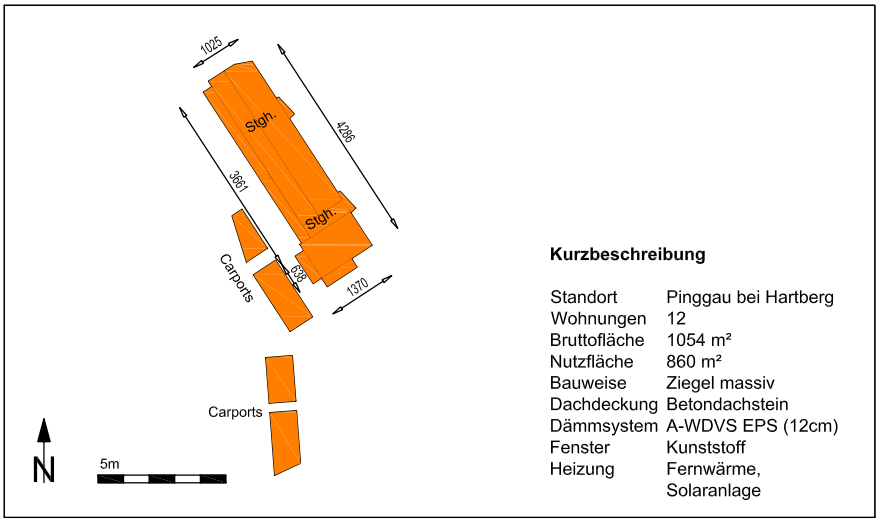

Abbildung 5.3: Übersichtsskizze Wohnhausanlage Pinggau

Allgemeines

Die Wohnhausanlage Pinggau umfasst zwölf Wohneinheiten und wird in der Gemeinde Pinggau – 20 km nördlich von Hartberg – errichtet. Die Baufertigstellung soll bis spätestens Ende des Jahres 2008 erfolgen.

Es wird ein L-förmiges Gebäude errichtet, das vollständig unterkellert ist. Durch die leichte Hanglage des Grundstückes – die durch Geländemodellierung noch etwas verstärkt wird – kann an der talseitig orientierten Südwestfassade das Kellergeschoß ausgebaut werden. Die hier vorgesehenen Wohnungen verfügen über einen kleinen Garten. Der Zugang zum Gebäude erfolgt aus Südwesten, wo auch die Parkplätze und flugdachartige Carports angeordnet werden.

Die zwölf Wohnungen mit Größen zwischen 52 und 89 m^2 setzen sich aus vier Zweizimmerwohnungen im Kellergeschoß und aus sechs Dreizimmerwohnungen und zwei Vierzimmerwohnungen in den zwei Obergeschoßen zusammen.

Konstruktion

Die Außenwände bestehen aus Hochlochziegeln (25 cm), die mit einem Wärmedämmverbundsystem aus 12 cm expandiertem Polystyrol gedämmt sind. Die Decken und der Großteil des Kellergeschoßes

werden in Ortbetonbauweise errichtet, sämtliche tragenden Innenwände bestehen aus Mantelbetonsteinen, die teilweise mit eine Vorsatzschale zur Schalldämmung versehen sind. Die nichttragenden Zwischenwände bestehen aus 12 cm dicken Hochlochziegeln.

Als Dachform wurde für den längeren L-Schenkel ein Satteldach mit einer Dachneigung von 15° gewählt, auf dem kürzeren Schenkel wird ein Pultdach mit Blecheindeckung ausgeführt (Dachneigung 22°). Auf dem Satteldach ist eine Dachdeckung aus Betondachsteinen zur Anwendung vorgesehen. Der gesamte Dachraum wird nicht ausgebaut.

Auch bei diesem Bauvorhaben kommen Kunststofffenster in Kombination mit Außenjalousien aus Aluminium zum Einsatz.

Haustechnik

Die Heizungsanlage dieser Wohnhausanlage ist durch das Vorhandensein eines Fernwärmeanschlusses gekennzeichnet. Die Wärme wird an einer Hausübergabestation an das hausinterne Zweileiternetz abgegeben. Anschließend erfolgt die Bereitstellung von Warmwasser und Heizwärme für die Wohnungen über Wärmetauscher in einzelnen Wohnungsübergabestationen. Die Wärmeabgabe erfolgt über Radiatoren, die mit Thermostatventilen reguliert werden können.

Ergänzend zur Fernwärme kommt auch hier eine Solaranlage mit einer Fläche von ca. 50 m^2 zum Einsatz, die die Warmwasserbereitung unterstützt. Die Solaranlage bedient einen Pufferspeicher mit einem Volumen von 5000 l.

Bei dieser Wohnhausanlage beträgt der standortbezogene spezifische Heizwärmebedarf 41,1 kWh/m^2a, der spezifische Endenergiebedarf beläuft sich – durch den effektiven Einsatz der Solaranlage – auf lediglich 51,8 kWh/m^2a.

5.1.3 Wohnhausanlage Nestelbach

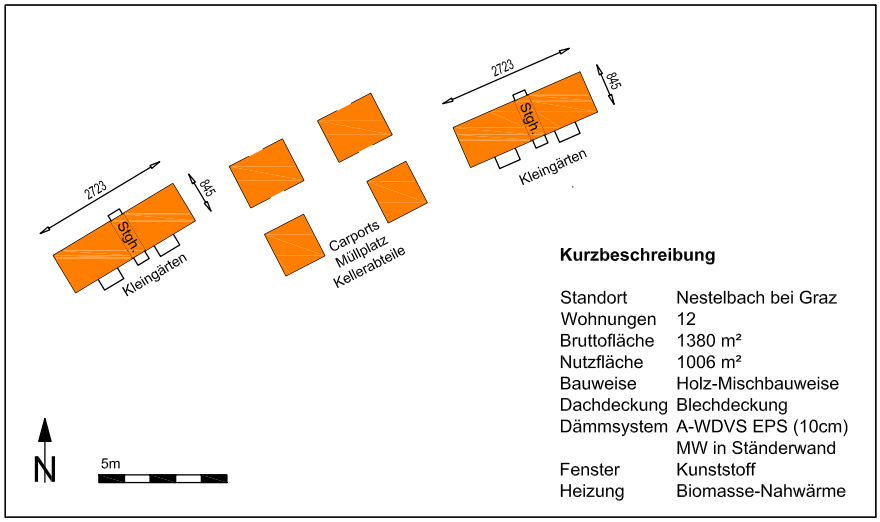

Abbildung 5.4: Übersichtsskizze Wohnhausanlage Nestelbach

Allgemeines

Diese gerade in Bau befindliche Wohnhausanlage in der Gemeinde Nestelbach bei Graz umfasst zwölf Wohneinheiten. Die Fertigstellung der Anlage, die aus zwei Häusern besteht, ist für September 2008 geplant. Die zwölf Wohneinheiten setzen sich aus je sechs Wohnungen mit drei Zimmern zu 78 m^2 und sechs Wohnungen mit vier Zimmern zu 90 m^2 zusammen.

Beide – grundsätzlich identischen, nebeneinander angeordneten – Baukörper weisen jeweils eine Bruttogrundfläche von 690 m^2 auf drei Geschoßen auf. Die Grundrisse sind rechteckig (27,2 x 8,4 m) und Richtung Süd-Südosten orientiert, der Eingang in die Gebäude befindet sich an deren Nordseite.

Die Zufahrt zu den zwischen den beiden Baukörpern liegenden Carports erfolgt aus Süden. Bei den Carports werden auch die Technikzentrale der Heizungsanlage und Abstellräume für jede der zwölf Wohnungen untergebracht. Dadurch ist eine Unterkellerung der Gebäude nicht erforderlich.

Konstruktion

Die beiden nicht unterkellerten Gebäude, werden in Holz-Mischbauweise errichtet. Die Gründung erfolgt auf einer 30 cm starken Fundamentplatte. Die Tragstruktur des Gebäudes ist eine Holzleichtkonstruktion mit Geschoßdecken aus Brettsperrholz. Als oberste Geschoßdecke ist – im Unterschied zu den Zwischendecken – eine Balkendecke vorgesehen. Der darüberliegende Dachraum wird nicht ausgebaut. Das mit 7° geneigte Pultdach wird mit Blech eingedeckt.

Die Wärmedämmung der Wände wird einerseits in der Tragebene (20 cm Mineralfaserdämmung) und zusätzlich an der Außenseite als Wärmedämmverbundsystem (10 cm expandiertes Polystyrol) angebracht. Die Stiegenhauswände bestehen aus einem tragenden Kern aus 17,5 cm Stahlbeton (stiegenhausseitig) und einer vorgesetzten Holzriegelkonstruktion.

Als Fenster wurden Kunststofffenster mit Außenjalousien aus Aluminium gewählt.

Haustechnik

Die haustechnische Anlage ist ähnlich konzipiert wie die bereits in Abschnitt 5.1.2 für die Wohnhausanlage Pinggau beschriebene. Auch hier wird die Wärme über eine Hausübergabestation an das interne Zweileiternetz abgegeben, über Wohnungsübergabestationen wird Warmwasser und Heizwärme für die einzelnen Wohneinheiten bereitgestellt. Im Unterschied zur Wohnhausanlage Pinggau kann an diesem Standort jedoch Biomasse-Nahwärme als Energieträger eingesetzt werden. Dadurch ist der Einsatz einer thermischen Solaranlage, die für den Erhalt von Wohnbauförderung sonst ein Muss-Kriterium darstellt, nicht erforderlich.

Bei der Wohnhausanlage Nestelbach steht ein standortbezogener spezifischer Heizwärmebedarf von 36,4 kWh/m^2a einem spezifischen Endenergiebedarf von 68,7 kWh/m^2a gegenüber.

5.1.4 Wohnhausanlage Hart

Allgemeines

Die Wohnhausanlage Hart ist – im Gegensatz zu den anderen Anlagen – bereits fertiggestellt und wurde in Hart bei Graz errichtet. Sie besteht aus drei Gebäuden, die insgesamt 17 Wohneinheiten und 1343 m^2 Wohnnutzfläche umfassen.

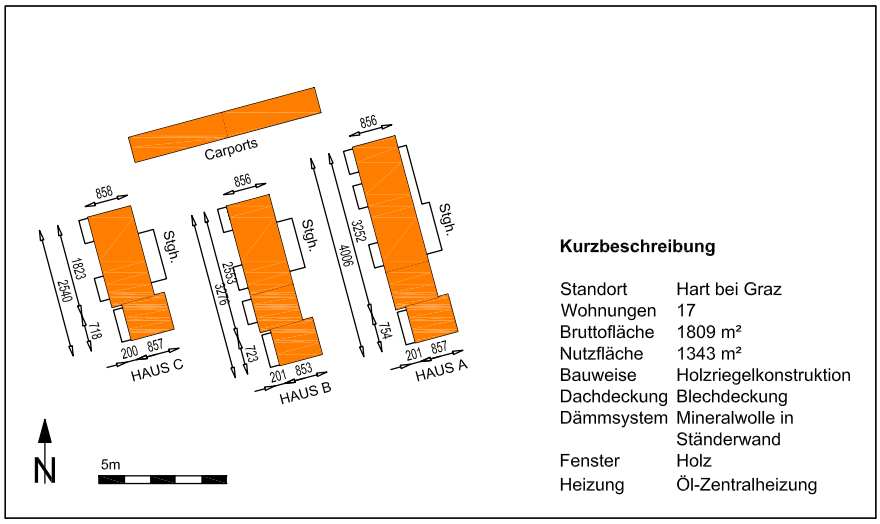

Abbildung 5.5: Übersichtsskizze Wohnhausanlage Hart

In Haus A sind sechs Wohnungen untergebracht, davon vier Maisonettenwohnungen mit je vier Zimmern (circa 95 m^2) und zwei Wohnungen mit drei Zimmern (zu jeweils ungefähr 75 m^2). Haus B umfasst zwei Maisonettenwohnungen mit vier Zimmern, zwei Dreizimmerwohnungen und zwei Zweizimmerwohnungen mit circa 50 m^2. Die übrigen fünf Wohnungen (eine Vier- und jeweils zwei Drei- und Zweizimmerwohnungen) befinden sich in Haus C. In Summe sind etwa 35% der drei Gebäude unterkellert, die Kellerräume werden für Funktionsräume, Kellerabteile und Technik genutzt.

Die Erschließung der Gebäude erfolgt von den im Norden gelegenen Parkplätzen aus über Laubengänge, die an der Ostfassade angeordnet sind. Durch die Hanglage des Grundstücks – es liegt ein starkes Gefälle von Süden nach Norden vor – liegt die nordseitig angebrachte Zufahrtsstraße auf Ebene des Kellergeschoßes. Dadurch ist ein Teil der erforderlichen überdachten Parkflächen unter auskragenden Teilen der Wohngebäude angeordnet. Die restlichen Parkplätze werden durch Carports vor der Witterung geschützt.

Konstruktion

Bei dieser Wohnhausanlage handelt es sich – abgesehen von den Kellergeschoßen, die aus Stahlbeton bestehen – um eine reine Holzbauweise. Die Wände sind als Holzriegelkonstruktion ausgeführt, die Geschoßdecken als Flachdecken aus 12,5 cm starkem Brettsperrholz.

Die Wärmedämmung der Wände ist in der Konstruktionsebene (insgesamt 12 cm Mineralfaserdämmung) angeordnet. Als Fassadenbekleidung wird eine hinterlüftete Konstruktion mit einer Verkleidung aus vertikal angeordneten, sägerauen Holzbrettern eingesetzt. Das mit 5° geneigte Pultdach ist mit einer Dachdeckung aus verzinktem Stahlblech versehen.

Bei dieser Wohnhausanlage werden Holzfenster verwendet, die erforderliche Verschattung der Fenster erfolgt mit Außenjalousien aus Aluminium.

Haustechnik

Die Wärme- und Warmwasserbereitstellung erfolgt für die Wohnhausanlage Hart durch eine Zentralheizung mit dem Energieträger Heizöl. Die Heizungszentrale ist im Keller von Haus A untergebracht. Die Wärmeabgabe erfolgt einerseits über Radiatoren mit Thermostatventilen und andererseits in gewissen Bereichen der Gebäude über Fußbodenheizung.

Der standortbezogene spezifische Heizwärmebedarf der Wohnhausanlage Hart beträgt 62,7 kWh/m^{2}a, der spezifische Endenergiebedarf macht 114,8 kWh/m^{2}a aus.

5.1.5 Zusammenfassung

Tabelle 5.3 zeigt eine Zusammenfassung der vier untersuchten Wohnhausanlagen. Darin werden die wesentlichen Informationen, die als Grundlage für die Erstellung der Ökobilanz erforderlich sind, dargestellt[1].

[1]Zur Vervollständigung ist auch die Belegungszahl der Wohnunghausanlagen angegeben, deren Ermittlung in Kapitel 5.4.2 ab Seite 96 erklärt wird.

Tabelle 5.3: Zusammenfassung der Wohnhausanlagen

Wohnhausanlage	**Wörschach**	**Pinggau**	**Nestelbach**	**Hart**
allg. Projektinfos				
Standort	Irdning im Ennstal	Pinggau bei Hartberg	Nestelbach bei Graz	Hart bei Graz
Baukörper	1 Gebäude	1 Gebäude	2 gleiche Gebäude	3 versch. Gebäude
Unterkellerung	25% unterkellert	100% unterkellert	0% unterkellert	35% unterkellert
Abstellplätze	Carports	Carports	Carports	Carports
Wohneinheiten	10	12	12	17
Belegungszahl	24	29	36	46
Fläche je Person	28,5 m^2	29,6 m^2	27,6 m^2	29,2 m^2
Bruttogeschoßfläche	744 m^2	1054 m^2	1381 m^2	1609 m^2
Nutzfläche	683 m^2	859 m^2	1006 m^2	1343 m^2
Fertigstellung	Sept. 2008	Ende 2008	Sept. 2008	2004
eingereicht nach	WBF_{neu}	WBF_{neu}	WBF_{neu}	WBF_{alt}
Ausrichtung	Süd-West	Süd-West	Süd	West
Konstruktion				
Bauweise	Ziegel massiv	Ziegel massiv	Holz-Mischkonstr.	Holzkonstruktion
Zwischenwände	Trockenbau	Ziegel	Trockenbau/Holz	Trockenbau
Dachdeckung	Betondachstein	Betondachstein, verzinktes Blech	verzinktes Blech	verzinktes Blech
Dämmsystem	WDVS EPS 12 cm	WDVS EPS 14 cm	WDVS EPS 12 cm Mineralwolle	Mineralwolle zw. Holzriegeln
Fenster	Kunststoff	Kunststoff	Kunststoff	Holz
Haustechnik				
Heizungssystem	Gaszentralheizung	Fernwärme	Holz-Nahwärme	Ölzentralheizung
Solaranlage	ja	ja	nein	nein
Wärmeverteilung	Whg.-Übergabest.	Whg.-Übergabest.	Whg.-Übergabest.	zentrale Bereitst.
Heizwärmebedarf	49,0 kWh/m^2a	41,1 kWh/m^2a	36,4 kWh/m^2a	62,7 kWh/m^2a
Endenergiebedarf	67,9 kWh/m^2a	51,8 kWh/m^2a	68,7 kWh/m^2a	114,8 kWh/m^2a

5.2 Gliederung des Betrachtungsrahmens

Die Ökobilanz, die im Rahmen dieser Arbeit erstellt wird, soll die gesamten Umweltwirkungen von vier Wohnhausanlagen auf deren Lebensweg untersuchen. Durch den umfassende Betrachtungsrahmen ist es erforderlich, eine Gliederung in einzelne Betrachtungsebenen vorzunehmen.

Dabei wird einerseits eine einfache zeitliche Gliederung in die Lebenswegphasen „Errichtung“, „Nutzung“ und „Rückbau“ durchgeführt. Andererseits erfolgt eine räumliche Gliederung. Diese trennt in die räumlichen Betrachtungsebenen Bauleistungen und Betrieb, die in der Folge noch weiter in Leistungsbereiche beziehungsweise Betriebsbereiche unterteilt werden.

In diesem Kapitel wird diese Gliederung im Detail beschrieben. Abschließend erfolgt die Zusammenfassung der zeitlichen und räumlichen Betrachtungsebenen zu einer Basismatrix.

5.2.1 Zeitliche Gliederung

Die zeitliche Gliederung erfolgt wie in Abbildung 5.6 dargestellt in die Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung und Rückbau.

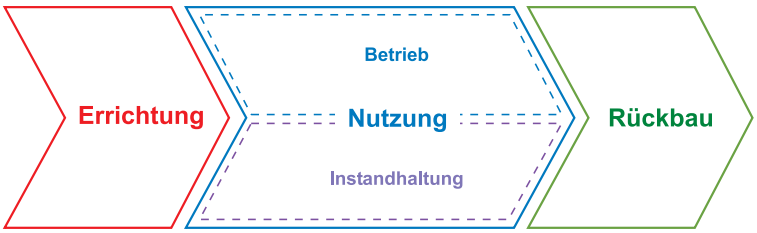

Abbildung 5.6: Lebensweg eines Gebäudes (Wiederholung von Abbildung 3.4)

In dieser Arbeit wird die Nutzungsphase zusätzlich in Betrieb und Instandhaltung unterteilt. Diese Unterteilung, die in Kapitel 3.3 beschrieben wird, deckt sich mit den im Anschluss beschriebenen räumlichen Betrachtungsebenen Bauleistungen und Betrieb. So können bauliche Leistungen, Energieaufwand und nutzerabhängiger Aufwand getrennt voneinander dargestellt werden.

Diese Gliederung ergibt sich aus der Zielsetzung dieser Arbeit, die Anteile der Lebenswegphasen miteinander zu vergleichen.

5.2.2 Räumliche Gliederung

Nachdem die Gliederung in zeitliche Betrachtungsebenen dargestellt wurde, erfolgt nun die Beschreibung der räumlichen Gliederung.

Der räumliche Betrachtungsrahmen dieser Arbeit umfasst alle Stoff- und Energieflüsse, die durch das Bauwerk verursacht werden. Durch die Unterteilung in die Betrachtungsebenen Bauleistungen und Betrieb werden diese beiden Kategorien explizit voneinander getrennt. Dies ist erforderlich, da einerseits bei den Bauleistungen Stoffflüsse und andererseits im Betrieb Stoff- und Energieflüsse als Eingangsdaten für die eigentliche Ökobilanz entstehen. Dementsprechend unterscheidet sich auch die Vorgangsweise bei der Erhebung der unterschiedlichen Eingangsdaten voneinander.

In Kapitel 6.2.3 werden ab Seite 112 die Systemgrenzen dieser Ökobilanz festgelegt. Die räumlichen Systemgrenzen der Bauleistungen sind die Grundlage für den Umfang der hier beschriebenen Leistungsbereiche. Die Systemgrenzen des Betriebs schränken die Anzahl der dabei untersuchten Bereiche ein.

Im Wesentlichen werden bei der Ermittlung des Stoffflusses der Bauleistungen von Gebäuden zwei unterschiedliche Methoden verwendet. Diese basieren entweder auf Bauelementen oder auf Leistungsverzeichnissen:

- **Bauelemente:** Eine mögliche Vorgangsweise ist es, die Bauleistungen zu funktionalen Elementen[2] im Sinne der Elementkostengliederung zusammenzufassen [24].
- **Leistungsverzeichnisse:** Häufig wird jedoch auf diese Zusammenfassung verzichtet und es wird eine ausführungsorientierte Erhebung vorgenommen. Dabei wird eine Gliederung in Leistungsgruppen und Leistungsbereiche durchgeführt.

In dieser Arbeit wird eine ausführungsorientiere Erhebung gewählt, um einen möglichst hohen Detaillierungsgrad erreichen zu können. Vor allem Positionen, die nicht direkt mit Bauteilen verknüpft sind (beispielsweise Spenglerarbeiten oder Ähnliches) werden in einer Erhebung auf Basis einer planungsorientierten Gliederung häufig nicht berücksichtigt. Die einzelnen Leistungspositionen werden deshalb im Zuge dieser Arbeit nicht zu Bauelementen zusammengefasst.

Bauleistungen

Die räumliche Gliederung – also die Unterteilung der einzelnen Lebenswegphasen – erfolgt in dieser Arbeit in Anlehnung an die ÖNORM B 1801-1 [33][3], in der eine Möglichkeit der Kostengliederung im Hoch- und Tiefbau vorgeschlagen wird. Basierend auf einer Unterteilung in zehn verschiedene Kostenbereiche, die in Tabelle 5.4 dargestellt sind, wird in dieser Norm eine Unterscheidung in zwei mögliche Gliederungsarten aufgezeigt.

Tabelle 5.4: Kostenbereiche der ÖNORM B 1801-1 (eigene Tabelle gemäß [33])

0	Grund
1	Aufschließung
2	Bauwerk-Rohbau
3	Bauwerk-Technik
4	Bauwerk-Ausbau
5	Einrichtung
6	Außenanlagen
7	Honorare
8	Nebenkosten
9	Reserven

Die Norm schlägt vor, dass einerseits eine planungsorientierte Kostengliederung und andererseits eine ausführungsorientierte Kostengliederung vorgenommen werden kann. Die planungsorientierte Gliederung baut in erster Linie auf verschiedenen Bauelementen auf, in der ausführungsorientierten werden die durchzuführenden Leistungen in Form von Leistungspositionen beschrieben. Eine Übersicht über die Struktur dieser Gliederungskonzepte gibt Tabelle 5.5.

[2] Details zu dieser Vorgangsweise sind Tabelle 5.5 auf Seite 81 zu entnehmen.
[3] Diese Norm beschäftigt sich mit der Darstellung von Kosten für Baumaßnahmen.

Tabelle 5.5: Übersicht über planungs- und ausführungsorientierte Kostengliederung (eigene Tabelle gemäß [33])

planungsorientiert

- 0 Grund
- 1 Aufschließung
- 2 Bauwerk-Rohbau
  - 2B Erdarbeiten/Baugrube
  - 2C Gründungen/Bodenkonstruktion
  - 2D Horizontale Baukonstruktionen
  - 2E Vertikale Baukonstruktionen
    - 2E.01 Außenwandkonstruktionen
    - 2E.02 Innenwandkonstruktionen
    - 2E.03 Stützenkonstruktionen
    - 2E.04 Spezielle Konstruktionen
    - 2E.99 Sonstiges
  - 2F Spezielle Baukonstruktionen
  - 2G Rohbau zu Bauwerk-Technik
- 3 Bauwerk-Technik

ausführungsorientiert

- 0 Grund
- 1 Aufschließung
- 2 Bauwerk-Rohbau
  - 2.H03 Erdarbeiten und Sicherung bei Erdarbeiten
  - 2.H04 Wasserhaltungsarbeiten
  - 2.H05 Dränarbeiten
  - 2.H06 Kanalisierungsarbeiten
  - 2.H07 Beton- und Stahlbetonarbeiten
  - 2.H09 Maurer- und Versetzarbeiten
  - ...
- 3 Bauwerk-Technik
- 4 Bauwerk-Ausbau
- 5 ...

Leistungsbereiche: Da die in der ÖNORM B 1801-1 [33] beschriebenen Gliederungsarten hauptsächlich für die Ermittlung von Kosten vorgesehen sind, ist für die Anwendung im Zuge dieser Arbeit eine geringfügige Adaptierung erforderlich. Daher wird in weiterer Folge bei der Bezeichnung der einzelnen Bereiche nicht von „Kostenbereichen“ sondern von „Leistungsbereichen“ gesprochen. Außerdem ist bei der nicht-monetären Betrachtung der Stoffflüsse die Berücksichtigung von Honoraren, Nebenkosten und Reserven nicht von Bedeutung.

Die räumlichen Systemgrenzen umfassen auf Ebene der Leistungsbereiche zusätzlich zu den Kostenbereichen der Norm auch die im Zuge der Bauleistungen erforderlichen Transporte. Es werden jedoch die Leistungsbereiche Aufschließungsarbeiten und Vorbereitungsarbeiten am Grundstück und die Einrichtung des Gebäudes nicht in diese Ökobilanz aufgenommen.

Daraus ergeben sich folgende Leistungsbereiche als Unterteilung der räumlichen Betrachtungsebene Bauleistungen:

- Bauwerk-Rohbau
- Bauwerk-Technik
- Bauwerk-Ausbau
- Außenanlagen
- Transporte

Leistungsgruppen: Im nächsten Schritt wird die Zuordnung der in Leistungsgruppen zusammengefassten Leistungen zu den jeweiligen Leistungsbereichen durchgeführt. Diese Zuordnung erfolgt gemäß ÖNORM B 1801-1 [33], wo vorgeschlagen wird, welche Leistungsgruppen die einzelnen Leistungsbereiche umfassen sollen. Dadurch werden die Leistungsgruppen „Verputzarbeiten“ und „Estricharbeiten“, die gemäß LB-HB[4] den Baumeisterarbeiten[5] zuzuordnen sind, in den Leistungsbereich „Bauwerk-Ausbau“ eingeordnet. Tabelle 5.6 zeigt die Zuordnung der verschiedenen Leistungsgruppen zu den hier untersuchten Leistungsbereichen Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Technik, Bauwerk-Ausbau und Außenanlagen.

Tabelle 5.6: Zuordnung der Leistungsgruppen zu Leistungsbereichen

Bauwerk-Rohbau		Bauwerk-Technik		Bauwerk-Ausbau		Außenanlagen		Transporte
01	Baustellengemeinkosten	01	Elektroinstallationen	10	Verputzarbeiten	13	Außenanlagen	
03	Erdarbeiten	02a	Heizung	11	Estricharbeiten	26	Asphaltierungsarbeiten	
04	Wasserhaltungsarbeiten	02b	Solaranlage	21	Schwarzdeckerarbeiten			
05	Dränarbeiten	03	Sanitär	22	Dachdeckerarbeiten			
06	Kanalisierungsarbeiten			23	Bauspenglerarbeiten			
07	Stahlbetonarbeiten			24	Fliesenlegerarbeiten			
09	Mauer- und Versetzarb.			31	Schlosserarbeiten			
12	Abdichtungsarbeiten			35	Rauch- und Abgasfänge			
16	Fertigteile			37	Tischlerarbeiten			
18	Winterbauarbeiten			44	Wärmedämmverbundsystem			
19	Baureinigung			45	Beschichtungen Holz u. Met.			
20	Regieleistungen			45	Beschichtungen Mwk. u. Putz			
26	Natursteinarbeiten			51	Fenster Holz			
36	Zimmermeisterarbeiten			53	Fenster Kunststoff			
39	Trockenbauarbeiten			57	Abschlüsse v. Fenstern			

Leistungspositionen: Als Nächstes erfolgt die Zuordnung der Leistungspositionen zu den Leistungsgruppen. Basierend auf den Ausschreibungen der Bauleistungen, die für alle Wohnhausanlagen gemäß Standardleistungsbeschreibung-Hochbau[6] erstellt wurden, kann diese Zuordnung problemlos durchgeführt werden.

Anders gelagert ist die Situation bei den Ausschreibungen des technischen Gebäude-Ausbaus, weil hier nicht entsprechend der Standardleistungsbeschreibung ausgeschrieben wurde. Deshalb sind die einzelnen Leistungsgruppen der verschiedenen Projekte nicht miteinander vergleichbar. Aus diesem Grund wird eine Zusammenfassung in die drei Haupt-Leistungsgruppen „Elektroinstallationen“, „Heizung“ und „Sanitär“ vorgenommen. Die Gruppe „Heizung“ wird dabei noch um die Untergruppe „Solaranlage“ ergänzt.

Betrieb

Bei den Umweltwirkungen die beim Betrieb des Gebäudes auftreten, wird eine Unterteilung in die wesentlichen Bestandteile der Betriebsphase – in der Folge auch als „Betriebsbereiche“ bezeichnet – unternommen. Es wird dabei in vier Bereiche unterschieden:

[4] LB-HB ... Standardleistungsbeschreibung Hochbau

[5] Bis auf einzelne Gruppen entspricht der Leistungsbereich Bauwerk-Rohbau den in der LB-HB zu den Baumeisterarbeiten zusammengefassten Leistungsgruppen.

[6] In den Ausschreibungsunterlagen der Bauträger wurden die Leistungsgruppen bei allen Bauvorhaben gemäß der LB-HB bezeichnet, in einigen Fällen wurden jedoch in den einzelnen Gruppen Zusatzpositionen eingefügt. Bei diesen musste teilweise eine manuelle Zuordnung durchgeführt werden. Als Beispiel dient die Leistungsgruppe 57 „Bewegliche Abschlüsse von Fenstern“, deren Positionen bei zwei der vier Projekte in die Leistungsgruppe der Fenster mitaufgenommen wurden.

- Bedarf an Trinkwasser
- Anfallendes Abwasser
- Bedarf an Haushaltsstrom
- Bedarf an Heizwärme für Beheizung und Warmwasserbereitstellung

Diese vier Betriebsbereiche werden durch die Festlegung der Systemgrenzen bestimmt. Eine Beschreibung der Systemgrenzen dieser Ökobilanz erfolgt in Kapitel 6.2.3 ab Seite 112.

5.2.3 Basismatrix

Die Unterteilung des Betrachtungsrahmens in zeitliche und räumliche Betrachtungsebenen kann in Matrixform dargestellt werden. Die daraus resultierende Basismatrix wird in Abbildung 5.7 gezeigt.

Dabei stehen den zeitlichen Betrachtungsebenen[7] Errichtungsphase, Nutzungsphase und Rückbauphase die räumlichen Betrachtungsebenen Bauleistungen und Betrieb gegenüber. Bauleistungen und Betrieb werden weiter in Leistungs- und Betriebsbereiche unterteilt.

Aufbauend auf dieser Matrix wird bei der Auswertung der Ökobilanz die Einordnung der Ergebnisse durchgeführt. Dabei wird durch das Herstellen des Bezugs auf den gesamten Betrachtungsrahmen der Ökobilanz die Einordnung der eizelnen Ergebnisdarstellungen ermöglicht. Auf dieser Matrix wird deshalb in der Folge aufgebaut. Sie wird sukzessive um die Darstellung der räumlichen und zeitlichen Betrachtungsrahmen der einzelnen Ergebnisdarstellungen erweitert.

		ERRICHTUNGS-PHASE	NUTZUNGS-PHASE	RÜCKBAU-PHASE
BETRIEB	Strom			
	Heizenergie			
	Wasser			
	Abwasser			
BAU-LEISTUNGEN	Rohbau			
	Technik			
	Ausbau			
	Außenanlagen			
	Transporte			

Abbildung 5.7: Basismatrix für räumliche und zeitliche Gliederung der Ökobilanz

[7] Die zeitlichen Betrachtungsebenen entsprechen den Lebenswegphasen.

5.3 Vorgangsweise Bauleistungen

Die Ermittlung des lebenszyklusweiten Stoffflusses der Bauleistungen wurde auf Basis der zur Verfügung stehenden Unterlagen – einerseits Angaben zur Nutzungsdauer von Gebäuden und Bauteilen und andererseits die Leistungsverzeichnisse und Planunterlagen der vier Wohnhausanlagen – durchgeführt. Nach einer Abgrenzung der zu erhebenden Positionen wurde im Rahmen einer detaillierten Leistungspositions-Analyse der Stofffluss der Errichtungs- und Rückbauphase bestimmt. Durch die Verknüpfung der Leistungspositionen mit Instandhaltungszyklen wurde in weiterer Folge der Stofffluss der Bauleistungen in der Nutzungsphase ermittelt. Die Berechnung der Instandhaltungszyklen wurde dabei auf Grundlage von Nutzungsdauerangaben durchgeführt.

Die gesamte Vorgangsweise bei der Erhebung des Stoffflusses der Bauleistungen ist in Abbildung 5.8 dargestellt.

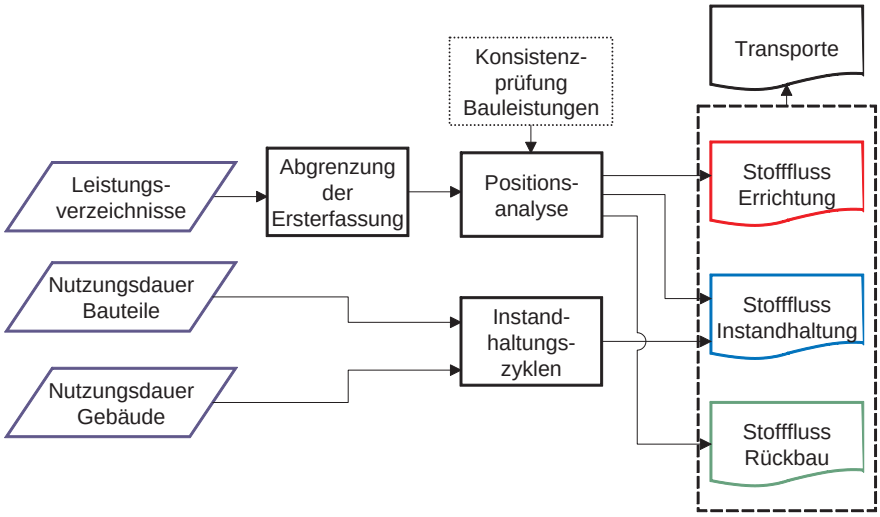

Abbildung 5.8: Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten der Bauleistungen

In weiterer Folge werden die dargestellten Vorgänge ausführlich beschrieben.

5.3.1 Unterlagen

Auf Basis der folgenden Unterlagen wurde die Ermittlung der Stoffflüsse der Bauleistungen durchgeführt:

- gebäudespezifische Unterlagen
  - Planunterlagen
  - Leistungsverzeichnisse
- Angaben zu Nutzungsdauern
  - Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden
  - Bauteilnutzungsdauer

Gebäudespezifische Unterlagen

Bei den untersuchten Wohnhausanlagen handelt es sich jeweils um geförderte Geschoßwohnbauten. Die gebäudespezifischen Unterlagen basieren auf dem Planungsstand bei der Einreichung um Wohnbauförderung. Dieser unterscheidet sich in der Praxis meist nur unerheblich von den Plänen, die in weiterer Folge als Unterlage für das Ansuchen um Baubewilligung verwendet werden. Aufbauend auf den Planstand „Einreichung um Baubewilligung“ wird meist auch die Ausschreibung der einzelnen Gewerke durchgeführt, wozu die Erstellung von Leistungsverzeichnissen aller zu vergebenden Leistungen erforderlich ist.

Demzufolge entspricht der Planungstand „Einreichung Wohnbauförderung“ auch in der Regel den schlussendlich ausgeführten Bauwerken. Die Änderungen, die im Zuge der Bauausführung vorgenommen werden, sind meist unwesentlich. Daher war für die hier vorgenommene Untersuchung dieser Planstand ausreichend detailliert.

Angaben zur Nutzungsdauer

Als Grundlage für die Abschätzung der jeweiligen Nutzungsdauer, die die Anzahl der erforderlichen Instandhaltungszyklen definiert, wurde versucht, möglichst einheitliche Quellen zu verwenden. Aus diesem Grund wurde auf den „Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile“[8] zurückgegriffen [17].

5.3.2 Abgrenzung der Ersterfassung

Bei der Berechnung der durch Bauleistungen bedingten Stoffflüsse über den Lebensweg der vier Wohnhausanlagen wurde auf Grundlage der Leistungsverzeichnisse eine Leistungspositions-Analyse durchgeführt. Dabei sollte für jede untersuchte Leistungsposition im Detail erhoben werden, welchen Stofffluss sie verursacht.

Die Ermittlung des Stoffflusses für jede einzelne Position war im Rahmen dieser Arbeit aufgrund des vorgegebenen Zeitrahmens nicht möglich. Es wurde daher ein Bewertungsschema eingeführt, auf dessen Basis die Abgrenzung der zu erfassenden Positionen durchgeführt wurde. Damit wird anhand der drei Kriterien „voraussichtliche Ergebnisrelevanz“, „Erhebungsaufwand“ und „Datenverfügbarkeit“ festgelegt, ob die jeweilige Position im Rahmen der Leistungspositions-Analyse von Relevanz ist.

- **Voraussichtliche Ergebnisrelevanz:** In dieser Bewertungskategorie wurde eine grobe Abschätzung vorgenommen, wie hoch die Auswirkung der untersuchten Leistungsgruppe oder Position auf das Endergebnis wahrscheinlich sein wird. Die Beurteilung der voraussichtlichen Ergebnisrelevanz erfolgte in erster Linie über die Menge der jeweils untersuchten Leistungsposition. Zusätzlich wurde eine subjektive Einschätzung der Höhe der potentiellen Umweltwirkungen vorgenommen.

  Mithilfe der Farben rot, gelb und grün erfolgte eine grafische Zuordnung zu hoher (+/rot), mittlerer (o/gelb) und geringer (-/grün) Ergebnisrelevanz. Zusätzlich wurde für die Kennzeichnung von Positionen, die keinerlei Umweltwirkungen generieren das Kürzel „keine“ (weiß

[8] Der „Nutzungsdauerkatalog“ wird vom Landesverband Steiermark und Kärnten des Hauptverbands der allgemein beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen (SV Gerichtssachverständige) erstellt.

hinterlegt) verwendet. Für nicht im Betrachtungsrahmen enthaltene Positionen wurde die Abkürzung „n.b.“ („nicht berücksichtigt“, ebenfalls weiß hinterlegt) eingeführt.

- **Erhebungsaufwand:** Der Begriff „Erhebungsaufwand“ bezeichnet den Aufwand, der für die Erhebung der Daten, die für die Sachbilanz nötig sind, voraussichtlich erforderlich ist. Es erfolgte auch hier eine Zuordnung zu geringem (+/rot), mittlerem (o/gelb) und hohem (-/grün) Erhebungsaufwand.

- **Datenverfügbarkeit:** Dieser Punkt beschreibt die voraussichtliche Verfügbarkeit der für die Wirkungsabschätzung erforderlichen Datensätze in der Ökoinventar-Datenbank ecoinvent [11]. Es wurde in die Kategorien gut (+/rot), mittel (o/gelb) und schlecht (-/grün) unterteilt.

Das gewählte Bewertungsschema ist in Abbildung 5.9 dargestellt. Es wird dabei exemplarisch anhand von vier Leistungspositionen der Leistungsgruppe Stahlbetonarbeiten gezeigt, wie die Abgrenzung durchgeführt wurde.

Pos. Nummer	Positions-bezeichnung	Pos. Menge	Ergebnis-relevanz	Erhebungs-aufwand	Daten-verfügbarkeit	Abgrenzung Ersterfassung
07.0102B	Sauberkeitsschicht 8cm	525 m²	o	+	+	JA
07.0218B	Beton Balken, Roste	5 m³	-	+	+	JA
07.2209A	Bewehrung Matten M 550	17.800 kg	+	+	o	JA
07.2215B	wärmedämmender Bewehrungsanschluß	10 m	-	-	-	NEIN

LEGENDE:

Ergebnisrelevanz:	+ hoch	o mittel	- gering
Erhebungsaufwand:	+ gering	o mittel	- hoch
Datenverfügbarkeit:	+ gut	o mittel	- schlecht

Abbildung 5.9: Bewertungsschema für Ersterfassung der Leistungspositionen

Die farbliche Hinterlegung der einzelnen Kriterien ermöglichte eine schnelle und übersichtliche Bewertung der einzelnen Leistungspositionen.

Bei der Entscheidung, ob die Erfassung des betrachteten Elements erforderlich ist, stand die voraussichtliche Ergebnisrelevanz im Vordergrund. War diese hoch oder mittel, wurde die Position erfasst (Zeile 1 und 3 in Abbildung 5.9). Die beiden anderen Kriterien wurden nur untersucht, wenn die Ergebnisrelevanz voraussichtlich gering erschien. Für den Fall, dass einer nur geringen Ergebnisrelevanz ein niedriger Erhebungsaufwand und gute Datenverfügbarkeit gegenüberstanden (grün/rot/rot, Zeile 2), wurde die untersuchte Position ebenfalls berücksichtigt. Bei geringer Ergebnisrelevanz, hohem Erhebungsaufwand und schlechter Datenverfügbarkeit (grün/grün/grün, Zeile 4) wurde keine Erfassung der Position vorgesehen.

5.3.3 Leistungspositions-Analyse

Bei der Leistungspositions-Analyse wurde auf Basis der bereits durchgeführten Abgrenzung im Zuge der Ersterfassung der Stofffluss der Bauleistungen ermittelt. Somit stellte die Leistungspositions-Analyse den Kern der Erhebung der Eingangsdaten der Bauleistungen dar. Üblicherweise erfolgt die

Ermittlung des entstehenden Stoffflusses in der Sachbilanzphase, in dieser Arbeit wurde sie jedoch als Vorleistung der Ökobilanz ausgelagert.

Der Stofffluss wurde dabei zuerst für nur eine Einheit der jeweiligen Position ermittelt. Durch die Verknüpfung mit dem jeweiligen Vordersatz[9] wurde die Positionssumme berechnet. Die Addition der einzelnen Positionssummen ergab in weiterer Folge den gesamten Stofffluss der Bauleistungen.

Datenherkunft bei der Leistungspositions-Analyse

Der Aufwand bei der Erhebung des Stoffflusses[10] der unterschiedlichen Positionen ist wesentlich von der Herkunft der jeweiligen Daten abhängig. Bei der Datenherkunft wird auch die Qualität der Daten bewertet.

Die Datenerhebung bei den Bauleistungen basiert grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen Datenkategorien:

- Herstellerangaben zu den Bauprodukten
  - Angaben zu Materialien und deren Masse
  - Angaben zur Geometrie der Bauprodukte
- Nicht herstellerspezifische Angaben zu Dichte und Abmessungen von Baustoffen (beispielsweise kann durch die Verknüpfung der Dickenangabe eines Holzbodens mit der Dichte von Holz der Stofffluss des Bodens berechnet werden)

Je nach Art und Anzahl der in den Positionen enthaltenen Materialien steigt der Erhebungsaufwand und die Fehleranfälligkeit. Anzumerken ist, dass die Herstellerangaben für Positionen des Leistungsbereichs Bauwerk-Rohbau wesentlich umfangreicher, jedoch einfacher auszuforschen sind als jene des Leistungsbereichs Bauwerk-Ausbau.

Die gewählte Vorgangsweise für die verschiedenen Leistungsbereiche wird auf den folgenden Seiten beschrieben.

Leistungsbereich Bauwerk-Rohbau

Gerade im Leistungsbereich Bauwerk-Rohbau sind für die meisten Positionen Daten beider Datenkategorien in relativ großer Dichte vorhanden. Dies bedeutet einerseits eine Vielzahl an Angaben über Geometrie und Stoffkennwerte der eingesetzten Materialien und andererseits zahlreiche produktspezifische Herstellerangaben. Aus diesen Informationen lässt sich in weiterer Folge für jede Position eine Aufstellung an verwendeten Materialien und deren jeweiliger Masse erstellen.

Mit Informationen über die Masse der eingesetzten Materialien kann ohne weitere Umwege der jeweilige Stofffluss berechnet werden. Bei vorhandenen Angaben zur Geometrie musste in dieser Arbeit über eine Verknüpfung mit der Dichte des verwendeten Materials die Masse errechnet werden um den Stofffluss erheben zu können.

[9] Der Begriff „Vordersatz“ entstammt der Bauwirtschaft und beschreibt die Anzahl der erforderlichen Einheiten einer Leistungsposition. Durch Multiplikation des berechneten Einheitspreises einer Position mit deren Vordersatz wird die Positionssumme ermittelt. Die einzelnen Positionssummen werden in der Folge zum Angebotspreis aufsummiert.

[10] Die Einheit des Stoffflusses beträgt hier [kg/Positionseinheit] bzw. [kg/Position] nach der erfolgten Verknüpfung mit dem Vordersatz der Position.

Leistungsbereich Bauwerk-Technik

Eine besondere Herausforderung stellte der Leistungsbereich Bauwerk-Technik dar, der sämtliche Leistungen des technischen Gebäudeausbaus umfasst. Für diesen Leistungsbereich sind kaum Informationen über Masse und Geometrie der einzelnen Bauteile und Bauprodukte verfügbar. Daher wurde eine Vereinfachung dahingehend getroffen, dass eine Pauschalerhebung durchgeführt wurde. Auf Basis der Stoffflüsse der Wohnhausanlagen Wörschach und Nestelbach wurden Pauschalen für die Haupt-Leistungsgruppen (inkl. Leistungsgruppe Solaranlage) ermittelt, die je nach Erhebungsgenauigkeit durch einen Zuschlagfaktor erhöht wurden.

Die Erhebungsgenauigkeit der Haupt-Leistungsgruppe Heizung kann durch den hohen Anteil an Rohrmaterialien, und Heizkörpern und die gute Dokumentation dieser Positionen als vergleichsweise hoch bewertet werden. Schlechter dokumentierte Positionen (zum Beispiel Pumpen, Ventile, Zähler etc.) stellen natürlich einen gewissen Teil der Gesamtpositionen, der weitaus größere Anteil des Stoffflusses liegt jedoch bei den besser dokumentierten Positionen. Gerade für Teile mit großer Masse – Kessel, Speicher oder Solaranlagen – konnten durch Anfragen bei Erzeugern gute Angaben über den Materialaufwand und die Zusammensetzung der jeweiligen Produkte erhoben werden.

Auch bei der Haupt-Leistungsgruppe Sanitär konnten für die Positionen mit der größten Masse aus Herstellerangaben vernünftige Daten erhoben werden. Zu erwähnen sind dabei in erster Linie die Einrichtungsgegenstände der Sanitärräume und die Wasserver- und Entsorgungsleitungen, die in Wohnhausanlagen in großer Länge verlegt werden müssen.

Die Erhebungsgenauigkeit bei den Elektroinstallationen war aufgrund des hohen Anteils an kleinteiligen, schlecht dokumentierten Positionen wesentlich geringer als bei den anderen beiden Haupt-Leistungsgruppen. Auch hier wurden die mengenmäßig größeren Positionen (Kabel, Erdungsleitungen, Hüllrohre etc.) so gut wie möglich erfasst, der überwiegende Anteil an Leistungspositionen konnte jedoch wegen fehlender Angaben über Materialzusammensetzung und Masse nicht bilanziert werden.

Tabelle 5.7 zeigt die gewählten Zuschlagsfaktoren für die Haupt-Leistungsgruppen, die sich aus den verschiedenen Erhebungsgenauigkeiten ergaben.

Tabelle 5.7: Gewählte Zuschlagsfaktoren der Haupt-Leistungsgruppen des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik

	Haupt-Leistungsgruppen	**Zuschlagsfaktor**
01	Elektroinstallationen	1,5
02a	Heizungsinstallationen	1,2
02b	Solaranlageninstallation	1,0
03	Sanitärinstallationen	1,2

Leistungsbereich Bauwerk-Ausbau

Im Leistungsbereich Bauwerk-Ausbau stellte die Erhebung der Stoffflüsse der Bauspenglerarbeiten und die der Fenster mit ihrer Verschattung den größten Aufwand dar. Gerade für Fenster sind die verfügbaren Herstellerangaben äußerst spärlich. Deshalb wurde eine Abschätzung der Stoffflüsse mit anschließender Plausibilitätsprüfung der Werte durch einen Fensterhersteller vorgenommen.

Leistungsbereich Außenanlagen

Der Leistungsbereich Außenanlagen war in zweierlei Hinsicht einfacher zu bearbeiten: Einerseits war die Anzahl der Positionen der Leistungsgruppen Außenanlagen und Asphaltierungsarbeiten bei den hier untersuchten Wohnhausanlagen relativ gering. Andererseits waren für den Großteil dieser Positionen gute Angaben zu Geometrie und Masse vorhanden. Dadurch konnte der Stofffluss dieses Leistungsbereiches ohne größere Schwierigkeiten erhoben werden.

Es wurde die Annahme getroffen, dass in der Rückbauphase der Gebäude keine Entsorgung des Unterbaus der Außenanlagen und keine Verfüllung der Baugruben mit anzutransportierendem Material durchgeführt wird. Diese Annahme hat zwar keine Auswirkungen auf die Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Außenanlagen, reduziert aber die Anzahl der erforderlichen Transporte erheblich.

Leistungsbereich Transporte

Im Gegensatz zu den anderen Leistungsbereichen der Bauleistungen wurden im Leistungsbereich Transporte als Eingangsdaten für die Ökobilanz keine Stoffflüsse, sondern Transportentfernungen berechnet. Durch die Annahme eines entsprechenden Transportmittels konnte dann in der Folge in der eigentlichen Ökobilanz die Wirkungsabschätzung durchgeführt werden.

Die Beurteilung der durch Transporte entstehenden Umweltwirkungen steht nicht im Zentrum dieser Arbeit. Es soll lediglich eine Abschätzung erfolgen, welcher Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen durch die Transporte verursacht wird. In der Literatur finden sich keine entsprechenden Angaben für die Annahme verschiedener Transportmittel. Daher wurde zur Abschätzung der Transporte in dieser Arbeit ein Lkw durchschnittlicher Leistung (28 to[11]) als Transportmittel für alle erforderlichen Transportevorgänge angenommen. Mit dem erhobenen Stofffluss der Bauleistungen und der durchschnittlichen Transportentfernung werden Berechnungen der Umweltwirkungen durchgeführt.

Transportentfernungen: Die verwendeten Transportdaten entstammen dem Bericht „Umweltschonende Bauabwicklung“ von Rosinak und Partner aus dem Jahr 1994 [55]. Die darin durchgeführte Analyse der zurückgelegten Kilometer und transportierten Tonnage ergab für die in diesem Bericht untersuchte „Siedlung Rodaun“ das in Tabelle 5.8 dargestellte Gesamtergebnis. Die Übertragbarkeit der darin ermittelten Werte auf die in dieser Arbeit vorliegenden Gebäude wurde durch einen Quervergleich der transportierten Massen je Wohnung überprüft.

Tabelle 5.8: Gesamtergebnis Lkw-Verkehr bei der Errichtung der „Siedlung Rodaun“ (eigene Tabelle gemäß [55])

Wohnungsanzahl	Lkw-Fahrten	Stofffluss in to	Lkw-km
102	5.610	57.225	287.855

Auf Basis der in Tabelle 5.8 dargestellten Untersuchungsergebnisse wurden die bei der Siedlung Rodaun erhobenen Ergebnisse auf die erforderlichen Tonnagen der vier Wohnhausanlagen umgelegt. Indem die Kilometer, die insgesamt bei der Errichtung von Rodaun zurückgelegt wurden, auf die transportierte Tonnage bezogen werden, lässt sich ein Wert von 5,03 km je Tonne errechnen.

[11] Die Wahl eines 28 to Lkws erfolgte auf Grundlage der in der ecoinvent-Datenbank verfügbaren Datensätze.

$$\frac{\text{gesamte Lkw-Kilometer}}{\text{Stofffluss in to}} = \frac{287855\,\text{km}}{57225\,\text{to}} = 5{,}03\,\text{km/to}$$

Dieser Wert wurde als Mittelwert für alle auf den Baustellen erforderlichen Transporte angesehen. Mit Bezug auf die bei den Bauleistungen der Wohnhausanlagen entstehenden Stoffflüsse konnten so die insgesamt erforderlichen Transportkilometer (jeweils Hin- und Rückweg) ermittelt werden. Unter der Annahme, dass dabei jeder Weg eimal voll beladen und einmal unbeladen zurückgelegt werden muss, konnte in der Wirkungsabschätzung der Ökobilanz eine Zuordnung der Umweltwirkungen, die ein Lkw je Kilometer verursacht, durchgeführt werden.

5.3.4 Instandhaltungszyklen

Die Länge der Nutzungsdauer des Gebäudes und seiner einzelnen Bauteile hat erhebliche Auswirkung auf die Umweltwirkungen der Nutzungsphase – sowohl auf jene des Betriebs als auch auf die der Instandhaltungsarbeiten. Wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben, wurde bei der Festlegung der verschiedenen Nutzungsdauern auf den „Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile“ [17] zurückgegriffen.

Nutzungsdauer der Gebäude

Als Nutzungsdauer der Wohnhausanlagen wurden 70 Jahre angenommen. Diese Annahme stützt sich auf die im Nutzungsdauerkatalog angegebenen Gesamtnutzungsdauer von 60 bis 80 Jahren für Miet- und Eigentumswohngebäude. Für Wohngebäude des sozialen Wohnbaus stellen 70 Jahre zwar die Obergrenze der Nutzungsdauer dar (50-70 Jahre), weil die Ausführungsqualität der Wohnhausanlagen jedoch höher ist als bei Gebäuden des sozialen Wohnbaus üblich, erscheint die Annahme dieser Obergrenze als gerechtfertigt.

Nutzungsdauer der Bauteile

Im Nutzungsdauerkatalog [17] werden Angaben zu der jeweiligen Nutzungsdauer einzelner Bauteile gemacht. Im Rahmen dieser Arbeit werden nicht einzelne Bauteile, sondern Leistungspositionen untersucht. Daher mussten auch die Instandhaltungszyklen, die für Bauteile ermittelt werden konnten, den Leistungspositionen zugeordnet werden.

Im Nutzungsdauerkatalog [17] ist für alle Anlagenteile ein unterer und ein oberer Wert[12] für die Nutzungsdauer festgelegt. Für die Berechnung der Instandhaltungszyklen der Bauteile wurde der Mittelwert der sich aus Ober- und Untergrenzen ergibt, als Grundwert verwendet. Für den Fall, dass die verbleibende Restnutzungsdauer des Gebäudes jedoch größer als der Mittelwert, aber kleiner als die Obergrenze der Nutzungsdauer war, wurde in dieser Arbeit keine weitere Instandhaltung mehr angenommen. Die Obergrenze der Nutzungsdauer wurde demnach nur berücksichtigt um zu prüfen, ob der letzte Instandhaltungszyklus tatsächlich erforderlich ist, oder ob zu einer Abnutzungsstrategie übergegangen werden kann.

Das folgende Beispiel zeigt die gewählte Vorgangsweise:

[12] Für den Fall, dass die Obergrenzen nicht durch Erfahrungswerte abgesichert sind, wird im Nutzungsdauerkatalog dazu keine Angabe gemacht.

Beispiel A:		Beispiel B:	
Gesamtnutzungsdauer:	70 Jahre	*Gesamtnutzungsdauer:*	70 Jahre
Bauteilnutzungsdauer:		*Bauteilnutzungsdauer:*	
Mittelwert	20 Jahre	Mittelwert	20 Jahre
Obergrenze	30 Jahre	Obergrenze	25 Jahre
		$20 + 20 + 25 = 65 < 70$ Jahre	
$20 + 20 + 30 = 70$ Jahre – **3 Zyklen**		$20 + 20 + 20 + 20 = 80$ Jahre – **4 Zyklen**	

5.3.5 Konsistenzprüfung Bauleistungen

Bei der Erhebung des Stoffflusses der Bauleistungen wurde abschließend eine Konsistenzprüfung der Ergebnisse durchgeführt. Dabei wurde ersichtlich, dass für einige Bereiche und Elemente eine detailliertere Überprüfung notwendig ist. Für die folgenden Bereiche wurde daher eine Plausibilitätsprüfung des erhobenen Stoffflusses erstellt. Zur Veranschaulichung wird die Plausibilitätsprüfung, die für die Solaranlage der Wohnhausanlage Wörschach mittels Sensitivitätsanalyse erfolgte, exemplarisch detaillierter dargestellt.

- **Spenglerarbeiten:** Für die Leistungsgruppe Spenglerarbeiten wurde eine grobe Abschätzung des Stoffflusses durch Herrn Hammer junior von der Spenglerei und Dachdeckerei Hammer in Graz durchgeführt[13]. Die Abschätzung der Plausibilität ergab lediglich geringfügige Abweichungen von den bereits berechneten Ergebnissen. Die Berechnungsansätze wurden daher nicht verändert.

- **Fenster, Jalousien:** Die Daten, die für die Berechnung des Stoffflusses der Fenster und Jalousien zur Verfügung standen, waren vergleichsweise schlecht. Daher wurde nach einer ersten Abschätzung Kontakt mit der Firma Internorm[14] aufgenommen, die detaillierte Angaben zu Profilgewichten der verwendeten Fenster geben konnte. Für die Außenjalousien konnte über die Firma Internorm auf Daten von Zulieferfirmen zurückgegriffen werden. Diese Angaben ersetzten in der weiteren Berechnung die vorher durchgeführten, groben Abschätzungen.

- **Thermische Solaranlage:** Für die thermische Solaranlage der Wohnhausanlage Wörschach wurde ein Vergleich verschiedener Datenquellen durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der vorgenommenen Sensitivitätsanalyse ist im Anschluss an diese Aufzählung zu finden.

- **Zementgebundene Polystyrolschüttung:** In drei der vier untersuchten Wohnhausanlagen wird eine zementgebundene Polystyrolschüttung als Ausgleichsschicht im Fußboden eingesetzt. Das Mischungsverhältnis von Zement, Polystyrol und Wasser wurde von Dipl.-Ing. Stelzer[15] von der Firma Cemex angegeben. Auf Basis dieses Mischungsverhältnisses war es möglich, den korrekten Stofffluss zu ermitteln.

- **Metallanteil in Holzwänden:** Zur Abschätzung des Metallanteils in Holzwänden wurde auf Angaben aus der Literatur zurückgegriffen. Aus den bei Hengl [19], Pohlmann [50] und Oswald

[13] Die Informationen entstammen Telefonaten mit Herrn Hammer junior vom 8.10.2007 sowie vom 20.10.2007. Dabei wurde die Abschätzung des durch Spenglerarbeiten anfallenden Stoffflusses von Herrn Hammer auf Basis einer Beschreibung der vier untersuchten Wohnhausanlagen durchgeführt.

[14] vgl. e-Mail-Korrespondenz mit Dr. Mattischek (Firma IFN Internorm Bauelemente) im Zeitraum von 09.10.2007 bis 15.10.2007. Die Firmenangaben sind vertraulich und dürfen daher nicht veröffentlicht werden.

[15] vgl. e-Mail-Korrespondenz mit Dipl.-Ing. Stelzer (Firma Cemex, Zentrallabor Krieglach) vom 05.11.2007. Die Firmenangaben sind vertraulich und dürfen daher nicht veröffentlicht werden.

[49] verwendeten Werten wurde für diese Arbeit ein Mittelwert von ca. 0,5 kg Stahl pro m^2 Holzkonstruktionsfläche berechnet. Für diesen Metallanteil wurde eine Sensitivitätsanalyse der Umweltwirkungen von 1 m^2 Wandfläche in Holzriegelkonstruktion durchgeführt. Die Auswirkungen des Metallanteils betrugen dabei bei allen untersuchten Wirkungsindikatoren weniger als zehn Prozent.

Neben den hier beschriebenen Untersuchungen wurden noch zahlreiche andere Detailanalysen durchgeführt. Eine umfassende Darstellung dieser Analysen würde den zur Verfügung stehenden Rahmen wesentlich überschreiten. Daher wird exemplarisch für die Bauleistungen lediglich die für die Solaranlage der Wohnhausanlage Wörschach durchgeführte Sensitivitätsanalyse im Detail dargelegt.

Thermische Solaranlage

Durch den Materialeinsatz bei der Produktion einer Solaranlage sind die Umweltwirkungen, die durch den Stofffluss verursacht werden, vergleichsweise hoch. Besonders die vielen eingesetzten Metalle (Edelstahl, Kupfer etc.) und das erforderliche Frostschutzmittel sind für hohe Umweltwirkungen veranwortlich. Daher war eine detaillierte Untersuchung der thermischen Solaranlage wesentlich für die Ermittlung des Stoffflusses des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik.

Herstellerdaten zum Stofffluss von Solaranlagen sind kaum öffentlich zugänglich, weshalb hier die Erhebung der Sachbilanzdaten mit großen Schwierigkeiten verbunden war. Aus diesem Grund wurde für die Solaranlage der Wohnhausanlage Wörschach eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Auf Basis von drei Datenquellen wurden die Umweltwirkungen der Solaranlage (Kollektorfläche 50 m^2, Pufferspeicher 2500 l) erhoben und verglichen:

- Datenquelle 1: Untersuchung zu Materialzusammensetzung von Solaranlagen im Rahmen des IEA SHC Tasks 26 (Solar Combisystems) [61]
- Datenquelle 2: Herstellerangaben der Firma Sonnenkraft[16]
- Datenquelle 3: Komplett-Datensatz einer Solaranlagen-Einheit für Mehrfamilienhäuser aus der ecoinvent-Datenbank [11]

Datenquelle 1 – IEA-Task: Im Rahmen des „Committee on Energy Research and Technology (CERT) – Working Party on Renewable Energy Technologies“ der International Energy Agency IEA wurde ein Implementing Agreement „Solar Heating and Cooling Systems (SHC) beschlossen. Im Task 26 – „Solar Combisystems“ dieses Implementing Agreements werden alle Arten von thermischen Solaranlagen zum Zweck von Heizung und Kühlung untersucht. Eine im Jahr 2003 abgeschlossene Untersuchung, die in Zusammenarbeit zahlreicher europäischer Forschungsinstitutionen entstand, beschäftigte sich dabei mit dem „Material demand and Accumulated Energy Expense of Solar Combisystems“. Dazu wurden für zehn verschiedene solare Kombi-Systeme[17] die Stoffflüsse (jeweils für die Kollektoren und die erforderlichen Pufferspeicher) erhoben. Aufbauend auf diesen Stoffflüssen erfolgte in dieser Arbeit für eine der zehn Anlagen, die mit der der Wohnhausanlage Wörschach vergleichbar ist, die Verknüpfung mit Ökoinventaren der ecoinvent-Datenbank.

[16] vgl. e-Mail-Korrespondenz mit Dr. Prachar (Firma General Solar Systems) im Zeitraum von 22.08.2007 bis 31.08.2007. Die Firmenangaben sind vertraulich und dürfen daher nicht veröffentlicht werden.

[17] Solare Kombi-Systeme werden sowohl für die Bereitungstellung von Warmwasser als auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt.

Datenquelle 2 – Fa. Sonnenkraft: Für das in der Wohnhausanlage Wörschach ausgeschriebene Produkt – ein IDMK25 (Kollektorfläche 2,5 m^2) Indach-Kollektor der Firma Sonnenkraft, der in 20-facher Ausfertigung installiert wurde – wurde von der Herstellerfirma ein interner Bewertungsbogen mit der Umweltbewertung des Produkts zur Verfügung gestellt. Aus Gründen der Vertraulichkeit kann dieser firmeninterne Bewertungsbogen hier nicht dargestellt werden. Auf Basis des Bewertungsbogens wurde der Stofffluss erhoben und mit ecoinvent-Datensätzen verknüpft, um so die Umweltwirkungen zu ermittelt.

Datenquelle 3 – ecoinvent: Die dritte verwendete Datenquelle ist ein Komplett-Datensatz der ecoinvent-Datenbank. Im Datensatz Nr. 1878 (ecoinvent Version 1.3) mit der Bezeichnung „solar system, flat plate collector, multiple dwelling, hot water“ wird die gesamte Einheit aus Flachkollektor, Speicher, Pumpen und den erforderlichen Rohrleitungen bilanziert. In diesem Fall war somit keine Verknüpfung mit einem weiteren Datensatz erforderlich.

In Abbildung 5.10 werden die im Rahmen der Sensitivitätsanalyse für die drei verschiedenen Datenquellen ermittelten Umweltwirkungen dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Prozent bezogen auf Variante I (Task 26-Report). Die Ergebnisse der Datenquelle 2 (Sonnenkraft) liegen meist um 30% bis 50% unter den Werten von Datenquelle 1 (Task 26). Die aus Datenquelle 3 (ecoinvent) gewonnenen Daten machen andererseits das 1,5- bis 2,4-fache der Umweltwirkungen der Datenquelle 1 aus.

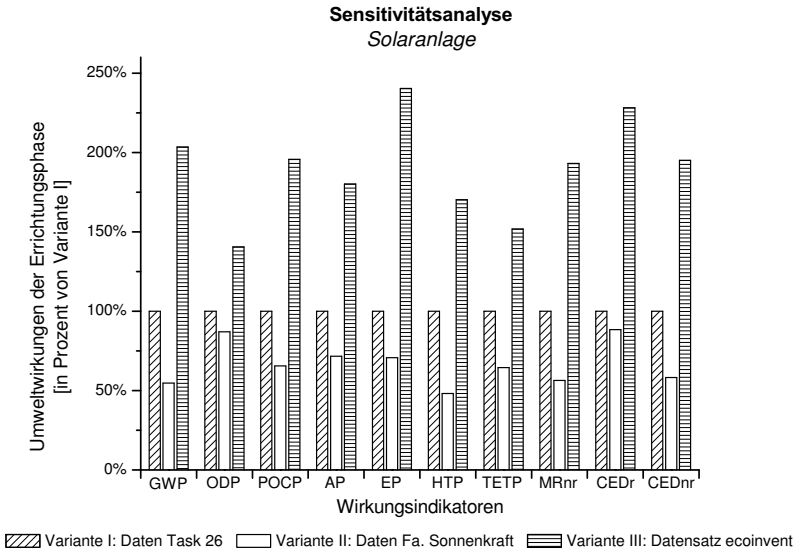

Abbildung 5.10: Sensitivitätsanalyse: Solaranlage

Die teilweise stark streuenden Ergebnisse sind wahrscheinlich auf den Umstand zurückzuführen, dass bei Datenquelle 3 die Dimension der untersuchten Solaranlage nicht bekannt ist. Während in der Wohnhausanlage Wörschach für zehn Wohnungen mit einer Anlage mit 50 m^2 Kollektorfläche das Auslangen gefunden wird, kann in einem „multiple dwelling“ – wie die Beschreibung im ecoinvent-Datensatz lautet – durchaus auch eine größere Wohnungsanzahl zu versorgen sein. Demnach kann eine größere Anlage vorhanden sein.

Die Angaben der Firma Sonnenkraft sind zwar hinsichtlich der Größe der Solaranlage richtig, andererseits können hier durch die nicht vorhandenen Daten für Pufferspeicher und Rohrleitungen[18] ebenfalls Verzerrungen zu Stande kommen.

Ergebnis: In der weiteren Arbeit wird der aus Datenquelle 1 (IEA-Task 26) gewonnene Stofffluss verwendet, weil dieser in etwa dem Mittelwert der untersuchten Datenquellen entspricht.

[18] Die fehlenden Daten wurden mit Werten aus Datenquelle 1 ergänzt.

5.4 Vorgangsweise Betrieb

Die Berechnung des Stoff- und Energieflusses, der in der Nutzungsphase beim Gebäudebetrieb entsteht, wurde auf Basis statistischer Werte und vereinfachter Berechnungen durchgeführt.

Dabei wurde für den nutzerabhängigen Stoff- und Energiebedarf an Haushaltsstrom, die Versorgung mit Trinkwasser und die Entsorgung des Abwassers auf statistische Angaben zurückgegriffen. Die Abschätzung der erforderlichen Energie für Beheizung und Warmwasserbereitung wurde mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Gebäudeenergieausweises durchgeführt.

In Abbildung 5.11 ist schematisch dargestellt, wie die Ermittlung der Eingangsdaten der einzelnen Betriebsbereiche vorgenommen wurde.

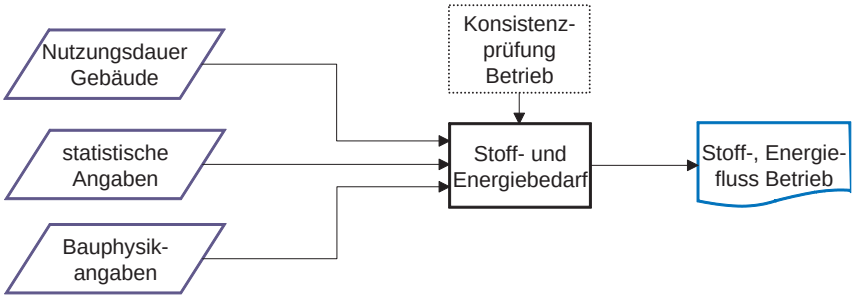

Abbildung 5.11: Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten des Betriebs

Nach der Beschreibung der erforderlichen Angaben aus verschiedenen Unterlagen wird gezeigt, wie die Ermittlung des jährlichen Stoff- und Energiebedarfs während der Betriebsphase durchgeführt wurde. Durch die Verknüpfung mit der Gesamtnutzungsdauer der Wohnhausanlagen konnte der Stoff- und Energiefluss der einzelen Betriebsbereiche während der Nutzungsphase ermittelt werden. Die ermittelten Werte wurden auch beim Betrieb im Rahmen einer Konsistenzprüfung in einzelnen Sensitivitätsanalysen noch daraufhin untersucht, ob die ermittelten Stoff- und Energieflüsse den weiteren Berechnungen der Umweltwirkungen zugrundegelegt werden konnten.

5.4.1 Unterlagen

Die Unterlagen, die für die Ermittlung der Stoff- und Energieflüsse des Betriebs benötigt wurden, sind in der folgenden Darstellung aufgelistet. Neben den Angaben zur Gesamtnutzungsdauer der Gebäude wurden – wie erwähnt – statistische Werte benötigt. Für die erforderlichen Berechnungen waren auch gebäudespezifische Angaben zu Bauphysik sowie die Planunterlagen erforderlich.

- Angaben zu Nutzungsdauern
  - Gesamtnutzungsdauer von Gebäuden
- Statistische Angaben
  - Haushaltswasserverbrauch
  - Haushaltsstromverbrauch

- Gebäudespezifische Angaben
  - Bauphysikalische Angaben
  - Planunterlagen
  - Angaben zu den haustechnischen Systemen

Angaben zu Nutzungsdauern

Wesentlich für den Bedarf an Energie und Stoffen während der Nutzung ist die Länge dieser Lebenswegphase. Es wurde hier – wie bereits bei der Beschreibung der Vorgangsweise der Bauleistungen beschrieben – eine Gesamtnutzungsdauer der Wohnhausanlagen von 70 Jahren angenommen.

Statistische Angaben

Für die Ermittlung des Bedarfs an Trinkwasser, des damit verbundenen Abwasseranfalls und des Strombedarfs wurden statistische Werte des Pro-Kopf-Verbrauchs in Österreich verwendet. Die Angaben dazu stammen einerseits aus Erhebungen der Statistik Austria [58] und andererseits aus Angaben der Siedlungswasserwirtschaft [22], [52].

Gebäudespezifische Angaben

Neben anderen Unterlagen muss bei der Einreichung um Wohnbauförderung die Berechnung des Heizwärmebedarfs beigelegt werden. Diese bauphysikalischen Angaben für die vier Wohnhausanlagen wurden in dieser Arbeit als Basis für die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitstellung verwendet. Für diese Berechnung waren auch die Planunterlagen erforderlich.

Ergänzend zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs waren für die Berechnung des Endenergiebedarfs – auf Basis dessen die Beurteilung des Betriebs in dieser Arbeit erfolgte – zusätzliche Angaben über das jeweilige haustechnische System erforderlich. Diese Angaben umfassen teils relativ detaillierte Informationen über Energiebereitstellung, Energieverteilung und Energieabgabe. Um diese Informationen, die in den bisher beschriebenen Unterlagen nicht in der benötigten Form vorhanden sind, zu erhalten, wurde Kontakt mit den jeweiligen Haustechnikplanern aufgenommen[19]. Die gewonnenen Angaben wurden mit den Ausschreibungsunterlagen des haustechnischen Systems verglichen und in die Berechnung des Endenergiebedarfs übernommen.

5.4.2 Stoff- und Energiebedarf des Betriebs

In diesem Kapitel wird erläutert, wie der Stoff- und Energiebedarf ermittelt wurde. Dabei wird nach der Beschreibung der Berechnungsannahmen der jeweils angesetzte Bedarfswert jedes Betriebsbereiches der vier Wohnhausanlagen dargestellt.

[19] vgl. Telefonkorrespondenzen vom 17.07.2007 mit Ing. Karner, TB Karner; vom 19.07.2007 mit Ing. Ferk, TB Ferk; vom 21.08.2007 mit Ing. Grabner, TB Grabner

Der Stoff- und Energiebedarf des Betriebs wird für folgende Betriebsbereiche berechnet:

- Bedarf an Trinkwasser
- Anfallendes Abwasser
- Bedarf an Haushaltsstrom
- Bedarf an Heizwärme für Beheizung und Warmwasserbereitstellung

Bedarf an Trinkwasser und anfallendes Abwasser

Um Stoffflüsse für den Bedarf an Trinkwasser und den damit verbunden Abwasseranfall ermitteln zu können, wurde auf statistische Angaben aus der Literatur zurückgegriffen. Gemäß dem Lehrbuch „Siedlungswasserbau 1 – Wasserversorgung“ aus dem Jahr 1998 lag der gesamte Wasserverbrauch im Haushalt damals bei ca. 120 l/Einw.d[20] [22]. Dieser Wert geht auf die ÖNORM B 2538-1 aus dem Jahr 1984 zurück. Diese ÖNORM wurde mittlerweile durch die ÖNORM EN 805 [40] und die ÖNORM B 2538 [35] ersetzt. In der ÖNORM EN 805 wird dieser Richtwert abhängig von sozialen und klimatischen Verhältnissen mit 150 bis 250 l/Einw.d angegeben [40]. Die ÖNORM B 2538 aus 2002 legt im Gegensatz dazu 120 l/Einw.d als Mindestwert für den „derzeitigen Wasserbedarf“ fest [35].

Diese unterschiedlichen Werte berücksichtigend, wurde in dieser Arbeit ein durchschnittlicher Wasserverbrauch von 135 l/Einw.d angenommen. Dieser Wert wurde auch als täglicher Abwasseranfall pro Person und Tag festgelegt, der in [52] mit 120 bis 140 l/Einw.d angesetzt wird.

Tabelle 5.9: Jährlicher Bedarf an Trinkwasser der vier untersuchten Wohnhausanlagen

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
täglicher Wasserbedarf [m^3/Einw.d]	0,135	0,135	0,135	0,135
Belegungszahl [Einw.]	24	29	36	46
jährlicher Wasserbedarf [m^3/a]	1183	1429	1774	2267

Tabelle 5.10: Jährlicher Anfall an Abwasser der vier untersuchten Wohnhausanlagen

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
täglicher Abwasseranfall [m^3/Einw.d]	0,135	0,135	0,135	0,135
Belegungszahl [Einw.]	24	29	36	46
jährlicher Abwasseranfall [m^3/a]	1183	1429	1774	2267

Bedarf an Haushaltsstrom

Die Angaben für den Bedarf an Haushaltsstrom beruhen auf Daten der Statistik Austria über den Energieeinsatz der Haushalte im Jahr 2004 [58]. Darin wird die Menge an Energie – aufgeteilt auf

[20] [l/Einw.d] ... Liter je Einwohner und Tag

die verschiedenen Energieträger – sowohl auf die Einwohnerzahl Österreichs[21], als auch auf die Nutzfläche der gesamten Haushalte bezogen. Neben den österreichweiten Verbrauchswerten werden auch Angaben für die einzelnen Bundesländer gemacht. Für den Stromverbrauch ist zu erkennen, dass der personenspezifische Mittelwert von 1786 kWh/Einw.a[22] im gesamten Bundesgebiet hauptsächlich durch den äußerst niedrigen Stromverbrauch in Wien (1429 kWh/Einw.a) zu Stande kommt. Auch in Oberösterreich liegt der Verbrauch mit 1762 kWh/Einw.a unter dem österreichweiten Durchschnitt. Werden diese beiden Bundesländer nicht berücksichtigt, läge der Mittelwert für die verbleibenden sieben Bundesländer bei 1904 kWh/Einw.a, wobei Kärnten mit 1994 kWh/Einw.a der Spitzenreiter in puncto Stromverbrauch in Österreich ist. Der Verbrauch in der Steiermark liegt bei 1925 kWh/Einw.a Aufgrund der regional schwankenden Verbrauchswerte wurde in dieser Arbeit der bundesweite Mittelwert von 1786 kWh/Einw.a angenommen.

Als Bezugswerte wurden dabei die durchschnittlichen Belegungszahlen der Wohnhausanlagen herangezogen. Die Wahl des Bezugswertes Personenanzahl an Stelle der Wohnnutzfläche erklärt sich dadurch, dass der Anteil der Einfamilienhäuser in Österreich sehr hoch ist und die zur Verfügung stehende Nutzfläche je Person dort wesentlich höher ist als in Wohnhausanlagen. So beträgt die Nutzfläche pro Person – die den Angaben der Statistik Austria zugrundegelegt ist – ca. 41,1 m^2/Person. In den vier Wohnhausanlagen ergeben sich mit den durchschnittlichen Belegungszahlen Werte von 28,0 bis 29,6 m^2/Person. Für die Ermittlung der durchschnittlichen Belegungszahl der einzelnen Wohnhausanlagen wurde jeweils individuell eine Teilauslastung der Wohnungen angenommen. Im Mittel betrug die angenommene durchschnittliche Belegungszahl rund 85% der planmäßigen Maximalbelegung[23]. Die Belegungszahlen der einzelnen Wohnhausanlagen sind in den Ergebnis-Tabellen der Bedarfswerte enthalten.

Tabelle 5.11: Jährlicher Bedarf an Haushaltsstrom der vier untersuchten Wohnhausanlagen

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
täglicher Strombedarf [kWh/Einw.a]	1.786	1.786	1.786	1.786
Belegungszahl [Einw.]	24	29	36	46
jährlicher Strombedarf [kWh/a]	42.864	51.794	64.296	82.156

Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser

Die Ermittlung des Bedarfs an Energie für die Bereitstellung von Warmwasser und Heizung wurde auf Basis des Energieausweises durchgeführt. Darin wird beim Energiebedarf zwischen Nutzenergiebedarf (Heizwärmebedarf und Warmwasserwärmebedarf) und Endenergiebedarf unterschieden. Der Unterschied zwischen den beiden Bedarfswerten liegt darin, dass auf Ebene der Endenergie zusätzlich die Verluste der haustechnischen Anlage, aber auch Erträge aus Solaranlagen oder Wärmepumpen berücksichtigt werden. Details dazu sind in Kapitel 3.5 nachzulesen.

Die Energieausweise der vier Wohnhausanlagen, die in Anhang A abgebildet sind, wurden mit einem Programm auf Basis von Microsoft Excel erstellt. Dieses Programm trägt den Namen „OIB-Programm für die Berechnung von Energiekennzahlen von Wohngebäuden“. Es wurde vom Landesenergieverein Steiermark im Auftrag des OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) mitentwickelt

[21] Zugrundegelegt wird hier der Bevölkerungsstand des Jahres 2004 in dem Österreich 8.077.993 Einwohner hatte.
[22] [kWh/Einw.a] ... Kilowattstunden je Einwohner und Jahr
[23] Die Maximalbelegung ist mit zwei Personen in Zweizimmerwohnungen, drei Personen in Dreizimmerwohnungen beziehungsweise vier Personen in Vierzimmerwohnungen erreicht.

und wurde in dieser Arbeit in der Version „eeb43“ eingesetzt. Die Entscheidung für dieses Programm fiel aufgrund der Tatsache, dass es im Gegensatz zu anderen den Einbau einer Solaranlage, wie sie in zwei der vier Wohnhausanlagen vorhanden ist, berücksichtigen kann. Zudem haben Bediener-Freundlichkeit und Übersichtlichkeit für dieses Programm gesprochen.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs, der gebäudespezifisch ist und daher für jede Wohnhausanlage individuell durchgeführt werden musste, erfolgte gemäß den Algorithmen des Energieausweises. Diese Algorithmen divergieren geringfügig von den Berechnungen, die für die Einreichung um Wohnbauförderungen vom Land Steiermark gefordert werden. Unterschiede treten dabei in erster Linie bei der Definition der Lage der thermischen Gebäudehülle und bei der Berechnung der konditionierten Bruttogrundfläche auf. Durch diese Unterschiede ergeben sich Abweichungen von den Berechnungen, die in den zur Verfügung gestellten Unterlagen enthalten sind. Tabelle 5.12 gibt einen Überblick über die mit dem Energieausweis berechneten Werte und die Ergebnisse der Heizwärmebedarfs-Berechnungen in den Unterlagen.

Tabelle 5.12: Vergleich der Ergebnisse der Energieausweis-Berechnungen jeweils in [kWh/m^{2}a] (Bezugsfläche ist die Bruttogrundfläche)

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Wärmebedarf aus Unterlagen				
HWB Referenzstandort	41,2	43,0	31,0	-
HWB Standort	53,3	49,0	32,0	50,7
Wärmebedarf Energieauweis				
HWB Referenzstandort	40,0	37,6	33,4	56,2
HWB Standort	49,0	41,1	36,4	62,7
WWWB	12,8	12,8	12,8	12,8
HTEB	23,0	20,1	19,5	39,5
Heizenergiebedarf HEB	*84,8*	*74,0*	*68,7*	*114,9*
Ertrag Solaranlage	-17,0	-22,3	0,0	0,0
Endenergiebedarf EEB	*67,9*	*51,8*	*68,7*	*114,8*

Ein Ergebnis der Energieausweisberechnungen war neben den absoluten Zahlen für Heizwärme- und Endenergiebedarf auch die Aufteilung des Endenergiebedarfs auf verschiedene Energieträger. Es wurde einerseits die Energiemenge die vom eigentlichen Energieträger für die Beheizung zur Verfügung gestellt werden muss, und andererseits die erforderliche Hilfsenergie[24], die in Form von elektrischem Strom zugeführt werden muss, ausgewiesen. Tabelle 5.13 zeigt diese Ergebnisse, die für den Energiefluss des Betriebsbereichs „Bedarf an Energie für Heizung und Warmwasserbereitstellung“ berechnet wurden.

Tabelle 5.13: Jährlicher Bedarf an Heizenergie der vier untersuchten Wohnhausanlagen

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
jährl. Endenergiebedarf [kWh/WHA]	65.840	59.544	94.877	160.341
davon Hilfsenergie [kWh/WHA]	1.021	1.961	201	7.371

[24]Diese Hilfsenergie ist erforderlich, um Pumpen, automatische Ventile etc. betreiben zu können. Bei der Verwendung von Heizöl als Energieträger ist meist ein wesentlich höherer Hilfsenergiebedarf erforderlich als bei der Verwendung von Fernwärme.

5.4.3 Konsistenzprüfung Betrieb

Die Sensitivitätsanalysen, die im Rahmen der Konsistenzprüfung der Betriebsbereiche durchgeführt wurden, umfassen folgende Punkte:

- Einfluss des Energieträgers zur Deckung des Energiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitstellung
- Einfluss des gewählten Strommixes

Einfluss des Energieträgers für Beheizung

Die Sensitivitätsanalyse zum Einfluss des Energieträgers für Beheizung stellt für die Bewertung der Umweltwirkungen des Gebäudebetriebs ein wesentliches Kriterium dar. Durch die lange Periode der Nutzung kommt der Wahl des Energieträgers große Bedeutung zu. Im ursprünglichen Ansatz zur Berücksichtigung dieses Effekts wurde bewusst in Kauf genommen, dass sich dadurch die jeweiligen Gesamtsummen der Umweltwirkungen der einzelnen Wohnhausanlagen wesentlich voneinander unterscheiden können.

In der hier durchgeführten Analyse wurden die Datensätze für eine Kilowattstunde Wärme (Endenergie gemäß Energieausweisberechnung) für die folgenden Energiequellen verglichen:

- Gas-Zentralheizung
- Öl-Zentralheizung
- Biomasse-Nahwärme mit Energieträger Holz
- Fernwärme mit Energieträger Steinkohle

Die in Abbildung 5.12 dargestellten Ergebnisse verdeutlichen die massiven Unterschiede zwischen den verschiedenen Energieträgern. Lediglich die fossilen Brennstoffe Gas und Öl, die in einer Zentralheizung im Gebäude in die benötigte Wärme umgewandelt werden, zeigen eine weitgehende Übereinstimmung bei den Ergebnissen der jeweiligen Wirkungsindikatoren. Der Vergleich mit den Datensätzen für Nah- und Fernwärme weist jedoch wegen der unterschiedlichen Energiequellen beim Großteil der Wirkungsindikatoren erhebliche Abweichungen auf, die in Einzelfällen mehr als das Hundertfache des Wertes von Gas betragen können!

Resümee: Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Wahl des Energieträgers erheblichen Einfluss auf die gesamten Umweltwirkungen des Gebäudes hat. Es wurde daher die Entscheidung getroffen, die für Beheizung und Warmwasserbereitung erforderliche Wärme bei den vier untersuchten Wohnhausanlagen jeweils mit demselben Energieträger (Gas) zu decken.

Einfluss des Strommixes

Ähnlich wie die Wahl des Energieträgers hat auch die Auswahl des Datensatzes für elektrischen Strom großen Einfluss auf die Umweltwirkungen während der Nutzungsdauer der Wohnhausanlagen. Durch die länderspezifische Zusammensetzung des Stroms hinsichtlich der Energieträger unterscheiden sich die Datensätze wesentlich. In Abbildung 5.13 wird gezeigt, wie unterschiedlich hoch die Umweltwirkungen einer Kilowattstunde Strom in Österreich (Strom AT), Deutschland (Strom DE) und der Schweiz (Strom CH) sind.

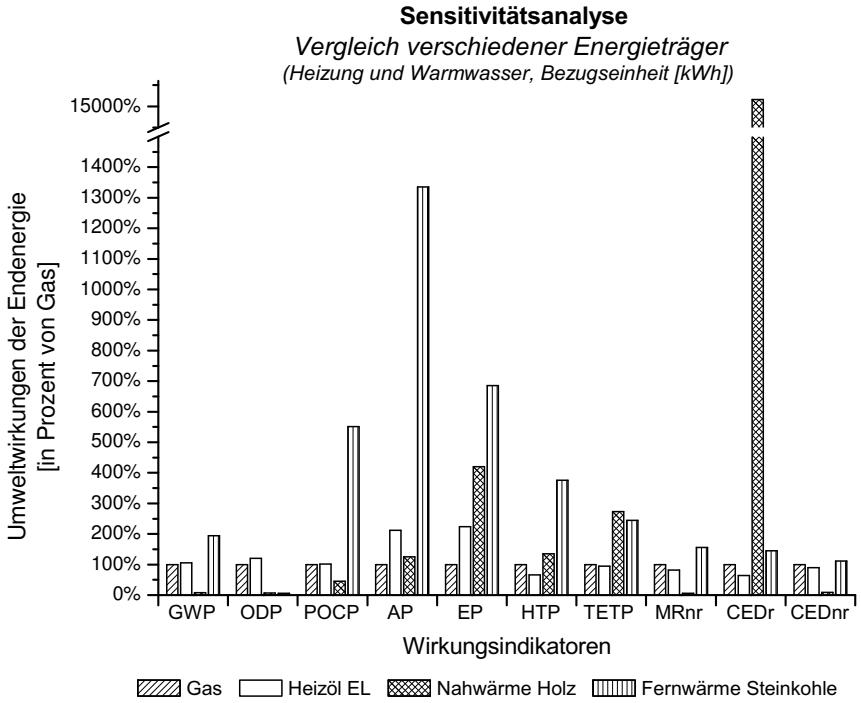

Abbildung 5.12: Sensitivitätsanalyse: Vergleich verschiedener Energieträger

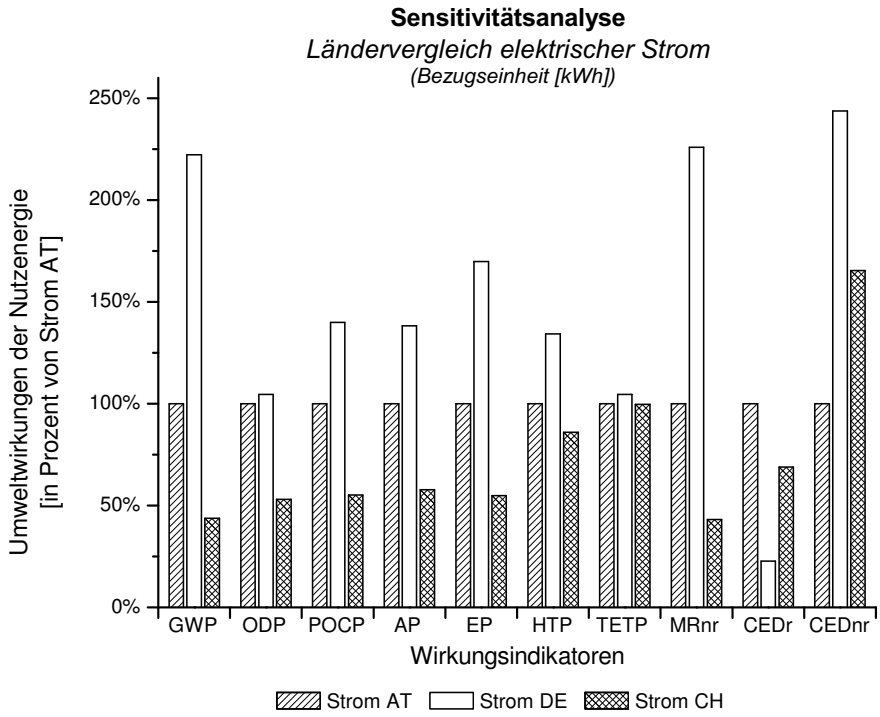

Abbildung 5.13: Sensitivitätsanalyse: Ländervergleich elektrischer Strom

Resümee: Die Auswahl des Datensatzes Strom AT für die vier Wohnhausanlagen wurde durch die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse nicht beeinflusst. Es sollte lediglich gezeigt werden, wie hoch der Einfluss des Standortes (bezogen auf verschiedene Nationen) auf die Ergebnisse einer Ökobilanz sein kann.

Es ist festzuhalten, dass die potentiellen Umweltwirkungen der Produktionsphase sehr vom jeweiligen Strommix abhängen. Im Rahmen dieser Ökobilanz wurde diesem Umstand jedoch nicht Rechnung getragen. Die Datensätze wurden nicht an eine eventuelle Produktion am Standort Österreich angepasst und daher diesbezüglich nicht verändert.

5.5 Zusammenfassung der Stoff- und Energieflüsse

Als Abschluss des Kapitels 5 erfolgt hier eine Zusammenfassung der Stoff- und Energieflüsse, die als Eingangsdaten in die eigentliche Ökobilanz übernommen wurden.

Dazu werden die Summen der Stoffflüsse der Bauleistungen aller Wohnhausanlagen getrennt nach Lebenswegphasen für die untersuchten Leistungsbereiche dargestellt. Auch die durch den Transport der Materialien entstehende Fahrleistung, die einen Stoff- und Energieverbrauch (in Form von Treibstoff, Schmiermittel, Abnützung des Fahrzeugs) verursacht, wird getrennt nach Leistungsbereichen dargestellt.

Eine genauere Unterteilung in einzelne Materialien ist für den Stofffluss nicht möglich, da eine sehr große Anzahl an verschiedenen Materialien eingesetzt wurde.

Der Stofffluss des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik wird hier nicht dargestellt. Einerseits ist der entstehende Stofffluss vergleichsweise gering, andererseits wurde durch die vorgenommene Pauschalierung und die Erhöhung mit Zuschlagsfaktoren keine exakte Ermittlung durchgeführt.

Nachdem auch die Stoff- und Energieflüsse des Gebäudebetriebs in der Nutzungsphase übersichtlich zusammengefasst wurden, erfolgt noch eine Zusammenfassung der gesamten lebenszyklusweiten Stoff- und Energieflüsse.

5.5.1 Stofffluss Errichtung

Tabelle 5.14: Stofffluss Errichtung (in [to])

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Bauwerk-Rohbau	3728	5835	4270	4657
Bauwerk-Technik	–	–	–	–
Bauwerk-Ausbau	199	272	233	556
Außenanlagen	962	5.094	1.999	1.978
Errichtung gesamt	4.888	11.202	6.502	7.191

5.5.2 Stofffluss Nutzung-Instandhaltung

Tabelle 5.15: Stofffluss Nutzung-Instandhaltung (in [to])

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Bauwerk-Rohbau	107	72	201	526
Bauwerk-Technik	–	–	–	–
Bauwerk-Ausbau	178	228	248	602
Außenanlagen	474	1312	641	1060
Instandhaltung gesamt	760	1612	1090	2187

5.5.3 Stoff- und Energiefluss Nutzung-Betrieb

Tabelle 5.16: Stoff- und Energiefluss Nutzung-Betrieb (Einheiten variieren)

	Wörschach	**Pinggau**	**Nestelbach**	**Hart**
Wasserbedarf [m^3/a]	1182	1429	1773	2266
Abwasseranfall [m^3/a]	1182	1429	1773	2266
Strombedarf [kWh/a]	42.864	51.794	64.296	82.156
Endenergiebedarf [kWh/a]	65.840	59.544	94.877	160.341

5.5.4 Materialfluss Rückbau

Tabelle 5.17: Stofffluss Rückbau (in [to])

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Bauwerk-Rohbau	1.661	2.117	1.426	2.469
Bauwerk-Technik	–	–	–	–
Bauwerk-Ausbau	199	272	233	556
Außenanlagen	237	671	321	996
Rückbau gesamt	2.097	3.059	1.979	4.021

5.5.5 Stoff- und Energiefluss am gesamten Lebensweg

Abschließend erfolgt eine Zusammenstellung aller Stoff- und Energieflüsse, die am Lebensweg der Wohnhausanlagen auftreten. Tabelle 5.18 zeigt den Stofffluss der Bauleistungen während Errichtung, Instandhaltung und Rückbau. In Tabelle 5.19 wird dargestellt, welche Transporte im Zuge der Bauleistungen erforderlich sind und Tabelle 5.20 zeigt, welche Stoff- und Energieflüsse beim Betrieb der Wohnhausanlagen auftreten.

Tabelle 5.18: Stofffluss gesamter Lebensweg (in [to])

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Bauwerk-Rohbau	5.496	8.024	5.896	7.652
Bauwerk-Technik	–	–	–	–
Bauwerk-Ausbau	576	772	715	1713
Außenanlagen	1.673	7.077	2.961	4.034
Gesamtsumme	7.745	15.873	9.572	13.399

Tabelle 5.19: Transporte gesamter Lebensweg (in [km])

	Wörschach	Pinggau	Nestelbach	Hart
Bauwerk-Rohbau	28.183	40.610	30.669	41.137
Bauwerk-Technik	–	–	–	–
Bauwerk-Ausbau	3.795	5.027	4.845	11.615
Außenanlagen	10.800	42.202	18.119	30.956
Transporte gesamt	42.778	87.838	53.633	83.707

Tabelle 5.20: Stoff- und Energiefluss gesamter Lebensweg (Einheiten variieren)

	Wörschach	**Pinggau**	**Nestelbach**	**Hart**
Wasserbedarf [m^3/a]	1182	1429	1773	2266
Abwasseranfall [m^3/a]	1182	1429	1773	2266
Strombedarf [kWh/a]	42.864	51.794	64.296	82.156
Endenergiebedarf [kWh/a]	65.840	59.544	94.877	160.341

Kapitel 6

Ökobilanz

Dieses Kapitel enthält die von der ÖNORM EN ISO 14040 [41] und von der ÖNORM EN ISO 14044 [45] geforderte Beschreibung des Ökobilanzrahmens.

Nachdem in Kapitel 5 die Ermittlung der Stoff- und Energieflüsse als Eingangsdaten für die Berechnung der Input- und Outputströme[1] der Wohnhausanlagen erläutert wurde, wird hier der Rahmen der Ökobilanz festgelegt. Dazu wird eine Struktur gewählt, die eng an die in der Normung vorgeschlagene Gliederung angelehnt ist.

Folgende Themen werden dabei im Detail behandelt:

- Ziel der Ökobilanz
- Festlegung des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

6.1 Ziel der Ökobilanz

Ziel dieser Ökobilanz ist die Ermittlung und der Vergleich der Umweltwirkungen die in den einzelnen Lebenswegphasen (Errichtung, Nutzung, Rückbau) der vier Wohnhausanlagen[2] entstehen. Die dafür verwendete Gliederung des Lebenswegs ist in Abbildung 6.1 dargestellt.

Die Berechnungen dieser Arbeit sollen möglichst alle am Lebensweg der Wohnhausanlagen anfallenden Umweltwirkungen abdecken. Folgende Ergebnisse sollen auf Basis dieser Berechnungen aus der Ökobilanz gewonnen werden:

- **Vergleich der Lebenswegphasen:** Durch den Vergleich der Lebenswegphasen soll gezeigt werden, wie groß der Einfluss der einzelnen Phasen auf die gesamten Umweltwirkungen ist.

[1] Gemäß der ÖNORM EN ISO 14040 [41] stellen „Produkt-, Stoff- oder Energieflüsse“ den Input dar, „der einem Prozessmodul zugeführt wird“, während der Output jener „Produkt-, Stoff- oder Energiefluss“ ist, „der von einem Prozessmodul abgegeben wird“ [41]. Ein Prozessmodul wird dabei folgendermaßen definiert: „kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den Imput- und Outputdaten quantifiziert werden“ [41].

[2] Die Wohnhausanlagen sind hinsichtlich ihrer Qualität und Größe relativ vergleichbar. Wo Größenunterschiede zwischen den einzelnen Anlagen auftreten, sind diese durch die angestrebte Form der Darstellung der Ergebnisse, die ausschließlich relative Vergleichszahlen zeigen soll, von geringer Bedeutung.

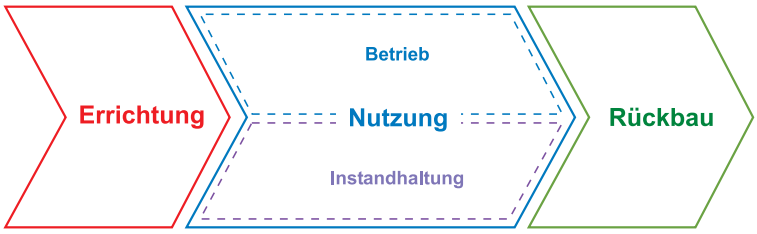

Abbildung 6.1: Lebensweg eines Gebäudes (Wiederholung von Abbildung 3.4)

Dieser Vergleich soll klären, ob beim Betrieb oder bei den erforderlichen Bauleistungen der überwiegende Anteil der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen entsteht. Daraus können Rückschlüsse gezogen werden, auf welchen Bereich zukünftig besonderes Augenmerk gelegt werden sollte und wie groß das Potential zur Reduktion der Umweltwirkungen jeweils ist.

- **Analyse der Lebenswegphasen:** Dieser Vergleich besteht aus einer detaillierten Untersuchung der einzelnen Lebenswegphasen. Es soll erläutert werden, welche Leistungs- und Betriebsbereiche besonders untersucht werden müssten, weil darin erhebliche Umweltwirkungen verursacht werden. Dabei soll insbesondere der Einfluss der Gesamtnutzungsdauer und der jeweiligen Bauteilnutzungsdauer auf die gesamten Umweltwirkungen dargestellt werden. Auch die erforderlichen Transporte und die in der Rückbauphase entstehenden Umweltwirkungen sollen untersucht werden.

- **Analyse der Leistungs- und Betriebsbereiche:** Nachdem festgestellt wurde, welche Leistungs- und Betriebsbereiche detailliert analysiert werden sollten, können die maßgeblichen Faktoren für diese Bereiche ausgeforscht werden. Dies passiert im Rahmen der Leistungsgruppen. Bei dieser genauen Untersuchung werden einzelne Leistungspositionen, die besonders hohen Anteil an den Umweltwirkungen der jeweiligen Leistungsgruppen haben, ermittelt und benannt.

Mithilfe dieser Untersuchungen soll gezeigt werden, welche Lebenswegphasen beziehungsweise welche Bestandteile der einzelnen Phasen die größten Auswirkungen auf die Umweltwirkungen haben. Auf Basis dieser Analysen sollen Ansatzpunkte abgeleitet werden, um zukünftig nachhaltigere Gebäude bauen zu können.

Diese Arbeit ist als Grundlagenstudie anzusehen. Das Hauptaugenmerk wird auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit gelegt. Die ermittelten Ergebnisse sollen aufzeigen, welchen Aspekten am Lebensweg eines Gebäudes bei der Umsetzung einer ökologisch nachhaltigen Bauweise besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Auf diese Arbeit aufbauende Forschungsprojekte können adäquate Strategien im Sinne des nachhaltigen Bauens definieren.

6.1.1 Auftraggeber

Diese Arbeit wird in Form einer Diplomarbeit am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie (IMBT) an der Technischen Universität Graz durchgeführt. Das Institut erhofft sich, daraus Ansatzpunkte ableiten zu können, auf deren Basis weitere Untersuchungen im Sinne des „nachhaltigen Bauens“[3] durchgeführt werden können.

[3] „Nachhaltiges Bauens“ stellt einen der Forschungsschwerpunkte des Instituts dar.

Um geeignete Projekte für den Vergleich der Lebenswegphasen zu finden, wurde über die Abteilung A15-Wohnbauförderung des Amts der Steiermärkischen Landesregierung Kontakt zu steirischen Bauträgern hergestellt. Die ÖWG (Österreichische Wohnbaugenossenschaft) und die GWS (Gemeinnützige Alpenländische Gesellschaft für Wohnungsbau und Siedlungswesen) erklärten sich bereit, je zwei Projekte für diese Arbeit zur Verfügung zu stellen. Sowohl die Abteilung A15, als auch die Bauträger erhoffen sich durch die Arbeit in erster Linie einen Erkenntnisgewinn, der zukünftigen Wohnbauprojekten zugute kommen kann. In diesem Zusammenhang würde Folgeprojekten, die konkrete Umsetzungsstrategien erarbeiten, große Bedeutung zukommen.

6.1.2 Veröffentlichung der Ergebnisse

Es ist angedacht, die Ergebnisse dieser Arbeit in einer internationalen Fachzeitschrift (peer-reviewed Jounal, beispielsweise IJLCA – International Journal of Life Cycle Assessment) zu veröffentlichen.

6.2 Festlegung des Untersuchungsrahmen

Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens ist es erforderlich, folgende Punkte exakt zu definieren und zu beschreiben:

- Funktionale Einheit
- Untersuchtes Produktsystem

Für andere Bereiche müssen die Startbedingungen für den iterativen Prozess, der bei der Erstellung der Ökobilanz durchlaufen wird, festgelegt werden.

- Vorläufige Systemgrenzen
- Abgrenzung der Ersterfassung
- Datenherkunft
- Anforderung an die Datenqualität

Die aufgezählten Festlegungen und Beschreibungen werden in der Folge näher erläutert.

6.2.1 Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit der untersuchten Wohnhausanlagen ist die Dienstleistung „Wohnen“ für einen Nutzungszeitraum von 70 Jahren.

Um eine Vergleichsgrundlage[4] zu schaffen, müssen die Randbedingungen exakt definiert werden:

[4] Durch die Darstellung der Ergebnisse in Relativ-Zahlen kommt der Wahl der funktionalen Einheit in dieser Ökobilanz keine so entscheidende Rolle zu wie in anderen Untersuchungen.

- **Bauleistungen:** Das Vorhandensein eines Gebäudes stellt die Grundvoraussetzung für die Dienstleistung Wohnen dar. Dieses Gebäude muss errichtet, instandgehalten und am Ende der Nutzungsdauer vollständig entsorgt werden. Die zugehörigen Systemgrenzen sind im Abschnitt „Systemgrenzen“ ab Seite 112 definiert.

- **Gebäudebetrieb:** Der Betrieb des Gebäudes umfasst folgende Betriebsbereiche, die ebenfalls im Abschnitt „Systemgrenzen“ erläutert werden:

  – *Trinkwasser:* Es werden täglich 135 l Trinkwasser für jeden Einwohner[5] der Wohnhausanlagen zur Verfügung gestellt [22].

  – *Abwasser:* Das anfallende Abwasser von ebenfalls 135 l je Einwohner und Tag muss entsorgt werden [52].

  – *Haushaltsstrom:* Pro Person und Jahr werden 1786 kWh elektrischer Strom bereitgestellt [58].

  – *Beheizung und Warmwasserbereitung:* Die Randbedingungen für die erforderliche Beheizung und Warmwasserbereitstellung sind in der ÖNORM B 8110-5 [38] definiert. Die darin enthaltenen Nutzungsprofile für Wohngebäude dienen als Grundlage für die Berechnung des Energiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitung. Sommerliche Überhitzung der Wohngebäude ist gemäß EPBD [7] zu vermeiden. Um diesem Problem beizukommen, sind die Grundsätze der ÖNORM B 8110-3 [37] anzuwenden.

6.2.2 Produktsystem

Die vier Wohnhausanlagen bilden in dieser Arbeit das Produktsystem der Ökobilanz. Die Gebäude – drei davon befinden sich gerade in der Errichtungsphase, eine Anlage wird bereits genutzt – weisen eine Größe von zehn bis siebzehn Wohneinheiten auf und werden vom Land Steiermark im Rahmen der Wohnbauförderung subventioniert. Sie sind nach den jeweils gültigen Richtlinien der Steiermärkischen Wohnbauförderung konzipiert[6]. Es wurden zwei Gebäude in Massivbauweise und zwei in Holzbauweise ausgewählt (siehe Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Übersicht über die vier untersuchten Wohnhausanlagen

Wohnhausanlage	Bauweise	Wohnungsanzahl
1. WHA Wörschach	Massivbauweise	10 Wohnungen
2. WHA Pinggau	Massivbauweise	12 Wohnungen
3. WHA Nestelbach	Holzmischbauweise	12 Wohnungen
4. WHA Hart	Holzbauweise	17 Wohnungen

Eine genaue Beschreibung der untersuchten Wohnhausanlagen wurde bereits in Kapitel 5.1 durchgeführt. Tabelle 6.2 zeigt eine Zusammenfassung der für die Erstellung der Ökobilanz relevanten Daten.

[5] Die Festlegung der Personenbelegung der einzelnen Wohnhausanlagen wird individuell durchgeführt. Im Mittel entspricht sie 85% der Maximalbelegung (siehe Kapitel 5.4.2).

[6] Drei der vier untersuchten Wohnhausanlagen wurden erst nach der Einführung der ökologischen Wohnbauförderung in der Steiermark im Jahr 2006 eingereicht. Demzufolge wurden bei diesen Anlagen die Richtlinien der ökologischen Wohnbauförderung [63] berücksichtigt.

Tabelle 6.2: Zusammenfassung der für die Ökobilanz relevanten Daten der Wohnhausanlagen

Wohnhausanlage	**Wörschach**	**Pinggau**	**Nestelbach**	**Hart**
allgemeine Projektinfos				
Standort	Irdning im Ennstal	Pinggau bei Hartberg	Nestelbach bei Graz	Hart bei Graz
Unterkellerung	25% unterkellert	100% unterkellert	0% unterkellert	35% unterkellert
Bruttogeschoßfläche	744 m^2	1054 m^2	1381 m^2	1609 m^2
Nutzfläche	683 m^2	859 m^2	1006 m^2	1343 m^2
Details Bauleistungen				
Bauweise	Ziegel massiv	Ziegel massiv	Holz-Mischkonstr.	Holzkonstruktion
Zwischenwände	Trockenbau	Ziegel	Trockenbau/Holz	Trockenbau
Dachdeckung	Betondachstein	Betondachstein, verzinktes Blech	verzinktes Blech	verzinktes Blech
Dämmsystem	WDVS EPS 12 cm	WDVS EPS 14 cm	WDVS EPS 12 cm Mineralwolle	Mineralwolle zw. Holzriegeln
Fenster	Kunststoff	Kunststoff	Kunststoff	Holz
Details Betrieb				
Energieträger	Gas	Gas	Gas	Gas
Solaranlage	ja	ja	nein	nein
Heizwärmebedarf	49,0 kWh/m^2a	41,1 kWh/m^2a	36,4 kWh/m^2a	62,7 kWh/m^2a
Endenergiebedarf	67,9 kWh/m^2a	51,8 kWh/m^2a	68,7 kWh/m^2a	114,8 kWh/m^2a
Wasserbedarf	1182,6 m^3/a	1429,0 m^3/a	1773,9 m^3/a	2266,7 m^3/a
Abwasseranfall	1182,6 m^3/a	1429,0 m^3/a	1773,9 m^3/a	2266,7 m^3/a
Strombedarf	42,864 MWh/a	51,794 MWh/a	64,296 MWh/a	82,156 MWh/a
Datensatz Strom	Strom AT	Strom AT	Strom AT	Strom AT

6.2.3 Systemgrenzen

Die im Folgenden beschriebenen zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen begrenzen den in Kapitel 5.2 ab Seite 79 dargestellten Betrachtungsrahmen der Ökobilanz.

Zeitliche Systemgrenzen

Die zeitlichen Systemgrenzen umfassen den gesamten Lebensweg eines Gebäudes, wie er in Kapitel 3.3 ab Seite 52 beschrieben wird. Die untersuchten Lebenswegphasen sind dabei:

- Errichtungsphase
- Nutzungsphase
  - Instandhaltung
  - Betrieb
- Rückbauphase

Eine detaillierte Beschreibung des Umfangs der einzelnen Phasen kann Kapitel 5.2 (Seite 79) und Kapitel 3.3 (ab Seite 52) entnommen werden.

Zur Ermittlung der Umweltwirkungen sind zwei Arbeitsschritte erforderlich, die gemeinsam die lebenszyklusweite Untersuchung der Wohnhausanlagen ergeben:

Tabelle 6.3: Zeitliche Systemgrenzen der erforderlichen Arbeitsschritte

Arbeitsschritte	**Systemgrenzen**		
Verknüpfung mit Ökoinventaren	Rohstoffgewinnung	–	Werkstor
Eingangsdaten der Ökobilanz	Werkstor	–	vollständige Verwertung
gesamte Untersuchung	**Rohstoffgewinnung**	–	**vollständige Verwertung**

Räumliche Systemgrenzen

Die Festlegung der räumlichen Systemgrenzen erfolgt auf Basis der in Kapitel 5.2 vorgenommenen Gliederung in Betrachtungsebenen. Die räumlichen Betrachtungsebenen sind dabei einerseits die Bauleistungen und andererseits der Betrieb des Gebäudes.

Im folgenden Abschnitt werden die Systemgrenzen für die Betrachtungsebenen Bauleistungen und Betrieb festgelegt. Die dabei verwendete Unterteilung in Betriebsbereiche und in Leistungsbereiche wurde ebenfalls in Kapitel 5.2 beschrieben.

Bauleistungen: Die im Rahmen der Eingangsdaten-Erhebung der Ökobilanz durchgeführte Bilanzierung des lebenszyklusweiten Stoffflusses der Bauleistungen basiert auf Leistungsverzeichnissen. Die darin ausgeschriebenen Leistungen sind im Betrachtungsrahmen der Bauleistungen enthalten. In Tabelle 6.4 sind jene Punkte getrennt nach Lebenszyklusphasen aufgelistet, die außerhalb der Systemgrenzen der Bauleistungen liegen.

Die Erhebung der Stoffflüsse der Bauleistungen wurde auf Basis der Positionen der Leistungsverzeichnisse durchgeführt. Die Erhebung der erforderlichen Hilfsstoffe war auf dieser Grundlage nicht möglich. Der Einsatz von Hilfsstoffen befindet sich daher nicht innerhalb der Systemgrenzen der Ökobilanz und konnte deshalb nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 6.4: Nicht berücksichtigte Bauleistungen (außerhalb der räumlichen Systemgrenzen)

	Errichtung	**Instandhaltung**	**Rückbau**
Leistungsbereiche	Gebäudeeinrichtung Grundstücksaufschließung Baustellenabwicklung	Gebäudeeinrichtung Wartungsarbeiten Reinigungstätigkeiten Baustellenabwicklung	Gebäudeeinrichtung Baustellenabwicklung
Leistungsgruppen	Baustelleneinrichtung Abbrucharbeiten Malerarbeiten Baureinigung	Baustelleneinrichtung Malerarbeiten	Baustelleneinrichtung Malerarbeiten

Betrieb: Folgende Betriebsbereiche befinden sich innerhalb der Systemgrenzen des Betriebs und werden im Rahmen dieser Ökobilanz untersucht:

- Bedarf an Trinkwasser
- Anfallendes Abwasser
- Bedarf an Haushaltsstrom
- Bedarf an Heizwärme für Beheizung und Warmwasserbereitstellung

Kühlung und Belüftung sind bei den vier Wohnhausanlagen nicht erforderlich. Die Entsorgung des anfallenden Hausmülls liegt außerhalb der Systemgrenzen dieser Ökobilanz.

Allokation

Im Rahmen der Ermittlung des Stoffflusses der Bauleistungen war keine Allokation erforderlich, da bei Errichtung und Instandhaltung der Gebäude keine Nebenprodukte entstanden. Die Allokation von Umweltwirkungen zu Koppelprodukten, die im Zuge der Erzeugung der Produkte entstehen, ist bereits in den ecoinvent-Datensätzen enthalten.

Eine andere Situation ergab sich bei der Untersuchung des Gebäuderückbaus. Die Entsorgung der Baustoffe, die zum Teil in Form einer thermischen Verwertung stattfindet, kann durch die dabei entstehende Abwärme elektrische und thermische Energie liefern. Diese Allokation wurde bereits in den Ökoinventar-Datensätzen berücksichtigt. Eine Energiegutschrift für den stoffabgebenden Lebenszyklus wurde in dieser Arbeit nicht in Rechnung gestellt.

6.2.4 Abgrenzung der Ersterfassung

Im Rahmen der Abgrenzung der Ersterfassung von Input- und Outputströmen wurde festgelegt, welche Stoff- und Energieflüsse zu erheben sind. Auf Seite 85 wird das Abgrenzungsschema beschrieben, anhand dessen die Abgrenzung der Ersterfassung für die Bauleistungen im Rahmen der Leistungspositions-Analyse durchgeführt wurde.

Für den Betrieb war keine Abgrenzung erforderlich, da durch die gewählten Systemgrenzen der Betrachtungsrahmen sehr genau definiert ist. Weitere Einschränkungen waren nicht nötig, weil die Stoff- und Energieflüsse aller Betriebsbereiche erhoben wurden.

6.2.5 Datenherkunft

In dieser Arbeit kommt es zu einer Kombination von Daten mit unterschiedlicher Herkunft. Deshalb divergiert zum Teil auch ihre Qualität.

Bei der Beschreibung der Herkunft der Daten wird in Folge zwischen Eingangsdaten und Daten der eigentlichen Ökobilanz unterschieden. Die Eingangsdaten setzen sich aus Daten der Bauleistungen und des Betriebs zusammen. Die Daten der eigentlichen Ökobilanz entstammen der Ökoinventar-Datenbank ecoinvent.

Bauleistungen

Durch die vielen verschiedenen Produkte und Leistungen, die betrachtet wurden, sind auch die Daten für die Berechnung der Materialströme sehr unterschiedlich. Als Datengrundlage der Bauleistungen wurden die folgenden Kategorien herangezogen:

- Herstellerangaben zu den Bauprodukten
  - Angaben zu Materialien und deren Masse
  - Angaben zur Geometrie der Bauprodukte
- Nicht bauproduktspezifische Angaben zu Dichte und Abmessungen von Bauteilen

Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Datenkategorien der Bauleistungen erfolgt in Kapitel 5.3.3 auf Seite 86.

Betrieb

Die Basisdaten für die Aufwendungen des Betriebs stammen einerseits aus Berechnungen des Energieaufwands für Beheizung und Warmwasserbereitung und andererseits aus statistischen Daten.

Der Bedarf an Energie für die Beheizung des Gebäudes und die Bereitstellung des erforderlichen Warmwassers wurde mithilfe der Berechnungsalgorithmen für den Gebäudeenergieausweis durchgeführt [47]. Zur Berechnung der Umweltwirkungen des Betriebs wurden sehr gut belegte statistische Mittelwerte zu Stromverbrauch [58], Wasserverbrauch [22] und Abwasseranfall [52] verwendet.

Ökoinventare

Das Ziel der Zuordnung von Ökoinventaren zu den ermittelten Stoff- und Energieflüssen war, alle erforderlichen Datensätze aus einer Datenbank zu gewinnen, um eine vergleichbare Datenbasis zu erhalten. Als Ökoinventar-Datenbank wurde die ecoinvent-Datenbank in der Version v1.3 aus dem Jahr 2006 gewählt [11]. Diese Datenbank umfasst eine sehr große Auswahl an verschiedenen Datensätzen und stellt vor allem für den Baubereich umfangreiches Datenbankmaterial zur Verfügung.

Für den Fall, dass Datensätze nicht verfügbar waren, wurden durch die Kombination verschiedener Basisprozesse die individuell erforderlichen Datensätze erstellt. War auch dies nicht möglich, wurden andere Produkt-Ökobilanzen herangezogen. Deren Plausibilität wurde anhand von Sensitivitätsanalysen überprüft. Eine detaillierte Beschreibung dieser Vorgangsweise ist in Kapitel 3.2.3 auf Seite 46 zu finden.

6.2.6 Datenqualität

Die Qualität der Daten ist aufgrund der unterschiedlichen Herkunft sehr uneinheitlich. Bei der Erhebung der Stoff- und Energieflüsse, die die Eingangsdaten der Ökobilanz darstellen, ist eine geringe bis mittlere Qualität gegeben. Die Datenqualität der zur Durchführung der Wirkungsabschätzung verwendeten Ökoinventar-Datenbank ecoinvent v1.3 ist hingegen vergleichsweise hoch.

Bauleistungen: Vor allem bei der Erhebung der Eingangsdaten der Betrachtungsebene „Bauleistungen“ kann von keiner einheitlichen Datenqualität ausgegangen werden. In Bereichen, in denen Produkte zahlreicher Anbieter am Markt sind, ist die Dichte an Informationsmaterial naturgemäß höher als in Bereichen mit nur wenigen Produzenten. Bei der Durchführung der Leistungspositions-Analyse musste daher – wenn keine anderen Daten zur Verfügung standen – auf eigene Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Daher sind die Ansprüche, die an die Datenqualität des Stoffflusses gestellt werden können, nicht sehr hoch zu bewerten.

Betrieb: Die Qualität der Daten beim Betrieb ist durch den Einsatz von statistischen Mittelwerten für die Betriebsbereiche Wasser, Abwasser und Haushaltsstrom nicht sehr hoch.

Beim Betriebsbereich Heizwärme konnte durch eigene Berechnungen des Energiebedarfs eine bessere Datenqualität erzielt werden. Die verwendeten Berechnungsalgorithmen ermitteln den Energiebedarf in einem statischen Verfahren. Um eine höhere Datenqualität zu erzielen, wäre eine dynamische Simulation notwendig. Eine derart aufwändige Berechnung ist jedoch im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Ökoinventare: Eine andere Ausgangssituation ergab sich bei der Zuordnung von Ökoinvantaren zu den ermittelten Stoff- und Energieflüssen. Durch den großen Datenumfang der Datenbank ecoinvent v1.3 können hier vergleichsweise hohe Anforderungen an die Qualität der Daten gestellt werden. Lediglich in einzelnen Teilbereichen ist eine geringere Qualität der Daten vorhanden. Beispielsweise ist die Anzahl der vorhandenen Datensätze im Bereich des Gebäuderückbaus und -abbruchs und bei den haustechnischen Anlagen der ecoinvent-Datenbank v1.3 relativ niedrig.

6.3 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Grundsätzlich werden im Rahmen der Sachbilanz die Stoff- und Energieflüsse, die am Lebensweg des untersuchten Produkts entstehen, erhoben. In dieser Arbeit wurde dieser Arbeitsschritt ausgelagert und ist in Kapitel 5 im Detail beschrieben.

In dieser Arbeit werden in der Phase der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung die ermittelten Eingangsdaten (Stoff- und Energieflüsse) mit ecoinvent-Datensätzen hinterlegt. Dadurch erfolgt einerseits ihre Verknüpfungen mit den Input- und Outputströmen der einzelnen Produkte, und andererseits die Zuordnung von Wirkungsindikatorergebnissen. Diese Wirkungsindikatorergebnisse werden in der Ökobilanzphase „Auswertung“ zuerst auf Plausibilität geprüft und anschließend dargestellt und analysiert.

6.3.1 Zuordnung von ecoinvent-Datensätzen

Der zentrale Punkt bei der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung ist die Zuordnung der ecoinvent-Datensätze zu den ermittelten Eingangswerten. In Abbildung 6.2 wird schematisch gezeigt, wie aus den ermittelten Stoff- und Energieflüssen und den Ökoinventaren die Umweltwirkungen der verschiedenen Lebenswegphasen ermittelt werden.

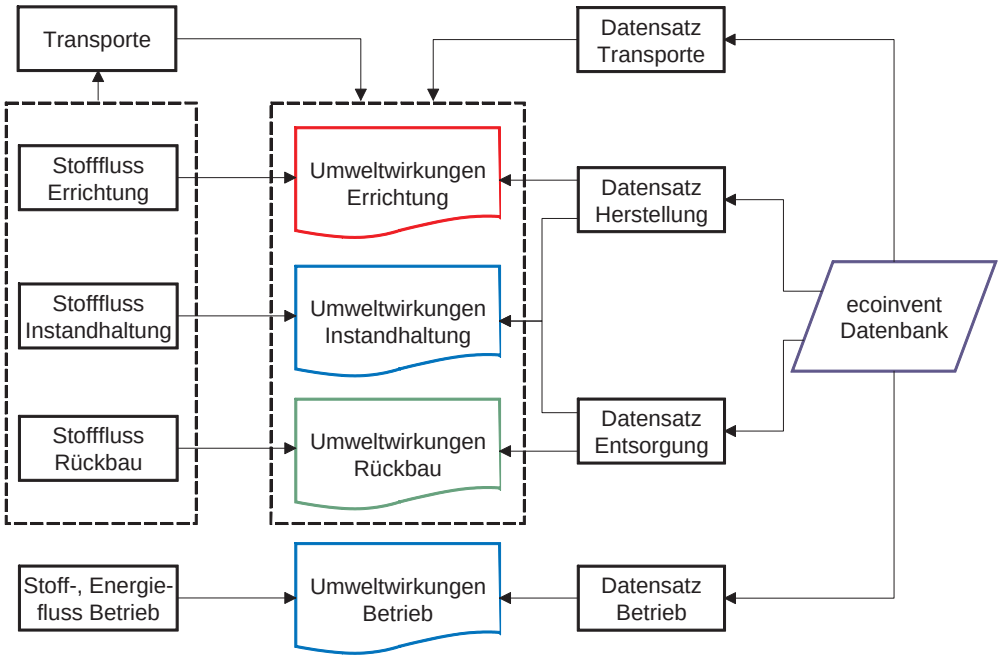

Abbildung 6.2: Zuordnung von ecoinvent-Datensätzen zu Stoff- und Energieflüssen

6.3.2 Untersuchte Wirkungskategorien

Die Wirkungsindikatoren, die im Rahmen der Wirkungsabschätzung untersucht wurden, sind in Tabelle 6.5 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Indikatoren ist in Kapitel 3.2.3 ab Seite 50 nachzulesen.

Tabelle 6.5: Verwendete Wirkungsindikatoren (Wiederholung von Tabelle 3.1)

Abk.	**Bezeichnung englisch**	**Bezeichnung deutsch**
GWP	global warming potential	Treibhauspotential
ODP	ozone depletion potential	Ozonschichtabbaupotential
POCP	photochemical ozone creation potential	photochemisches Oxidantenbildungspot.
AP	acidification potential	Versauerungspotential
EP	eutrophification potential	Überdüngungspotential
HTP	human toxicity potential	Humantoxizitätspotential
TETP	terrestrial eco-toxicity potential	terrestrisches Ökotoxizitätspotential
MRnr	abiotic resource depletion potential (not renewable)	abiotische Ressourcen nicht erneuerbar
CEDr	cumulative energy demand (renewable)	kumulierter Energieaufwand (erneuerbar)
CEDnr	cumulative energy demand (not renewable)	kumulierter Energieaufwand (nicht erneuerbar)

Kapitel 7

Auswertung

In der Auswertungsphase der Ökobilanz werden gemäß ÖNORM EN ISO 14040 [41] die gewonnenen Daten – sowohl jene der Sachbilanz als auch jene der Wirkungsabschätzung – auf ihre Plausibilität geprüft. Die Ergebnisse, die sich daraus ableiten lassen, werden in übersichtlicher Weise in absoluten Zahlen dargestellt.

Darauf aufbauend wird der eigentliche Vergleich der Lebenswegphasen auf drei verschiedenen Ebenen durchgeführt. Dabei wird außerdem aufgezeigt, welche Leistungsbereiche und Leistungsgruppen besonders hohen Anteil an den erzeugten Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen haben und wie sie sich jeweils auf die einzelnen Lebenswegphasen verteilen.

Nach dieser Darstellung der Ergebnisse werden die Resultate einiger Untersuchungsvarianten vorgestellt. Es wurde erhoben, wie ein Wechsel des Energieträgers, eine Variation der Nutzungsdauer oder die Berücksichtigung des Recycling beim Abbruch des Gebäudes die Umweltwirkungen am Lebensweg beeinflussen.

7.1 Plausiblitätsprüfung

Die Plausibilitätsprüfung der Daten, die in der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gewonnen wurden, erfolgte nach dem Pareto-Prinzip [12]. Der zugrundeliegende Pareto-Effekt – vielfach auch als „80-zu-20-Regel“ bekannt – beschreibt den Umstand, dass häufig 80% einer Aufgabe durch einen Mitteleinsatz von 20% erledigt werden können.

Das Pareto-Prinzip wurde angewandt, um bei der Plausibilitätsüberprüfung eine Fokussierung auf die wesentlichen Leistungspositionen vornehmen zu können. Zu diesem Zweck wurden die Positionen mit den größten absoluten Umweltwirkungen aus der Positionsliste gefiltert und im Detail untersucht. Bei der Plausibilitätsprüfung wurde einerseits auf die korrekte Erhebung des Stoff- und Energieflusses der einzelnen Positionen geachtet, und andererseits wurde die Zuordnung der jeweiligen ecoinvent-Datensätze nochmals überprüft.

Ergänzend dazu wurde ein Vergleich der vier Wohnhausanlagen vorgenommen. Bei einzelnen Leistungsgruppen, in denen abweichende Teilergebnisse von den bereits geprüften Vergleichsgebäuden auftraten, wurden diese Abweichungen nochmals eingehend bezüglich der Erhebung des Stoffflusses und der jeweiligen Zuordnung der Datensätze geprüft. Dadurch konnten die Ursachen der Abweichungen identifiziert und gegebenenfalls berichtigt werden.

Als Resultat dieser Plausiblitätsprüfung wurden bei einigen Positionen Adaptierungen in der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung vorgenommen. Die restlichen Positionen, durch die nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Umweltwirkungen verursacht wird, wurden einer weniger detaillierten Überprüfung unterzogen. Dabei wurde aber auch hier nochmals die Zuordnung der ecoinvent-Datensätze überprüft und eine überschlägige Kontrolle der Stoff- und Energieflüsse vorgenommen.

7.2 Ökologische Kennwerte

In diesem Kapitel werden die Absolutwerte der Wirkungsindikatorergebnisse der vier Wohnhausanlagen – jeweils aufgeteilt auf die einzelnen Lebenswegphasen – dargestellt.

Die teilweise stark streuenden Ergebnisse der einzelnen Wohnhausanlagen ergaben sich aus den zahlreichen Unterschieden zwischen den Gebäuden. Daher wird an dieser Stelle zur Verdeutlichung nochmals auf Tabelle 7.1 zurückgegriffen, in der diese wesentlichen Unterschiede aufgezeigt werden. Ein Vergleich der Absolutwerte der Ergebnisse ist aufgrund dieser Unterschiede nicht zielführend. Aus diesem Grund wurde auch davon Abstand genommen, die spezifischen Umweltwirkungen der einzelnen Wohnhausanlagen bezogen auf die Bruttogrundfläche darzustellen.

Die ökologischen Kennwerte der Umweltwirkungen der vier Wohnhausanlagen sind in Tabelle 7.2 dargestellt. Die Angabe der Umweltwirkungen in absoluten Zahlen dient lediglich zum Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit anderen Untersuchungen. Neben der Kernaussage, wie die Umweltwirkungen der einzelnen Lebenswegphasen zueinander in Relation stehen, können somit auch Vergleiche mit anderen, bereits durchgeführten oder noch folgenden Studien vorgenommen werden.

Tabelle 7.1: Zusammenfassung der für die Ökobilanz relevanten Daten der Wohnhausanlagen (Wiederholung von Tabelle 6.2)

Wohnhausanlage	**Wörschach**	**Pinggau**	**Nestelbach**	**Hart**
allgemeine Projektinfos				
Standort	Irdning im Ennstal	Pinggau bei Hartberg	Nestelbach bei Graz	Hart bei Graz
Unterkellerung	25% unterkellert	100% unterkellert	0% unterkellert	35% unterkellert
Bruttogeschoßfläche	744 m^2	1054 m^2	1381 m^2	1609 m^2
Nutzfläche	683 m^2	859 m^2	1006 m^2	1343 m^2
Details Bauleistungen				
Bauweise	Ziegel massiv	Ziegel massiv	Holz-Mischkonstr.	Holzkonstruktion
Zwischenwände	Trockenbau	Ziegel	Trockenbau/Holz	Trockenbau
Dachdeckung	Betondachstein	Betondachstein, verzinktes Blech	verzinktes Blech	verzinktes Blech
Dämmsystem	WDVS EPS 12 cm	WDVS EPS 14 cm	WDVS EPS 12 cm Mineralwolle	Mineralwolle zw. Holzriegeln
Fenster	Kunststoff	Kunststoff	Kunststoff	Holz
Details Betrieb				
Energieträger	Gas	Gas	Gas	Gas
Solaranlage	ja	ja	nein	nein
Heizwärmebedarf	49,0 kWh/m^2a	41,1 kWh/m^2a	36,4 kWh/m^2a	62,7 kWh/m^2a
Endenergiebedarf	67,9 kWh/m^2a	51,8 kWh/m^2a	68,7 kWh/m^2a	114,8 kWh/m^2a
Wasserbedarf	1182,6 m^3/a	1429,0 m^3/a	1773,9 m^3/a	2266,7 m^3/a
Abwasseranfall	1182,6 m^3/a	1429,0 m^3/a	1773,9 m^3/a	2266,7 m^3/a
Strombedarf	42,864 MWh/a	51,794 MWh/a	64,296 MWh/a	82,156 MWh/a
Datensatz Strom	Strom AT	Strom AT	Strom AT	Strom AT

Tabelle 7.2: Absolute Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
	kg CO_2	kg CFC_{11}	kg ethylene	kg SO_2	kg PO_4	kg 1,4-DCB	kg 1,4-DCB	kg antimony	MJ	MJ
WHA Wörschach										
Errichtung	416.696	0,03334	201,4	1.862	262	282.492	3.498	2.694	1.400.010	5.970.428
Nutzung-Instandhaltung	295.636	0,03088	195,0	1.744	247	400.360	1.633	2.405	1.361.653	5.286.698
Nutzung-Betrieb	2.428.981	0,23745	292,8	4.318	1.373	631.887	32.463	18.742	10.108.044	39.898.947
Rückbau	98.859	0,00900	9,5	313	67	50.236	137	401	12.610	930.336
Gesamtsumme	**3.240.172**	**0,31068**	**698,6**	**8.236**	**1.949**	**1.364.976**	**37.730**	**24.242**	**12.882.316**	**52.086.409**
WHA Pinggau										
Errichtung	571.327	0,04592	261,0	2.619	378	423.549	4.465	3.678	1.123.321	8.173.154
Nutzung-Instandhaltung	383.262	0,03900	239,3	2.189	297	535.740	2.089	3.036	1.147.799	6.725.739
Nutzung-Betrieb	2.513.670	0,23174	304,2	4.787	1.622	700.066	39.081	19.160	12.310.816	40.891.107
Rückbau	135.548	0,01202	12,3	412	88	70.023	185	535	16.481	1.241.749
Gesamtsumme	**3.603.807**	**0,32868**	**816,8**	**10.007**	**2.384**	**1.729.378**	**45.819**	**26.410**	**14.598.417**	**57.031.749**
WHA Nestelbach										
Errichtung	519.987	0,04179	246,9	2.757	395	400.759	4.388	3.520	4.379.992	7.808.880
Nutzung-Instandhaltung	429.223	0,03900	245,5	2.914	450	542.689	2.381	3.444	2.485.663	7.427.494
Nutzung-Betrieb	3.559.239	0,34753	429,3	6.344	2.049	928.346	47.756	27.453	14.857.155	58.452.209
Rückbau	96.468	0,00912	11,0	348	79	62.450	171	415	14.868	964.881
Gesamtsumme	**4.604.916**	**0,43745**	**932,7**	**12.363**	**2.972**	**1.934.243**	**54.696**	**34.832**	**21.737.679**	**74.653.463**
WHA Hart										
Errichtung	690.180	0,06372	312,9	3.615	545	563.319	6.236	4.884	7.321.833	10.647.474
Nutzung-Instandhaltung	632.739	0,07532	347,7	4.510	743	849.117	3.952	5.687	7.766.867	12.254.663
Nutzung-Betrieb	5.385.709	0,53997	646,4	9.230	2.711	1.351.838	66.585	41.800	20.672.301	88.854.384
Rückbau	123.940	0,01446	16,7	541	128	103.415	204	644	19.217	1.482.784
Gesamtsumme	**6.832.568**	**0,69348**	**1323,7**	**17.896**	**4.126**	**2.867.690**	**76.977**	**53.015**	**35.780.218**	**113.239.305**

7.3 Ergebnisdarstellung

Bei der Darstellung der Ergebnisse erfolgt der Vergleich der Lebenswegphasen auf drei Ebenen. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades.

- **Ebene 1 – Gesamter Lebensweg:** Hier werden die einzelnen Lebenswegphasen in einer Übersichtsdarstellung miteinander verglichen (gesamter Lebensweg der Wohnhausanlagen mit oder ohne Gebäudebetrieb).
- **Ebene 2 – Leistungsbereiche und Lebenswegphasen:** Diese Ebene umfasst die detaillierte Betrachtung der einzelnen Leistungsbereiche und der einzelnen Phasen des Lebenswegs (einerseits Leistungsbereiche Rohbau, Technik, Ausbau, Außenanlagen und Transporte und andererseits Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung und Rückbau).
- **Ebene 3 – Leistungsgruppen:** Auf Ebene 3 wird schließlich dargestellt, wie sich die Umweltwirkungen auf die einzelnen Leistungsgruppen verteilen (Aufteilung auf Leistungsgruppen im Sinne der Standardleistungsbeschreibung-Hochbau LB-HB).

Zur Verdeutlichung wurden für jede Ebene Übersichtsdarstellungen erstellt. Mit deren Hilfe erfolgt eine Zuordnung der Ergebnisse zum gesamten Betrachtungsrahmen der Ökobilanz. Diese Übersichtsdarstellungen werden im folgenden Abschnitt näher beschrieben. Anschließend wird erklärt, wie die Darstellung der Ergebnisse erfolgt.

7.3.1 Übersichtsdarstellungen

Die Wohnhausanlagen sind räumlich in Bauleistungen und Betrieb und zeitlich in Lebenswegphasen unterteilt. Dementsprechend erfolgt auch die Darstellung der Ergebnisse auf Basis dieser Gliederung. Um eine bessere Übersicht über die zahlreichen Ergebnisdarstellungen zu bekommen, wird die in Abbildung 5.7 (Seite 83) gezeigte leere Basismatrix je nach Ebene mit den Verweisen auf die entsprechenden Abbildung gefüllt.

Diese Übersichtsdarstellungen sind jeweils zu Beginn jeder Ergebnisebene abgebildet. Beispielsweise zeigt Abbildung 7.1 die Übersichtsdarstellung der Ebene 2a. Der räumliche und zeitliche Betrachtungsrahmen der Ergebnisdarstellungen wird farblich gekennzeichnet. Die Zuordnung erfolgt über die laufende Abbildungsnummerierung[1].

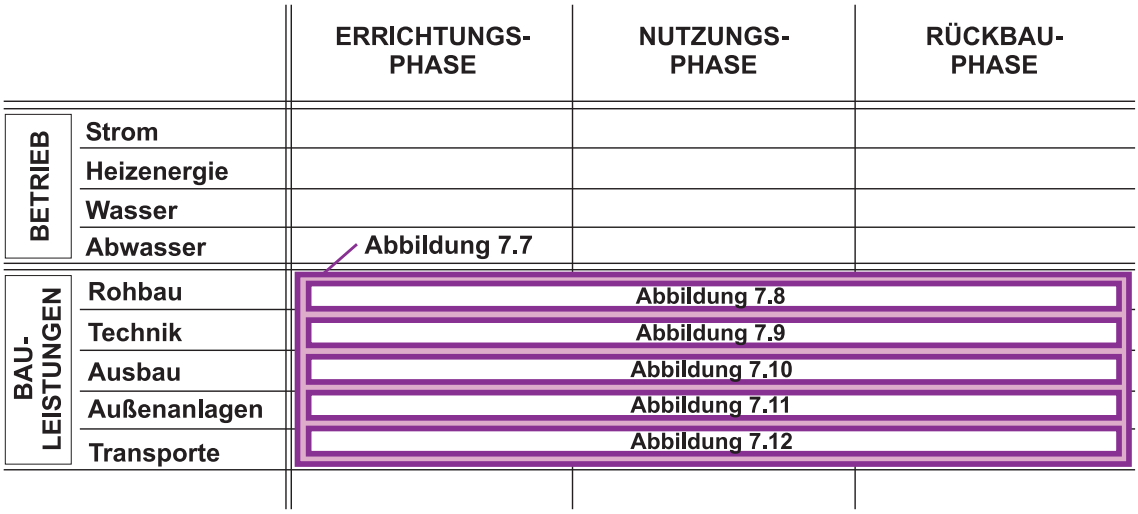

Abbildung 7.1: Übersichtdarstellung der Ebene 2a

7.3.2 Darstellungsform

Zur Darstellung der Ergebnisse dieser Arbeit werden die beiden Diagrammtypen, die in Abbildung 7.2 zu sehen sind, verwendet. Diese beiden Diagrammtypen unterscheiden sich durch die Anzahl der jeweils dargestellten Wohnhausanlagen. Auf Ebene 1 und Ebene 2 werden die Ergebnisse aller vier Wohnhausanlagen berücksichtigt, die Darstellungen der Ebene 3 zeigen hingegen die Ergebnisse jeweils einer Wohnhausanlage im Detail.

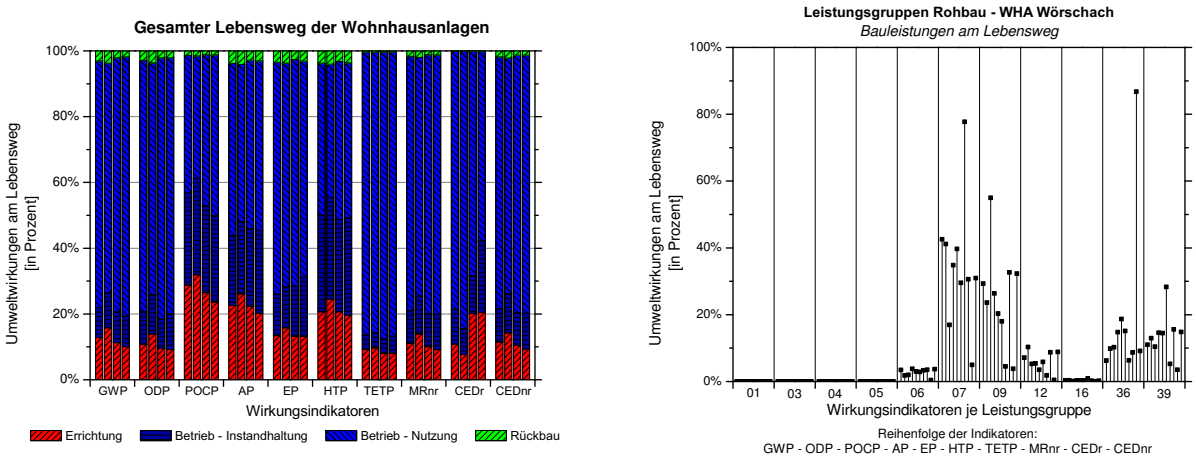

Abbildung 7.2: Darstellungsformen der Ebenen 1 und 2 (links) und der Ebene 3 (rechts)

[1]Auch bei den Datentabellen im Anhang, die den Diagrammen zugrundeliegen, wird durch die Übersichtsdarstellungen die Zuordnung zu den einzelnen Ergebnisdarstellungen geschaffen.

Darstellungsform Ebene 1 und Ebene 2

Die Form der Darstellungen von Ebene 1 und 2 ist stets ähnlich. In Anlehnung an die gewählte Farbzuordnung bei der Darstellung des Lebenswegs werden auch bei den Ergebnissen die Umweltwirkungen der Errichtungsphase in rot, jene der Nutzungsphase in blau und die des Gebäuderückbaus in grün abgebildet. Nutzung-Instandhaltung und Nutzung-Betrieb werden in zwei unterschiedlichen Blautönen dargestellt, um eine Unterscheidung zu ermöglichen.

Die Diagramme zeigen dabei die relative Verteilung der Umweltwirkungen des jeweiligen Betrachtungsrahmens. Auf der Abszisse sind die zehn untersuchten Wirkungsindikatoren und auf der Ordinate die Umweltwirkungen in Prozent dargestellt. Die vier Säulen, die bei jedem Wirkungsindikator vorhanden sind, symbolisieren die vier Wohnhausanlagen.

Die Reihenfolge der Wohnhausanlagen bleibt immer die folgende:

1. Wohnhausanlage Wörschach (Massivbauweise)
2. Wohnhausanlage Pinggau (Massivbauweise)
3. Wohnhausanlage Nestelbach (Holzmischbauweise)
4. Wohnhausanlage Hart (Holzbauweise)

Darstellungsform Ebene 3

Die Ergebnisse der Ebene 3 werden getrennt nach folgenden Aspekten dargestellt:

- **Wohnhausanlagen:** WHA Wörschach, WHA Pinggau (Anhang), WHA Nestelbach (Anhang), WHA Hart (Anhang)
- **Leistungsbereiche:** Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Ausbau
- **Lebenswegphasen:** gesamter Lebensweg, Errichtung, Nutzung-Instandhaltung (Rückbau hier nicht untersucht)

In der Diagrammüberschrift wird dabei jeweils angegeben, welche Wohnhausanlage, welcher Leistungsbereich und welche Lebenswegphase dargestellt werden. Bei diesem Diagrammtyp werden auf der Abszisse die einzelnen Leistungsgruppen abgebildet. Für jede dieser Leistungsgruppen werden die zehn Wirkungsindikatoren in Form von kleinen Quadraten einzeln aufgetragen. Die Reihenfolge der Wirkungsindikatoren – die innerhalb jedes Leistungsbereichs gleich ist – ist der Diagrammunterschrift zu entnehmen. Die Summe der Anteile der einzelnen Wirkungsindikatoren über die verschiedenen Leistungsgruppen ergibt stets 100%. Das heißt, wenn man zum Beispiel die Werte des Wirkungsindikators GWP aus allen elf Leistungsgruppen addiert, muss die Summe 100 sein.

Auf den Ordinaten der Darstellungen der Ebene 3 werden immer relative Umweltwirkungen in Prozent abgebildet. Je nach Betrachtungsrahmen stellen 100% die Summe der Umweltwirkungen des jeweils untersuchten Leistungsbereichs und der jeweils untersuchten Lebenswegphase dar. Beispielsweise zeigt die Ordinate in Abbildung 7.2 100% der Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Rohbau am gesamten Lebensweg.

7.3.3 Zahlenwerte

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse in Form von Diagrammen dargestellt und detailliert beschrieben. Daten, die den einzelnen Abbildungen zugrundeliegen, sind in Anhang C ab Seite 193 tabellarisch aufgelistet. Die Zuordnung der Ergebnistabellen zu den jeweiligen Diagrammen erfolgt mithilfe der Übersichtsdarstellungen, in denen auch der jeweilige räumliche und zeitliche Betrachtungsrahmen verdeutlicht wird.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 Ebene 1: Gesamter Lebensweg

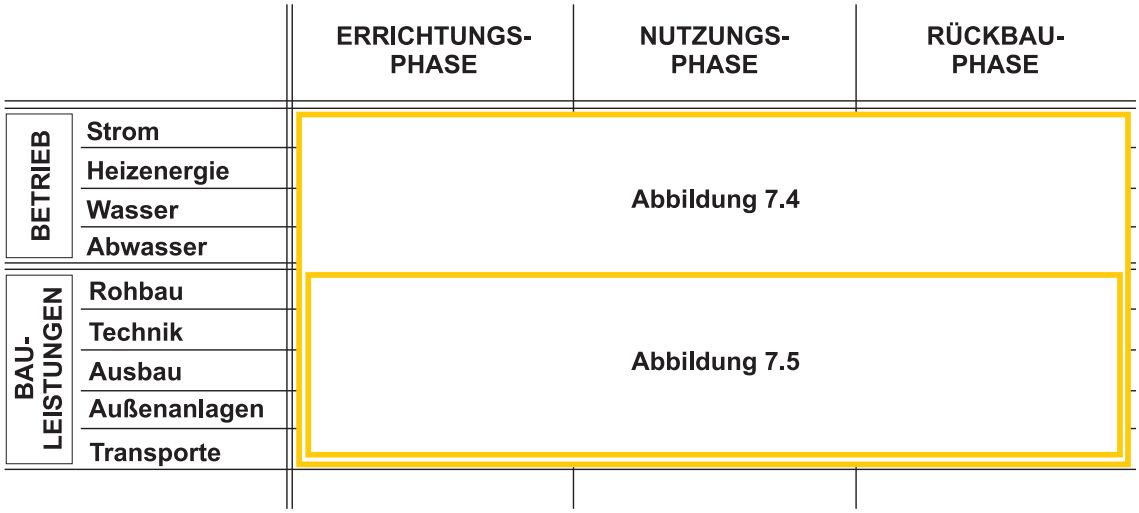

Abbildung 7.3: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 1

Auf Ebene 1 der Ergebnisdarstellungen werden die Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen am gesamten Lebensweg und ihre Aufteilung auf die Lebenswegphasen gezeigt.

Der unterschiedliche Betrachtungsrahmen der beiden Ergebnisdarstellungen wird in der Übersichtsdarstellung der Ebene 1 in Abbildung 7.3 verdeutlicht.

Abbildung 7.4 und Abbildung 7.5 geben einen Überblick über die Gesamtergebnisse dieser Arbeit. Es wird erläutert, in welchen Phasen des Lebenswegs die maßgeblichen Umweltwirkungen entstehen. Abbildung 7.4 zeigt das Verhältnis zwischen den Anteilen von Bauleistungen und Betrieb an den gesamten lebenszyklusweiten Umweltwirkungen. Abbildung 7.5 sind die Ergebnisse der Untersuchung der Umweltwirkungen der Bauleistungen zu entnehmen.

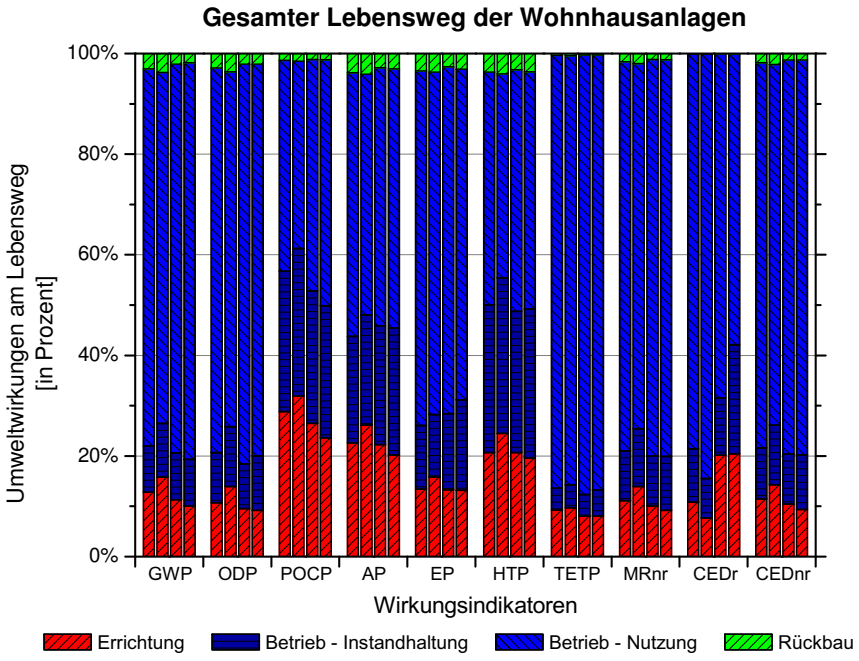

Abbildung 7.4: Gesamter Lebensweg der Wohnhausanlagen

In Abbildung 7.4 ist die Aufteilung der Umweltwirkungen, die während des Lebenswegs der Wohnhausanlagen entstehen, auf die einzelnen Lebenswegphasen dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass mit rund 70-80% der überwiegende Anteil der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen in der Nutzungsphase (Betrieb und Instandhaltung) verursacht wird. Der Anteil der Bauleistungen an der Summe der Umweltwirkungen beträgt zwischen 15 und 55%.

Je nach betrachtetetem Wirkungsindikator streut der Anteil der Errichtungsphase an den Umweltwirkungen zwischen 10 und 25%. Die Umweltwirkungen der Instandhaltung sind beinahe genauso groß. Der Anteil des Rückbaus ist mit maximal 3% der Umweltwirkungen des gesamten Lebenswegs äußerst gering.

Die Verteilung der Umweltwirkungen auf die einzelnen Lebenswegphasen unterscheidet sich bei den vier Wohnhausanlagen nur unwesentlich. Die geringfügigen Unterschiede, die beispielsweise bei Wohnhausanlage Pinggau bei allen Indikatoren zu erkennen sind, können in diesem Fall auf den geringeren Endenergiebedarf für Beheizung (Solaranlage und geringer Heizwärmebedarf) zurückgeführt werden. Daraus ergibt sich bei dieser Wohnhausanlage der geringere relative Anteil von Nutzung-Betrieb an den gesamten Umweltwirkungen. Die Ergebnisse des Wirkungsindikators CEDr divergieren zwischen den Wohnhausanlagen Nestelbach und Hart und den Wohnhausanlagen Wörschach und Pinggau. Dieses Ergebnis lässt sich wahrscheinlich durch die unterschiedliche Bauweise (Holz- versus Massivbauweise) erklären. Bei den in Holzbauweise errichteten Gebäuden (Nestelbach und Hart) ist beim Indikator CEDr der durch Bauleistungen verursachte relative Anteil an den gesamten Umweltwirkungen höher als bei den Gebäuden in Massivbauweise (Wörschach und Pinggau).

Kurzresümee: In der Nutzunsphase werden 70 bis 80% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen verursacht. Dieser hohe Prozentsatz entsteht zum Großteil durch den Betrieb, die Instandhaltung ist nur für einen relativ geringen Anteil an den Umweltwirkungen verantwortlich.

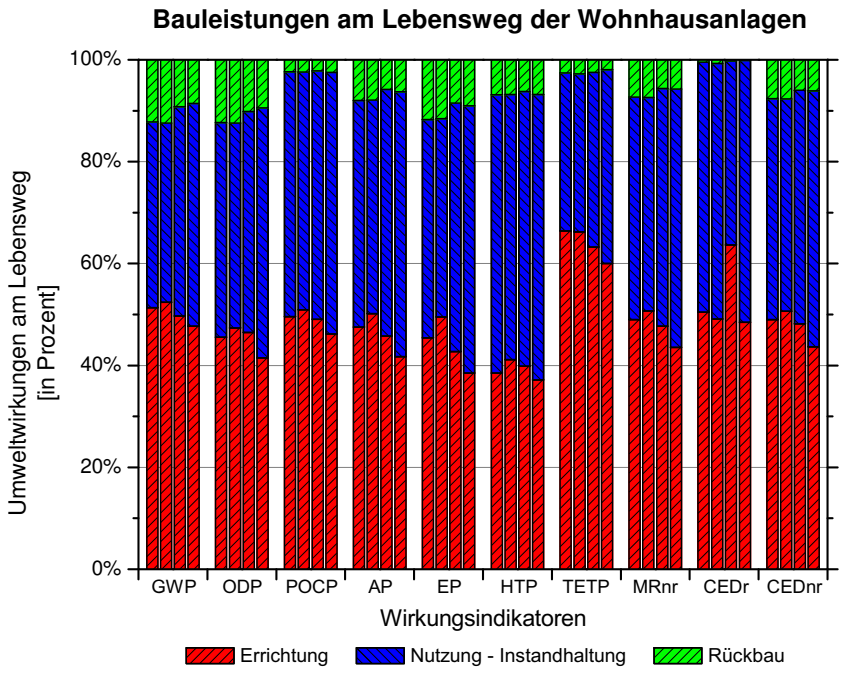

Abbildung 7.5: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen

Nach der Untersuchung der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen werden in Abbildung 7.5 die Bauleistungen näher analysiert. Es wird der gesamte Lebensweg ohne die beim Betrieb des Gebäudes anfallenden Umweltwirkungen dargestellt. Die Umweltwirkungen, die in der Errichtungsphase verursacht werden, liegen beim Großteil der untersuchten Wirkungsindikatoren zwischen 40 und 50%. Auf die Instandhaltungsarbeiten entfallen zwischen 30 und 45%, während in der Rückbauphase maximal 12% der Umweltwirkungen entstehen.

Diese Ergebnisse sind bei allen vier Wohnhausanlagen sehr ähnlich. Es treten lediglich geringfügige Unterschiede auf, die auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden können. Diese sind zum Beispiel baukonstruktive Details, Auswahl verschiedener Konstruktionsmaterialien, oder Auswahl verschiedener Produkte. Der Anteil der Rückbauphase ist bei den Wohnhausanlagen Nestelbach und Hart geringer als bei den beiden Massivgebäuden (Wörschach und Pinggau). Der Grund dafür besteht darin, dass die Entsorgung der tragenden Holzkonstruktion einen geringeren Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Gebäude verursacht als die Entsorgung von Ziegel und Beton. Die mögliche Recyclierbarkeit wurde hier nicht berücksichtigt.

Kurzresümee: Durch die Instandhaltung werden etwas geringere Umweltwirkungen als durch die Errichtung verursacht. Auf den Rückbau entfallen maximal 12% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Bauleistungen.

7.4.2 Ebene 2: Leistungsbereiche und Lebenswegphasen

Anhand der zweiten Ebene wird gezeigt, wie hoch der Anteil der verschiedenen Leistungsbereiche an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen ist. Dazu wird eine Unterteilung hinsichtlich der räumlichen und zeitlichen Gliederung durchgeführt:

- Ebene 2a: Betrachtung der Leistungsbereiche der Bauleistungen (räumliche Gliederung)
- Ebene 2b: Betrachtung einzelner Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung)
- Ebene 2c: Betrachtung der Lebenswegphasen der Leistungsbereiche (nur im Anhang dargestellt)

Auf Ebene 2a wird untersucht, wie sich die Umweltwirkungen der Bauleistungen am gesamten Lebensweg auf die verschiedenen Leistungsbereiche verteilen.

Ebene 2b stellt dar, wie diese Verteilung für die einzelnen Lebenswegphasen aussieht. Auf Ebene 2b werden nur die Ergebnisse für die Nutzungsphase und darin speziell für den Betrieb gezeigt. Die Verteilung der Umweltwirkungen der Bauleistungen ist nämlich den Darstellungen der Ebene 2a besser zu entnehmen. Wie in den einzelnen Leistungsbereichen der Bauleistungen die Umweltwirkungen auf die Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung und Rückbau verteilt sind, wird auf Ebene 2c dargestellt. Die Ergebnisse der Ebene 2c sind nur im Anhang abgebildet.

Die Übersichtsdarstellungen Abbildung 7.6 und Abbildung 7.13 zeigen einleitend jeweils den untersuchten Betrachtungsrahmen.

Ebene 2a – Leistungsbereiche (räumliche Gliederung)

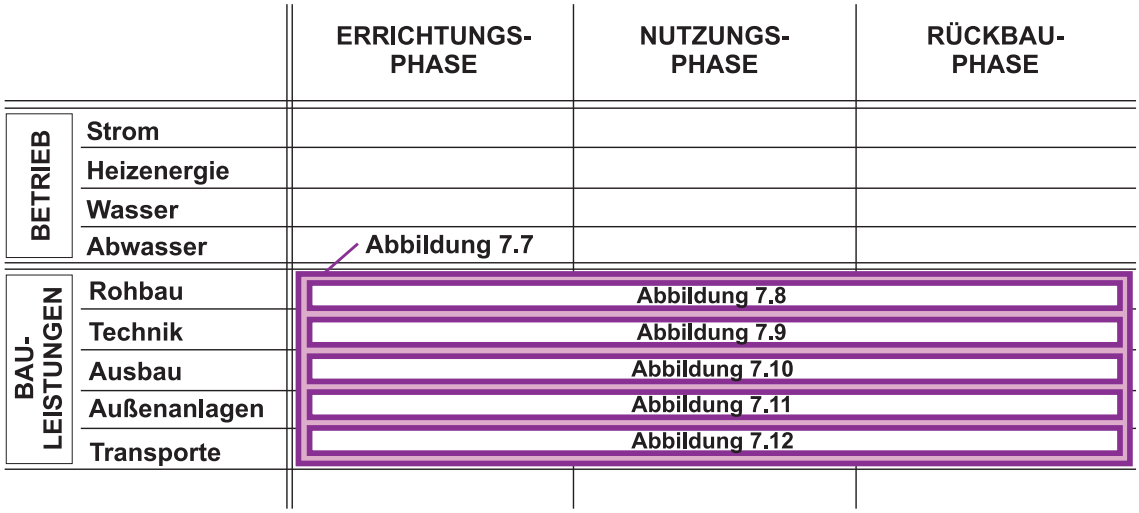

Abbildung 7.6: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2a

Abbildung 7.7 zeigt die Bauleistungen über den Lebensweg der Wohnhausanlagen. Diese Informationen waren zwar bereits der Abbildung 7.5 zu entnehmen, in Abbildung 7.7 wird jedoch eine weitere Unterteilung der Lebenswegphasen in die Leistungsbereiche Rohbau, Technik, Ausbau, Außenanlagen und Transporte vorgenommen. Die Ergebnisse dieser detaillierteren Unterteilung werden in der Folge beschrieben.

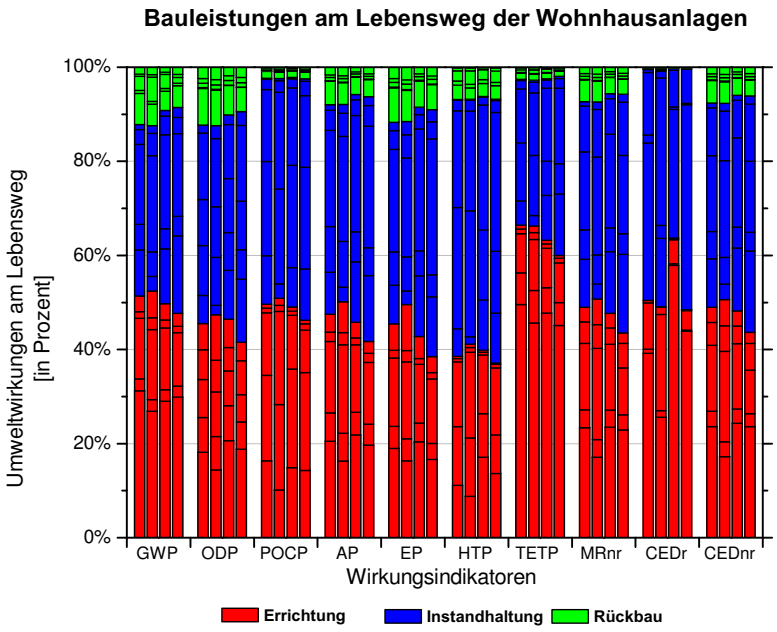

Abbildung 7.7: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen (detaillierte Darstellung)

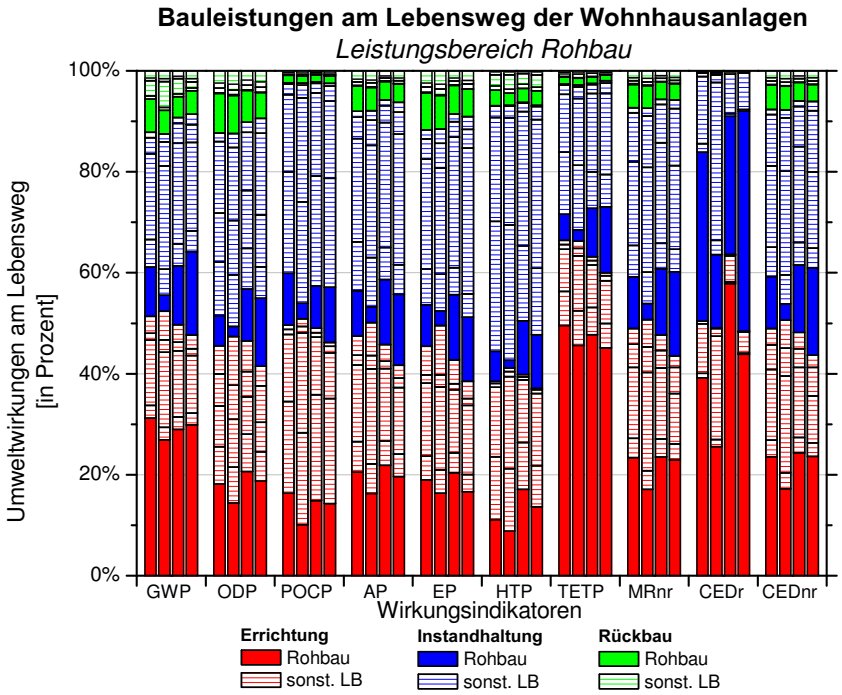

Abbildung 7.8: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau (sonst. LB ... sonstige Leistungsbereiche)

Abbildung 7.8 zeigt den Anteil des Leistungsbereichs Rohbau an den gesamten Umweltwirkungen der Bauleistungen. Die anfallenden Umweltwirkungen während Errichtung, Instandhaltung und Rückbau werden dabei getrennt dargestellt.

Der Leistungsbereich Rohbau verursacht bei allen Wirkungsindikatoren den größten Anteil an Umweltwirkungen, nämlich zwischen 30 und 40%. Bei den Indikatoren TETP und CEDr wird dieser Wert sogar noch überschritten. Der Anteil des Rohbaus an der Errichtungsphase ist höher als an Instandhaltung und Rückbau. Der geringe Anteil der Instandhaltungsarbeiten ist auf die lange Nutzungsdauer des Rohbaus zurückzuführen. Der überwiegende Teil der Bauteile ist nie oder maximal einmal während der Gesamtnutzungsdauer auszutauschen.

Die Ergebnisse der vier Wohnhausanlagen unterscheiden sich nur geringfügig. Lediglich die Wohnhausanlage Pinggau hat in allen Lebenswegphasen geringere Werte. Dafür sind im Wesentlichen zwei Gründe anzuführen: Einerseits wurden die nichttragenden Zwischenwände dieses Gebäudes nicht in Gipskartonständerbauweise, sondern als Ziegelmauerwerk ausgeführt. Dadurch entstehen längere Instandhaltungszyklen und geringere Austauschraten. Andererseits wurde bei dieser Wohnhausanlage die Dämmung der obersten Geschoßdecke mit 20 cm dickem expandierten Polystyrol in der Leistungsgruppe Verputzarbeiten (LG 10) – und nicht wie bei den anderen Wohnhausanlagen in der Leistungsgruppe Mauer- und Versetzarbeiten (LG 09) – ausgeschrieben. Dadurch wurde diese Position, bei der sowohl in der Erzeugung als auch bei der Beseitigung sehr hohe Umweltwirkungen verursacht werden, dem Leistungsbereich Ausbau und eben nicht dem Rohbau zugeordnet.

Kurzresümee: Der Rohbau verursacht den überwiegenden Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Bauleistungen. Er dominiert die Ergebnisse der Errichtungs- und Rückbauphase.

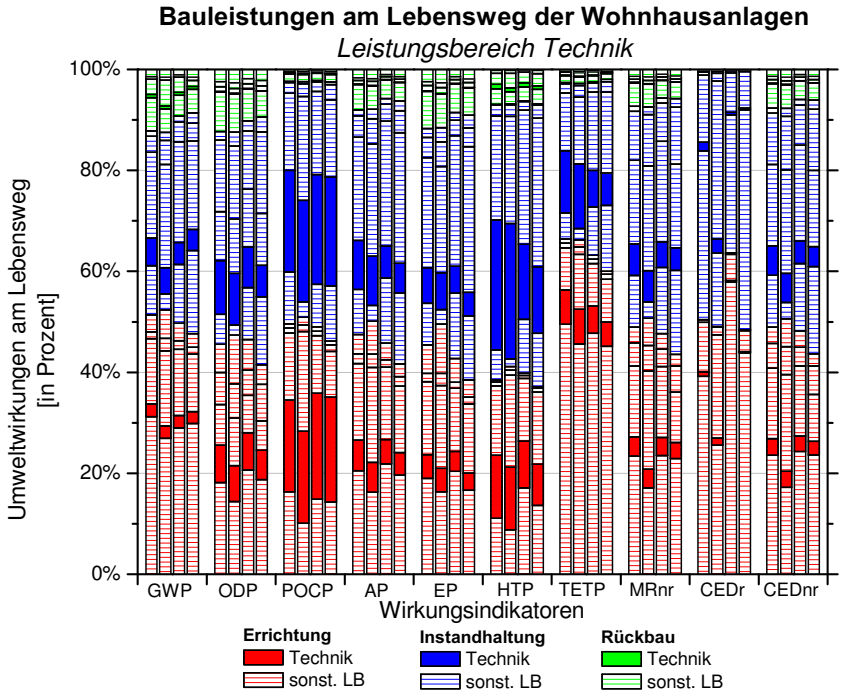

Abbildung 7.9: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik (sonst. LB ... sonstige Leistungsbereiche)

Der Leistungsbereich Technik umfasst den gesamten technischen Ausbau eines Gebäudes. Der Anteil dieses Leistungsbereichs an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen beschränkt sich auf maximal 10%. Bei den Wirkungsindikatoren POCP, HTP und TETP liegt dieser Wert etwas höher (maximal 30% der gesamten Umweltwirkungen). Die Gründe dafür sind vorwiegend beim Einbau einer Solaranlage (Wohnhausanlagen Wörschach und Pinggau) und in der Verwendung von Verbundrohren zur Wasserversorgung zu suchen. Diese Positionen verursachen den Großteil der Umweltwirkungen in diesen Wirkungskategorien.

Der Anteil der Errichungs- und der Nutzungsphase an den Umweltwirkungen ist in etwa gleich groß. Der Grund dafür liegt in der kurzen Nutzungsdauer von haustechnischen Anlagenteilen. Der Anteil der Rückbauphase an den Umweltwirkungen ist vernachlässigbar gering.

In diesem Leistungsbereich wurden pauschalierte Stoffflüsse der Elektroinstallationen, der Heizungsinstallationen und der Sanitärinstallationen zur Beurteilung der Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Haustechnik herangezogen. Diese unterscheiden sich für die einzelnen Wohnhausanlagen nur geringfügig, wodurch sich auch in der relativen Darstellung ähnliche Werte für die einzelnen Wohnhausanlagen ergeben.

Kurzresümee: Beim Großteil der untersuchten Indikatoren liegt der Anteil des Leistungsbereichs Haustechnik an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen unter 10%. Die Werte von Errichtung und Instandhaltung sind in etwa gleich groß, die Rückbauphase hat nur einen sehr geringen Anteil an den gesamten Umweltwirkungen.

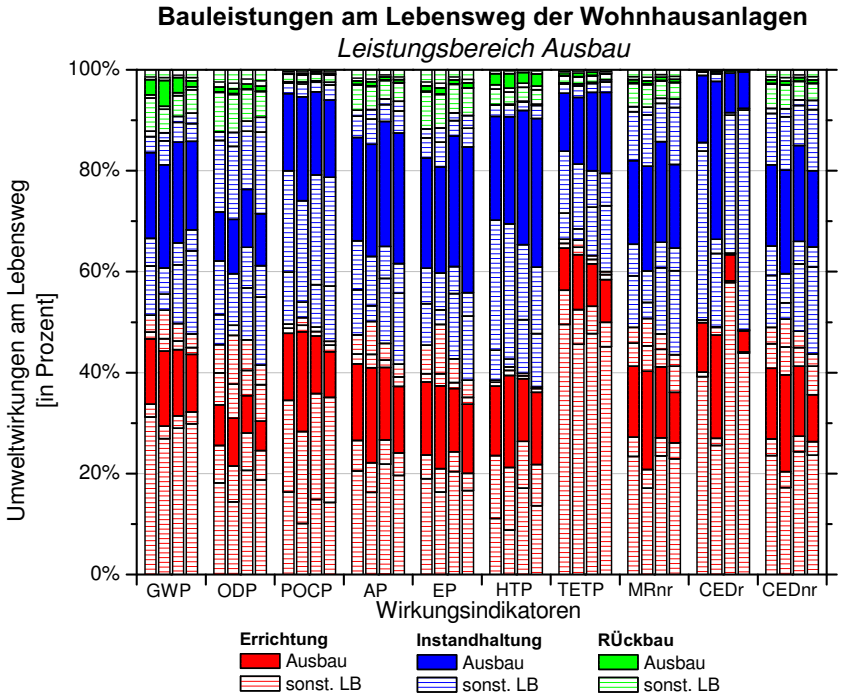

Abbildung 7.10: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau (sonst. LB ... sonstige Leistungsbereiche)

Nach dem Leistungsbereich Rohbau verursacht der Ausbau den größten Anteil der Umweltwirkungen der Bauleistungen am Lebensweg. Diese Werte sind bei allen Indikatoren sehr ähnlich und liegen insgesamt bei circa 30 bis 40% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen. Der überwiegende Teil davon wird in der Nutzungsphase durch die Instandhaltungsarbeiten verursacht, weil hier nur eine relativ kurze Nutzungsdauer für die Bauteile anzunehmen ist. Die Rückbauphase ist nur für einen geringen Anteil an den gesamten Umweltwirkungen verantwortlich.

Die Werte der einzelnen Wohnhausanlagen unterscheiden sich nur unerheblich voneinander.

Kurzresümee: Der Leistungsbereich Bauwerk-Ausbau ist für 30 bis 40% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Bauleistungen verantwortlich. Dieser hohe Wert wird vor allem durch die erforderlichen Instandhaltungsarbeiten verursacht, die sich aus der kurzen Nutzungsdauer der Bauteile ergeben.

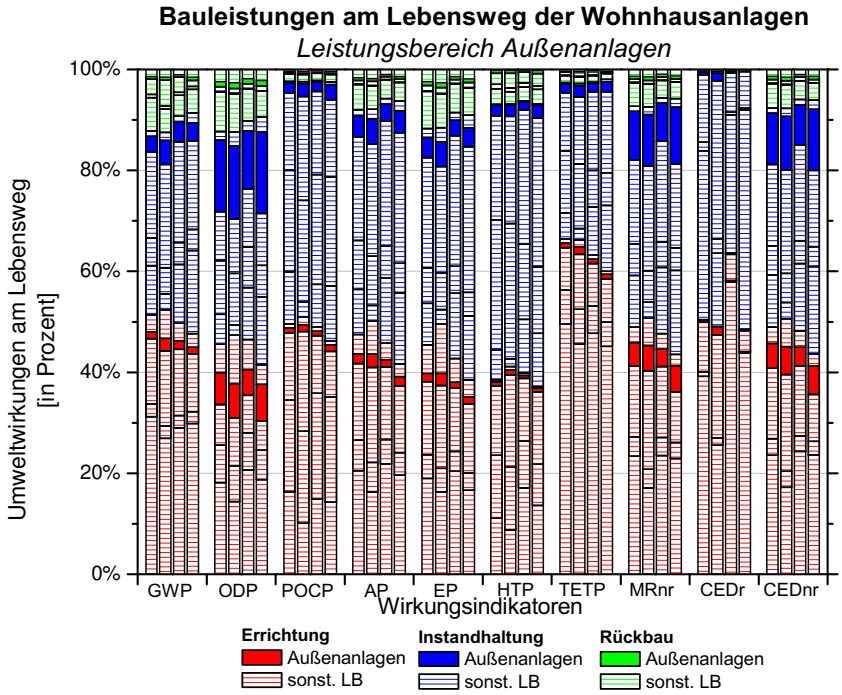

Abbildung 7.11: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen (sonst. LB ... sonstige Leistungsbereiche)

In Abbildung 7.11 wird der Anteil des Leistungsbereichs Außenanlagen an den gesamten Umweltwirkungen der Bauleistungen am Lebensweg dargestellt.

Dieser Wert macht bei den meisten Wirkungsindikatoren zwischen 5 und 10% der Umweltwirkungen aus und ist daher als relativ niedrig anzusehen. Lediglich bei drei der Indikatoren – ODP, MRnr und CEDnr – ist dieser Prozentsatz mit ungefähr 15% höher. Dieser höhere Anteil an den Umweltwirkungen erklärt sich aus den Asphaltierungsarbeiten und deren Instandhaltung, die spätestens alle 30 Jahre vorgenommen werden muss.

Die Umweltwirkungen, die bei der Instandhaltung verursacht werden, sind größer als jene der Errichtungsphase. Sämtliche Bauteile der Außenanlagen unterliegen kurzen Instandhaltungszyklen, sodass häufige Auswechslungen durchgeführt werden müssen.

Die Ergebnisse der Wohnhausanlagen bei den einzelnen Wirkungsindikatoren unterscheiden sich nur geringfügig.

Kurzresümee: Der Anteil der durch die Außenanlagen verursachten Umweltwirkungen beläuft sich auf 5 bis 10%. Dieser Wert ergibt sich vor allem aus den erforderlichen Asphaltierungsarbeiten. Durch die kurzen Instandhaltungszyklen entstehen während der Nutzungsphase höhere Umweltwirkungen als während der Errichtung.

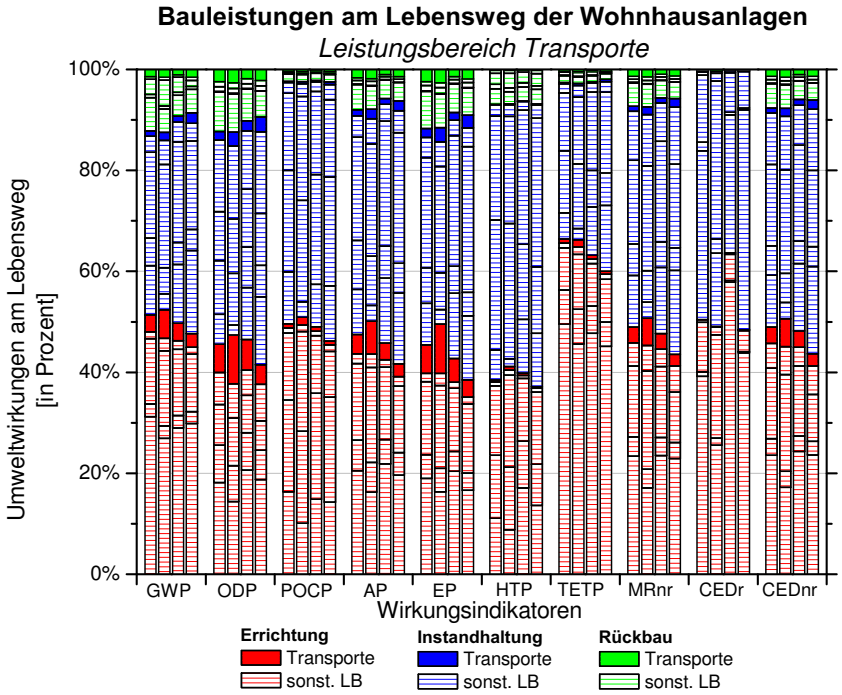

Abbildung 7.12: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte (sonst. LB ... sonstige Leistungsbereiche)

Die Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Transporte sind direkt proportional zu den erforderlichen Massentransporten der vier Wohnhausanlagen. Dieser Leistungsbereich verursacht mit maximal 5% den geringsten Anteil an den Umweltwirkungen der Bauleistungen.

Die größten Umweltwirkungen entstehen durch die Massen, die in der Errichtungsphase der Wohnhausanlagen zu transportieren sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um den Abtransport von Ausbhubmaterial und um den Antransport des Bodenmaterials bei erforderlichen Bodenauswechslungen. Auch die Außenanlagen und die Stahlbetonarbeiten verursachen großen Transportaufwand.

Die vier Wohnhausanlagen unterschieden sich bei den Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Transporte teils erheblich. In Wohnhausanlage Pinggau ist es neben einer notwendigen Geländemodellierung erforderlich, auf einem Teil des Grundstücks einen Bodenaustausch vorzunehmen. So werden hohe Umweltwirkungen durch die Transporte in der Errichtungsphase verursacht. Im Gegensatz dazu ist der Massenfluss für die Errichtung der Holzkonstruktionen der Wohnhausanlagen Nestelbach und Hart gering. Dementsprechend sind auch der Transportaufwand und die damit verbundenen Umweltwirkungen bei diesen Wohnhausanlagen niedriger.

Kurzresümee: Im Leistungsbereich Transporte werden maximal 5% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Bauleistungen verursacht. Die Umweltwirkungen sind direkt proportional zu der Summe der zu transportierenden Massen. Die größten transportbedingten Umweltwirkungen entstehen dabei in der Errichtungsphase, gefolgt von der Rückbauphase und der Instandhaltung. Vor allem Erdarbeiten, Außenanlagen und Betonarbeiten sind für großen Transportaufwand verantwortlich.

Ebene 2b – Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung)

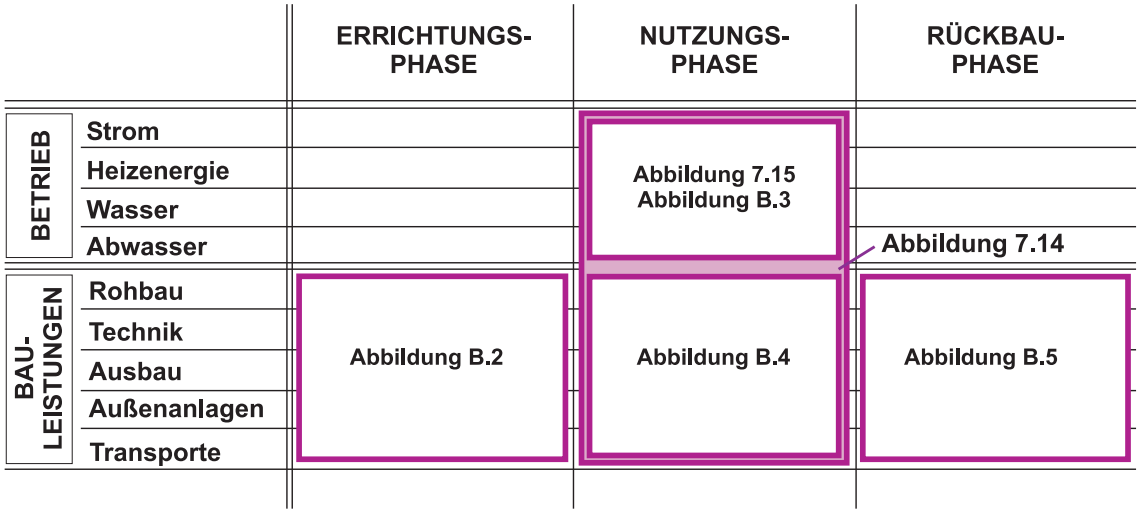

Abbildung 7.13: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b

Auf Ebene 2b wird dargestellt, wie sich die Umweltwirkungen der verschiedenen Lebenswegphasen auf die jeweiligen Leistungs- und Betriebsbereiche verteilen. Dabei werden einerseits die Bauleistungen, die während Errichtung, Nutzung und Rückbau erforderlich sind, und andererseits der Gebäudebetrieb in der Nutzungsphase untersucht. Auf den folgenden Seiten werden die Umweltwirkungen des Betriebs in der Nutzungsphase erläutert. Die Beschreibung der Ergebnisse der Bauleistungen hat bereits auf Ebene 2a stattgefunden. Deshalb sind die entsprechenden Grafiken der Bauleistungen auf Ebene 2b nicht im Hauptteil dieser Arbeit, sondern im Anhang B.1.1 abgebildet.

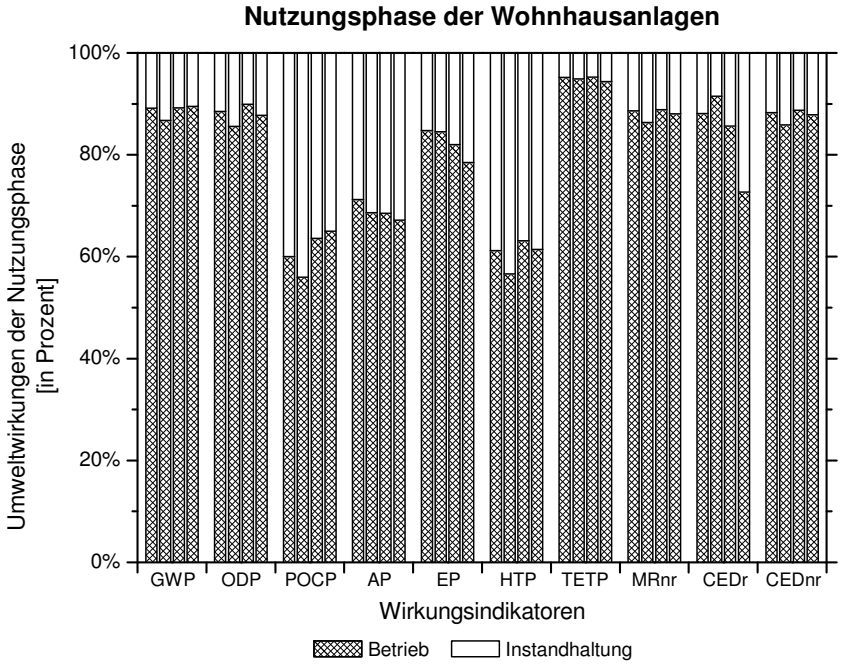

Abbildung 7.14: Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb und Instandhaltung

Abbildung 7.14 zeigt detailliert, wie sich die Umweltwirkungen der Nutzungsphase auf Betrieb und Instandhaltungsarbeiten aufteilen.

Bei sieben der zehn untersuchten Wirkungsindikatoren beträgt der Anteil des Betriebs zwischen 80 und 90% an den Umweltwirkungen der Nutzungsphase. Lediglich bei den Indikatoren POCP, AP und HTP kommt der Instandhaltung ein höherer Stellenwert zu. Deshalb beträgt der Anteil des Betriebs bei diesen Wirkungsindikatoren nur circa 60%.

Auch in dieser Abbildung ist zu erkennen, dass die Werte der Wohnhausanlage Pinggau für den Betrieb etwas geringer sind als bei den anderen Wohnhausanlagen. Dies ist – wie bereits beschrieben – darauf zurückzuführen, dass sich diese Wohnhausanlage durch einen besonders geringen Endenergiebedarf für Beheizung und Warmwasserbereitung auszeichnet. Der geringe Anteil des Betriebs der Wohnhausanlage Hart beim Wirkungsindikator CEDr ergibt sich durch die Holztragstruktur dieser Anlage. Es entstehen bei der Instandhaltung hohe Umweltwirkungen, weil ein großer Anteil der nicht tragenden Holzkonstruktion während der 70-jährigen Nutzungsphase ersetzt werden muss.

Kurzresümee: Während der 70-jährigen Nutzungsdauer der Wohnhausanlagen verursacht der Betrieb den überwiegenden Anteil an Umweltwirkungen (80-90%). Durch eine Reduktion des Endenergiebedarfs, wie bei der Wohnhausanlage Pinggau, steigt daher der relative Wert der Instandhaltungsarbeiten.

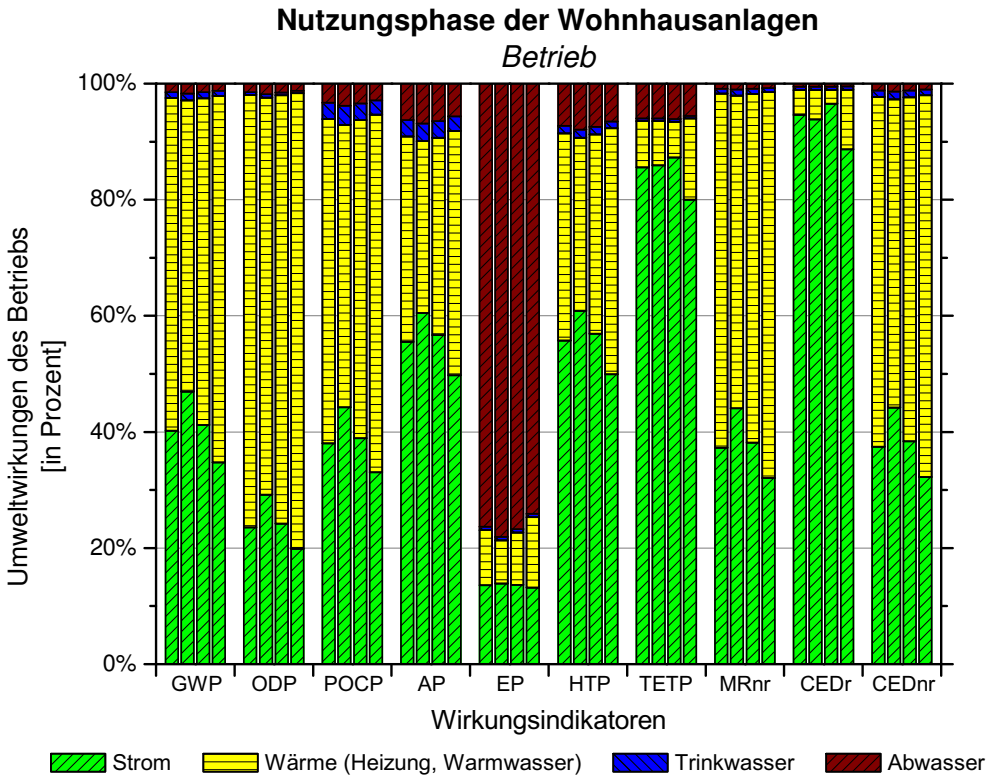

Abbildung 7.15: Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen des Betriebs

In Abbildung 7.15 wird eine detaillierte Analyse der Umweltwirkungen des Betriebs der Wohnhausanlagen gezeigt. Die untersuchten Betriebsbereiche sind dabei Strom, Wärme, Trinkwasser und Abwasser.

Die Wahl des Energieträgers für die Wärmebereitstellung und der gewählte Strommix stellen einen erheblichen Einflussfaktor auf die Umweltwirkungen im Gebäudebetrieb dar. Bei der hier dargestellten Berechnung wurden der Energieträger Gas und der österreichische Strommix angenommen.

Die Darstellung 7.15 zeigt, dass die Umweltwirkungen, die durch die Versorgung mit Strom und Wärme entstehen, jene, die durch Trinkwasser und Abwasser verursacht werden, bei Weitem übertreffen. Einzig beim Wirkungsindikator EP überwiegt der Anteil der durch Abwasser verursachten Umweltwirkungen. Die beiden Kategorien Strom und Wärme für Heizung und Warmwasser verursachen zusammen bei neun von zehn Indikatoren zwischen 90 und 98% der Umweltwirkungen.

Die Unterschiede, die zwischen den einzelnen Wohnhausanlagen auftreten, sind hier hauptsächlich auf den erforderlichen Endenergiebedarf für Wärme zurückzuführen. Dieser divergiert zwischen den Gebäuden, während für die anderen Parameter nur statistische Mittelwerte auf Basis der Belegungszahl für die Berechnungen verwendet wurden.

Kurzresümee: Strom und Wärmebereitstellung verursachen über 90% der Umweltwirkungen in der Betriebsphase. Hier läge demnach enormes Einsparpotential.

7.4.3 Ebene 3: Leistungsgruppen

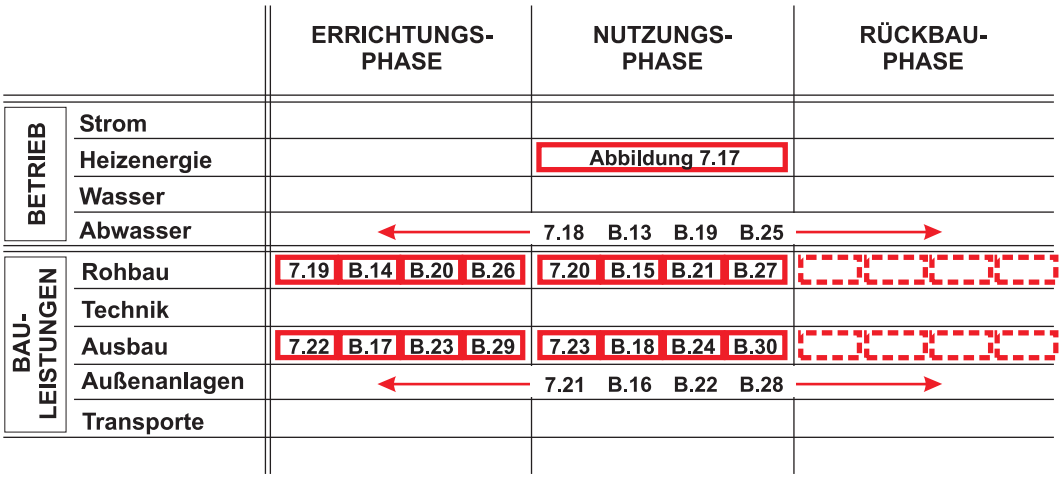

Abbildung 7.16: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3

Auf Ebene 3 wird dargestellt, wie sich die in den einzelnen Leistungsbereichen verursachten Umweltwirkungen auf die jeweiligen Leistungsgruppen aufteilen. Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, werden hier nicht mehr alle Leistungsbereiche und Lebenswegphasen dargestellt. Es erfolgt stattdessen eine gezielte Untersuchung jener Leistungsbereiche und Lebenswegphasen, die – wie sich aus den Untersuchungen der Ebenen 1 und 2 ergeben hat – den größten Anteil an den Umweltwirkungen der Bauleistungen verursachen. Die Ergebnisse der Ebene 3 werden nach den Aspekten Wohnhausanlagen, Leistungsbereiche und Lebenswegphasen unterteilt.

Es erfolgt eine detaillierte Untersuchung und Darstellung der Wohnhausanlage Wörschach. Die Ergebnisse der anderen Wohnhausanlagen sind in Anhang B.2 zu finden. Neben den detaillierten Ergebnissen der Bauleistungen wird im Rahmen der Analyse der Umweltwirkungen des Betriebs die Zusammensetzung der erforderlichen Heizenergie für die vier Wohnhausanlagen untersucht.

In Tabelle 7.3 wird die Zuordnung der Leistungsgruppennummern zu den Leistungsgruppen der Bereiche Rohbau und Ausbau gezeigt.

Tabelle 7.3: Dargestellte Leistungsgruppen der Leistungsbereiche Rohbau und Ausbau

Bauwerk-Rohbau		Bauwerk-Ausbau	
01	Baustellengemeinkosten	10	Verputzarbeiten
03	Erdarbeiten	11	Estricharbeiten
04	Wasserhaltungsarbeiten	22	Dachdeckerarbeiten
05	Dränarbeiten	23	Bauspenglerarbeiten
06	Kanalisierungsarbeiten	24	Fliesenlegerarbeiten
07	Stahlbetonarbeiten	31	Schlosserarbeiten
09	Mauer- und Versetzarbeiten	37	Tischlerarbeiten
12	Abdichtungsarbeiten	38	Holzfußböden
16	Fertigteile	44	Wärmedämmverbundsystem
36	Zimmermeisterarbeiten	51	Fenster und Fenstertüren
39	Trockenbauarbeiten	57	Bewegliche Abschlüsse von Fenstern

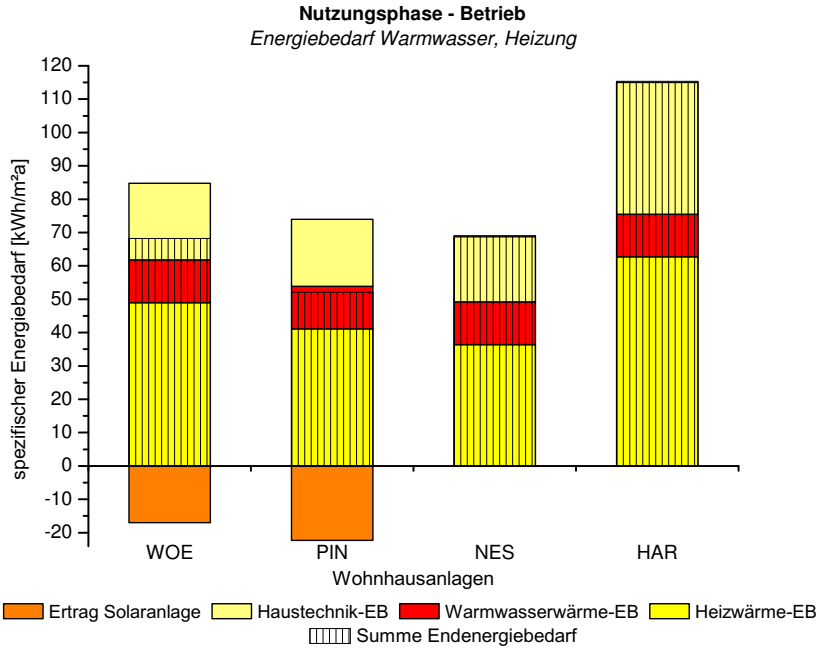

Abbildung 7.17: Vergleich des Endenergiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitstellung in der Nutzungsphase

Abbildung 7.17 zeigt die Zusammensetzung des Endenergiebedarfs für Beheizung und Warmwasserbereitung der vier Wohnhausanlagen. Es ist zu erkennen, wie sich die verschiedenen Komponenten zum Endenergiebedarf zusammensetzen.

Die Grundlage des Endenergiebedarfs ist der nutzerunabhängige[2] Heizwärmebedarf, der ausschließlich vom Gebäude an sich abhängt (Gebäudegeometrie, thermischen Gebäudehülle etc.). Der spezifische Mittelwert des Energiebedarfs für Warmwasserbereitstellung beträgt bei allen Wohnhausanlagen 12,8 kWh/m^{2}a. Der Haustechnikenergiebedarf verursacht einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Endenergiebedarf. Dieser Wert variiert abhängig von den Verlusten des Haustechniksystems und den eingesetzten Anlagen zur Wärmebereitstellung. In der Wohnhausanlage Hart (HAR), die bereits im Jahr 2004 fertiggestellt wurde, nimmt der Heiztechnikenergiebedarf einen vergleichsweise hohen Wert ein. Dies lässt sich durch die zu diesem Zeitpunkt noch niedrigeren Anforderungen an das haustechnische System erklären. Bei den anderen drei Wohnhausanlagen, die sich gerade in Bau befinden, werden diesbezüglich höhere Standards verlangt.

Der Einsatz einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitstellung beziehungsweise zur Heizungsunterstützung verringert den Endenergiebedarf. Der Bedarf an Wärme für Beheizung und Erzeugung von Warmwasser bleibt zwar unverändert, die Menge an Energie, die zur Deckung dieses Energiebedarfs dem Gebäude zugeführt werden muss, wird durch eine Solaranlage jedoch reduziert. Deshalb entspricht der Endenergiebedarf der Wohnhausanlagen Wörschach (WOE) und Pinggau (PIN) nicht der Summe aus Heizwärmebedarf, Warmwasserwärmebedarf und Heiztechnikenergiebedarf. Für den Endenergiebedarf wird diese Summe um den Ertrag der Solaranlage abgemindert.

[2]Die Nutzerunabhängigkeit wird mittels Standardnutzungsprofilen gemäß ÖNORM B 8110-5 [38] erreicht. Dadurch wird für die vier Wohnhausanlagen jeweils das gleiche Nutzerverhalten angenommen.

Kurzresümee Abbildung 7.17 zeigt, wie groß die Streuung der Werte des Energiebedarfs für Wärme bei den vier Wohnhausanlagen ist. Durch den Einsatz einer thermischen Solaranlage können Nachteile, die sich aus einer schlechteren thermischen Gebäudehülle ergeben, ausgeglichen werden. Eine Verringerung der thermischen Verluste und eine verstärkte passive und aktive Nutzung der solaren Energie kann diesen Energiebedarf beträchtlich reduzieren. Durch die 70-jährige Gesamtnutzungsdauer sind die Auswirkungen des Energiebedarfs für Beheizung am gesamten Lebensweg sehr hoch.

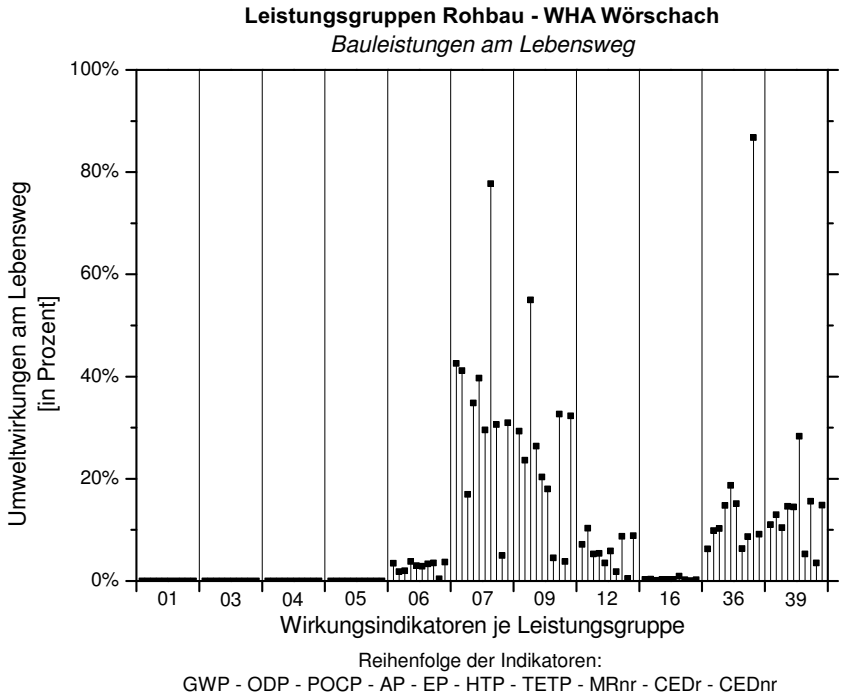

Abbildung 7.18: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen am Lebensweg

Abbildung 7.18 zeigt die Verteilung der im Leistungsbereich Rohbau entstehenden Umweltwirkungen auf die einzelnen Leistungsgruppen der Wohnhausanlage Wörschach. Der Betrachtungsrahmen ist dabei der gesamte Lebensweg.

Bei dieser Wohnhausanlage sind die dominierenden Leistungsgruppen die Stahlbetonarbeiten (LG 07) und die Mauer- und Versetzarbeiten (LG 09), die bei den meisten Wirkungsindikatoren jeweils zwischen 30 und 40% der Umweltwirkungen verursachen. Die Leistungsgruppen Zimmermeisterarbeiten (LG 36) und Trockenbauarbeiten (LG 39) sind jeweils für 10 bis 20% der Umweltwirkungen verantwortlich. Der Anteil der Leistungsgruppen Kanalarbeiten (LG 06), Abdichtungsarbeiten (LG 12) und Fertigteile (LG 16) beträgt jeweils maximal 5%.

Bei einigen Indikatoren gibt es jedoch Ausreißer: Der Wirkungsindikater CEDr beträgt in der Leistungsgruppe Zimmermeisterarbeiten (LG 36) beinahe 90% des gesamten Verbrauchs an erneuerbarer Energie. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Baustoff Holz einen erneuerbaren Energieträger darstellt. Auch beim Einsatz als Baumaterial wird daher der darin enthaltene Energieinhalt dem Wirkungsindikator CEDr zugerechnet. Ein weiterer Ausreißer ist auch das TETP bei den Stahlbetonarbeiten. Der Wert von fast 80% wird beinahe ausschließlich durch die erforderliche Bewehrung verursacht. Die Ursache dafür, dass rund die Hälfte der Umweltwirkungen des Indikators POCP auf die Leistungsgruppe Mauer- und Versetzarbeiten (LG 09) entfällt, liegt an der Dämmung der obersten Geschoßdecke mit 20 cm expandiertem Polystyrol (EPS). Diese Position hat einen Anteil von 45% am gesamten POCP des Rohbaus.

Kurzresümee: Die Leistungsgruppen Stahlbetonarbeiten (LG 07) und Mauer- und Versetzarbeiten (LG 09) verursachen den überwiegende Anteil der lebenzyklusweiten Umweltwirkungen des Rohbaus.

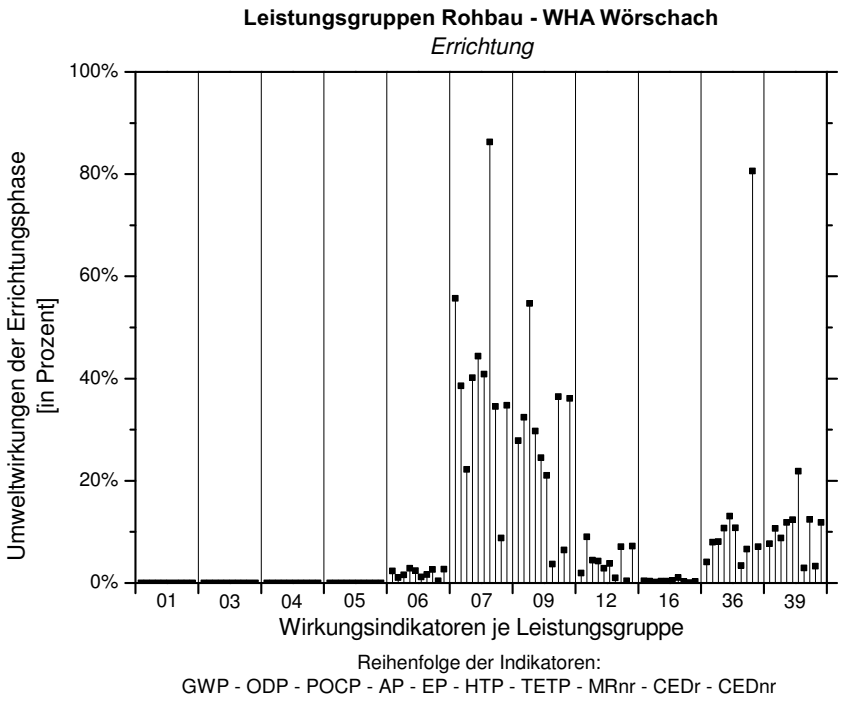

Abbildung 7.19: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase

Die Umweltwirkungen, die im Leistungsbereich Rohbau in der Errichtungsphase verursacht werden, teilen sich ähnlich auf die verschiedenen Leistungsgruppen auf, wie sie es bei der lebenszyklusweiten Betrachtung tun. Der überwiegende Anteil wird von den Stahlbetonarbeiten (LG 07) und den Mauer- und Versetzarbeiten (LG 09) verursacht (jeweils 25 bis 40%). Der Anteil, der sich aus Zimmermeisterarbeiten (LG 36) und Trockenbauarbeiten (LG 39) ergibt, ist etwas geringer (5 bis 15%) als der bei der Betrachtung des gesamten Lebenswegs.

Einzelne Ausreißer kommen auch hier vor, sie sind mit jenen aus Abbildung 7.18 vergleichbar. Beispiele für Ausreißer sind der Indikator TETP bei den Stahlbetonarbeiten, POCP bei den Mauer- und Versetzarbeiten oder CEDr bei den Zimmermeisterarbeiten.

Kurzresümee: Die Verteilung der Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Errichtung ist sehr ähnlich der Aufteilung der Umweltwirkungen am gesamten Lebensweg.

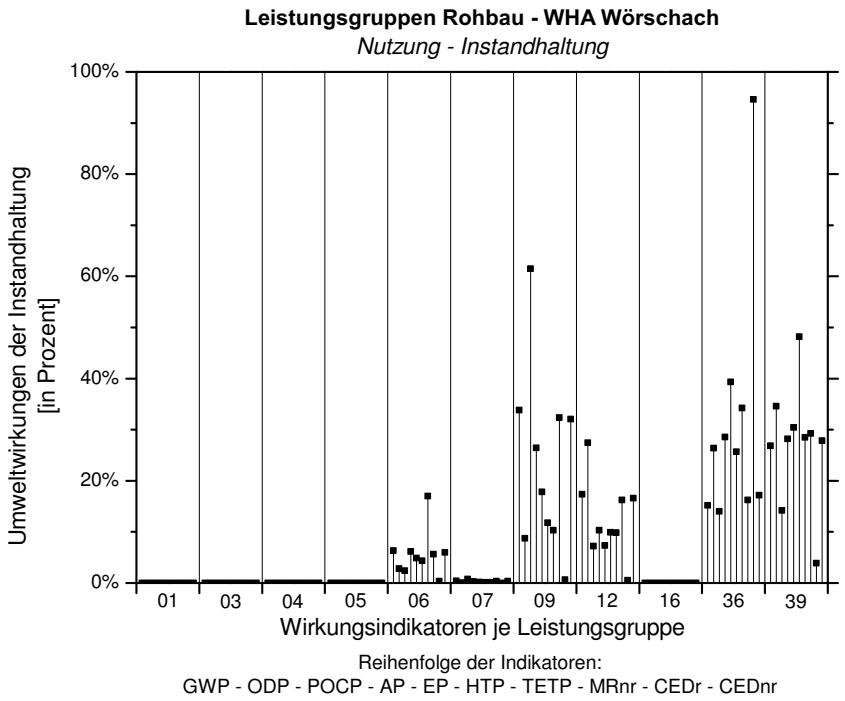

Abbildung 7.20: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

Die bei Instandhaltungsarbeiten entstehenden Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Rohbau verteilen sich anders auf die Leistungsgruppen als in der Errichtungsphase.

Durch die lange Nutzungsdauer der Bauteile, die in den Leistungsgruppen 07 und 09 (Stahlbetonarbeiten beziehungsweise Mauer- und Versetzarbeiten) enthalten sind, wird kein Austausch dieser Bauteile erforderlich. Dadurch reduziert sich der Anteil dieser Leistungsgruppen an den instandhaltungsbedingten Umweltwirkungen stark. So verursachen zum Beispiel die Stahlbetonarbeiten nur mehr einen minimalen Anteil der gesamten Umweltwirkungen. Auf der anderen Seite steigt der Anteil der Leistungsgruppen Zimmermeister (LG 36) und Trockenbau (LG 39) stark an. Die in diesen Leistungsgruppen erfassten Arbeiten verursachen bei der Instandhaltung die meisten Umweltwirkungen, sie machen jeweils zwischen 30 und 40% der Umweltwirkungen aus. Der Anteil der Leistungsgruppen Kanalarbeiten (LG 06) und Abdichtungsarbeiten (LG 12) ist in der Nutzungsphase höher, da auch diese beiden Gruppen kürzere Austauschzyklen haben.

Die Ausreißer in der Nutzungsphase sind abermals der Indikator CEDr bei den Zimmererarbeiten, und bei den Mauer- und Versetzarbeiten das POCP, das bei der Produktion der Dämmung der obersten Geschoßdecke verursacht wurde.

Kurzresümee: Der Einfluss der Nutzungsdauer der Bauteile auf die Umweltwirkungen der Nutzungsphase ist deutlich erkennbar. In der Leistungsgruppe Stahlbetonarbeiten (LG 07), deren Bauteile und Bauprodukte in der Regel lange Nutzungsdauern haben, sind die Anteile an den Umweltwirkungen verglichen mit dem gesamten Lebenszyklus oder der Errichtungsphase sehr gering. Deshalb sind die relativen Anteile der übrigen Leistungsgruppen (06, 09, 12, 36, 39) im Vergleich zu den anderen Lebenswegphasen wesentlich größer.

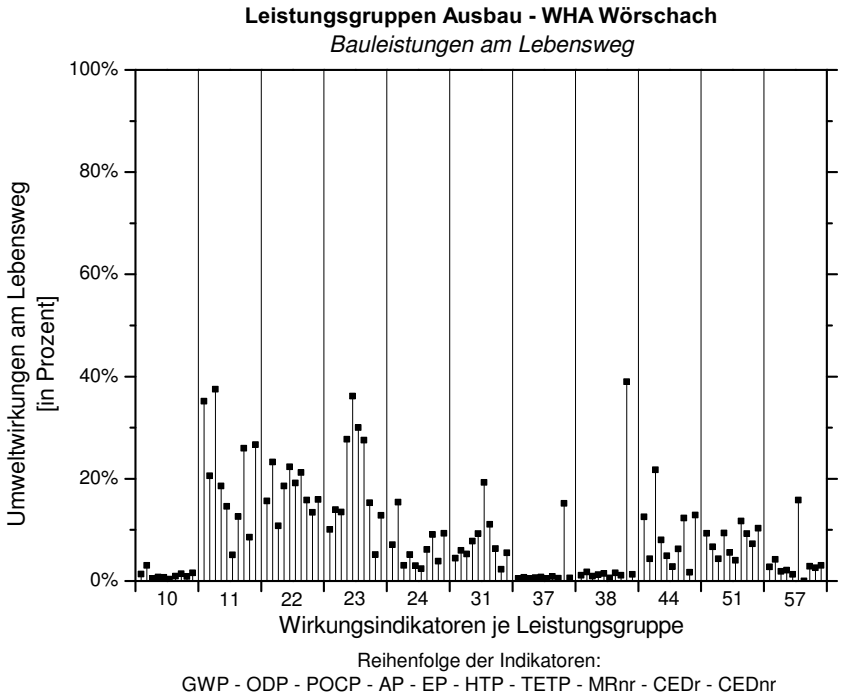

Abbildung 7.21: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen am Lebensweg

Abbildung 7.21 stellt die Verteilung der lebenszyklusweiten, im Leistungsbereich Ausbau verursachten Umweltwirkungen auf die einzelnen Leistungsgruppen dar. Die Abbildung zeigt, dass hier die Umweltwirkungen gleichmäßiger auf die Leistungsgruppen verteilt sind als im Leistungsbereich Bauwerk-Rohbau.

Die Umweltwirkungen ergeben sich hauptsächlich aus den Leistungsgruppen Estrich- (LG 11), Dachdecker- (LG 22) und Bauspenglerarbeiten (LG 23). Die Werte betragen bei diesen drei Leistungsgruppen jeweils zwischen 20 und 30%. Die mit den Leistungsgruppen Fliesenleger (LG 24), Schlosser (LG 31), Außenwärmedämmverbundsystem (LG 44) und Fenster (LG 51) verbundenen Umweltwirkungen machen für jede Leistungsgruppe zwischen 5 und 10% aus. Die Werte der Leistungsgruppen Verputzarbeiten (LG 10), bewegliche Abschlüsse von Fenstern (LG 57), Tischlerarbeiten (LG 37) und Holzfußböden (LG 38) sind – abgesehen von Indikator CEDr bei den beiden letztgenannten – sehr gering und betragen unter 3% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Ausbau.

Kurzresümee: Die Leistungsgruppen Estricharbeiten, Dachdeckerarbeiten und Spenglerarbeiten, verursachen jeweils zwischen 20 und 30% der Umweltwirkungen. Verputzarbeiten, Holzfußböden, Tischlerarbeiten und die Leistungsgruppe bewegliche Abschlüsse von Fenstern erzeugen nur einen geringen Teil der Umweltwirkungen.

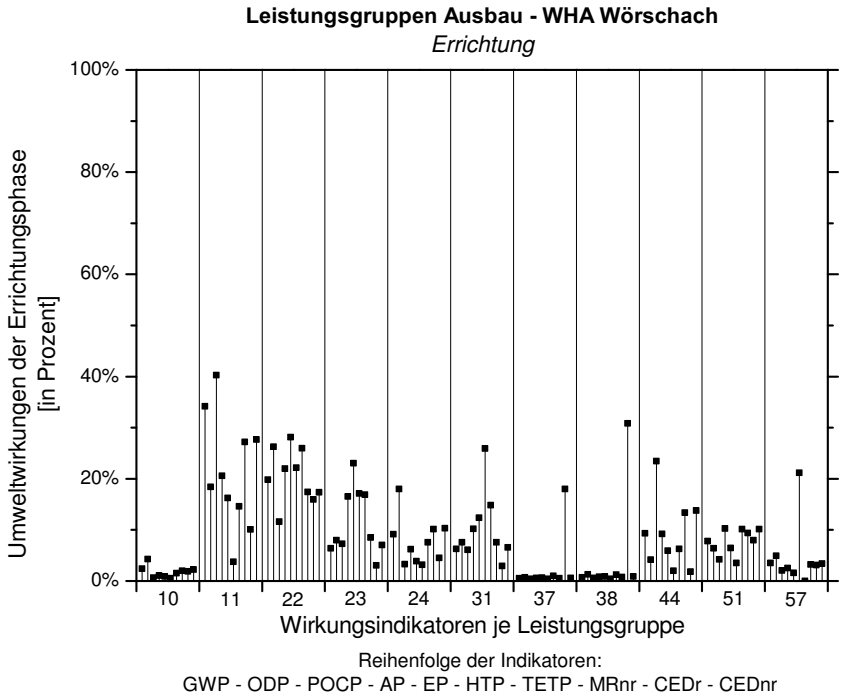

Abbildung 7.22: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase

In Abbildung 7.22 ist dargestellt, wie sich die in Leistungsbereich Rohbau und Lebenswegphase Errichtung entstehenden Umweltwirkungen auf die einzelnen Leitungsgruppen aufteilen. Die Verteilung ist ähnlich wie die am gesamten Lebensweg. Auch hier dominieren die Werte der Leistungsgruppen 11 und 22 (20 bis 30%), die der Leistungsgruppen 10, 37 und 38 sind hingegen vernachlässigbar klein (jeweils weniger als 3%). Nur die Leistungsgruppe Spenglerarbeiten verliert etwas an Bedeutung und verursacht in der Errichtungsphase – wie die Leistungsgruppen 24, 31, 44, 51 und 57 – lediglich rund 5 bis 10% der Umweltwirkungen.

Kurzresümee: Die Verteilung der in der Errichtungsphase verursachten Umweltwirkungen auf die Leistungsgruppen entspricht annähernd der lebenszyklusweiten Aufteilung des Leistungsbereichs Ausbau. Bei den Estricharbeiten und Dachdeckerarbeiten entstehen die meisten Umweltwirkungen.

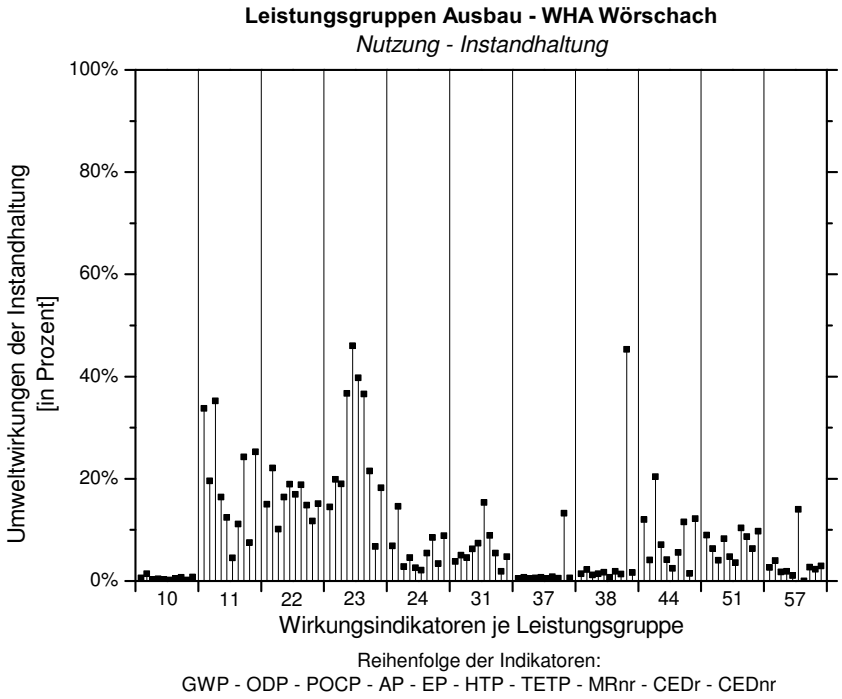

Abbildung 7.23: WHA Wörschach: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

Wie sich die im Leistungsbereich Ausbau während der Instandhaltungsarbeiten entstehenden Umweltwirkungen auf die einzelnen Leistungsgruppen verteilen, wird in Abbildung 7.23 gezeigt.

Die Arbeiten der Leistungsgruppen Estrich- (LG 11), Dachdecker- (LG 22) und Bauspenglerarbeiten (LG 23) verursachen bei den Instandhaltungsarbeiten die meisten Umweltwirkungen des Leistungsbereichs Ausbau. Hier ist jedoch der Anteil der Umweltwirkungen der Bauspenglerarbeiten (LG 23) durch die hohe Anzahl an erforderlichen Instandhaltszyklen größer als in der Errichtungsphase. Die Leistungsgruppen 10, 37, 38 und 57 haben auch bei der Instandhaltung nur geringe Bedeutung, die Leistungsgruppen 24, 31, 44 und 51 machen zwischen 5 und 10% der Umweltwirkungen aus.

Kurzresümee: Durch die kurzen Instandhaltungszyklen steigt der Einfluss der Bauspenglerarbeiten auf die in der Nutzungsphase entstehenden Umweltwirkungen. Die anderen Leistungsgruppen bleiben in ihrer Bedeutung im Vergleich zur Errichtungsphase in etwa konstant.

7.5 Sensitivitätsanalysen des Gesamtergebnisses

Es soll in dieser Arbeit auch gezeigt werden, wie sich die Veränderung bestimmter Parameter auf die Gesamtergebnisse auswirkt. Um dies zu untersuchen, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, die eine Variation bestimmter Eingangsdaten für folgende Untersuchungsgebiete vornehmen:

- **Wechsel des Energieträgers:** Für die Wohnhausanlage Wörschach wurde analysiert, wie sich ein Wechsel des Energieträgers auf die gesamten lebenszyklusweiten Umweltwirkungen auswirkt.
- **Variation der Nutzungsdauer:** Die Länge der Nutzungsphase ist ein erheblicher Einflussfaktor auf die bei Instandhaltung und Betrieb entstehenden Umweltwirkungen. Es wird anhand der Wohnhausanlagen Wörschach (Massivbauweise) und Nestelbach (Holzbauweise) untersucht, wie sich bei einer Veränderung der Nutzungsdauer auf 50 beziehungsweise 100 Jahre die Verteilung der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen verändert.
- **Einfluss der Entsorgungsszenarien:** In den bisher dargestellten Ergebnissen ist beim Rückbau der Wohnhausanlagen keinerlei Recycling berücksichtigt. Wie sich die in Österreich tatsächlich praktizierte Recyclingtätigkeit laut Bundesabfallwirtschaftsplan [3] auf die Umweltwirkungen eines Bauwerks auswirkt, wird anhand der Wohnhausanlagen Wörschach und Nestelbach gezeigt.

7.5.1 Wechsel des Energieträgers

Der Einfluss des Energieträgers zur Wärmeerzeugung auf die Ergebnisse der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen ist erheblich. Dies wurde bereits bei der Konsistenzprüfung der Stoff- und Energieflüsse des Betriebs festgestellt, wo die Umweltwirkungen bei der Erzeugung von 1 kWh thermischer Energie verglichen wurden. Abbildung 7.24 stellt nun dar, welche Auswirkungen ein Wechsel des Energieträgers auf die gesamten Umweltwirkungen des Gebäudes hätte.

Dazu wurden für die Wohnhausanlage Wörschach folgende Szenarien der Energieversorgung untersucht:

1. Energieträger Gas, Zentralheizung, Solaranlage zur Heizungsunterstützung und Warmwassergewinnung (= Basisvariante, kommt bei WHA Wörschach tatsächlich zum Einsatz; entspricht 100%)
2. Energieträger Gas ohne Solaranlage[3]
3. Energieträger Heizöl extraleicht, Zentralheizung, Solaranlage
4. Energieträger Biomasse-Nahwärme aus Holz, Solaranlage
5. Energieträger Fernwärme aus Steinkohle, Solaranlage

[3] Neben dem erhöhten Endenergiebedarf für Beheizung und Warmwasserbereitstellung wurde auch die Reduktion des Stoffflusses durch die Einsparung der Solaranlage berücksichtigt.

Abbildung 7.24 zeigt für die zehn untersuchten Wirkungsindikatoren die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Wohnhausanlage Wörschach in Abhängigkeit vom Energieträger. Dabei stellt der grau hinterlegte Bereich die Umweltwirkungen, die durch Bauleistungen verursacht werden, dar. Die weißen Balken stehen für die Umweltwirkungen des Betriebs. Es erfolgt keine Unterteilung in die verschiedenen Lebenswegphasen, sondern lediglich in Bauleistungen und Betrieb.

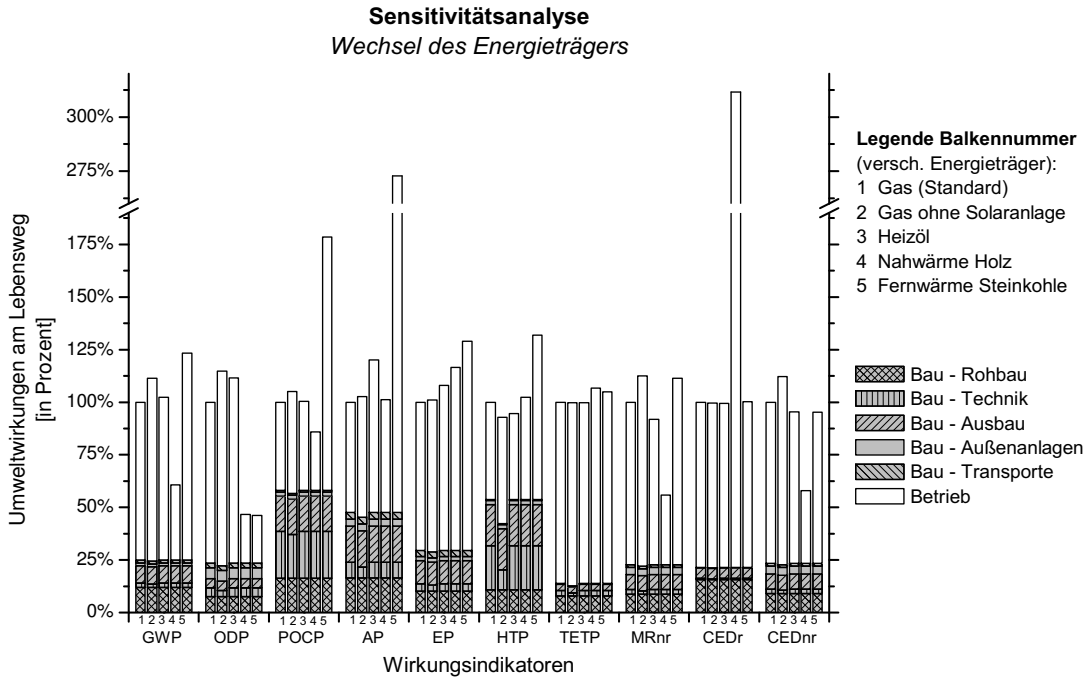

Abbildung 7.24: Sensitivitätsanalyse: Wechsel des Energieträgers

Die Abbildung 7.24 zeigt, dass die Wahl des Energieträgers gravierende Auswirkungen auf die gesamten Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen hat. Durch die Wahl eines ökologisch ungünstigeren Energieträgers steigen bei einzelnen Indikatoren die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen teilweise stark. Die entstehende Differenz übertrifft die durch die Bauleistungen verursachten Umweltwirkungen je nach Indikator vereinzelt um ein Vielfaches.

Der Verzicht auf solare Energiegewinnung (Wegfall des Energieertrags, jedoch auch Reduktion des Stoffflusses durch Verzicht auf Solaranlage) wirkt sich bei sieben der zehn untersuchten Indikatoren ungünstig aus. Es entstehen dadurch um bis zu 12% höhere Umweltwirkungen. Bei zwei Indikatoren zeigt sich keine Veränderung, das Wirkungsindikatorergebnis von HTP verringert sich durch den Wegfall der Solaranlage (Reduktion von rund 5%).

Ein Wechsel des Energieträgers von Gas zu Öl bewirkt einerseits einer Erhöhung der Umweltwirkungen bei ODP, AP und EP und andererseits eine Reduktion bei HTP, MRnr und CEDnr. Die Werte der Wirkungsindikatoren GWP, POCP, TETP, CEDr bleiben ungefähr gleich.

Besonders vorteilhaft erscheint in dieser Sensitivitätsanalyse der Energieträger Biomasse-Nahwärme, der teils erheblich geringere Umweltwirkungen als die Basisvariante Gas verursacht. Bei fünf der untersuchten Indikatoren (GWP, ODP, POCP, MRnr, CEDnr) entsteht eine entscheidende Reduktion von zum Teil mehr als 50% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen. Zwei Indikatoren weisen kaum

Unterschiede zum Energieträger Gas auf, während für die drei Indikatoren EP, TETP und CEDr höhere Umweltwirkungen zu Stande kommen. Wie anzunehmen war, werden bei Wirkungsindikator CEDr beim Einsatz des Energieträgers Holz wesentlich höhere Umweltwirkungen verursacht als bei den anderen Energieträger (rund das Dreifache).

Im Gegensatz dazu wirkt sich ein Wechsel zum Energieträger Fernwärme, der bei dieser Sensitivitätsanalyse[4] in erster Linie aus Steinkohle gewonnen wird, sehr negativ aus. Einer Erhöhung der Werte bei sieben Indikatoren – bei denen Fernwärme teilweise das bis zu Dreifache der Umweltwirkungen der Basisvariante verursacht – steht einer Reduktion bei den zwei Indikatoren ODP und CEDnr gegenüber.

Kurzresümee: Zusammenfassend kann gesagt werden, dass solare Energiegewinnung mit einer thermischen Solaranlage auf jeden Fall positive Auswirkungen auf die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen hat. Die gesamten Umweltwirkungen lassen sich dadurch je nach Indikator um bis zu 12% reduzieren. Im Optimalfall wird die Solaranlage als Ergänzung zu einem erneuerbaren Primärenergieträger – in diesem Beispiel Biomasse-Nahwärme – eingesetzt. Durch die Wahl eines erneuerbaren Energieträgers lassen sich die Umweltwirkungen des Betriebs bei einzelnen Indikatoren teilweise auf die Hälfte reduzieren. Wird Fernwärme als Energieträger gewählt, ist hingegen sehr darauf zu achten, welcher Primärenergieträger eingesetzt wird.

7.5.2 Variation der Nutzungsdauer

Die Länge der Nutzungsphase eines Gebäudes hat erheblichen Einfluss auf die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen. Bei einer Veränderung der Länge der Nutzungsdauer verändern sich einerseits die Umweltwirkungen des Betriebs und andererseits auch die Anzahl der erforderlichen Instandhaltungszyklen. Errichtungs- und Rückbauphase sind von dieser Veränderung nicht betroffen.

Abbildung 7.25 zeigt, wie sich eine Verlängerung oder Verkürzung der Nutzungsdauer auf das Verhältnis der einzelnen Lebenswegphasen zueinander auswirkt. Es wird die Nutzungsdauer für die Wohnhausanlagen Wörschach (Massivbau) und Nestelbach (Holzbau) variiert. Der Ausgangswert von 70 Jahren wird entweder auf 50 Jahre verkürzt oder auf 100 Jahre verlängert.

Die Darstellung zeigt die relative Auswirkung der Veränderungen der Nutzungsdauer auf die Verteilung der Umweltwirkungen am Lebensweg. Die absolute Veränderung der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen ist wenig aussagekräftig, weil sich die lebenszyklusweiten Umweltwirkung proportional zu den in der Nutzungsphase verursachten Umweltwirkungen erhöhen (Verlängerung der Nutzungsdauer) beziehungsweise verringern (Verkürzung der Nutzungsdauer). Diese Ergebnisse können im Anhang in Abbildung B.31 bei der Darstellung der veränderten Absolutwerte nachgelesen werden.

Bei einer Verkürzung der Nutzungdauer steigt der Anteil der durch Bauleistungen verursachten Umweltwirkungen an. Dabei nimmt der relative Anteil der Errichtungs- und Rückbauphase zu, da der Aufwand für Instandhaltung und Betrieb wegen der kürzeren Nutzungsdauer sinkt.

Im Gegensatz dazu steigt bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer auf 100 Jahre der Anteil der Nutzungsphase an den gesamten Umweltwirkungen. Die durch Verlängerung der Nutzungsdauer erhöhten Umweltwirkungen der Nutzungsphase führen zu einem geringeren relativen Anteil von Errichtung und Rückbau. In Summe ergibt sich dadurch eine ähnliche Verteilung auf Betrieb und

[4] Es wird dabei von Fernwärme der Energie Graz ausgegangen, die größtenteils im Kraftwerk Weitendorf/Mellach erzeugt wird. Als Energieträger wird dort vor allem Steinkohle verwendet.

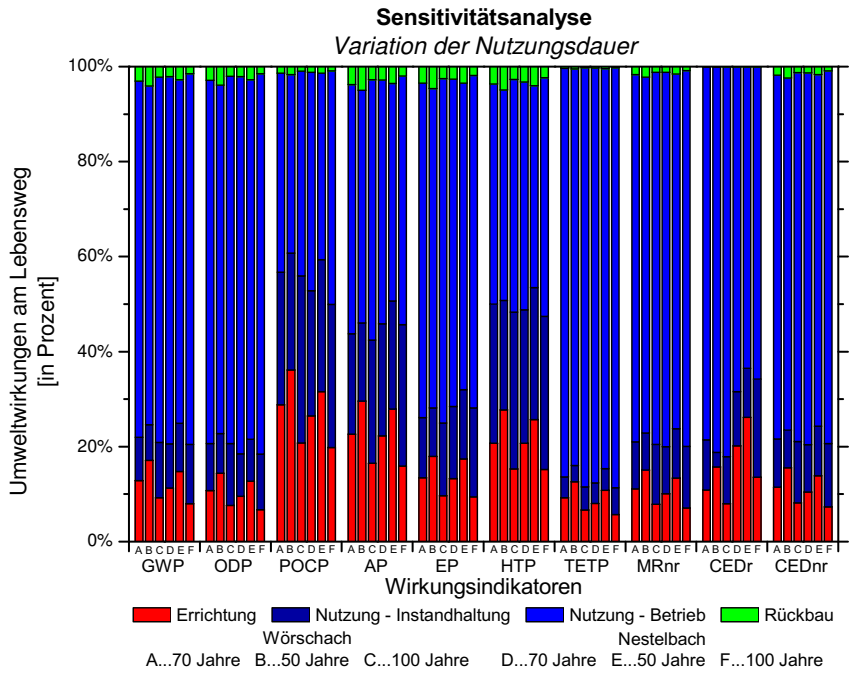

Abbildung 7.25: Sensitivitätsanalyse: Variation der Nutzungsdauer

Bauleistungen wie es bei der Nutzungdauer von 70 Jahren der Fall ist. Bei der Variation der Nutzungsdauer ist kein Unterschied zwischen Massiv- und Holzbauweise festzustellen[5].

7.5.3 Einfluss der Entsorgungsszenarien

Die bisher dargestellten Ergebnisse basieren auf der Annahme einer vollständigen thermischen Verwertung oder Deponierung aller verwendeten Baustoffe. Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalyse wird untersucht, wie sehr das Recycling der Baustoffe – also das Rückführen in den Stoffkreislauf anderer Produkte – die Umweltwirkungen insgesamt vermindern kann.

Der Anteil der Rückbauphase an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen ist – den bisherigen Ergebnissen zufolge – verhältnismäßig gering. Er macht weniger als 5% der gesamten Umweltwirkungen aus. Bei der Betrachtung der Bauleistungen am Lebensweg beträgt der Anteil des Rückbaus maximal 12% (siehe Abbildung 7.5).

Der in Österreich übliche Recyclinganteil wird der Berechnung für die Wohnhausanlagen Wörschach und Nestelbach zugrundegelegt. Die Recyclingquoten für die einzelnen Abfallkategorien wurden dem Bundesabfallwirtschaftsplan des Jahres 2006 [3] entnommen. Tabelle 7.4 zeigt die verwendeten Quoten. Es ist festzuhalten, dass die Zuordnung der verschiedenen Bauteile zu den einzelnen Abfallarten nicht immer eindeutig möglich war.

[5]Durch die hier gewählte Darstellung in Relativwerten ist ein Vergleich des Verhaltens von Holz- und Massivbauweise bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer nicht möglich. Die im Anhang gezeigt Abbildung B.31 kann darüber mehr Aufschluss geben.

Tabelle 7.4: Recyclingquoten aus Bundesabfallwirtschaftsplan (Daten aus [3])

	Abfallart	**Recyclingquote**
1	Baustellenabfälle	9%
2	Mineralischer Bauschutt	68%
3	Straßenaufbruch	84%
4	Betonabbruch	76%
5	(Gleisschotter)	56%
6	Bodenaushub	100%
7	Metalle	95%
8	Holz	80%

Bei der Ermittlung der Umweltwirkungen des Rückbaus wurde für die Recycling-Baustoffe nur der Abtransport des Materials berücksichtigt. Somit sind die durch das Trennen und Sortieren der Bauteile und Baustoffe entstehenden Umweltwirkungen nicht erfasst. Die bei der Aufbereitung zu einem neuen Produkt entstehenden Umweltwirkungen werden im Zuge der Allokation diesem neuen Produkt zugewiesen. Die tatsächlichen Umweltwirkungen bei vollständiger Erfassung werden deshalb höher sein als die hier dagestellten. Dieses Problem ist auf die zur Zeit nur eingeschränkt verfügbare Datengrundlage zurückzuführen.

In Abbildung 7.26 ist dargestellt, welchen Einfluss die Recyclingmaßnahmen in der Rückbauphase auf die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen haben. Die dadurch erreichte Reduktion der Umweltwirkungen beträgt je nach Indikator zwischen 5 und 10%. Bei POCP und HTP ist das Einsparungspotential geringer (ca. 1 bis 2% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen). Betrachtet man nur die Rückbauphase, werden die Umweltwirkungen bei den meisten Indikatoren um mehr als 50% reduziert.

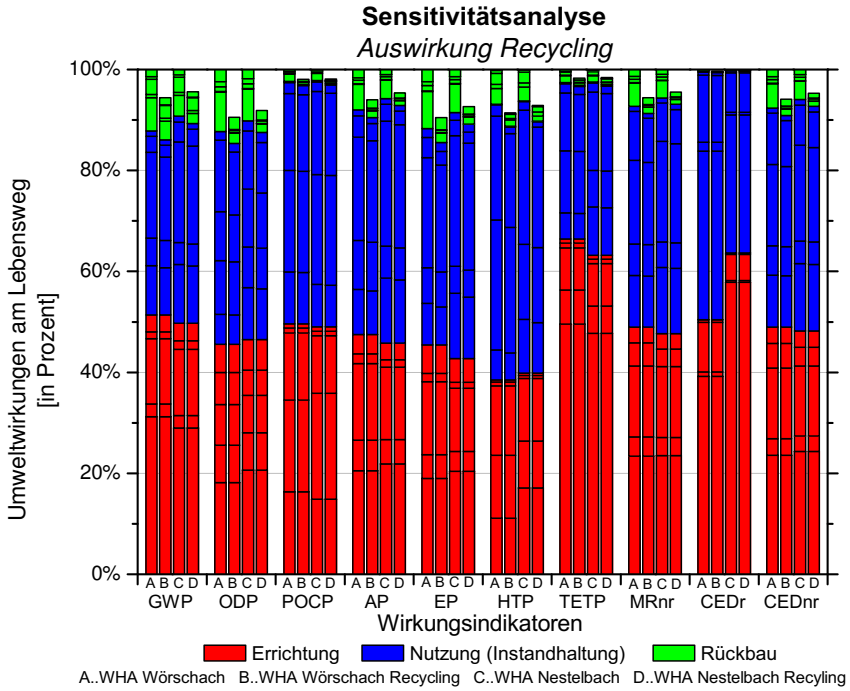

Abbildung 7.26: Sensitivitätsanalyse: Auswirkung von Recycling

7.6 Qualität der Ergebnisse

Die Qualität der ermittelten Ergebnisse ist unmittelbar von der Qualität der verfügbaren Daten abhängig. Diese variiert – wie bereits in den Kapiteln „Sachbilanz“ und „Wirkungsabschätzung“ beschrieben – teils erheblich.

Im Bereich der Bauleistungen wurde hauptsächlich auf Daten aus drei Quellen zurückgegriffen, die unterschiedliche Qualität aufweisen. Die im Rahmen der Ausschreibung durchgeführte Massenermittlung besitzt eine vergleichsweise hohe Datenqualität. Bei der Leistungspositions-Analyse mussten in einigen Fällen Annahmen getroffen werden, da keine exakten Herstellerangaben für die bilanzierten Produkte vorhanden waren. Bei der Zuordnung der ecoinvent-Datensätze zu den Stoffflüssen wurde mit dieser Datenbank, die rund 2700 Datensätzen[6] umfasst, der überwiegende Anteil der erforderlichen Bauprodukte abgedeckt. Der Detaillierungsgrad, der mit ecoinvent-Datensätzen erreicht werden kann, ist aufgrund der Fülle an Produkten, die in modernen Gebäuden eingesetzt werden, jedoch nicht immer zufriedenstellend.

Auch bei der Bilanzierung der Umweltwirkungen des Betriebs mussten Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden. Die statistischen Angaben für den Strom- und Wasserverbrauch sind Mittelwerte für ganz Österreich. Die Streuung des Stromverbrauchs in den einzelnen Bundesländern beträgt jedoch mehr als 10%. Auch bei der Ermittlung des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitstellung müssen Ungenauigkeiten akzeptiert werden. Die für die Bedarfsberechnung verwendeten Nutzungsprofile sind zwar normativ festgelegt, es ist jedoch anzunemnen, dass sich tatsächliche Verbrauchswerte erheblich von den ermittelten Werten unterscheiden.

Es ist daher davon auszugehen, dass die absoluten Ergebniszahlen mit Unsicherheiten behaftet sind. Durch die relative Darstellung der Ergebnisse wird erreicht, dass die Auswirkungen der Ungenauigkeiten der Datenerhebung gering gehalten werden. Dadurch sollten die dargestellten Verhältniswerte mit lediglich geringen Unsicherheiten behaftet sein.

Mit dem Detaillierungsgrad der jeweiligen Betrachtungsebene steigt durch den geringer werdenden Betrachtungsumfang die Unsicherheit der Ergebnisse. Durch den bei höherem Detaillierungsgrad größer werdenden Einfluss einzelner Positionen erhöht sich die Gefahr, dass Fehler die Detailergebnisse stärker beeinträchtigen. Je größer die Anzahl der untersuchten Positionen, umso weniger kann sich der Einfluss von einzelnen Fehlern auswirken.

[6] Nur ein Teil dieser 2700 Datensätze beschäftigt sich dabei mit Produkten und Prozessen aus dem Bauwesen.

Kapitel 8

Resümee und Ausblick

Das letzte Kapitel rundet diese Arbeit ab, indem mit einem Rückbezug auf die Fragestellung die Ergebnisse diskutiert werden. Es findet eine rückblickende Bewertung der Vorgangsweise statt, die daraus abgeleiteten Erkenntnisse können als Ansatzpunkte für Verbesserungen in nachfolgenden Untersuchungen herangezogen werden.

Fragestellung

Ausgehend von der Frage, wie sich die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen bei Gebäuden verschiedener Bauweise auf die Phasen des Lebenswegs verteilen, wurde eine Ökobilanzierung bei vier Wohnhausanlagen durchgeführt.

Das primäre Ziel lag darin, festzustellen, ob der Großteil der Umweltwirkungen durch den Betrieb oder die erforderlichen Bauleistungen verursacht wird und wie sich diese Umweltwirkungen auf die Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung und Rückbau der Wohnhausanlagen verteilen. In der Folge wurde durch eine weitere detaillierte Untersuchung analysiert, in welchen Leistungsgruppen besonders hohe Umweltwirkungen entstehen.

Anhand der ermittelten Werte wurde aufgezeigt, in welchen der untersuchten Bereiche besonders großes Potential zur Reduktion der gesamten lebenszyklusweiten Umweltwirkungen vorhanden ist.

Diskussion der Ergebnisse

Der Vergleich der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Wohnhausanlagen zeigte, dass der Großteil der entstehenden Umweltwirkungen auf den Betrieb zurückzuführen ist. Die Ergebnisse variieren zwar zwischen den einzelnen Wirkungskategorien teils erheblich, auffallend ist jedoch, dass bei sieben der zehn untersuchten Indikatoren der Betrieb der Gebäude über 75% der Umweltwirkungen verursacht.

Anzumerken ist dabei, dass die vier untersuchten Wohnhausanlagen bereits dem Niedrigenergie-Standard entsprechen. Der Heizwärmebedarf der Gebäude ist somit im Vergleich zu Bestandsgebäuden sehr niedrig. Demnach wird bei Gebäuden mit geringerer thermischer Qualität ein noch wesentlich höherer Anteil an den lebenszyklusweiten Umweltwirkungen in der Betriebsphase verursacht.

Die aus der Literatur abgeleitete, sehr breit gefasste Hypothese, dass je nach untersuchtem Indikator rund 40 bis 90% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen durch den Betrieb entstehen, wurde somit bestätigt. Bei den vier Wohnhausanlagen lagen die Werte der zehn Wirkungskategorien für den Betrieb zwischen 35 und 90%.

Diese Ergebnisse wurden anhand einer sehr kleinen Stichprobe erhoben. Die hier untersuchten Wohnhausanlagen erlauben daher keinen Rückschluss auf die generelle Verteilung der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen von Wohnhausanlagen. Eine Verallgemeinerung dieser Ergebnisse auf andere Gebäudetypen ist ebenfalls nicht zulässig und würde weitere umfangreiche Untersuchungen erfordern.

Betrieb: Beim Betrieb verursachen Haushaltsstrom und Wärme für Beheizung und Warmwasser jeweils circa 45% der Umweltwirkungen der Lebenswegphase Nutzung-Betrieb. Die Umweltwirkungen, die bei der Versorgung mit Trinkwasser und der Entsorgung von Abwasser entstehen, sind vernachlässigbar gering.

Durch den großen Anteil der Gebäudebeheizung an den gesamten Umweltwirkungen kommt der Wahl des Energieträgers eine wesentliche Bedeutung zu. Durch eine entsprechende Auswahl können die entstehenden Umweltwirkungen beim Betrieb erheblich gesenkt werden. Auch der Einsatz einer thermischen Solaranlage ist auf jeden Fall sinnvoll. Trotz der vergleichsweise kurzen Nutzungsdauer übertrifft der Nutzen durch Einsparung von erforderlicher Heizenergie wesentlich die Aufwendungen für die Produktion der Solaranlage inklusive der notwendig Instandhaltungsarbeiten.

Aus baulicher Sicht kommt der Reduktion des Heizwärmebedarfs eine besondere Bedeutung zu. In diesem Betriebsbereich liegt großes Potential zur Verringerung der gesamten lebenszyklusweiten Umweltwirkungen.

Auch beim Bedarf an Haushaltsstrom ist eine erhebliche Reduktion der Umweltwirkungen möglich. Dieser Betriebsbereich ist – im Unterschied zum Heizwärmebedarf – in erster Linie nutzer- und nicht gebäudeabhängig. Deshalb ist eine Verringerung nur mit einer Änderung des Nutzerverhaltens zu erreichen.

Bauleistungen: Bei den Bauleistungen verursachen zwei Lebenswegphasen – Errichtung und Nutzung – jeweils 40 bis 50% der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen.

Es sind demnach die bei Instandhaltungsarbeiten während der Nutzungsphase verursachten Umweltwirkungen beinahe so hoch wie die der Gebäudeerrichtung. Dadurch wird deutlich, welche Bedeutung der Nutzungsdauer von Gebäuden und Bauteilen hinsichtlich der Umweltwirkungen zukommt. Durch eine Verringerung der Anzahl der erforderlichen Instandhaltungszyklen können die Umweltwirkungen erheblich reduziert werden.

Andererseits zeigt die Verteilung der durch Bauleistungen bedingten Umweltwirkungen auch, dass in den ersten beiden Jahren des in etwa 70-jährigen Gebäudelebenswegs beinahe die Hälfte der Umweltwirkungen verursacht werden. Dieses Ergebnis legt nahe, die in der Errichtungsphase entstehenden Umweltwirkungen zu reduzieren.

Es wird ersichtlich, dass die Interpretaion der Ergebnisse nicht eindeutig sein kann. Vielmehr ist es erforderlich, eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Reduktion der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen in Betracht zu ziehen und umzusetzen. Zu diesen Möglichkeiten zählen unter anderem die Optimierung der Instandhaltungszyklen und die Reduktion der Umweltwirkungen der Errichtungsphase.

Der Großteil der durch die Bauleistungen bedingten Umweltwirkungen entfällt auf Errichtung und Instandhaltungsarbeiten. Lediglich maximal 12% werden in der Rückbauphase verursacht. Hier ist anzumerken, dass die Anzahl der ecoinvent-Datensätze für die Entsorgung der eingesetzten Materialien wesentlich geringer ist als für die Erzeugung. Außerdem stellt sich bei der Bewertung der Entsorgung von Verbundbauteilen – wie beispielsweise Fenstern oder Wärmedämmverbundsystemen – die Frage, ob die jeweiligen Bestandteile überhaupt den Datensätzen entsprechend entsorgt werden können. Die bei der erforderlichen Trennung der Verbundbauteile entstehenden Umweltwirkungen wurden zudem in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, was bei der Bewertung des Ergebnisses des Rückbaus berücksichtigt werden sollte.

Beim Versuch, die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen der Bauleistungen zu verringern, sollte also das Hauptaugenmerk auf die Errichtungs- und Instandhaltungsarbeiten gelegt werden. Die dominierenden Leistungsbereiche sind dabei Bauwerk-Rohbau und Bauwerk-Ausbau. Die übrigen Leistungsbereiche Bauwerk-Technik, Außenanlagen und Transporte haben – jeweils mit Ausnahme einiger Indikatoren – lediglich eine untergeordnete Stellung. Trotzdem ist auch in diesen Leistungsbereichen Potential zu Reduktion der gesamten Umweltwirkungen vorhanden.

Die durch Transporte entstehenden Umweltwirkungen sind in Relation zu den anderen Leistungsbereichen der Bauleistungen verhältnismäßig gering. Den überwiegende Anteil des Leistungsbereichs Transporte machen Massentransporte bei der Gebäudeerrichtung aus. Einen Teil dieser Massentransporte verursachen die großen Kubaturen, die bei Erdaushub und Geländemodellierung transportiert werden müssen. Andererseits sind auch Materialien wie Beton und Ziegel, die zur Errichtung des Rohbaus erforderlich sind, für einen sehr hohen Transportaufwand verantwortlich.

Bewertung der Vorgangsweise

Bei der rückblickenden Bewertung der gewählten Vorgangsweise wird dargestellt, in welchen Bereichen sich die angewandten Methoden bewährten und wo sie andererseits für Folgearbeiten verbessert werden sollten. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Verbesserungen, um nachfolgende Untersuchungen zu erleichtern. Es werden zuerst die Unterlagen, die zur Verfügung standen, bewertet. Danach wird analysiert, wie die Vorgangsweise bei der Erhebung der Eingangsdaten adaptiert werden sollte. Abschließend werden die Angaben, die für die eigentliche Ökobilanz erforderlich sind, näher untersucht.

Unterlagen: Die Verwendung des Gebäudeenergieausweises als Grundlage für die Ermittlung des erforderlichen Bedarfs an Heizenergie erwies sich als eine gute Wahl. Der darin gewählte Untersuchungsrahmen auf Ebene der Endenergie, der auch die erforderliche Hilfsenergie und die Verluste des haustechnischen Systems berücksichtigt, ermöglicht eine ausreichende Genauigkeit der gebäudespezifischen Bedarfswerte. Durch die generelle Einführung des Energieausweises können die in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen des Endenergiebedarfs für Beheizung wohl in Zukunft ausgelassen werden. Stattdessen können die jeweiligen Bedarfswerte, die im Energieausweis angegeben sind, übernommen werden.

Bei der Berechnung der Umweltwirkungen, die durch den Haushaltsstrom verursacht werden, wurde auf statistische Pro-Kopf-Werte für Österreich zurückgegriffen [58]. Diese streuen zwischen den verschiedenen Bundesländern zum Teil erheblich. Zudem ist der Verbrauch an Haushaltsstrom pro Person wesentlich davon abhängig, wieviele Personen im betrachteten Haushalt leben. Der bei Kochen, Waschen, Beleuchtung etc. anfallende Stromverbrauch ist bei Ein-Personen-Haushalten überdurchschnittlich hoch, sinkt jedoch für jede weitere im Haushalt lebende Person deutlich. Dieser

Umstand hätte bei der Berechnung der Bedarfswerte des Haushaltsstroms in dieser Arbeit berücksichtigt werden müssen. Nur so wäre es möglich gewesen, den hohen Anteil des Haushaltsstroms an den gesamten Umweltwirkungen eindeutig zu belegen. Dafür standen jedoch keine geeigneten Quellen zur Verfügung.

Eingangsdaten: Eine detaillierte Leistungspositions-Analyse bildete den Mittelpunkt der Erhebung des Stoffflusses der Bauleistungen. Dieser Stofffluss stellte einen Teil der Eingangsdaten in die eigentliche Ökobilanz dar. Im Rahmen dieser Leistungspositions-Analyse konnten – trotz der Bemühung um möglichst umfangreiche Erhebung – einige Aspekte nur unzureichend behandelt werden. Die aufgetretenen Probleme werden in der folgenden Aufzählung genannt:

- Für eine Vielzahl der Positionen war die vorhandene Datengrundlage nicht ausreichend, um mit vertretbarem Zeitaufwand eine entsprechende Erhebung durchzuführen. Insbesondere bei der Untersuchung des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik konnte nur eine stark eingeschränkte Leistungspositions-Analyse vorgenommen werden. Aus diesem Grund musste für diesen Leistungsbereich ein Pauschalzuschlag für nicht zu erhebende Positionen angenommen werden. Diese Vorgangsweise entsprach zwar nicht dem ursprünglichen Ziel einer umfassenden Erhebung, es war jedoch wegen der eingeschränkten Datenlage keine detailliertere Analyse möglich.

- Die Definition der Abschneidekriterien für die Abgrenzung der Ersterfassung anhand des erstellten Abgrenzungsschemas erfolgte nach subjektivem Ermessen. Es sollten quantitative Kriterien definiert werden, die als Grundlage für zukünftige Untersuchungen verwendet werden können.

- Um derartige Abschneidekriterien festlegen zu können, wäre eine vollständige Leistungspositions-Analyse aller ausgeschriebenen Leistungspositionen erforderlich. Erst so können in Zukunft die durch einzelne Positionen entstehenden Umweltwirkungen beurteilt werden. Eine solche Leistungspositions-Analyse geht jedoch über den Rahmen dieser Arbeit hinaus.

Bei der Erfassung der Transporte kann rückblickend gesagt werden, dass der Aufwand für die Erhebung den Ergebnissen angemessen war. Eine detaillierte Untersuchung wäre zwar wünschenswert gewesen, der geringe transportbedingte Anteil der Umweltwirkungen rechtfertigt jedoch die Vorgangsweise.

Ökobilanz: Bei der Erstellung des Berichts der Ökobilanz fiel es schwer, eine Zuordnung der tatsächlich durchgeführten Vorgangsweise zu der in den Normen ÖNORM EN ISO 14040 [41] und ÖNORM EN ISO 14044 [45] geforderten Gliederung in Ökobilanzphasen zu treffen. Erst durch die Ausgliederung der – eigentlich in der Sachbilanzphase zu ermittelnden – Stoff- und Energieflüsse in Kapitel 5 „Eingangsdaten Ökobilanz“ konnte eine übersichtliche Struktur geschaffen werden.

Die Beschreibung von normgemäß festzulegenden Punkte wie zum Beispiel „Abschneidekriterien“, „Systemgrenzen“ etc. war trotz der schon stattgefundenen praktischen Anwendung schwierig. Hauptursache für dieses Problem war wahrscheinlich, dass die in den Normen festgelegten Begriffe nicht von Beginn an bei der Erstellung dieser Arbeit verwendet wurden.

Deshalb war die Zuordnung der anfangs festgelegten Begriffe zu den normgemäßen Definitionen zum Teil schwierig. Besonders die Begriffe „funktionale Einheit“ und „Systemgrenzen“ waren schwer zu beschreiben. Als funktionale Einheit wurde die Dienstleistung „Wohnen“ gewählt. Auch die Definition der Systemgrenzen gestaltete sich problematisch.

Zur Festlegung der Systemgrenzen können folgende Punkte festgehalten werden:

- Die Berücksichtigung der Betriebsbereiche Wasser und Abwasser wäre aufgrund der geringen Umweltwirkungen grundsätzlich nicht erforderlich gewesen. Im Gebäudebetrieb entstehen die meisten Umweltwirkungen durch den Bedarf an Haushaltsstrom und Heizenergie. Wasser und Abwasser verursachen lediglich einen geringen Anteil, der im Verhältnis zu den gesamten lebenszyklusweiten Umweltwirkungen nicht relevant ist.

- Rückblickend hätten auch Daten für die Bereiche Wartung, Reinigung, Malerarbeiten und Gebäudeeinrichtung erhoben werden sollen. Dadurch hätte auch für diese Bereiche eine Abschätzung der Umweltwirkungen vorgenommen werden können. Der zeitliche Rahmen dieser Arbeit ließ jedoch diese Einschränkung erforderlich werden.

- Ähnliches gilt auch für die durch die Baustellenabwicklung hervorgerufenen Umweltwirkungen. Die derzeit zur Verfügung stehende Literatur erlaubte jedoch keine detaillierte Beurteilung der Umweltwirkungen der Baustellenabwicklung.

Abschließend ist zur Darstellung der Ergebnisse anzumerken, dass die Beurteilung der Umweltwirkungen von zehn verschiedenen Wirkungskategorien zwar einerseits in der Lage ist, ein breites Spektrum abzubilden, andererseits jedoch die gewonnenen Aussagen dadurch einschränkt. Die zum Teil erhebliche Streuung der Ergebnisse bei den verschiedenen Indikatoren ließ manchmal keine eindeutige Interpretation der Daten zu. Die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse sollen eine Diskussion in der Fachwelt anstoßen (business to business – b2b), können jedoch in dieser Form nicht an den Nutzer kommuniziert werden (business to consumer - b2c).

Ansatzpunkte

Die Diskussion der Ansatzpunkte soll aufzeigen, wie Folgearbeiten verbessert werden könnten und welche Aspekte in Zukunft ausführlich untersucht werden sollten.

Die wesentlichen Ansatzpunkte sind folgende:

- **Quantitative Abschneidekriterien:** Es sollten für zukünftige Arbeiten Zahlenwerte (absolut oder prozentuell) festgelegt werden, die als Abschneidekriterien bei der Abgrenzung relevanter Positionen dienen können.

- **Ansatzpunkte für Reduktion der Umweltwirkungen:** Aufbauend auf den dargestellten Ergebnissen sollte ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden, in dem praxisgerechte Möglichkeiten zur Reduktion der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen dargestellt sind. Es könnten aufbauend auf den gewonnenen Daten Kriterien festgelegt werden, die beispielsweise bei der Vergabe von Architekturwettbewerben eingesetzt werden können.

- **Praktische Einsatzmöglichkeit:** Die hier gewählte Vorgangsweise der Ökobilanzierung auf Basis von Leistungsverzeichnissen könnte in Zukunft eine einfache und praktische Anwendung ermöglichen. Durch das Zuordnen von Umweltwirkungen zu Positionen der Standardleistungsbeschreibung-Hochbau (LB-HB) wäre es möglich, im Zuge der Ausschreibungserstellung automatisch die Umweltwirkungen des gesamten Gebäudes zu generieren. So könnte zukünftig die Beurteilung der ökologischen Qualität eines Gebäudes auf Basis umfassender quantitativer Angaben erfolgen.

- **Umweltwirkungen der Haustechnik:** In einer zukünftigen Untersuchung sollte eine Leistungspositions-Analyse speziell für Haustechnik-Leistungen des Leistungsbereichs Bauwerk-Technik durchgeführt werden. Durch eine Erweiterung des Untersuchungsrahmens um Passivhäuser ließe sich auch feststellen, wie sich bei einer weiteren Reduktion des Heizwärmebedarfs die dafür erforderlichen haustechnischen Anlagen auf die lebenszyklusweiten Umweltwirkungen auswirken.

- **Umweltwirkungen der Transporte:** Auch dieser Leistungsbereich sollte einer detaillierten Untersuchung unterzogen werden, da wenig umfangreiche Daten zu diesem Bereich vorhandenen sind.

- **Umweltwirkungen der Baustellenabwicklung:** Die im Zuge der Baustellenabwicklung verursachten Umweltwirkungen scheinen zwar nicht sehr hoch zu sein, um diese Vermutung belegen zu können, wäre aber auch hier eine detaillierte Untersuchung erforderlich.

- **Weitere Detailuntersuchungen:** Einige weitere erforderliche Detailuntersuchungen werden nur noch stichwortartig aufgelistet:
  - Aufwand-Nutzen-Verhältnis von zusätzlicher Dämmung
  - Potential der Erhöhung der Nutzungsdauer von Bauteilen
  - Exakte Erhebung des Potentials von Recycling-Maßnahmen (hier nur abgeschätzt)
  - Aufwand-Nutzen-Verhältnis von Photovoltaik-Anlagen (hinsichtlich der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen)

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass diese Arbeit Ergebnisse liefert, anhand derer abgeschätzt werden kann, in welchen Bereichen des Lebenswegs besonders hohe Umweltwirkungen verursacht werden. In diesen Bereichen liegt demnach auch hohes Potential, das zur Steigerung der „integralen Qualität von Gebäuden“ zukünftig ausgeschöpft werden sollte.

Literaturverzeichnis

[1] Stichwort: Halogene. In: Lexikon-Institut Bertelsmann (Hrsg.): *Bertelsmann Universal Lexikon*. Gütersloh : Lexikon-Institut Bertelsmann, 1991, S. 347

[2] Stichwort: Stratosphäre. In: Lexikon-Institut Bertelsmann (Hrsg.): *Bertelsmann Universal Lexikon*. Gütersloh : Lexikon-Institut Bertelsmann, 1991, S. 870

[3] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006 / Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*. Wien, 2006.

[4] Carlowitz, H. C. v. ; Irmer, K. (Bearb.): *Sylvicultura Oeconomica : Anweisungen zur wilden Baum-Zucht*. Freiberg, 2000. – Repr. der Ausg. Leizig: Braun, 1713 / bearb. von K. Irmer

[5] Eiper, T. ; Streicher, W.: *Berechnung des Energieausweises über die Gesamtenergieeffizienz des Berlaymont Gebäudes (EU-Kommissionsgebäude in Brüssel)* / Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik. Graz, 2005. – Forschungsbericht

[6] EMPA St. Gallen ; Geberit International AG (Hrsg.): *Ökobilanz Versorgungsrohre für Gebäude.* St. Gallen, 2004. – Firmenschrift

[7] Europäisches Parlament ; Rat der Europäischen Union: *Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (idF v. 16.12.2002)*. In: *Amtsblatt Nr. L 001 vom 04.01.2003*

[8] Europäisches Parlament ; Rat der Europäischen Union: *Richtlinie des Rates vom 21.12.1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG)*. In: *Amtsblatt Nr. L 40 vom 11.2.1989*

[9] Eyerer, P. ; Reinhardt, H.-W.: *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden - Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung*. Basel : Birkhäuser, 2000

[10] Frischknecht, R.: *Umweltverträgliche Technologien: Analyse und Beurteilung. Teil 2: Ökobilanzen*. Zürich : Eigenverlag, 2006. – Vorlesungsskriptum

[11] Frischknecht, R. (Hrsg) ; Jungbluth, N. (Hrsg.): *Overview and Methodology. Data v.1.1 (2004). ecoinvent report No. 1* / Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, 2004. – Forschungsbericht

[12] Gartner, M.: *Analyse von Lastganglinien mittels Extremwert- und verallgemeinerter Pareto-Modelle*. Graz, Technische Universität Graz, Diplomarbeit, 1999

[13] Gautsch, S.: *Transportrucksäcke von Bauprodukten*. Graz, Technische Universität Graz, Diplomarbeit, 2007

[14] Geiger, B. ; Fleissner, Th.: Stoffliche und energetische Lebenszyklusanalysen von Wohngebäude. In: *Ganzheitliche Bilanzierung von Energiesystemen*. Düsseldorf : Verein Deutscher Ingenieure, 1997 (VDI-Berichte), S. 211–226

[15] Graubner, C.-A. ; Hüske, K.: *Nachhaltigkeit im Bauwesen, Grundlagen - Instrumente - Beispiele*. Berlin : Ernst & Sohn, 2003

[16] Guinèe et al.: *Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Final report* / Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) ; Centre of Environmental Science (CML). Leiden, 2001. – Forschungsbericht

[17] Hauptverband der allgemein beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs - Landesverband Steiermark und Kärnten: *Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile*. Graz : Eigenverlag, 2006

[18] Heijungs et al.: *Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide.* / Centre of Environmental Science (CML). Leiden, 1992. – Forschungsbericht

[19] Hengl, A.: *Ökobilanz eines Passivhauses in Holzbauweise*, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Diplomarbeit, 2005

[20] Herneth, Michael: *Lebensdauer von Baustoffen und Bauteilen im Hochbau*. Graz, Technische Universität Graz, Diplomarbeit, 2005

[21] Hollinger, M. ; Pulver, R. ; Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen (Hrsg.): *Ökobilanzen im Bauwesen* / AARPROJECT AG. Bern, 1994. – Forschungsbericht

[22] Kauch, P. ; Renner, H. ; Schlachter, H.: *Siedlungswasserbau 1 - Waserversorgung*. Wien : Manz Verlag Schulbuch, 1998

[23] Kümmel, J.: Ökobilanzen im Bauwesen - die Bedeutung der funktionellen Einheit. In: *Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen. Festschrift zum 60. Geburtstag von H.-W. Reinhardt.* Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, 1999, S. 192–203

[24] Kohler, N.: *Stand der Ökobilanzierung von Gebäuden und Gebäudebeständen* / Universität Karlsruhe, Institut für Industrielle Bauproduktion. Karlsruhe, 1998. – Forschungsbericht

[25] Kohler, N. ; Hassler, U. ; Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt des 13. Deutschen Bundestages (Hrsg.): *Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen*. Berlin : Springer-Verlag, 1999

[26] Lützkendorf, T.: Methodische, berechnungs- und datentechnische Grundlagen für die Ermittlung des Energie- und Stoffstroms während der Lebensdauer von Bauwerken bie der Erstellung von Sachbilanzen während der Planung. In: Bauhaus-Universität Weimar, Architektur Fakultät (Hrsg.): *Beiträge zur Umsetzung von Prinzipien einer Nachhaltigen Entwicklung im Baubereich*. Weimar, 2000, S. 19–26. – Habilitationsschrift

[27] Magistrat der Stadt Wien ; Mischek Bau AG ; Oekotechna Ges.m.b.H. ; Wiener Bodenbereitstellungs- und Stadterneuerungsfonds: *RUMBA - Richtlinien Umweltfreundliche Baustellenabwicklung*. URL http://www.rumba-info.at/index.htm. - Stand: 2007-10-30, 2004

[28] Maydl, P.: *Ökologie für Bauingenieure*. Graz : Eigenverlag, 2007. – Vorlesungsskriptum

[29] Maydl, P. et al.: *Vorstudie Nachhaltiger Massivbau* / Technische Universität Graz, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie. Graz, 2005. – Forschungsbericht

[30] Meadows, D.: *Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1972. – [Aus d. Amerikan. von Heck, H.D.]

[31] NORM DIN 51031 : 2003: *Grundlagen der Instandhaltung*.

[32] NORM EN prCEN/TS 15643 Teil 1 : 2007: *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Rahmenbedingungen für die Beschreibung der integralen Qualität von Gebäuden - Teil 1: Analyse der Umweltqualität, der Gesundheitsverträglichkeit, des Behaglichkeitsniveaus sowie der auf einer Betrachtung von Lebenszykluskosten basierenden Wirtschaftlichkeit*.

[33] NORM ÖNORM B 1801 Teil 1 : 1995: *Kosten im Hoch- und Tiefbau - Teil 1: Kostengliederung*.

[34] NORM ÖNORM B 1801 Teil 2 : 1997: *Kosten im Hoch- und Tiefbau - Teil 2: Objektdaten - Objektnutzung*.

[35] NORM ÖNORM B 2538 : 2002: *Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805*.

[36] NORM ÖNORM B 8110 Teil 1 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*.

[37] NORM ÖNORM B 8110 Teil 3 : 1999: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*.

[38] NORM ÖNORM B 8110 Teil 5 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*.

[39] NORM ÖNORM B 8110 Teil 6 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*.

[40] NORM ÖNORM EN 805 : 2002: *Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden*.

[41] NORM ÖNORM EN ISO 14040 : 2006: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Grundsätze und Rahmenbedingungen*.

[42] NORM ÖNORM EN ISO 14041 : 1999: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz*. – zurückgezogen

[43] NORM ÖNORM EN ISO 14042 : 2000: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Wirkungsabschätzung*. – zurückgezogen

[44] NORM ÖNORM EN ISO 14043 : 2000: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Auswertung.* – zurückgezogen

[45] NORM ÖNORM EN ISO 14044 : 2006: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Anforderungen und Anleitungen.*

[46] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): *Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz und zum OIB-Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden.* April 2007

[47] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden.* April 2007

[48] Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): *OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz.* April 2007

[49] Oswald, G.: *Ökologische Bewertung im Holzwohnbau.* Graz, Technische Universität Graz, Diss., 2003

[50] Pohlmann, M. C.: *Ökologische Betrachtung für den Hausbau, ganzheitliche Energie und Kohlendioxidbilanzen für zwei verschiedene Holzhauskonstruktionen.* Hamburg, Universität Hamburg, Diss., 2002

[51] Potyka, H. ; Zabrana, R.: *Pflegefall Althaus - Reperaturzyklen von Wohnhäusern.* Wien : Picus Verlag, 1985

[52] Renner, H. et al.: *Siedlungswasserbau 2 - Abwasser- und Abfalltechnik.* Wien : Manz Verlag Schulbuch, 1998

[53] Republik Österreich: *137. Bundesgesetz: Energieausweisvorlage-Gesetz (idF v. 3.8.2006).*

[54] Republik Österreich: *19. Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über gemeinsame Qualitätsstandards für die Förderung der Errichtung und Sanierung von Wohngebäuden zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen (idF v. 20.1.2006).*

[55] Rosinak, W. ; Sedlak, W. ; Wagner, E.: *Umweltschonende Bauabwicklung* / Ingenieurbüro Rosinak u. Sedlak GmbH. Wien, 1994. – Forschungsbericht

[56] Schleicher, S. et al.: *Innovation & Klima. Innovative Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft.* / Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung. Wien, 2007. – Forschungsbericht

[57] SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein): *Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. Dokumentation D 0152* / SIA. 1998. – Forschungsbericht

[58] *Kapitel* Energie. In: Statistik Austria (Hrsg.): *Statistisches Jahrbuch Österreichs 2007.* Wien : Verlag Österreich, 2007, S. 348–367

[59] *Kapitel* Verkehr; Straßenverkehrssicherheit; Nachrichtenübermittlung. In: Statistik Austria (Hrsg.): *Statistisches Jahrbuch Österreichs 2007.* Wien : Verlag Österreich, 2007, S. 415–432

[60] Steininger, K. ; Gobiet, W.: *Technologien und Wirungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich* / Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel. Graz, 2005. – Forschungsbericht

[61] Streicher, W. ; Peter, M.: *Material Demand and Accumulated Energy Expense of Solar Combisystems. A Report of IEA SHC - Task 26: Solar Combisystems* / Graz University of Technology, Institute of Thermal Engineering ; University of Oslo, Department of Physics. Graz, 2003. – Forschungsbericht

[62] Sundmacher, T.: *Das Umweltinformationsinstrument Ökobilanz (LCA)*. Frankfurt am Main : Lang, 2002

[63] Tatzl, J.: *Die ökologische Wohnbauförderung. Richtlinien* Graz: Das Land Steiermark, Abteilung 15 - Wohnbauförderung, 2006

[64] United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR) (Hrsg.): *Die Allgemeine Erklärung der Menschenrechte (Resolution 217 A (III) vom 10.12.1948)*. URL http://www.unhchr.ch/udhr/lang/ger.htm. - Stand: 2007-10-30, 1948

[65] VORNORM ÖNORM H 5056 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*.

[66] VORNORM ÖNORM H 5057 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*.

[67] VORNORM ÖNORM H 5058 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf*.

[68] VORNORM ÖNORM H 5059 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf*.

[69] Weltkommission für Umwelt und Entwicklung ; Hauf, V. (Hrsg.): *Unsere gemeinsame Zukunft*. Greven : Eggenkamp, 1987. – Ungekürzte Ausgabe

Teil III

Anhang

Anhang A

Energieausweise

Auf den folgenden Seiten sind die Ergebnisse der Energieausweis-Berechnungen der vier Wohnhausanlagen in Form der beiden Energieausweis-Formulare (Heizwärmebedarf am Referenzstandort sowie Zusammenstellung des Endenergiebedarfs) abgebildet.

Energieausweis für Wohngebäude

GIB

GEBÄUDE

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus
Gebäudezone	
Straße	WHA Wörschach
PLZ/Ort	8942 Wörschach
Eigentümer	GWS
Erbaut	in Errichtung
Katastralgemeinde	Wörschach
KG-Nummer	67318
Einlagezahl	
Grundstücksnummer	

HEIZWÄRMEBEDARF BEI 3400 HEIZGRADTAGEN (REFERENZKLIMA)

A ++ | A + | A | B | C | D | E | F | G

HWB-ref = 40,02 kWh/m²a

ERSTELLT

Ersteller	Markus Michlmair	Ausstellungsdatum	16.11.2007
Organisation	TU Graz	Gültigkeitsdatum	16.11.2017
Geschäftszahl		Unterschrift	

Energieausweis für Wohngebäude

GIB

GEBÄUDEDATEN

Bruttogeschossfläche	969,58 m²
beheiztes Bruttovolumen	3054,2 m³
charakteristische Länge (lc)	1,82 m
Kompaktheit (A/V)	0,55 1/m
mittlerer U-Wert (Um)	0,33 W/m²K
LEK-Wert	26,1

KLIMADATEN

Klimaregion	ZA
Seehöhe	650 m
Heizgradtage	4221 Kd
Heiztage	225 d
Norm-Außentemperatur	-16 °C
mittlere Innentemperatur	20 °C

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF

	Referenzklima zonenbezogen	Referenzklima spezifisch	Standortklima zonenbezogen	Standortklima spezifisch	Anforderungen
HWB	38,8 MWh/a	40,0 kWh/m²a	47,6 MWh/a	49,0 kWh/m²a	54,61 kWh/m²a erfüllt
WWWB	12,4 MWh/a	12,8 kWh/m²a	12,4 MWh/a	12,8 kWh/m²a	
HTEB-RH			9,3 MWh/a	9,6 kWh/m²a	
HTEB-WW			-3395,6 kWh/a	-3,5 kWh/m²a	
HTEB			5,9 MWh/a	6,1 kWh/m²a	
HEB-WG			65,8 MWh/a	67,9 kWh/m²a	
EEB			65,8 MWh/a	67,9 kWh/m²a	
PEB					
CO_2					

ENERGIETACHOMETER

Heiztechnikenergiebedarf — Endenergiebedarf

0 | 100 | 200 | 300 | 400

6,1 | 67,9

ERLÄUTERUNGEN

Heiztechnikenergiebedarf (HTEB): Energiemenge die bei der Wärmeerzeugung und -verteilung verloren geht.

Endenergiebedarf (hEB = EEB): Energiemenge die dem Energiesystem des Gebäudes für Heizung und Warmwasserversorgung inklusive notwendiger Energiemengen für die Hilfsbetriebe bei einer typischen Standardnutzung zugeführt werden muss.

Heizwärmebedarf (HWB): Vom Heizsystem in die Räume abgegebenen Wärmemenge die benötigt wird, um während der Heizsaison bei einer standardisierten Nutzung eine Temperatur von 20°C zu halten.

Abbildung A.1: WHA Wörschach: Energieausweis für Wohngebäude

Energieausweis für Wohngebäude

gemäß ÖNORM H 5055 und Richtlinie 2002/91/EG — OIB

GEBÄUDE

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus	Erbaut	2007
Gebäudezone		Katastralgemeinde	Pinggau
Straße	WHA Pinggau	KG-Nummer	64013
PLZ/Ort	8243 Pinggau	Einlagezahl	
Eigentümer	ÖWG	Grundstücksnummer	

GEBÄUDEDATEN

Bruttogeschossfläche	1149,00 m²
beheiztes Bruttovolumen	3309,0 m³
charakteristische Länge (lc)	1,81 m
Kompaktheit (A/V)	0,55 1/m
mittlerer U-Wert (U/m)	0,38 W/m²K
LEK-Wert	30,3

KLIMADATEN

Klimaregion	N/SO
Seehöhe	529 m
Heizgradtage	3697 Kd
Heiztage	196 d
Norm-Außentemperatur	-14 °C
mittlere Innentemperatur	20 °C

HEIZWÄRMEBEDARF BEI 3400 HEIZGRADTAGEN (REFERENZKLIMA)

A++ A+ A B C D E F G

HWB-ref = 37,72 kWh/m²a

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF

	Referenzklima zonenbezogen	spezifisch	Standortklima zonenbezogen	spezifisch	Anforderungen	
HWB	43,3 MWh/a	37,7 kWh/m²a	47,4 MWh/a	41,3 kWh/m²a	54,66 kWh/m²a	erfüllt
WWWB	14,7 MWh/a	12,8 kWh/m²a	14,7 MWh/a	12,8 kWh/m²a		
HTEB-RH			2,7 MWh/a	2,3 kWh/m²a		
HTEB-WW			-5194,7 kWh/a	-4,5 kWh/m²a		
HTEB			-2535,3 kWh/a	-2,2 kWh/m²a		
HEB-WG			59,5 MWh/a	51,8 kWh/m²a		
EEB			59,5 MWh/a	51,8 kWh/m²a		
PEB						
CO_2						

ENERGIETACHOMETER

Heiztechnikenergiebedarf: 0 100 200 300 400 -2,2

Endenergiebedarf: 0 100 200 300 400 51,8

ERSTELLT

Ersteller	Markus Michlmair	Ausstellungsdatum	16.11.2007
Organisation	TU Graz	Gültigkeitsdatum	16.11.2017
Geschäftszahl		Unterschrift	

ERLÄUTERUNGEN

Heiztechnikenergiebedarf (HTEB): Energiemenge die bei der Wärmeerzeugung und -verteilung verloren geht.

Endenergiebedarf (HEB = EEB): Energiemenge die dem Energiesystem des Gebäudes für Heizung und Warmwasserversorgung inklusive notwendiger Energieenergien für die Hilfsbetriebe bei einer typischen Standardnutzung zugeführt werden muss.

Heizwärmebedarf (HWB): Vom Heizsystem in die Räume abgegebenen Wärmemenge die benötigt wird, um während der Heizsaison bei einer standardisierten Nutzung eine Temperatur von 20°C zu halten.

Abbildung A.2: WHA Pinggau: Energieausweis für Wohngebäude

Energieausweis für Wohngebäude

GIB

GEBÄUDE

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus	Erbaut	2006
Gebäudezone		Katastralgemeinde	Nestelbach
Straße	WHA Nestelbach	KG-Nummer	66026
PLZ/Ort	8302 Nestelbach bei Graz	Einlagezahl	
Eigentümer	ÖWG	Grundstücksnummer	

GEBÄUDEDATEN

Bruttogeschossfläche	1381,00 m²
beheiztes Bruttovolumen	3962,0 m³
charakteristische Länge (lc)	1,82 m
Kompaktheit (A/V)	0,55 1/m
mittlerer U-Wert (Um)	0,33 W/m²K
LEK-Wert	25,9

KLIMADATEN

Klimaregion	SüSO
Seehöhe	460 m
Heizgradtage	3684 Kd
Heiztage	191 d
Norm-Außentemperatur	-13 °C
mittlere Innentemperatur	20 °C

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF

	Referenzklima zonenbezogen	Referenzklima spezifisch	Standortklima zonenbezogen	Standortklima spezifisch	Anforderungen	
HWB	46,1 MWh/a	33,4 kWh/m²a	50,3 MWh/a	36,4 kWh/m²a	54,56 kWh/m²a	erfüllt
WWWB	17,6 MWh/a	12,8 kWh/m²a	17,6 MWh/a	12,8 kWh/m²a		
HTEB-RH			15,5 MWh/a	11,2 kWh/m²a		
HTEB-WW			11,4 MWh/a	8,3 kWh/m²a		
HTEB			26,9 MWh/a	19,5 kWh/m²a		
HEB-WG			94,9 MWh/a	68,7 kWh/m²a		
EEB			94,9 MWh/a	68,7 kWh/m²a		
PEB						
CO_2						

ENERGIETACHOMETER

Heiztechnikenergiebedarf

Endenergiebedarf

ERLÄUTERUNGEN

Heiztechnikenergiebedarf (HTEB): Energiemenge die bei der Wärmeerzeugung und -verteilung verloren geht.

Endenergiebedarf (HEB = EEB): Energiemenge die dem Energiesystem des Gebäudes für Heizung und Warmwasserversorgung inklusive notwendiger Energiemengen für die Hilfsbetriebe bei einer typischen Standardnutzung zugeführt werden muss.

Heizwärmebedarf (HWB): Vom Heizsystem in die Räume abgegebenen Wärmemenge die benötigt wird, um während der Heizsaison bei einer standardisierten Nutzung eine Temperatur von 20°C zu halten.

HEIZWÄRMEBEDARF BEI 3400 HEIZGRADTAGEN (REFERENZKLIMA)

ERSTELLT

Ersteller	Markus Michlmair	Ausstellungsdatum	16.11.2007
Organisation	TU Graz	Gültigkeitsdatum	16.11.2017
Geschäftszahl		Unterschrift	

Abbildung A.3: WHA Nestelbach: Energieausweis für Wohngebäude

Energieausweis für Wohngebäude

gemäß ÖNORM H 5055 und Richtlinie 2002/91/EG — GIB

GEBÄUDE

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus	Erbaut	2001
Gebäudezone		Katastralgemeinde	Hart bei St. Peter
Straße	WHA Hart bei Graz	KG-Nummer	63227
PLZ/Ort	8302 Nestelbach bei Graz	Einlagezahl	62
Eigentümer	GWS	Grundstücksnummer	841

GEBÄUDEDATEN

Bruttogeschossfläche	1381,00 m²
beheiztes Bruttovolumen	3962,0 m³
charakteristische Länge (lc)	1,34 m
Kompaktheit (A/V)	0,75 1/m
mittlerer U-Wert (U/m)	0,35 W/m²K
LEK-Wert	31,3

KLIMADATEN

Klimaregion	SÜSO
Seehöhe	460 m
Heizgradtage	3684 Kd
Heiztage	228 d
Norm-Außentemperatur	-13 °C
mittlere Innentemperatur	20 °C

HEIZWÄRMEBEDARF BEI 3400 HEIZGRADTAGEN (REFERENZKLIMA)

A++ A+ A B C D E F G

HWB-ref = 56,25 kWh/m²a

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF

	Referenzklima zonenbezogen	Referenzklima spezifisch	Standortklima zonenbezogen	Standortklima spezifisch	Anforderungen	
HWB	77,7 MWh/a	56,2 kWh/m²a	86,5 MWh/a	62,7 kWh/m²a	64,93 kWh/m²a	erfüllt
WWWB	17,6 MWh/a	12,8 kWh/m²a	17,6 MWh/a	12,8 kWh/m²a		
HTEB-RH			36,8 MWh/a	26,7 kWh/m²a		
HTEB-WW			19,3 MWh/a	14,0 kWh/m²a		
HTEB			56,2 MWh/a	40,7 kWh/m²a		
HEB-WG			160,3 MWh/a	116,1 kWh/m²a		
EEB			160,3 MWh/a	116,1 kWh/m²a		
PEB						
CO_2						

ENERGIETACHOMETER

Heiztechnikenergiebedarf

Endenergiebedarf

0 100 200 300 400 — 40,7 — 116,1

ERSTELLT

Ersteller	Markus Michlmair	Ausstellungsdatum	16.11.2007
Organisation	TU Graz	Gültigkeitsdatum	16.11.2017
Geschäftszahl		Unterschrift	

ERLÄUTERUNGEN

Heiztechnikenergiebedarf (HTEB): Energiemenge die bei der Wärmeerzeugung und -verteilung verloren geht.
Endenergiebedarf (HEB = EEB): Energiemenge die dem Energiesystem des Gebäudes für Heizung und Warmwasserversorgung inklusive notwendiger Energieenergien für die Hilfsbetriebe bei einer typischen Standardnutzung zugeführt werden muss.
Heizwärmebedarf (HWB): Vom Heizsystem in die Räume abgegebenen Wärmemenge die benötigt wird, um während der Heizsaison bei einer standardisierten Nutzung eine Temperatur von 20°C zu halten.

Abbildung A.4: WHA Hart: Energieausweis für Wohngebäude

Anhang B

Ergänzende Ergebnisdarstellungen

B.1 Ebene 2 – Leistungsbereich und Lebenswegphasen

B.1.1 Ebene 2b – Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung)

Ergänzend zu den in Kapitel 7.4.2 dargestellten Analysen auf Ebene der Leistungsbereiche erfolgt hier die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Lebenswegphasen. Dabei wird die Verteilung der Umweltwirkungen der Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung-Instandhaltung und Rückbau auf die einzelnen Leistungsbereiche dargestellt. Die Aufteilung der Umweltwirkungen der Nutzungsphase auf Bauleistungen (Instandhaltung) und Betrieb wird hier nicht mehr gezeigt, diese Darstellung ist in Abbildung 7.14 in Kapitel 7.4.2 (auf Seite 137) zu finden.

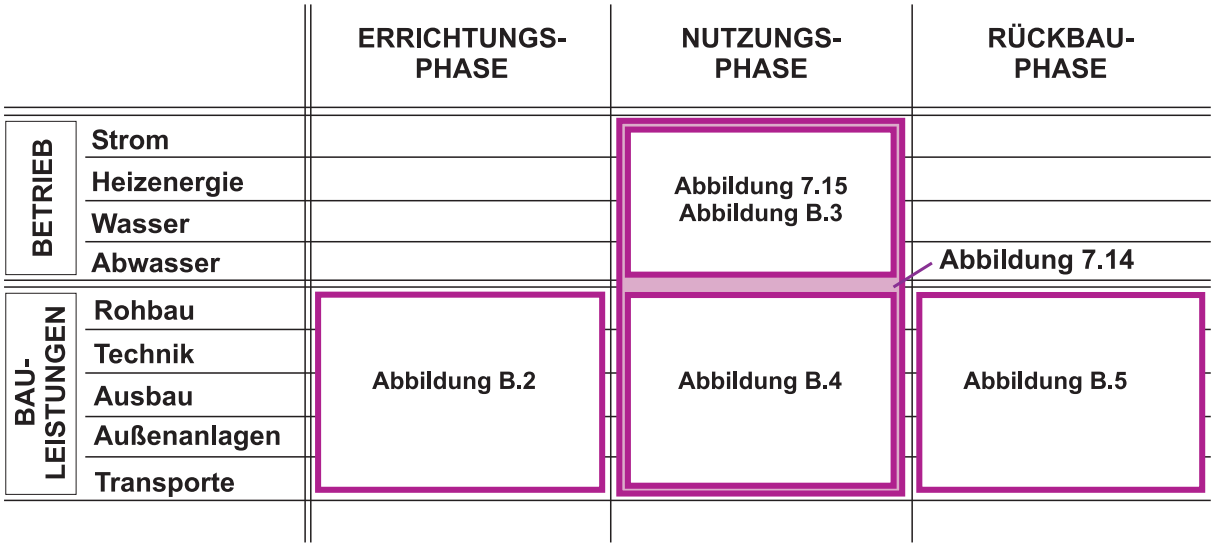

Abbildung B.1: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b (Wiederholung von Abbildung 7.13)

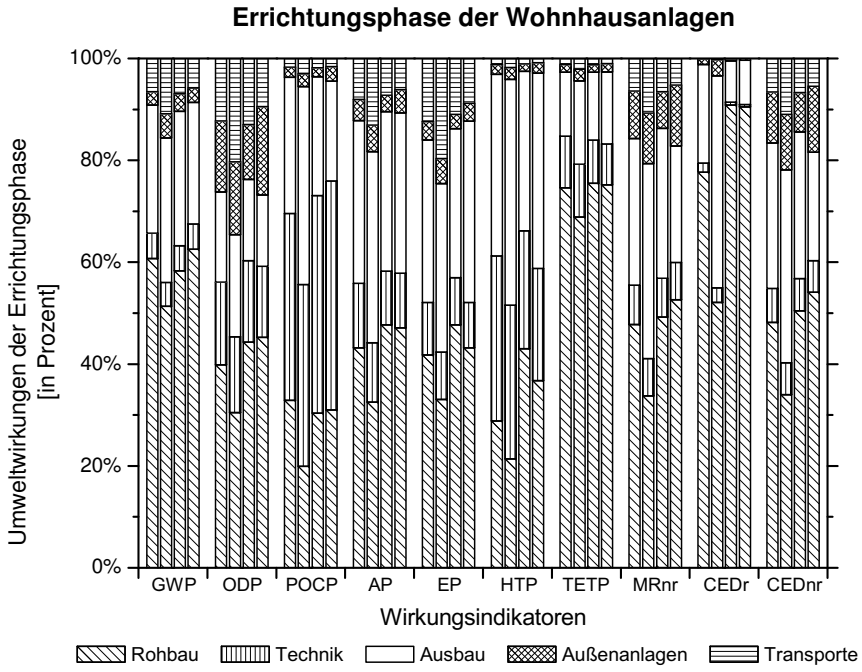

Abbildung B.2: Errichtungsphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche

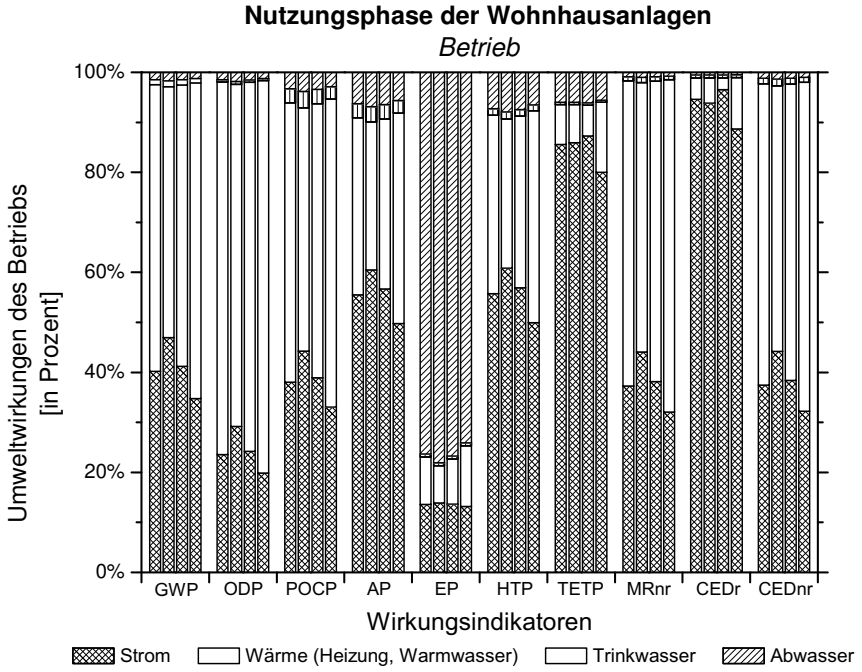

Abbildung B.3: Nutzungsphase-Betrieb der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche

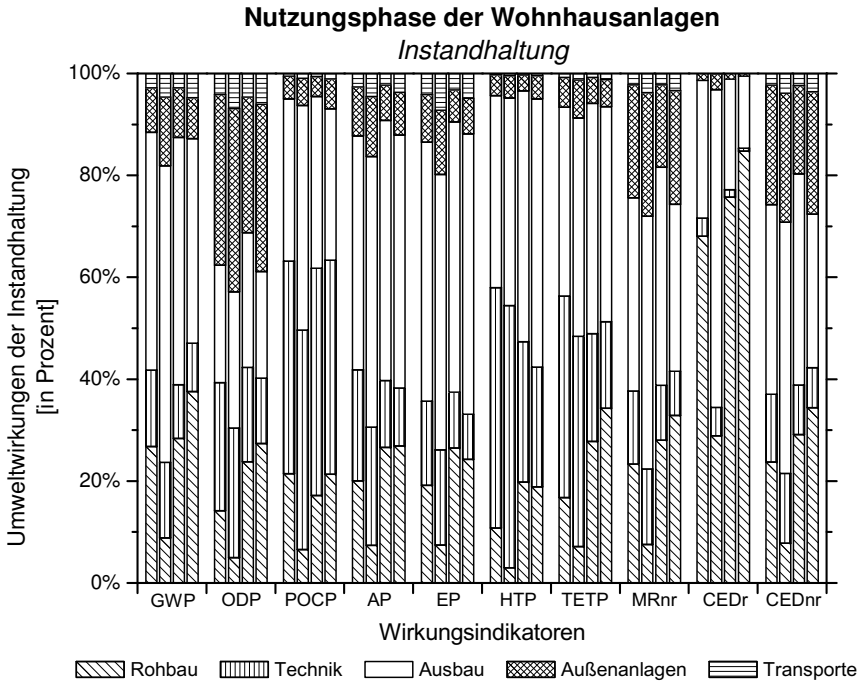

Abbildung B.4: Nutzungsphase-Instandhaltung der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche

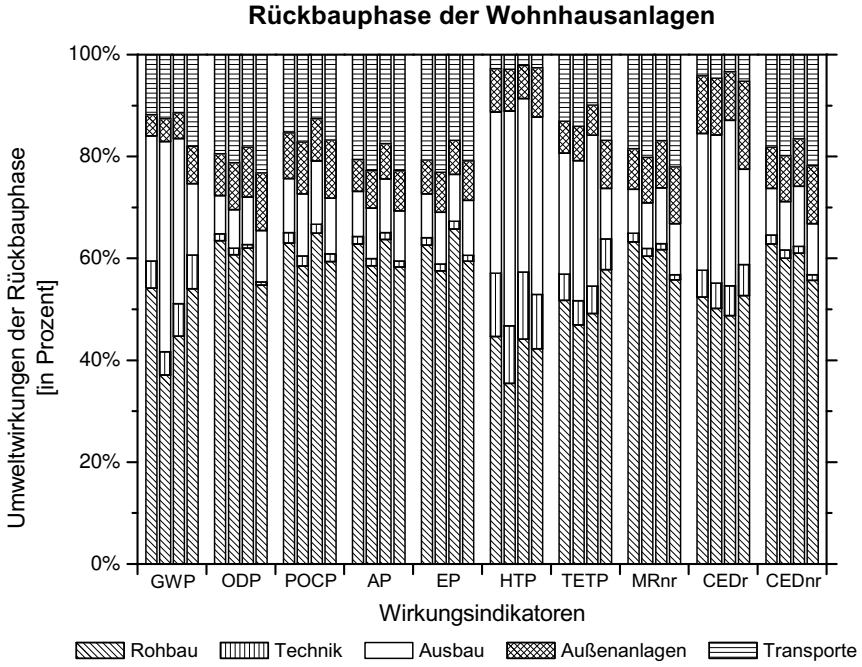

Abbildung B.5: Rückbauphase der Wohnhausanlagen – Umweltwirkungen der Leistungsbereiche

B.1.2 Ebene 2c – Lebenswegphasen der Leistungsbereiche

Nach der Analyse der Lebenswegphasen auf Ebene 2b erfolgt auf Ebene 2c die Darstellung der Verteilung der Umweltwirkungen der einzelnen Leistungsbereiche auf die Lebenswegphasen Errichtung, Nutzung-Instandhaltung und Rückbau. Die folgenden Abbildungen stellen eine Detaillierung der Ergebnisse der Ebene 2a dar, da diese Darstellungen jeweils die Umweltwirkungen eines Leistungsbereichs an den gesamten Bauleistungen am Lebensweg zeigen. An dieser Stelle dient als Bezugsgröße die Umweltwirkung des jeweiligen Leistungsbereichs am Lebensweg des Gebäudes.

		ERRICHTUNGS-PHASE	NUTZUNGS-PHASE	RÜCKBAU-PHASE
BETRIEB	Strom			
	Heizenergie			
	Wasser			
	Abwasser			
BAU-LEISTUNGEN	Rohbau	Abbildung B.7		
	Technik	Abbildung B.8		
	Ausbau	Abbildung B.9		
	Außenanlagen	Abbildung B.10		
	Transporte	Abbildung B.11		

Abbildung B.6: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2c

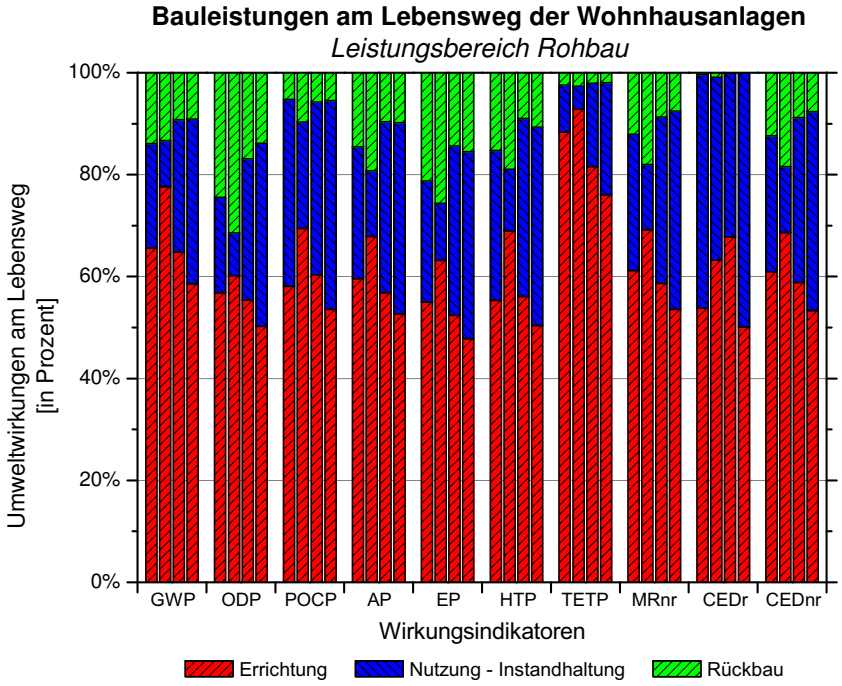

Abbildung B.7: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau

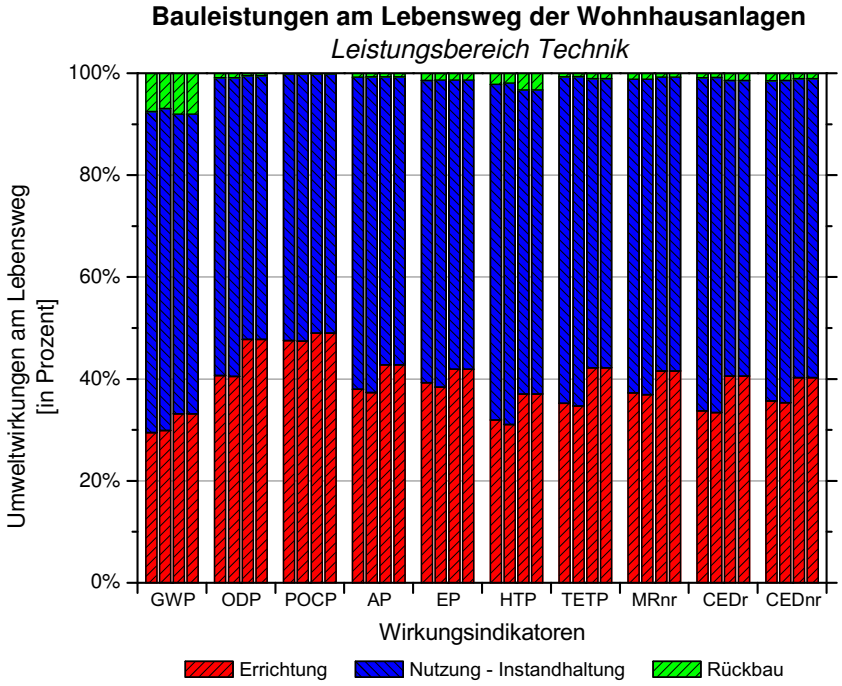

Abbildung B.8: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik

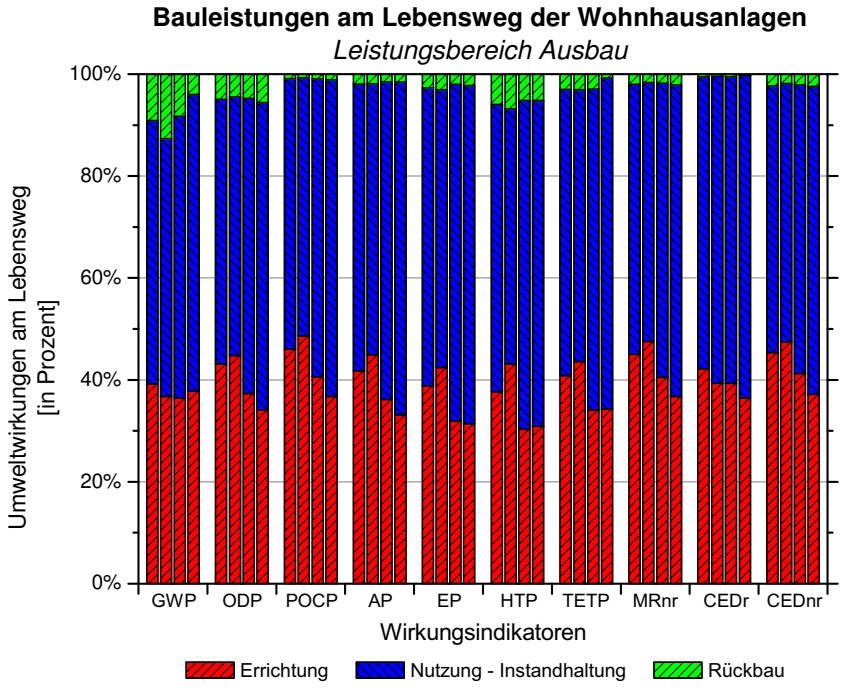

Abbildung B.9: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau

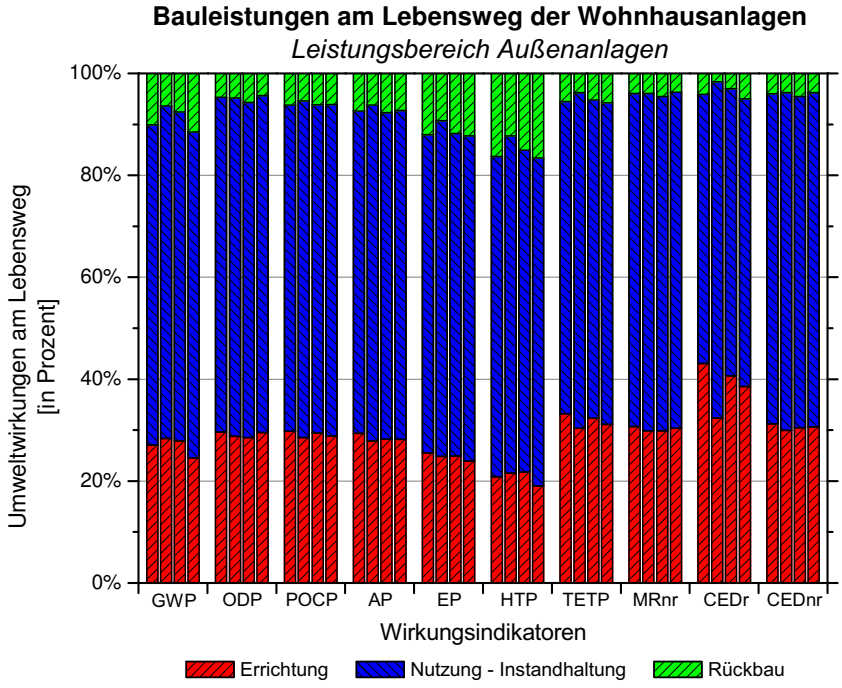

Abbildung B.10: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen

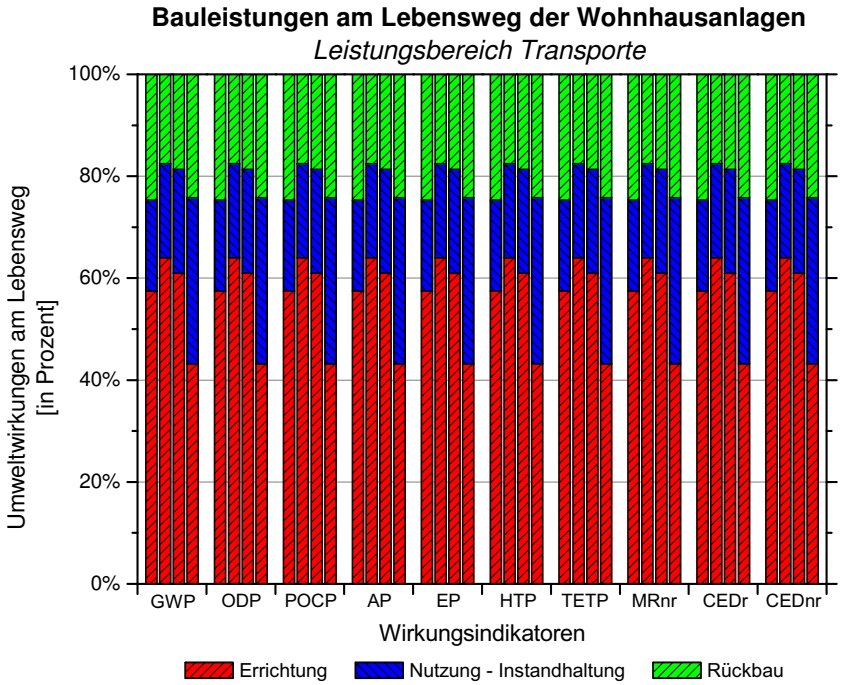

Abbildung B.11: Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte

B.2 Ebene 3 – Leistungsgruppen

Nachdem in Kapitel 7.4.3 die detaillierten Ergebnisse der einzelnen Leistungsgruppen in den Leistungsbereichen Bauwerk-Rohbau und Bauwerk-Ausbau der Wohnhausanlage Wörschach dargestellt wurden, werden in der Folge die Ergebnisse der Wohnhausanlagen Pinggau, Nestelbach und Hart gezeigt. Auch hier wird die Aufteilung der Umweltwirkungen der Leistungsbereiche Rohbau und Ausbau in den Lebenswegphasen Errichtung und Nutzung-Instandhaltung sowie am gesamten Lebensweg gezeigt.

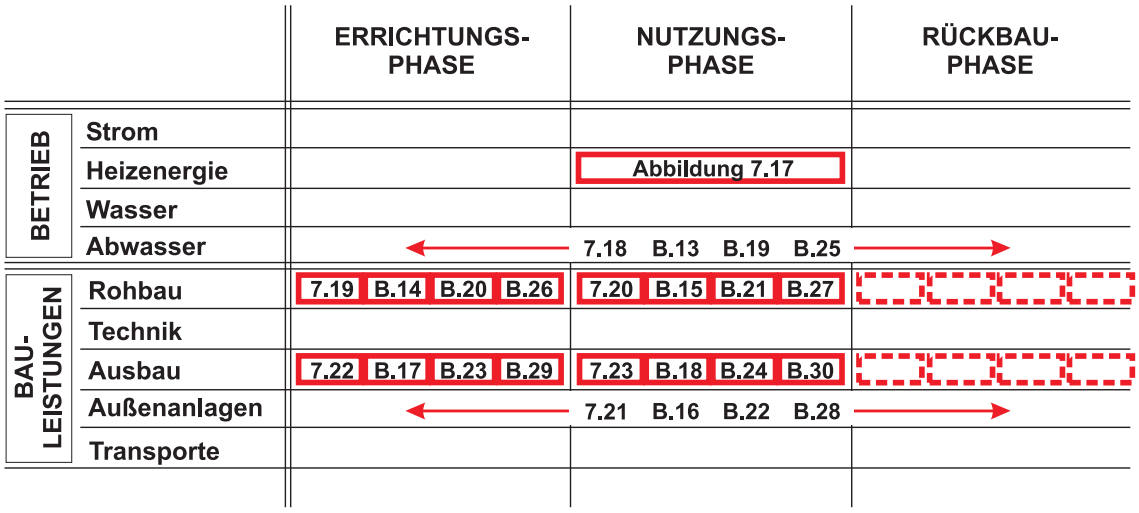

Abbildung B.12: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3 (Wiederholung von Abbildung 7.16)

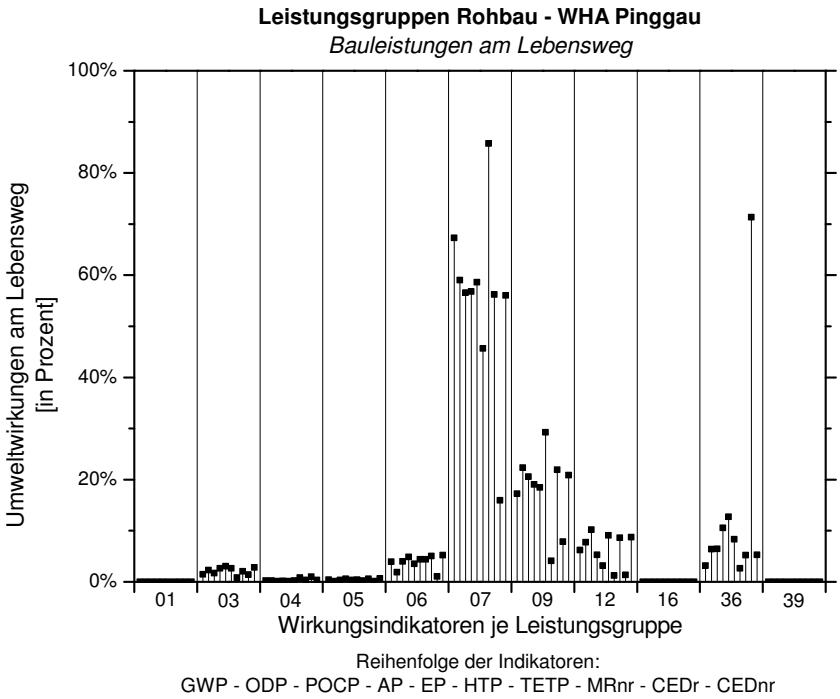

Abbildung B.13: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg

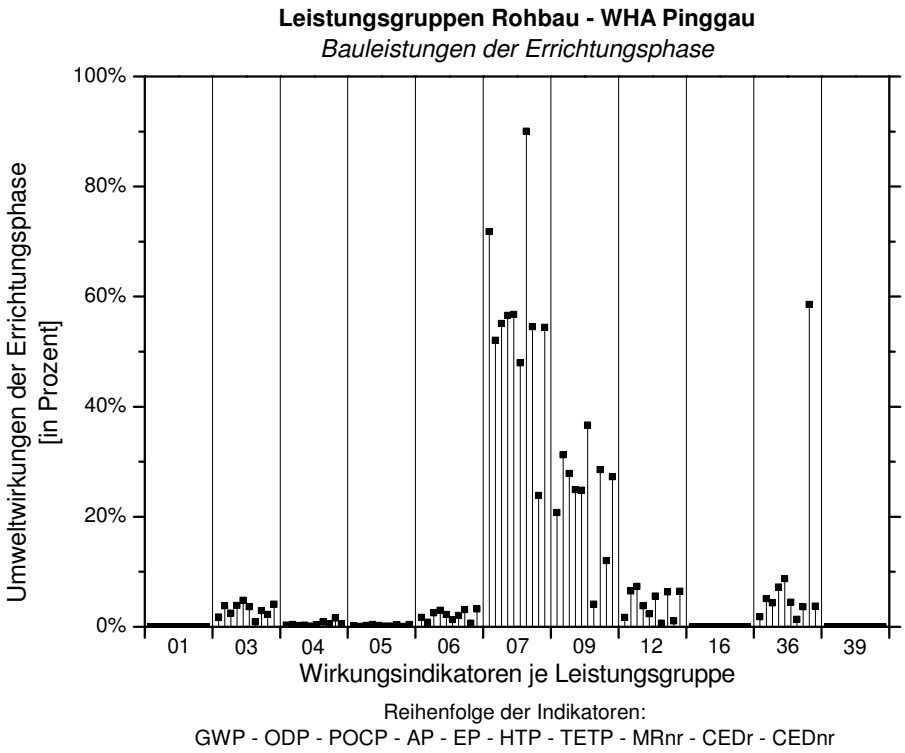

Abbildung B.14: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase

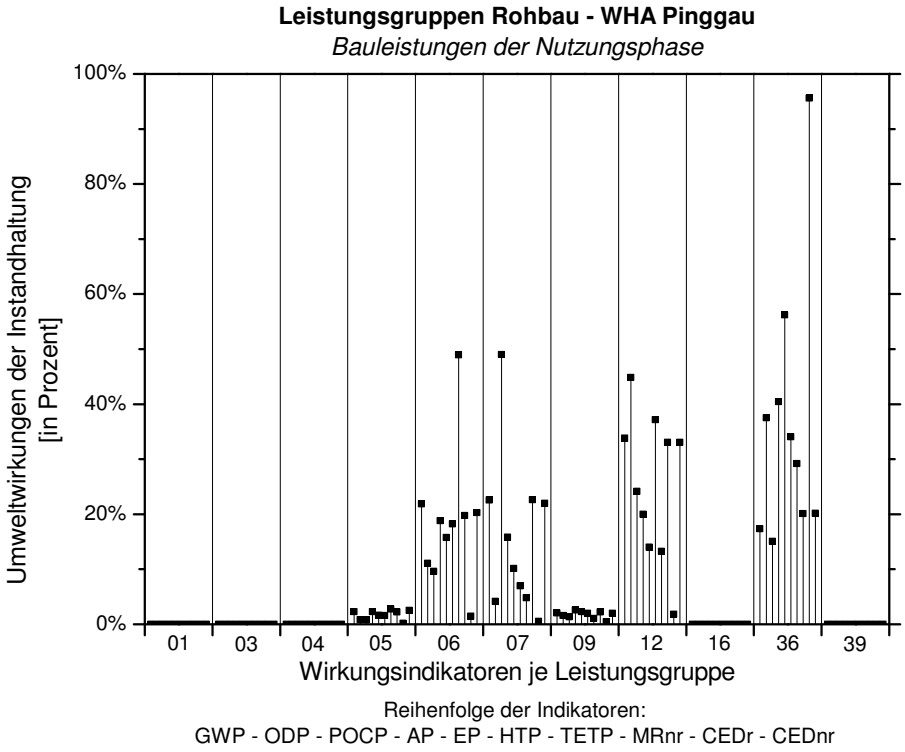

Abbildung B.15: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

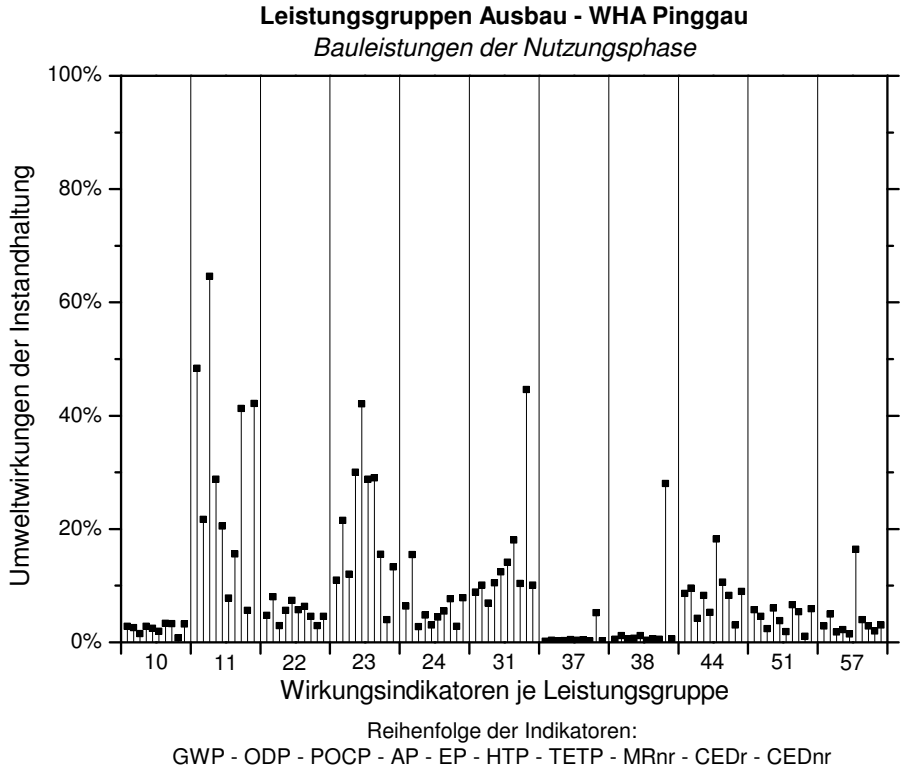

Abbildung B.16: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg

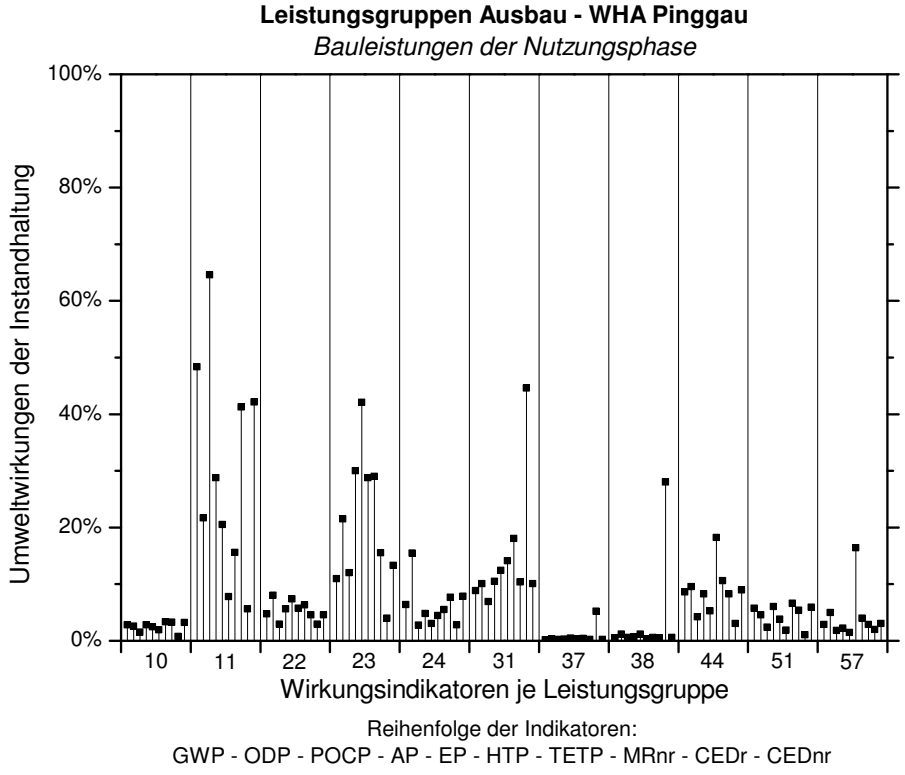

Abbildung B.17: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase

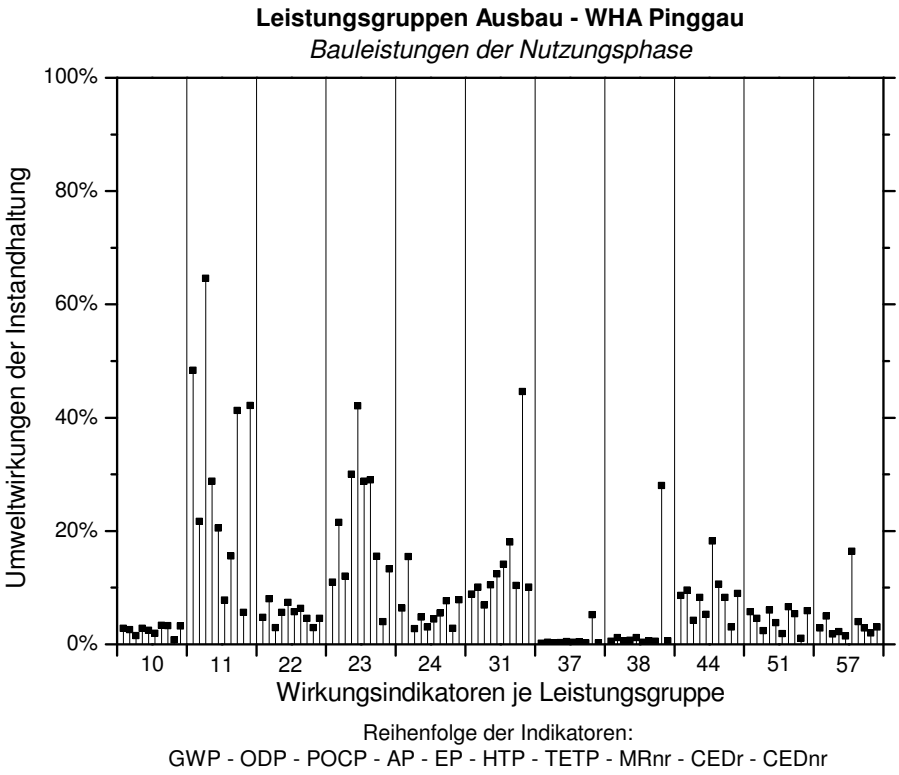

Abbildung B.18: WHA Pinggau: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

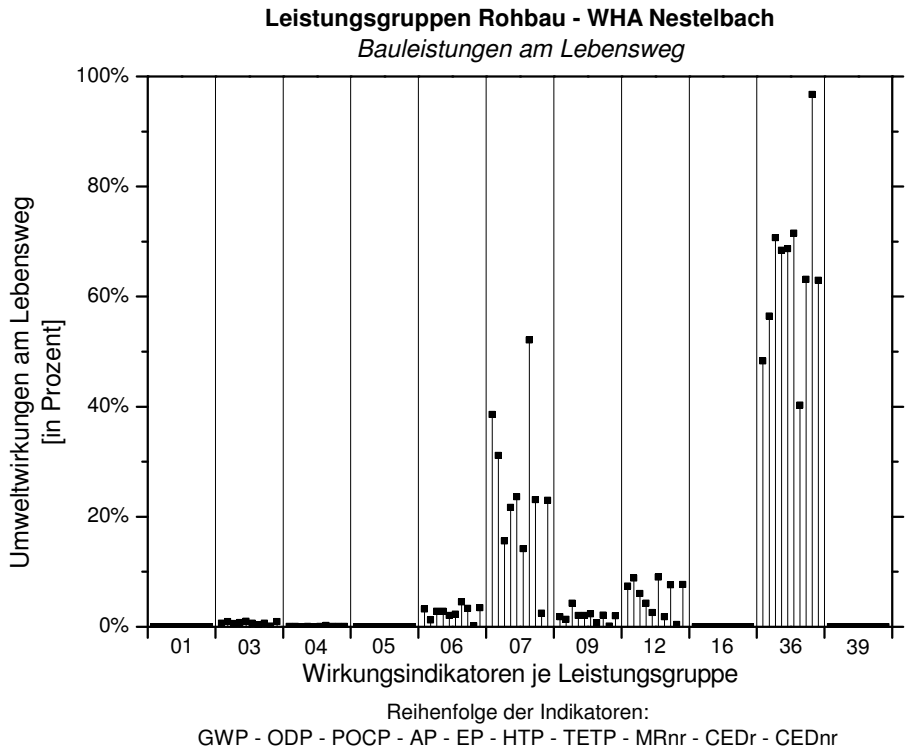

Abbildung B.19: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg

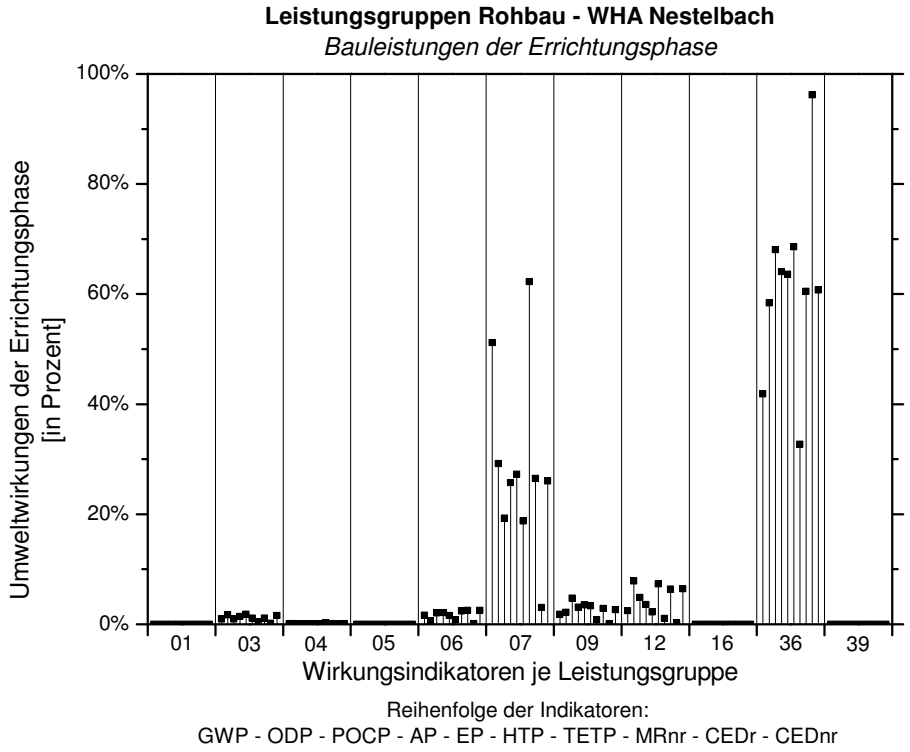

Abbildung B.20: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase

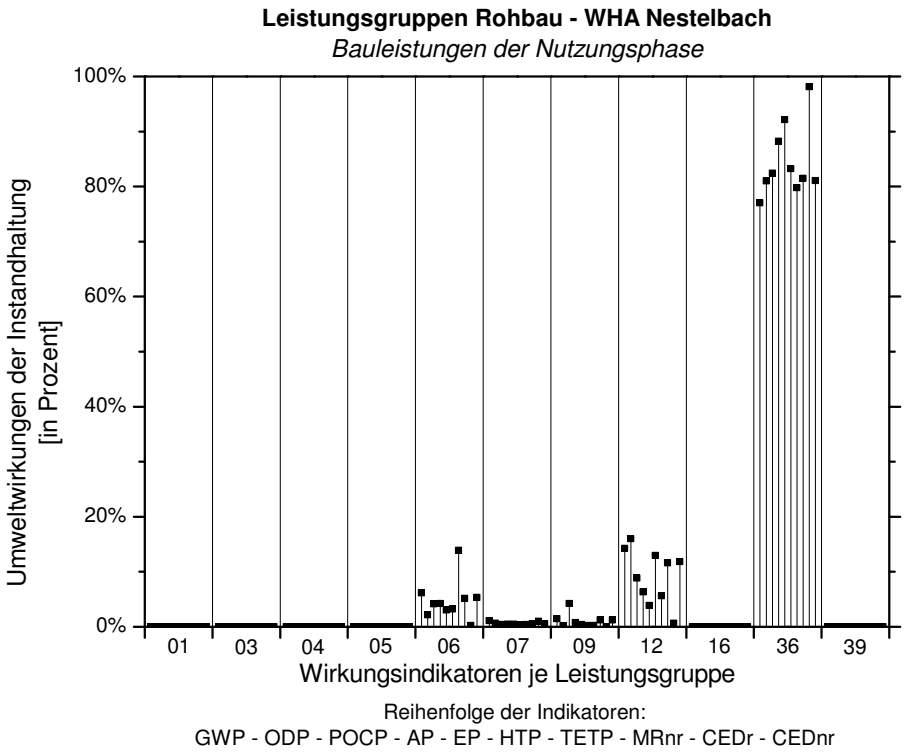

Abbildung B.21: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

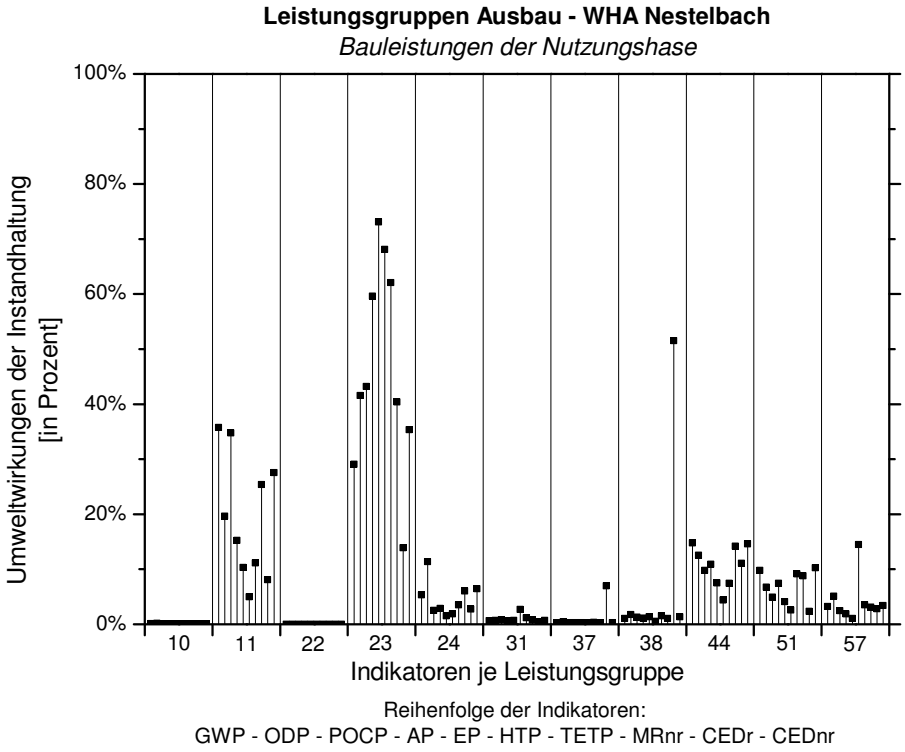

Abbildung B.22: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg

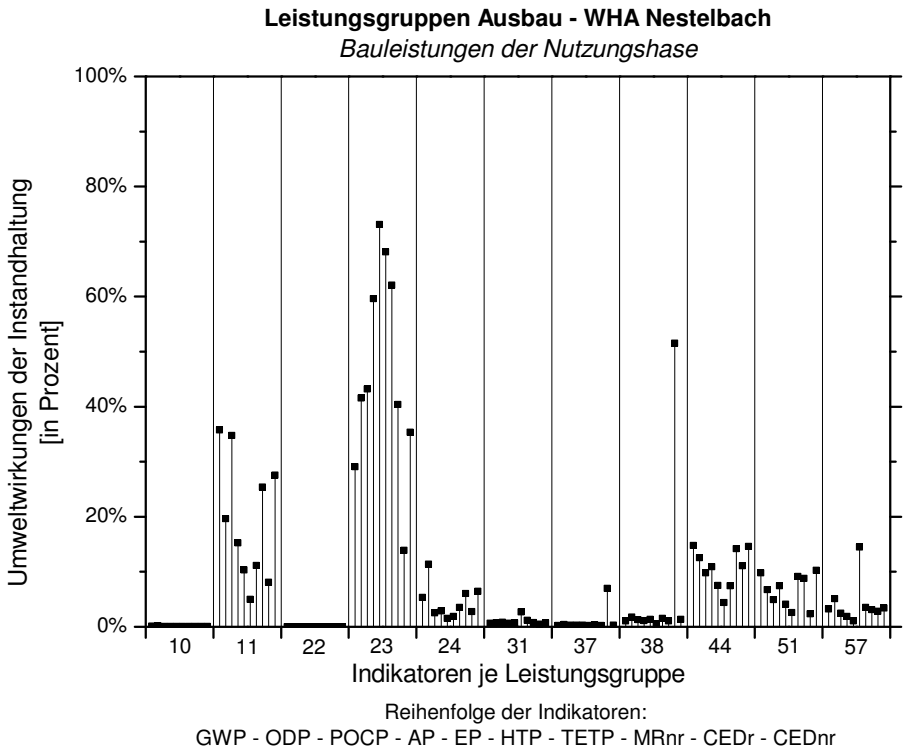

Abbildung B.23: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase

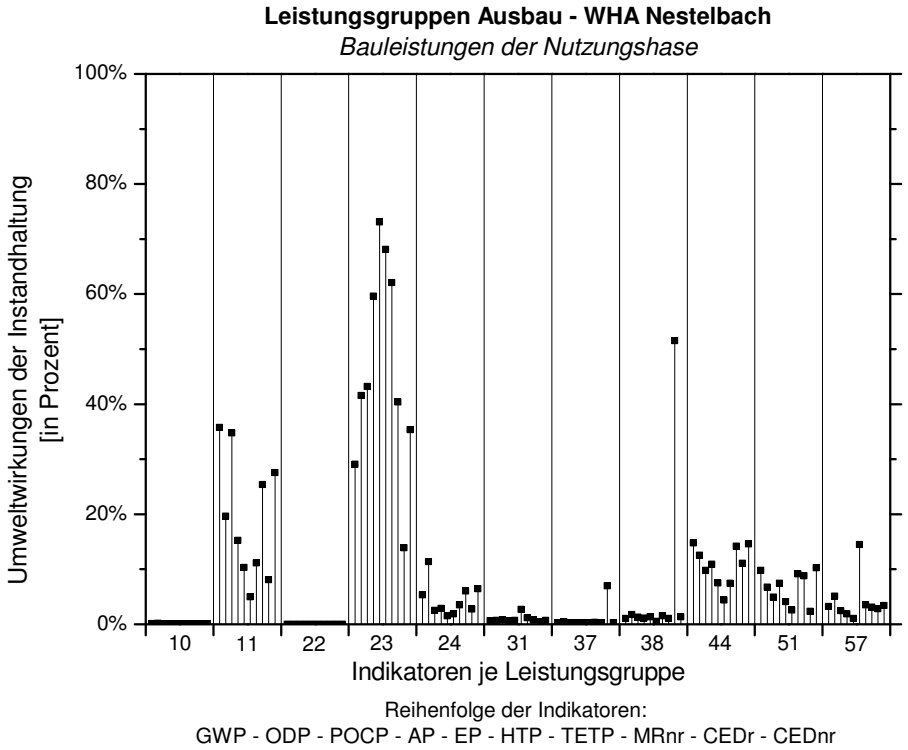

Abbildung B.24: WHA Nestelbach: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

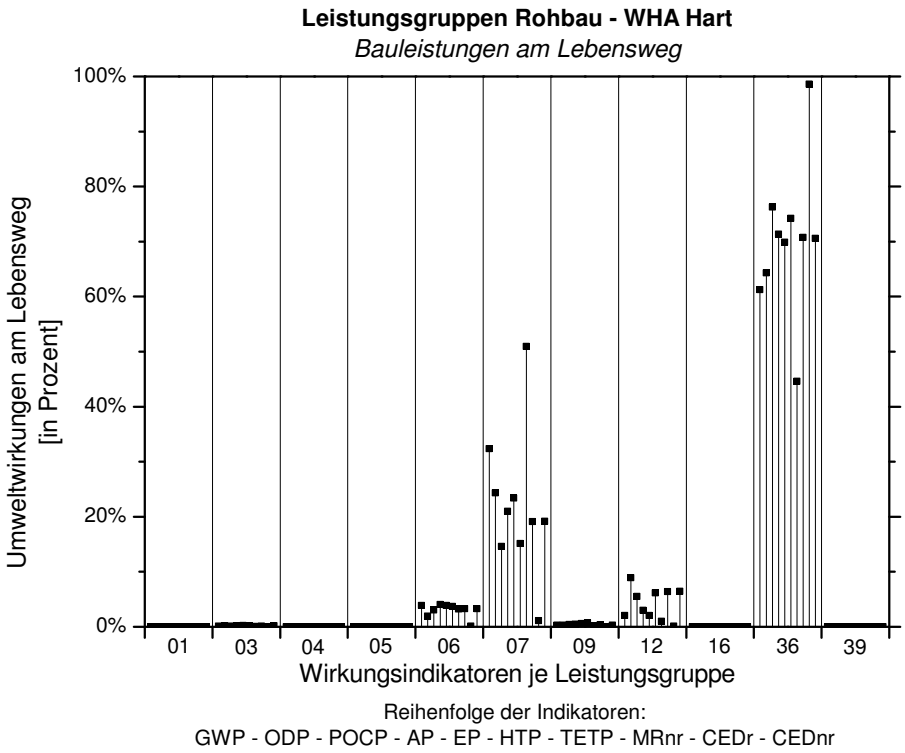

Abbildung B.25: WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Gesamter Lebensweg

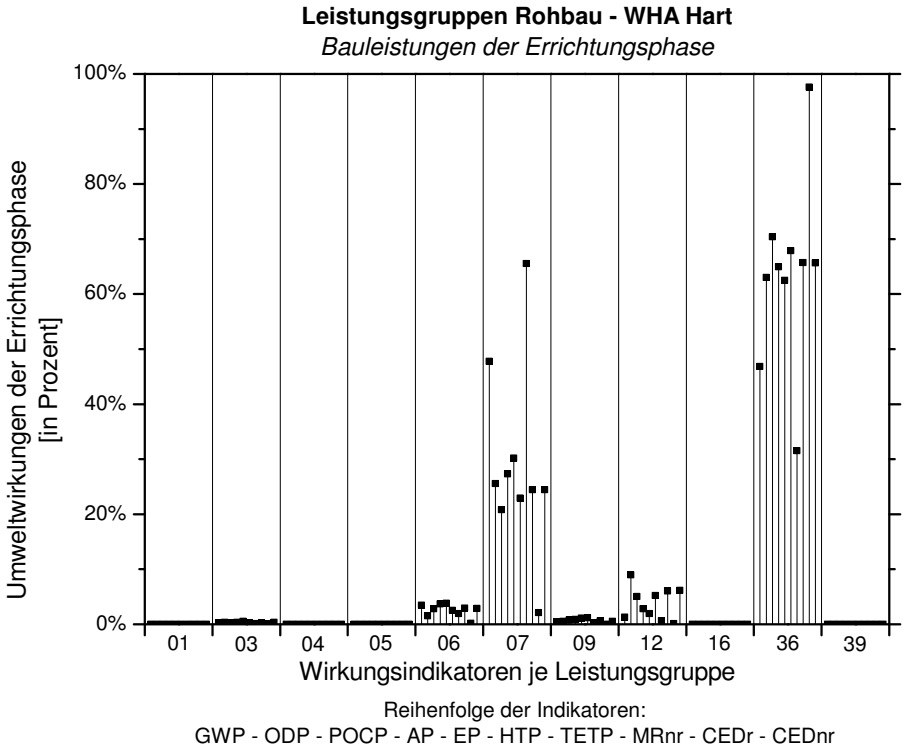

Abbildung B.26: WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Errichtungsphase

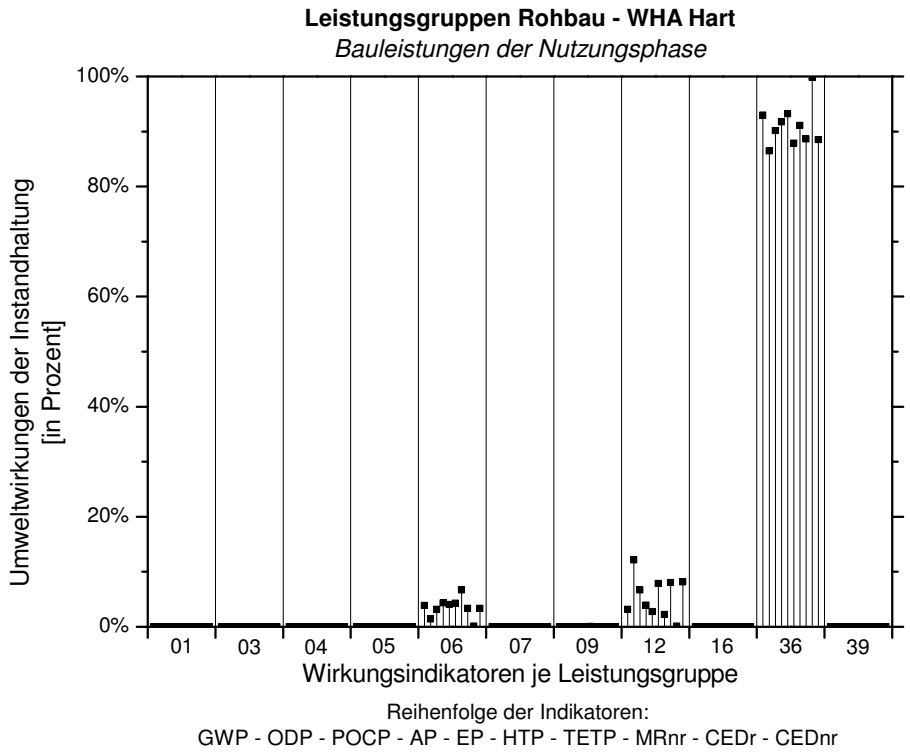

Abbildung B.27: WHA Hart: Leistungsgruppen Rohbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

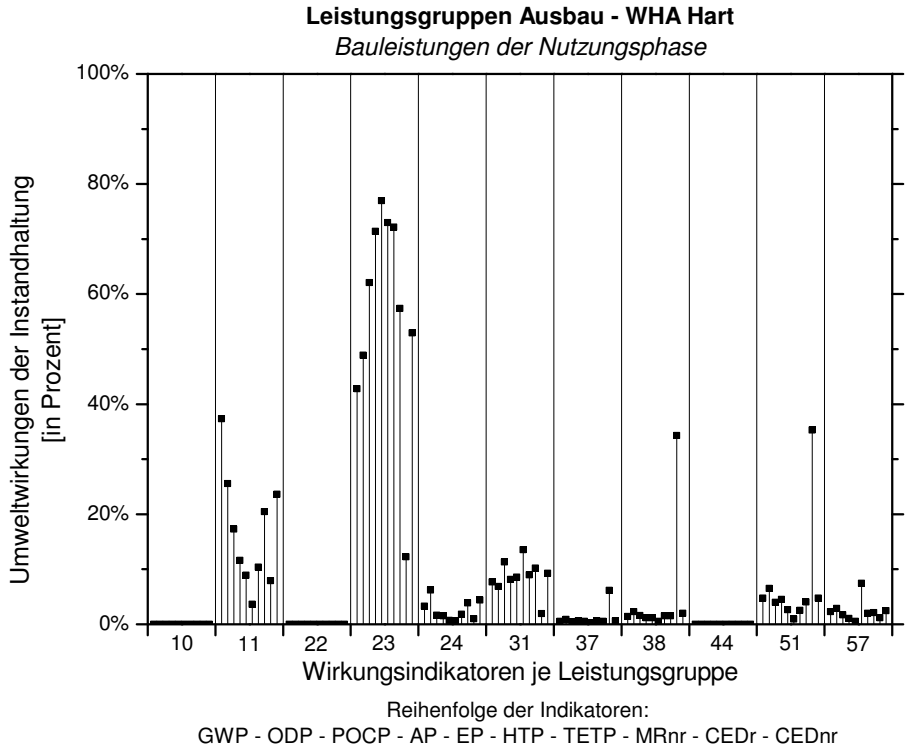

Abbildung B.28: WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Gesamter Lebensweg

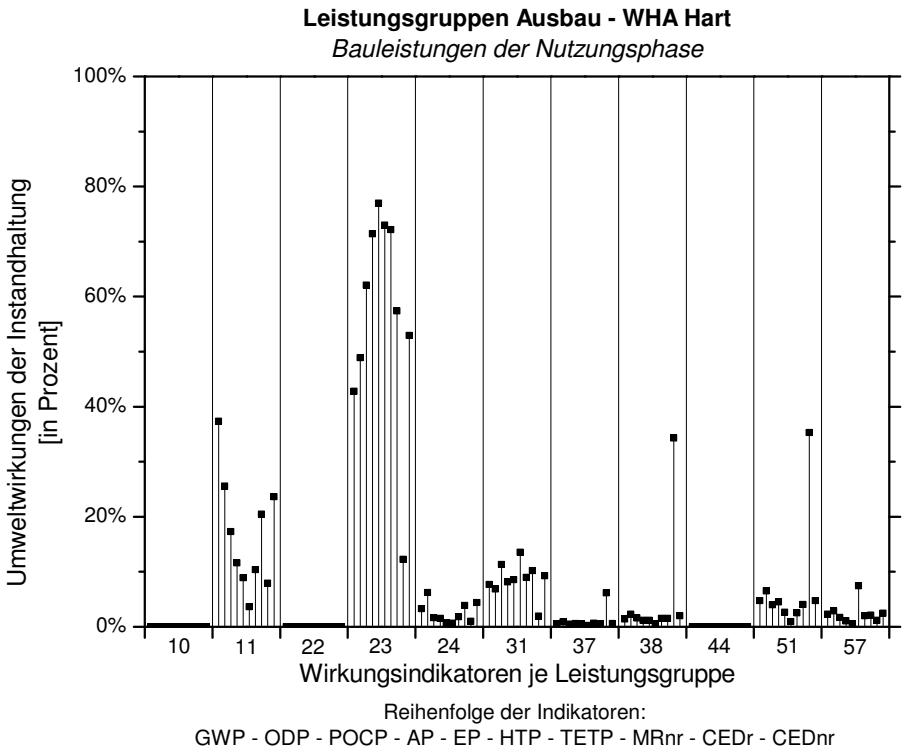

Abbildung B.29: WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Errichtungsphase

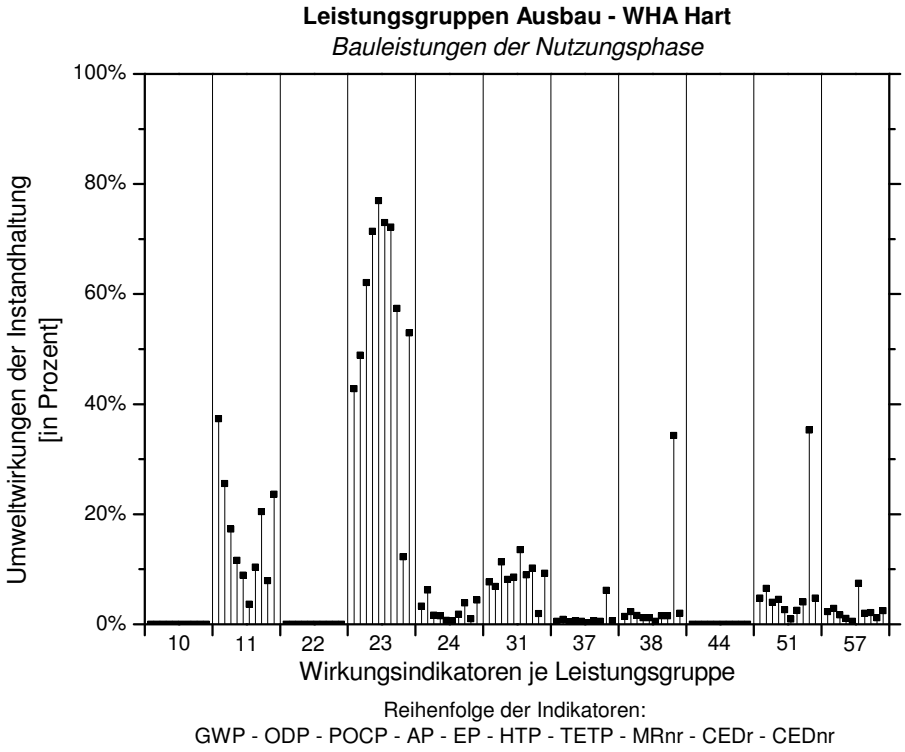

Abbildung B.30: WHA Hart: Leistungsgruppen Ausbau – Nutzungsphase-Instandhaltung

B.3 Sensitivitätsanalysen

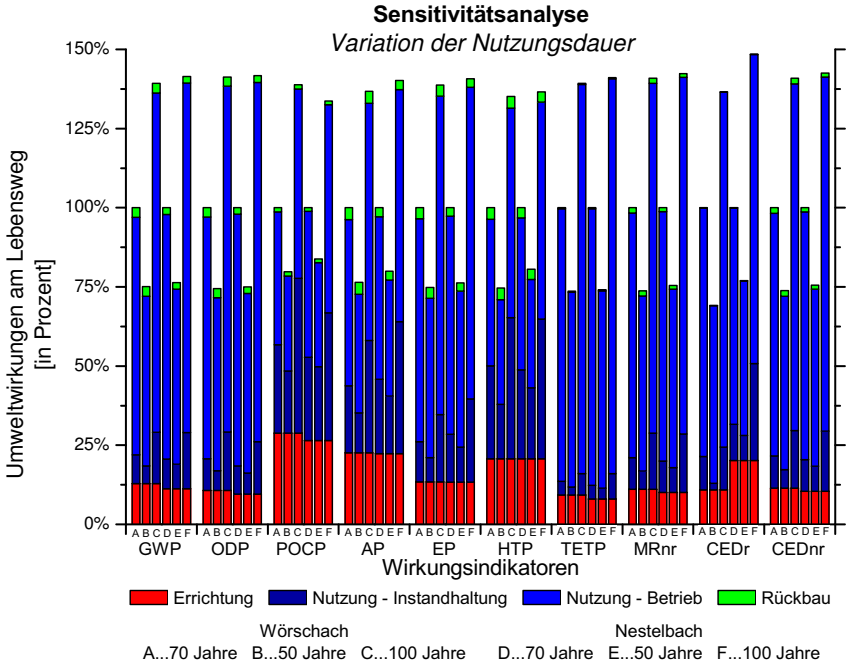

Abbildung B.31: Sensitivitätsanalyse: Variation der Nutzungsdauer (absolute Veränderung zur Nutzungsdauer 70 Jahre)

Anhang C

Ergebnis-Tabellen

C.1 Ebene 1 – Gesamter Lebensweg

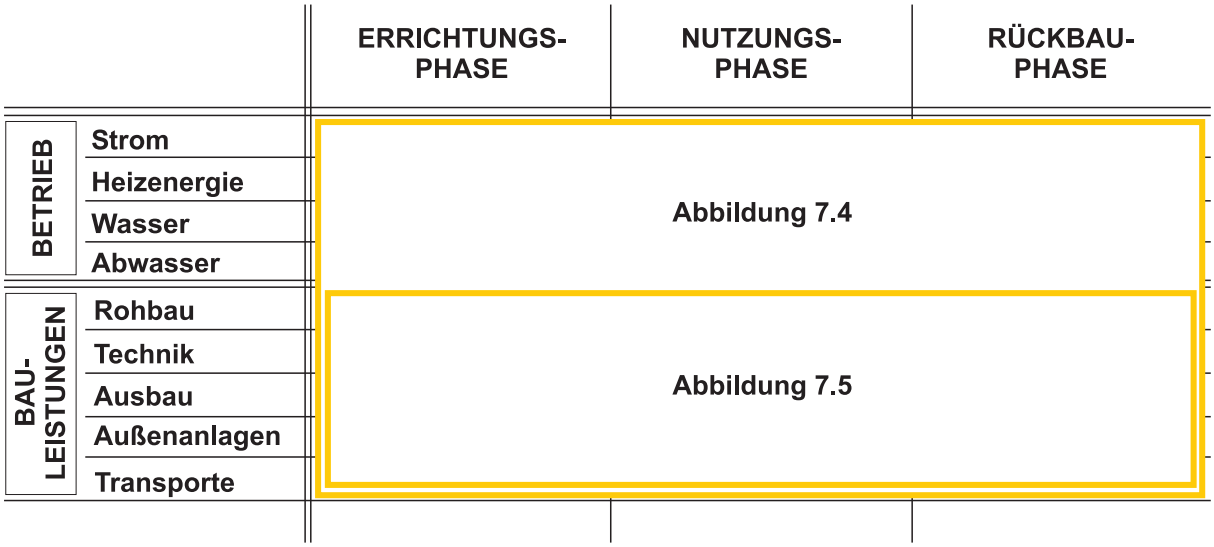

Abbildung C.1: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 1 (Wiederholung von Abbildung 7.3)

Tabelle C.1: Zahlenwerte zu Abbildung 7.4: *Gesamter Lebensweg der Wohnhausanlagen*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	12,9%	10,7%	28,8%	22,6%	13,4%	20,7%	9,3%	11,1%	10,9%	11,5%
Nutzung - I	9,1%	9,9%	27,9%	21,2%	12,7%	29,3%	4,3%	9,9%	10,6%	10,1%
Nutzung - B	75,0%	76,4%	41,9%	52,4%	70,4%	46,3%	86,0%	77,3%	78,5%	76,6%
Rückbau	3,1%	2,9%	1,4%	3,8%	3,5%	3,7%	0,4%	1,7%	0,1%	1,8%
WHA Pinggau										
Errichtung	15,9%	14,0%	32,0%	26,2%	15,8%	24,5%	9,7%	13,9%	7,7%	14,3%
Nutzung - I	10,6%	11,9%	29,3%	21,9%	12,4%	31,0%	4,6%	11,5%	7,9%	11,8%
Nutzung - B	69,8%	70,5%	37,2%	47,8%	68,0%	40,5%	85,3%	72,5%	84,3%	71,7%
Rückbau	3,8%	3,7%	1,5%	4,1%	3,7%	4,0%	0,4%	2,0%	0,1%	2,2%
WHA Nestelbach										
Errichtung	11,3%	9,6%	26,5%	22,3%	13,3%	20,7%	8,0%	10,1%	20,1%	10,5%
Nutzung - I	9,3%	8,9%	26,3%	23,6%	15,2%	28,1%	4,4%	9,9%	11,4%	9,9%
Nutzung - B	77,3%	79,4%	46,0%	51,3%	68,9%	48,0%	87,3%	78,8%	68,3%	78,3%
Rückbau	2,1%	2,1%	1,2%	2,8%	2,6%	3,2%	0,3%	1,2%	0,1%	1,3%
WHA Hart										
Errichtung	10,1%	9,2%	23,6%	20,2%	13,2%	19,6%	8,1%	9,2%	20,5%	9,4%
Nutzung - I	9,3%	10,9%	26,3%	25,2%	18,0%	29,6%	5,1%	10,7%	21,7%	10,8%
Nutzung - B	78,8%	77,9%	48,8%	51,6%	65,7%	47,1%	86,5%	78,8%	57,8%	78,5%
Rückbau	1,8%	2,1%	1,3%	3,0%	3,1%	3,6%	0,3%	1,2%	0,1%	1,3%

Tabelle C.2: Zahlenwerte zu Abbildung 7.5: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	51,4%	45,5%	49,6%	47,5%	45,5%	38,5%	66,4%	49,0%	50,5%	49,0%
Nutzung - I	36,4%	42,2%	48,1%	44,5%	42,8%	54,6%	31,0%	43,7%	49,1%	43,4%
Rückbau	12,2%	12,3%	2,3%	8,0%	11,7%	6,9%	2,6%	7,3%	0,5%	7,6%
WHA Pinggau										
Errichtung	52,4%	47,4%	50,9%	50,2%	49,5%	41,1%	66,3%	50,7%	49,1%	50,6%
Nutzung - I	35,2%	40,2%	46,7%	41,9%	38,9%	52,0%	31,0%	41,9%	50,2%	41,7%
Rückbau	12,4%	12,4%	2,4%	7,9%	11,5%	6,8%	2,7%	7,4%	0,7%	7,7%
WHA Nestelbach										
Errichtung	49,7%	46,5%	49,0%	45,8%	42,7%	39,8%	63,2%	47,7%	63,7%	48,2%
Nutzung - I	41,0%	43,4%	48,8%	48,4%	48,8%	54,0%	34,3%	46,7%	36,1%	45,8%
Rückbau	9,2%	10,1%	2,2%	5,8%	8,5%	6,2%	2,5%	5,6%	0,2%	6,0%
WHA Hart										
Errichtung	47,7%	41,5%	46,2%	41,7%	38,5%	37,2%	60,0%	43,6%	48,5%	43,7%
Nutzung - I	43,7%	49,1%	51,3%	52,0%	52,5%	56,0%	38,0%	50,7%	51,4%	50,3%
Rückbau	8,6%	9,4%	2,5%	6,2%	9,0%	6,8%	2,0%	5,7%	0,1%	6,1%

C.2 Ebene 2 – Leistungsbereiche und Lebenswegphasen

C.2.1 Ebene 2a – Leistungsbereiche (räumliche Gliederung)

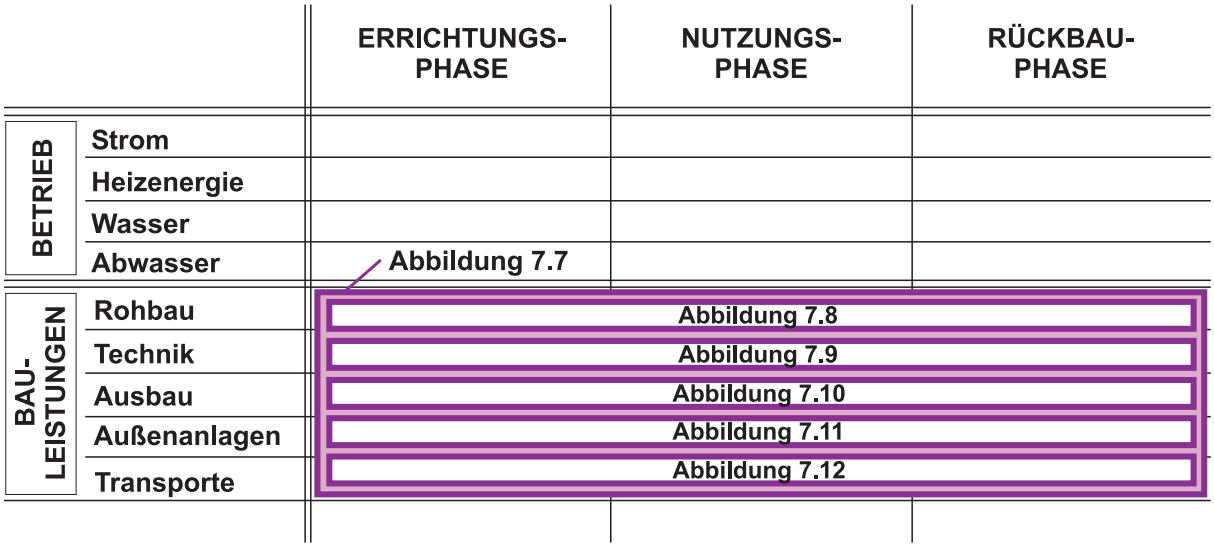

Abbildung C.2: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2a (Wiederholung von Abbildung 7.6)

Tabelle C.3: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Detaillierung in Leistungsbereiche (Teil 1)*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
E-Rohbau	31,2%	18,2%	16,3%	20,5%	19,0%	11,1%	49,6%	23,4%	39,2%	23,6%
E-Technik	2,6%	7,4%	18,2%	6,0%	4,7%	12,5%	6,7%	3,8%	0,9%	3,3%
E-Ausbau	12,9%	8,1%	13,2%	15,2%	14,5%	13,8%	8,3%	14,1%	9,8%	14,0%
E-Außenanlagen	1,4%	6,4%	1,0%	2,0%	1,7%	0,7%	1,0%	4,6%	0,5%	4,9%
E-Transporte	3,3%	5,6%	0,8%	3,8%	5,6%	0,4%	0,8%	3,1%	0,0%	3,2%
I-Rohbau	9,8%	6,0%	10,3%	8,9%	8,2%	5,9%	5,2%	10,2%	33,4%	10,3%
I-Technik	5,5%	10,6%	20,1%	9,7%	7,1%	25,7%	12,3%	6,3%	1,7%	5,8%
I-Ausbau	17,0%	9,7%	15,3%	20,4%	21,8%	20,6%	11,5%	16,6%	13,3%	16,2%
I-Außenanlagen	3,2%	14,1%	2,1%	4,3%	4,0%	2,2%	1,8%	9,7%	0,7%	10,2%
I-Transporte	1,0%	1,7%	0,3%	1,2%	1,7%	0,1%	0,2%	1,0%	0,0%	1,0%
R-Rohbau	6,6%	7,8%	1,5%	5,0%	7,3%	3,1%	1,3%	4,6%	0,2%	4,8%
R-Technik	0,7%	0,2%	0,0%	0,1%	0,2%	0,8%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
R-Ausbau	3,0%	0,9%	0,2%	0,7%	1,0%	2,2%	0,6%	0,6%	0,1%	0,7%
R-Außenanlagen	0,5%	1,0%	0,2%	0,5%	0,8%	0,6%	0,2%	0,6%	0,1%	0,6%
R-Transporte	1,4%	2,4%	0,4%	1,6%	2,4%	0,2%	0,3%	1,3%	0,0%	1,4%
WHA Pinggau										
E-Rohbau	26,9%	14,4%	10,1%	16,3%	16,4%	8,8%	45,6%	17,1%	25,6%	17,2%
E-Technik	2,5%	7,1%	18,2%	5,9%	4,6%	12,4%	6,9%	3,7%	1,4%	3,2%
E-Ausbau	14,9%	9,5%	19,8%	18,8%	16,4%	18,2%	10,8%	19,4%	20,4%	19,2%
E-Außenanlagen	2,5%	6,8%	1,3%	2,6%	2,4%	1,0%	1,5%	5,0%	1,6%	5,5%
E-Transporte	5,7%	9,6%	1,5%	6,6%	9,7%	0,7%	1,4%	5,4%	0,1%	5,6%
I-Rohbau	3,1%	2,0%	3,1%	3,1%	2,9%	1,5%	2,2%	3,2%	14,5%	3,2%
I-Technik	5,2%	10,2%	20,1%	9,7%	7,3%	26,8%	12,8%	6,2%	2,8%	5,7%
I-Ausbau	20,5%	10,8%	20,6%	22,3%	21,0%	21,2%	13,3%	20,8%	31,3%	20,5%
I-Außenanlagen	4,7%	14,5%	2,5%	4,9%	4,9%	2,3%	2,3%	10,2%	1,5%	10,6%
I-Transporte	1,6%	2,8%	0,4%	1,9%	2,8%	0,2%	0,4%	1,6%	0,0%	1,6%
R-Rohbau	4,6%	7,5%	1,4%	4,6%	6,6%	2,4%	1,3%	4,5%	0,4%	4,6%
R-Technik	0,6%	0,2%	0,0%	0,1%	0,2%	0,8%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
R-Ausbau	5,1%	0,9%	0,3%	0,8%	1,2%	2,9%	0,8%	0,7%	0,2%	0,7%
R-Außenanlagen	0,6%	1,1%	0,2%	0,6%	0,9%	0,6%	0,2%	0,7%	0,1%	0,7%
R-Transporte	1,6%	2,6%	0,4%	1,8%	2,7%	0,2%	0,4%	1,5%	0,0%	1,5%

Tabelle C.4: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Detaillierung in Leistungsbereiche (Teil 2)*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Nestelbach										
E-Rohbau	29,0%	20,6%	14,9%	21,8%	20,4%	17,1%	47,7%	23,5%	57,9%	24,3%
E-Technik	2,4%	7,4%	20,9%	4,8%	3,9%	9,2%	5,4%	3,6%	0,4%	3,1%
E-Ausbau	13,1%	7,4%	11,4%	14,3%	12,5%	12,5%	8,4%	14,0%	5,1%	13,9%
E-Außenanlagen	1,7%	5,0%	0,9%	1,5%	1,2%	0,6%	0,9%	3,4%	0,3%	3,7%
E-Transporte	3,4%	6,0%	0,9%	3,3%	4,7%	0,4%	0,8%	3,1%	0,0%	3,2%
I-Rohbau	11,6%	10,3%	8,4%	12,9%	12,9%	10,7%	9,5%	13,1%	27,4%	13,4%
I-Technik	4,3%	8,0%	21,7%	6,4%	5,3%	14,9%	7,3%	5,0%	0,5%	4,5%
I-Ausbau	19,9%	11,5%	16,5%	24,7%	25,9%	26,6%	15,5%	20,0%	7,8%	19,0%
I-Außenanlagen	4,0%	11,5%	1,9%	3,3%	3,1%	1,7%	1,7%	7,5%	0,4%	7,9%
I-Transporte	1,2%	2,0%	0,3%	1,1%	1,6%	0,1%	0,3%	1,0%	0,0%	1,1%
R-Rohbau	4,1%	6,3%	1,4%	3,7%	5,6%	2,7%	1,2%	3,5%	0,1%	3,6%
R-Technik	0,6%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,8%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
R-Ausbau	3,0%	0,9%	0,3%	0,6%	0,8%	2,1%	0,7%	0,6%	0,1%	0,7%
R-Außenanlagen	0,5%	1,0%	0,2%	0,4%	0,6%	0,4%	0,1%	0,5%	0,0%	0,6%
R-Transporte	1,1%	1,8%	0,3%	1,0%	1,4%	0,1%	0,2%	0,9%	0,0%	1,0%
WHA Hart										
E-Rohbau	29,8%	18,8%	14,3%	19,7%	16,6%	13,7%	45,1%	22,9%	43,9%	23,6%
E-Technik	2,4%	5,8%	20,8%	4,5%	3,4%	8,2%	4,8%	3,2%	0,2%	2,7%
E-Ausbau	11,4%	5,8%	9,0%	13,1%	13,7%	14,3%	8,5%	10,0%	4,2%	9,3%
E-Außenanlagen	1,3%	7,2%	1,3%	1,9%	1,4%	0,8%	1,0%	5,2%	0,2%	5,7%
E-Transporte	2,8%	3,9%	0,7%	2,5%	3,4%	0,3%	0,6%	2,3%	0,0%	2,4%
I-Rohbau	16,4%	13,4%	10,9%	14,0%	12,7%	10,6%	13,0%	16,7%	43,6%	17,3%
I-Technik	4,2%	6,3%	21,6%	5,9%	4,7%	13,2%	6,5%	4,4%	0,3%	3,9%
I-Ausbau	17,6%	10,3%	15,3%	25,8%	28,9%	29,5%	16,0%	16,6%	7,3%	15,1%
I-Außenanlagen	3,5%	16,1%	3,0%	4,4%	3,7%	2,6%	2,0%	11,3%	0,2%	12,1%
I-Transporte	2,1%	2,9%	0,6%	1,9%	2,5%	0,2%	0,4%	1,7%	0,0%	1,8%
R-Rohbau	4,6%	5,2%	1,5%	3,6%	5,4%	2,9%	1,1%	3,2%	0,1%	3,4%
R-Technik	0,6%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,7%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%
R-Ausbau	1,2%	1,0%	0,3%	0,6%	1,0%	2,4%	0,2%	0,6%	0,0%	0,6%
R-Außenanlagen	0,6%	1,1%	0,3%	0,5%	0,7%	0,7%	0,2%	0,6%	0,0%	0,7%
R-Transporte	1,5%	2,2%	0,4%	1,4%	1,9%	0,2%	0,3%	1,3%	0,0%	1,3%

C.2.2 Ebene 2b – Lebenswegphasen (zeitliche Gliederung)

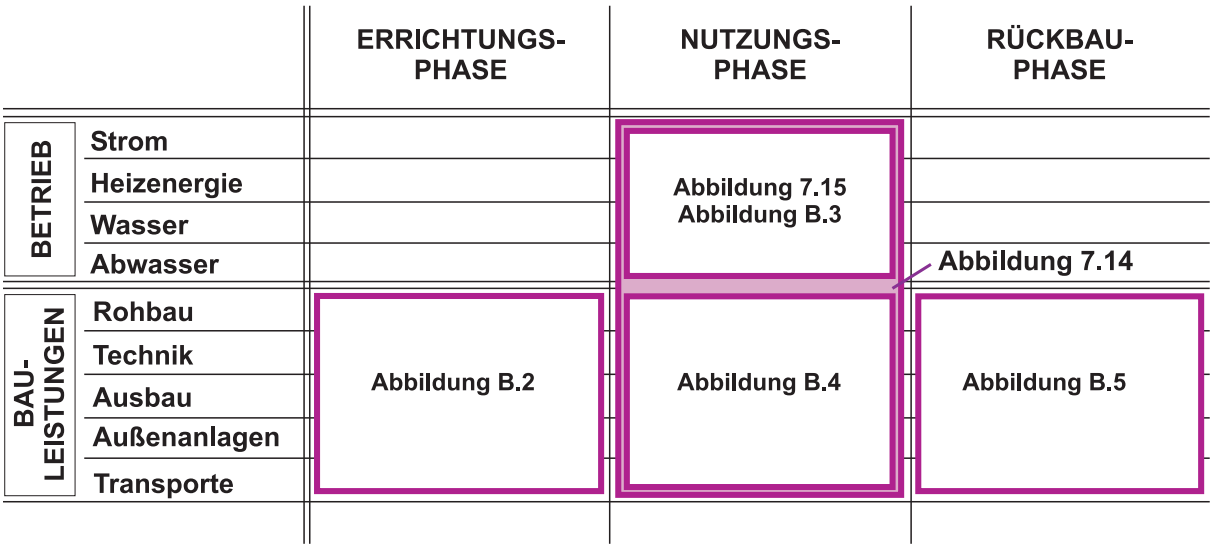

Abbildung C.3: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2b (Wiederholung von Abbildung 7.13)

Tabelle C.5: Zahlenwerte zu Abbildung B.2: *Errichtungsphase der Wohnhausanlagen*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Rohbau	60,7%	39,9%	32,9%	43,2%	41,8%	28,8%	74,6%	47,8%	77,7%	48,2%
Technik	5,0%	16,2%	36,7%	12,7%	10,3%	32,4%	10,1%	7,8%	1,8%	6,7%
Ausbau	25,1%	17,7%	26,7%	31,9%	31,9%	35,7%	12,6%	28,8%	19,4%	28,6%
Außenanlagen	2,7%	14,0%	2,0%	4,2%	3,6%	1,9%	1,5%	9,3%	1,1%	10,0%
Transporte	6,5%	12,2%	1,7%	8,0%	12,4%	1,1%	1,2%	6,4%	0,1%	6,6%
WHA Pinggau										
Rohbau	51,3%	30,5%	19,9%	32,5%	33,0%	21,4%	68,9%	33,8%	52,1%	34,0%
Technik	4,7%	14,9%	35,7%	11,7%	9,4%	30,2%	10,4%	7,3%	2,9%	6,3%
Ausbau	28,4%	20,0%	38,9%	37,5%	33,0%	44,3%	16,4%	38,3%	41,6%	37,9%
Außenanlagen	4,7%	14,3%	2,5%	5,2%	4,9%	2,4%	2,3%	9,9%	3,2%	10,9%
Transporte	10,8%	20,3%	3,0%	13,1%	19,7%	1,7%	2,1%	10,7%	0,2%	11,0%
WHA Nestelbach										
Rohbau	58,3%	44,3%	30,4%	47,7%	47,7%	43,0%	75,5%	49,3%	90,9%	50,5%
Technik	4,9%	16,0%	42,7%	10,5%	9,2%	23,2%	8,5%	7,6%	0,6%	6,3%
Ausbau	26,4%	15,9%	23,3%	31,3%	29,3%	31,3%	13,3%	29,4%	8,1%	28,8%
Außenanlagen	3,5%	10,8%	1,8%	3,2%	2,8%	1,5%	1,4%	7,2%	0,4%	7,7%
Transporte	6,9%	13,0%	1,8%	7,2%	10,9%	1,1%	1,3%	6,5%	0,0%	6,7%
WHA Hart										
Rohbau	62,6%	45,2%	31,0%	47,1%	43,2%	36,7%	75,2%	52,6%	90,5%	54,1%
Technik	4,9%	14,0%	45,0%	10,7%	8,9%	22,0%	8,0%	7,3%	0,5%	6,2%
Ausbau	23,9%	14,0%	19,6%	31,5%	35,6%	38,3%	14,1%	22,9%	8,6%	21,3%
Außenanlagen	2,8%	17,4%	2,9%	4,6%	3,6%	2,0%	1,7%	12,0%	0,4%	13,0%
Transporte	5,8%	9,4%	1,6%	6,1%	8,8%	0,8%	1,0%	5,2%	0,0%	5,4%

Tabelle C.6: Zahlenwerte zu Abbildung 7.14: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb und Instandhaltung*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Betrieb	89,1%	88,5%	60,0%	71,2%	84,8%	61,2%	95,2%	88,6%	88,1%	88,3%
Instandhaltung	10,9%	11,5%	40,0%	28,8%	15,2%	38,8%	4,8%	11,4%	11,9%	11,7%
WHA Pinggau										
Betrieb	86,8%	85,6%	56,0%	68,6%	84,5%	56,6%	94,9%	86,3%	91,5%	85,9%
Instandhaltung	13,2%	14,4%	44,0%	31,4%	15,5%	43,4%	5,1%	13,7%	8,5%	14,1%
WHA Nestelbach										
Betrieb	89,2%	89,9%	63,6%	68,5%	82,0%	63,1%	95,3%	88,9%	85,7%	88,7%
Instandhaltung	10,8%	10,1%	36,4%	31,5%	18,0%	36,9%	4,7%	11,1%	14,3%	11,3%
WHA Hart										
Betrieb	89,5%	87,8%	65,0%	67,2%	78,5%	61,4%	94,4%	88,0%	72,7%	87,9%
Instandhaltung	10,5%	12,2%	35,0%	32,8%	21,5%	38,6%	5,6%	12,0%	27,3%	12,1%

Tabelle C.7: Zahlenwerte zu Abbildung B.3: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Betrieb*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Strom	40,2%	23,6%	38,1%	55,5%	13,6%	55,8%	85,6%	37,3%	94,6%	37,5%
Heizung	57,3%	74,4%	55,8%	35,4%	9,5%	35,7%	8,0%	61,0%	4,3%	60,2%
Wasser	1,0%	0,5%	2,8%	2,8%	0,6%	1,3%	0,4%	0,9%	0,6%	1,1%
Abwasser	1,5%	1,5%	3,3%	6,3%	76,3%	7,3%	6,0%	0,9%	0,5%	1,2%
WHA Pinggau										
Strom	47,0%	29,2%	44,3%	60,5%	13,9%	60,8%	85,9%	44,1%	93,9%	44,2%
Heizung	50,1%	68,4%	48,6%	29,6%	7,4%	29,8%	7,6%	53,9%	5,0%	53,1%
Wasser	1,2%	0,6%	3,3%	3,1%	0,6%	1,4%	0,4%	1,0%	0,6%	1,4%
Abwasser	1,7%	1,8%	3,8%	6,9%	78,1%	7,9%	6,0%	1,0%	0,5%	1,4%
WHA Nestelbach										
Strom	41,2%	24,2%	38,9%	56,7%	13,7%	56,9%	87,3%	38,2%	96,6%	38,4%
Heizung	56,3%	73,8%	54,8%	34,0%	9,0%	34,3%	6,2%	60,1%	2,3%	59,3%
Wasser	1,0%	0,5%	2,9%	2,9%	0,6%	1,3%	0,5%	0,9%	0,6%	1,2%
Abwasser	1,5%	1,5%	3,4%	6,4%	76,7%	7,4%	6,1%	0,9%	0,5%	1,2%
WHA Hart										
Strom	34,8%	19,9%	33,0%	49,8%	13,2%	50,0%	80,0%	32,0%	88,7%	32,3%
Heizung	63,1%	78,5%	61,6%	42,1%	12,1%	42,4%	14,0%	66,5%	10,3%	65,8%
Wasser	0,9%	0,4%	2,5%	2,5%	0,6%	1,2%	0,4%	0,7%	0,6%	1,0%
Abwasser	1,3%	1,2%	2,9%	5,6%	74,1%	6,5%	5,6%	0,7%	0,5%	1,0%

Tabelle C.8: Zahlenwerte zu Abbildung B.4: *Nutzungsphase der Wohnhausanlagen – Instandhaltung*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Rohbau	26,8%	14,2%	21,4%	20,0%	19,2%	10,8%	16,8%	23,3%	68,0%	23,7%
Technik	15,0%	25,1%	41,8%	21,8%	16,5%	47,1%	39,6%	14,3%	3,6%	13,3%
Ausbau	46,6%	23,1%	31,8%	45,9%	50,8%	37,7%	37,0%	37,9%	27,0%	37,2%
Außenanlagen	8,7%	33,5%	4,5%	9,6%	9,4%	4,1%	5,8%	22,2%	1,3%	23,4%
Transporte	2,8%	4,1%	0,5%	2,7%	4,1%	0,3%	0,8%	2,2%	0,0%	2,3%
WHA Pinggau										
Rohbau	8,9%	5,0%	6,5%	7,4%	7,4%	3,0%	7,2%	7,5%	28,9%	7,8%
Technik	14,8%	25,4%	43,1%	23,2%	18,7%	51,5%	41,3%	14,9%	5,6%	13,7%
Ausbau	58,2%	26,7%	44,1%	53,1%	54,0%	40,8%	42,8%	49,6%	62,4%	49,3%
Außenanlagen	13,4%	36,0%	5,3%	11,8%	12,6%	4,4%	7,4%	24,3%	3,1%	25,4%
Transporte	4,7%	6,9%	0,9%	4,5%	7,2%	0,4%	1,3%	3,7%	0,1%	3,8%
WHA Nestelbach										
Rohbau	28,4%	23,8%	17,2%	26,6%	26,5%	19,8%	27,8%	28,0%	75,8%	29,1%
Technik	10,5%	18,5%	44,6%	13,2%	11,0%	27,6%	21,1%	10,8%	1,4%	9,7%
Ausbau	48,6%	26,4%	33,7%	51,0%	53,0%	49,2%	45,2%	42,8%	21,7%	41,5%
Außenanlagen	9,7%	26,6%	3,9%	6,9%	6,3%	3,1%	5,1%	16,2%	1,1%	17,3%
Transporte	2,8%	4,7%	0,6%	2,3%	3,2%	0,3%	0,8%	2,2%	0,0%	2,4%
WHA Hart										
Rohbau	37,6%	27,4%	21,3%	26,9%	24,3%	18,8%	34,3%	32,9%	84,7%	34,4%
Technik	9,5%	12,8%	42,0%	11,4%	8,9%	23,5%	17,0%	8,7%	0,6%	7,9%
Ausbau	40,2%	20,9%	29,7%	49,6%	55,0%	52,6%	42,2%	32,7%	14,1%	30,1%
Außenanlagen	8,0%	32,9%	5,8%	8,4%	7,0%	4,6%	5,4%	22,3%	0,5%	24,1%
Transporte	4,8%	6,0%	1,1%	3,7%	4,9%	0,4%	1,2%	3,4%	0,0%	3,6%

Tabelle C.9: Zahlenwerte zu Abbildung B.5: *Rückbauphase der Wohnhausanlagen*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Rohbau	54,2%	63,5%	63,0%	62,8%	62,6%	44,7%	51,8%	63,3%	52,4%	62,8%
Technik	5,4%	1,3%	2,1%	1,5%	1,4%	12,4%	5,2%	1,7%	5,2%	1,8%
Ausbau	24,5%	7,5%	10,6%	8,9%	8,6%	31,7%	23,7%	8,6%	26,9%	9,1%
Außenanlagen	4,2%	8,2%	8,9%	6,2%	6,6%	8,5%	6,3%	8,0%	11,3%	8,1%
Transporte	11,8%	19,5%	15,4%	20,6%	20,7%	2,8%	13,1%	18,4%	4,2%	18,2%
WHA Pinggau										
Rohbau	37,1%	60,7%	58,5%	58,5%	57,5%	35,5%	47,0%	60,4%	50,2%	60,0%
Technik	4,6%	1,3%	2,0%	1,4%	1,4%	11,3%	4,8%	1,6%	5,0%	1,7%
Ausbau	41,3%	7,6%	12,2%	9,9%	10,1%	42,2%	27,4%	8,9%	29,1%	9,5%
Außenanlagen	4,5%	9,2%	10,1%	7,4%	7,8%	8,2%	6,7%	8,9%	11,1%	9,0%
Transporte	12,5%	21,2%	17,2%	22,8%	23,1%	2,9%	14,1%	20,2%	4,6%	19,8%
WHA Nestelbach										
Rohbau	44,7%	62,0%	65,0%	63,7%	65,8%	44,1%	49,2%	61,7%	48,8%	61,0%
Technik	6,4%	0,7%	1,7%	1,4%	1,5%	13,2%	5,4%	1,2%	5,9%	1,3%
Ausbau	32,4%	9,3%	12,4%	10,5%	9,2%	34,0%	29,6%	11,0%	32,4%	11,8%
Außenanlagen	5,1%	9,8%	8,3%	6,9%	6,7%	6,5%	5,9%	9,3%	9,6%	9,3%
Transporte	11,4%	18,2%	12,6%	17,5%	16,8%	2,1%	9,9%	16,9%	3,3%	16,5%
WHA Hart										
Rohbau	54,0%	54,8%	59,4%	58,3%	59,4%	42,3%	57,8%	55,8%	52,7%	55,7%
Technik	6,7%	0,6%	1,5%	1,2%	1,2%	10,7%	6,0%	1,0%	6,1%	1,1%
Ausbau	14,0%	10,1%	10,9%	9,8%	10,7%	34,8%	9,9%	10,0%	18,7%	10,0%
Außenanlagen	7,3%	11,3%	11,5%	7,9%	7,7%	9,7%	9,5%	11,1%	17,3%	11,4%
Transporte	18,0%	23,2%	16,7%	22,8%	20,9%	2,6%	16,8%	22,0%	5,2%	21,8%

C.2.3 Ebene 2c – Lebenswegphasen in Leistungsbereichen

		ERRICHTUNGS-PHASE	NUTZUNGS-PHASE	RÜCKBAU-PHASE
BETRIEB	Strom			
	Heizenergie			
	Wasser			
	Abwasser			
BAU-LEISTUNGEN	Rohbau	Abbildung B.7		
	Technik	Abbildung B.8		
	Ausbau	Abbildung B.9		
	Außenanlagen	Abbildung B.10		
	Transporte	Abbildung B.11		

Abbildung C.4: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 2c (Wiederholung von Abbildung B.6)

Tabelle C.10: Zahlenwerte zu Abbildung B.7: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Rohbau*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	65,6%	56,9%	58,1%	59,6%	55,0%	55,3%	88,3%	61,2%	53,8%	61,0%
Nutzung - I	20,5%	18,7%	36,7%	25,9%	23,8%	29,4%	9,3%	26,7%	45,9%	26,6%
Rückbau	13,9%	24,4%	5,2%	14,5%	21,2%	15,3%	2,4%	12,1%	0,3%	12,4%
WHA Pinggau										
Errichtung	77,7%	60,2%	69,4%	67,9%	63,2%	69,0%	92,9%	69,2%	63,3%	68,7%
Nutzung - I	9,0%	8,4%	20,9%	12,9%	11,2%	12,1%	4,5%	12,8%	35,8%	12,9%
Rückbau	13,3%	31,4%	9,6%	19,2%	25,6%	18,9%	2,6%	18,0%	0,9%	18,4%
WHA Nestelbach										
Errichtung	64,8%	55,4%	60,4%	56,9%	52,4%	56,1%	81,6%	58,7%	67,8%	58,9%
Nutzung - I	26,0%	27,7%	33,9%	33,5%	33,2%	34,9%	16,3%	32,7%	32,1%	32,3%
Rückbau	9,2%	16,9%	5,7%	9,6%	14,4%	9,0%	2,1%	8,7%	0,1%	8,8%
WHA Hart										
Errichtung	58,6%	50,3%	53,6%	52,7%	47,8%	50,4%	76,1%	53,6%	50,1%	53,3%
Nutzung - I	32,3%	35,9%	41,0%	37,6%	36,7%	39,0%	22,0%	39,0%	49,8%	39,0%
Rückbau	9,1%	13,8%	5,5%	9,8%	15,5%	10,6%	1,9%	7,5%	0,1%	7,6%

Tabelle C.11: Zahlenwerte zu Abbildung B.8: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Technik*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	29,5%	40,7%	47,5%	38,0%	39,3%	32,0%	35,2%	37,3%	33,7%	35,7%
Nutzung - I	63,0%	58,4%	52,4%	61,3%	59,3%	65,9%	64,1%	61,5%	65,4%	62,8%
Rückbau	7,5%	0,9%	0,1%	0,7%	1,4%	2,2%	0,7%	1,2%	0,9%	1,5%
WHA Pinggau										
Errichtung	29,9%	40,5%	47,4%	37,4%	38,4%	31,1%	34,7%	36,9%	33,4%	35,3%
Nutzung - I	63,2%	58,6%	52,5%	61,9%	60,3%	67,0%	64,6%	62,0%	65,8%	63,2%
Rückbau	6,9%	0,9%	0,1%	0,7%	1,3%	1,9%	0,7%	1,1%	0,8%	1,4%
WHA Nestelbach										
Errichtung	33,2%	47,8%	49,0%	42,8%	41,9%	37,1%	42,2%	41,5%	40,6%	40,3%
Nutzung - I	58,8%	51,7%	50,9%	56,5%	56,7%	59,6%	56,7%	57,7%	58,0%	58,7%
Rückbau	8,0%	0,5%	0,1%	0,7%	1,3%	3,3%	1,0%	0,7%	1,4%	1,0%
WHA Hart										
Errichtung	33,2%	47,8%	49,0%	42,8%	41,9%	37,1%	42,2%	41,5%	40,6%	40,3%
Nutzung - I	58,8%	51,7%	50,9%	56,5%	56,7%	59,6%	56,7%	57,7%	58,0%	58,7%
Rückbau	8,0%	0,5%	0,1%	0,7%	1,3%	3,3%	1,0%	0,7%	1,4%	1,0%

Tabelle C.12: Zahlenwerte zu Abbildung B.9: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Ausbau*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	39,2%	43,1%	46,0%	41,8%	38,9%	37,7%	40,8%	45,0%	42,2%	45,4%
Nutzung - I	51,7%	52,0%	53,1%	56,3%	58,4%	56,4%	56,2%	53,0%	57,2%	52,4%
Rückbau	9,1%	4,9%	0,9%	1,9%	2,7%	5,9%	3,0%	2,0%	0,5%	2,3%
WHA Pinggau										
Errichtung	36,7%	44,8%	48,7%	44,9%	42,4%	43,1%	43,6%	47,5%	39,3%	47,4%
Nutzung - I	50,6%	50,8%	50,6%	53,2%	54,5%	50,2%	53,4%	50,8%	60,3%	50,8%
Rückbau	12,7%	4,4%	0,7%	1,9%	3,0%	6,8%	3,0%	1,6%	0,4%	1,8%
WHA Nestelbach										
Errichtung	36,4%	37,4%	40,6%	36,2%	32,0%	30,3%	34,1%	40,5%	39,4%	41,3%
Nutzung - I	55,3%	57,9%	58,4%	62,3%	66,0%	64,6%	62,9%	57,7%	60,1%	56,6%
Rückbau	8,3%	4,8%	1,0%	1,5%	2,0%	5,1%	3,0%	1,8%	0,5%	2,1%
WHA Hart										
Errichtung	37,8%	34,1%	36,8%	33,2%	31,4%	30,9%	34,3%	36,7%	36,5%	37,1%
Nutzung - I	58,2%	60,3%	62,1%	65,3%	66,3%	63,9%	64,9%	61,1%	63,3%	60,4%
Rückbau	4,0%	5,6%	1,1%	1,6%	2,2%	5,2%	0,8%	2,1%	0,2%	2,4%

Tabelle C.13: Zahlenwerte zu Abbildung B.10: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Außenanlagen*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	27,1%	29,6%	29,8%	29,4%	25,6%	20,9%	33,3%	30,7%	43,1%	31,2%
Nutzung - I	62,8%	65,7%	64,0%	63,2%	62,4%	62,8%	61,2%	65,4%	52,8%	64,8%
Rückbau	10,1%	4,7%	6,2%	7,4%	12,0%	16,3%	5,5%	3,9%	4,1%	4,0%
WHA Pinggau										
Errichtung	32,0%	30,3%	32,2%	32,1%	29,5%	25,6%	37,5%	31,8%	48,9%	32,8%
Nutzung - I	60,8%	64,7%	61,8%	60,7%	59,5%	59,9%	57,9%	64,1%	48,6%	63,1%
Rückbau	7,2%	5,1%	6,1%	7,1%	11,0%	14,6%	4,6%	4,2%	2,5%	4,1%
WHA Nestelbach										
Errichtung	27,9%	28,6%	29,4%	28,2%	24,9%	21,7%	32,3%	29,9%	40,7%	30,5%
Nutzung - I	64,5%	65,8%	64,4%	64,1%	63,3%	63,2%	62,4%	65,6%	56,4%	65,0%
Rückbau	7,6%	5,7%	6,2%	7,7%	11,8%	15,1%	5,2%	4,5%	3,0%	4,5%
WHA Hart										
Errichtung	24,5%	29,5%	28,8%	28,2%	23,9%	19,1%	31,1%	30,4%	38,6%	30,7%
Nutzung - I	64,0%	66,1%	65,0%	64,5%	63,8%	64,3%	63,1%	65,9%	56,5%	65,6%
Rückbau	11,5%	4,4%	6,1%	7,3%	12,2%	16,6%	5,7%	3,7%	5,0%	3,7%

Tabelle C.14: Zahlenwerte zu Abbildung B.11: *Bauleistungen am Lebensweg der Wohnhausanlagen – Leistungsbereich Transporte*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Errichtung	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%	57,5%
Nutzung - I	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%	17,8%
Rückbau	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%	24,7%
WHA Pinggau										
Errichtung	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%	64,0%
Nutzung - I	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%	18,4%
Rückbau	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%
WHA Nestelbach										
Errichtung	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%	61,0%
Nutzung - I	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%
Rückbau	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%	18,6%
WHA Hart										
Errichtung	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%	43,2%
Nutzung - I	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%	32,6%
Rückbau	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%	24,2%

C.3 Ebene 3 – Leistungsgruppen

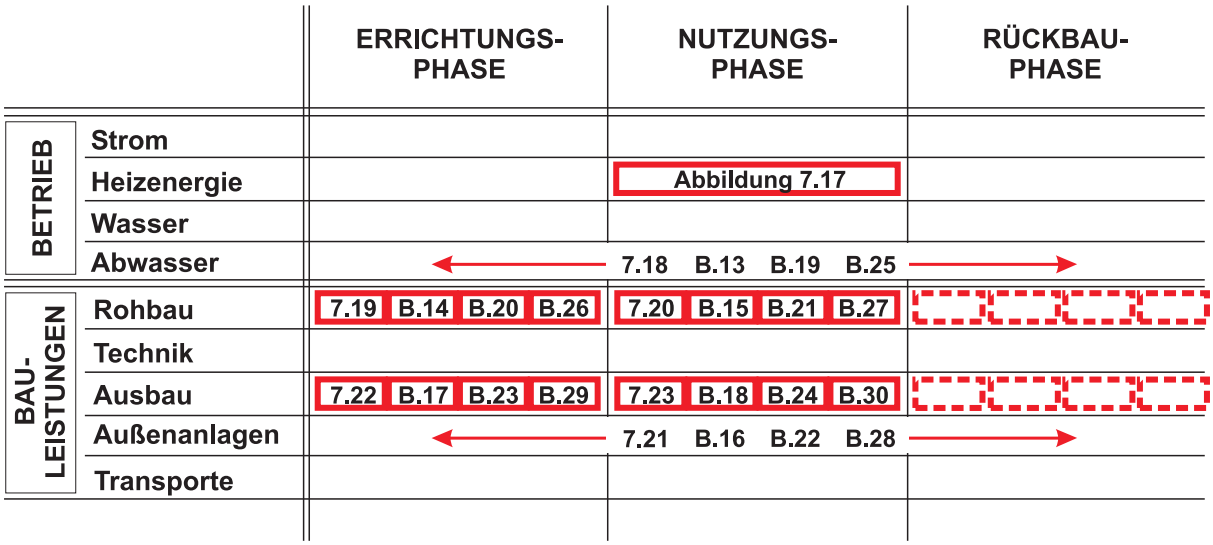

Abbildung C.5: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse auf Ebene 3 (Wiederholung von Abbildung 7.16)

Tabelle C.15: Zahlenwerte zu Abbildung 7.17: *Nutzungsphase-Betrieb – Energiebedarf Warmwasser, Heizung (in [kWh/m²a])*

	WHA Wörschach	WHA Pinggau	WHA Nestelbach	WHA Hart
Heizwärme-EB	49,0	41,1	36,4	62,7
Warmwasserwärme-EB	12,8	12,8	12,8	12,8
Haustechnik-EB	23,0	20,1	19,5	39,5
Ertrag Solaranlage	-17,0	-22,3	0,0	0,0
Summe Endenergiebedarf	67,9	51,8	68,7	114,8

Tabelle C.16: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.18, B.13, B.19, B.25: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen am Lebensweg*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	3,4%	1,8%	2,0%	3,8%	3,0%	2,9%	3,3%	3,5%	0,4%	3,7%
Stahlbetonarb.	42,5%	41,1%	16,9%	34,8%	39,7%	29,5%	77,7%	30,6%	5,0%	30,9%
Mauerarbeiten	29,3%	23,6%	55,0%	26,4%	20,3%	18,0%	4,5%	32,6%	3,8%	32,3%
Abdichtungsarb.	7,2%	10,3%	5,3%	5,4%	3,5%	5,8%	1,8%	8,7%	0,5%	8,9%
Fertigteile	0,3%	0,3%	0,1%	0,3%	0,3%	0,3%	0,9%	0,2%	0,0%	0,3%
Zimmermeister	6,2%	9,9%	10,3%	14,8%	18,7%	15,1%	6,3%	8,7%	86,8%	9,1%
Trockenbau	11,0%	12,9%	10,4%	14,6%	14,5%	28,3%	5,3%	15,6%	3,5%	14,8%
WHA Pinggau										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	1,5%	2,3%	1,7%	2,6%	3,0%	2,6%	0,8%	2,0%	1,4%	2,8%
Wasserhaltung	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%	0,3%	0,8%	0,4%	1,0%	0,4%
Drainage	0,4%	0,1%	0,4%	0,6%	0,4%	0,4%	0,2%	0,6%	0,1%	0,6%
Kanalisierung	3,9%	1,9%	4,0%	4,9%	3,5%	4,4%	4,4%	5,0%	1,0%	5,2%
Stahlbetonarb.	67,3%	59,1%	56,6%	56,8%	58,6%	45,7%	85,8%	56,2%	15,9%	56,0%
Mauerarbeiten	17,2%	22,3%	20,6%	19,1%	18,4%	29,2%	4,1%	21,9%	7,9%	20,9%
Abdichtungsarb.	6,2%	7,7%	10,2%	5,3%	3,2%	9,1%	1,2%	8,6%	1,3%	8,7%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	3,2%	6,4%	6,5%	10,6%	12,7%	8,3%	2,7%	5,2%	71,3%	5,3%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Nestelbach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,6%	1,0%	0,6%	0,8%	1,0%	0,6%	0,4%	0,7%	0,1%	0,9%
Wasserhaltung	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,1%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	3,2%	1,2%	2,8%	2,8%	2,0%	2,3%	4,5%	3,4%	0,2%	3,4%
Stahlbetonarb.	38,6%	31,1%	15,6%	21,7%	23,6%	14,2%	52,1%	23,1%	2,5%	23,0%
Mauerarbeiten	1,8%	1,3%	4,3%	2,1%	2,1%	2,4%	0,7%	2,1%	0,1%	2,0%
Abdichtungsarb.	7,4%	8,9%	6,0%	4,3%	2,6%	9,0%	1,8%	7,6%	0,4%	7,7%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	48,3%	56,5%	70,7%	68,4%	68,7%	71,5%	40,2%	63,1%	96,7%	62,9%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Hart										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,2%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	3,9%	2,0%	3,1%	4,0%	3,9%	3,7%	3,2%	3,3%	0,1%	3,3%
Stahlbetonarb.	32,4%	24,3%	14,6%	21,0%	23,4%	15,1%	50,9%	19,1%	1,1%	19,2%
Mauerarbeiten	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,7%	0,2%	0,3%	0,0%	0,3%
Abdichtungsarb.	2,1%	8,9%	5,5%	3,0%	2,0%	6,2%	1,0%	6,4%	0,1%	6,5%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	61,3%	64,3%	76,3%	71,3%	69,9%	74,2%	44,6%	70,7%	98,6%	70,5%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle C.17: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.19, B.14, B.20, B.26: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen der Errichtungsphase*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	2,4%	1,1%	1,6%	2,9%	2,4%	1,2%	1,6%	2,6%	0,4%	2,7%
Stahlbetonarb.	55,7%	38,6%	22,2%	40,2%	44,4%	40,9%	86,3%	34,5%	8,8%	34,8%
Mauerarbeiten	27,8%	32,4%	54,7%	29,7%	24,5%	21,0%	3,7%	36,4%	6,4%	36,1%
Abdichtungsarb.	1,9%	9,0%	4,5%	4,3%	2,9%	3,8%	1,0%	7,1%	0,4%	7,2%
Fertigteile	0,4%	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,4%	1,1%	0,3%	0,1%	0,3%
Zimmermeister	4,1%	8,0%	8,1%	10,7%	13,1%	10,8%	3,4%	6,6%	80,6%	7,1%
Trockenbau	7,7%	10,7%	8,8%	11,8%	12,4%	21,9%	2,9%	12,4%	3,3%	11,8%
WHA Pinggau										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	1,8%	3,8%	2,5%	3,9%	4,8%	3,6%	0,9%	2,9%	2,2%	4,1%
Wasserhaltung	0,3%	0,4%	0,2%	0,3%	0,1%	0,4%	0,9%	0,5%	1,6%	0,5%
Drainage	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	0,3%	0,1%	0,1%	0,4%	0,1%	0,4%
Kanalisierung	1,7%	0,8%	2,5%	3,0%	2,2%	1,3%	2,0%	3,1%	0,6%	3,2%
Stahlbetonarb.	71,8%	52,1%	55,1%	56,6%	56,7%	47,9%	90,1%	54,5%	23,8%	54,4%
Mauerarbeiten	20,7%	31,2%	27,8%	24,9%	24,8%	36,7%	4,1%	28,6%	12,0%	27,2%
Abdichtungsarb.	1,7%	6,5%	7,3%	3,8%	2,3%	5,6%	0,6%	6,3%	1,1%	6,4%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	1,8%	5,1%	4,3%	7,2%	8,7%	4,4%	1,4%	3,6%	58,6%	3,7%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Nestelbach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	1,0%	1,7%	0,9%	1,4%	1,8%	1,1%	0,5%	1,1%	0,2%	1,6%
Wasserhaltung	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	1,6%	0,6%	2,1%	2,1%	1,6%	0,8%	2,4%	2,5%	0,1%	2,5%
Stahlbetonarb.	51,2%	29,2%	19,3%	25,7%	27,2%	18,7%	62,2%	26,5%	3,0%	26,0%
Mauerarbeiten	1,8%	2,2%	4,7%	3,1%	3,5%	3,4%	0,8%	2,9%	0,1%	2,6%
Abdichtungsarb.	2,4%	7,9%	4,9%	3,6%	2,2%	7,3%	1,1%	6,4%	0,3%	6,4%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	41,9%	58,4%	68,1%	64,1%	63,6%	68,6%	32,7%	60,5%	96,2%	60,7%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Hart										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,2%	0,4%	0,2%	0,4%	0,5%	0,3%	0,1%	0,3%	0,0%	0,4%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	3,5%	1,5%	2,8%	3,7%	3,8%	2,5%	2,0%	3,0%	0,2%	2,9%
Stahlbetonarb.	47,8%	25,6%	20,8%	27,3%	30,2%	22,9%	65,5%	24,4%	2,1%	24,4%
Mauerarbeiten	0,4%	0,5%	0,7%	0,9%	1,1%	1,2%	0,2%	0,6%	0,0%	0,6%
Abdichtungsarb.	1,3%	9,0%	5,0%	2,8%	1,9%	5,2%	0,6%	6,0%	0,1%	6,1%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	46,8%	63,0%	70,4%	64,9%	62,5%	67,9%	31,5%	65,7%	97,6%	65,6%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle C.18: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.20, B.15, B.21, B.27: *Leistungsgruppen Rohbau – Bauleistungen der Nutzungsphase*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	6,3%	2,8%	2,4%	6,2%	4,9%	4,3%	17,0%	5,6%	0,4%	6,0%
Stahlbetonarb.	0,4%	0,1%	0,7%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,4%	0,0%	0,4%
Mauerarbeiten	33,8%	8,7%	61,5%	26,5%	17,8%	11,8%	10,3%	32,3%	0,6%	32,1%
Abdichtungsarb.	17,4%	27,4%	7,2%	10,3%	7,3%	9,9%	9,9%	16,2%	0,5%	16,6%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	15,2%	26,4%	14,0%	28,5%	39,3%	25,7%	34,2%	16,2%	94,6%	17,2%
Trockenbau	26,8%	34,6%	14,2%	28,2%	30,4%	48,2%	28,5%	29,2%	3,9%	27,8%
WHA Pinggau										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	2,3%	0,8%	0,8%	2,3%	1,6%	1,6%	2,8%	2,2%	0,2%	2,5%
Kanalisierung	21,9%	11,1%	9,6%	18,8%	15,7%	18,2%	49,0%	19,7%	1,4%	20,3%
Stahlbetonarb.	22,6%	4,2%	49,0%	15,8%	10,1%	7,0%	4,8%	22,6%	0,5%	22,0%
Mauerarbeiten	2,0%	1,6%	1,4%	2,6%	2,3%	2,0%	1,0%	2,2%	0,5%	2,0%
Abdichtungsarb.	33,8%	44,9%	24,2%	20,0%	14,0%	37,2%	13,2%	33,1%	1,8%	33,0%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	17,4%	37,5%	15,0%	40,5%	56,2%	34,1%	29,2%	20,1%	95,6%	20,2%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Nestelbach										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	6,2%	2,2%	4,2%	4,2%	3,1%	3,2%	13,9%	5,1%	0,3%	5,3%
Stahlbetonarb.	1,1%	0,6%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%	0,4%	0,5%	1,0%	0,5%
Mauerarbeiten	1,4%	0,2%	4,2%	0,8%	0,4%	0,2%	0,2%	1,2%	0,0%	1,2%
Abdichtungsarb.	14,2%	16,0%	8,9%	6,3%	3,9%	12,9%	5,6%	11,6%	0,6%	11,9%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	77,0%	81,0%	82,4%	88,2%	92,1%	83,2%	79,8%	81,5%	98,1%	81,1%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WHA Hart										
Baustelleneinr.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Erdarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserhaltung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Drainage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Kanalisierung	3,9%	1,4%	3,2%	4,3%	4,1%	4,3%	6,7%	3,3%	0,1%	3,3%
Stahlbetonarb.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Mauerarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Abdichtungsarb.	3,2%	12,2%	6,7%	3,9%	2,7%	7,8%	2,2%	8,0%	0,1%	8,1%
Fertigteile	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zimmermeister	92,9%	86,4%	90,1%	91,7%	93,2%	87,8%	91,1%	88,6%	99,8%	88,5%
Trockenbau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle C.19: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.21, B.16, B.22, B.28: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen am Lebensweg*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Verputzarbeiten	1,3%	3,1%	0,5%	0,8%	0,7%	0,3%	0,9%	1,4%	0,9%	1,6%
Estricharbeiten	35,2%	20,6%	37,5%	18,6%	14,6%	5,1%	12,6%	25,9%	8,6%	26,7%
Dachdecker	15,6%	23,3%	10,8%	18,6%	22,3%	19,2%	21,2%	15,8%	13,4%	15,9%
Bauspengler	10,1%	14,0%	13,5%	27,7%	36,1%	30,0%	27,5%	15,3%	5,1%	12,8%
Fliesenleger	7,1%	15,4%	3,0%	5,2%	3,0%	2,4%	6,1%	9,1%	3,9%	9,3%
Schlosser	4,5%	6,0%	5,3%	7,8%	9,2%	19,3%	11,1%	6,3%	2,3%	5,5%
Tischler	0,4%	0,7%	0,5%	0,6%	0,8%	0,5%	0,9%	0,5%	15,2%	0,6%
Holzfußböden	1,1%	1,8%	0,9%	1,2%	1,5%	0,6%	1,6%	1,1%	39,0%	1,3%
A-WDVS	12,5%	4,3%	21,7%	8,0%	4,9%	2,8%	6,3%	12,3%	1,7%	12,9%
Fenster	9,3%	6,7%	4,3%	9,4%	5,6%	4,0%	11,7%	9,2%	7,3%	10,3%
Jalousien	2,8%	4,2%	1,9%	2,1%	1,3%	15,8%	0,0%	2,9%	2,6%	3,1%
WHA Pinggau										
Verputzarbeiten	4,0%	6,4%	1,8%	3,5%	3,4%	2,4%	4,6%	4,4%	2,0%	4,5%
Estricharbeiten	48,9%	22,0%	65,4%	30,6%	22,4%	7,8%	16,6%	42,0%	6,8%	42,8%
Dachdecker	4,8%	8,2%	3,0%	6,0%	8,0%	5,8%	6,8%	4,7%	3,6%	4,7%
Bauspengler	7,4%	14,6%	8,1%	21,3%	30,6%	19,2%	20,7%	10,5%	3,2%	9,0%
Fliesenleger	6,5%	15,7%	2,8%	5,1%	3,3%	4,5%	5,9%	7,8%	3,4%	8,0%
Schlosser	10,4%	12,4%	9,7%	15,1%	19,4%	23,2%	21,9%	13,2%	42,1%	12,1%
Tischler	0,2%	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,3%	0,4%	0,2%	6,3%	0,2%
Holzfußböden	0,4%	0,9%	0,5%	0,6%	1,0%	0,3%	0,5%	0,4%	25,4%	0,5%
A-WDVS	8,7%	9,7%	4,3%	8,8%	5,7%	18,3%	11,3%	8,4%	3,7%	9,1%
Fenster	5,8%	4,7%	2,4%	6,4%	4,2%	1,9%	7,1%	5,5%	1,3%	6,0%
Jalousien	2,9%	5,1%	1,8%	2,4%	1,6%	16,4%	4,3%	2,9%	2,4%	3,1%
WHA Nestelbach										
Verputzarbeiten	0,4%	0,8%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%
Estricharbeiten	39,6%	22,7%	40,6%	19,0%	13,6%	6,5%	14,0%	29,3%	9,7%	31,2%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	21,6%	32,2%	33,8%	49,8%	64,7%	59,0%	52,4%	31,3%	11,2%	26,8%
Fliesenleger	5,9%	13,2%	2,9%	3,6%	2,0%	2,5%	4,4%	6,9%	3,3%	7,3%
Schlosser	0,7%	0,8%	0,9%	0,9%	0,9%	3,3%	1,5%	0,9%	0,4%	0,8%
Tischler	0,3%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,5%	0,3%	9,0%	0,4%
Holzfußböden	0,9%	1,6%	1,1%	1,0%	1,3%	0,5%	1,5%	0,9%	46,5%	1,2%
A-WDVS	16,4%	14,5%	11,4%	13,6%	9,9%	5,7%	9,3%	16,4%	13,3%	16,5%
Fenster	10,8%	7,8%	5,8%	9,3%	5,4%	3,3%	11,5%	10,2%	2,8%	11,6%
Jalousien	3,6%	5,9%	2,9%	2,3%	1,4%	18,7%	4,5%	3,6%	3,4%	3,9%
WHA Hart										
Verputzarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Estricharbeiten	43,5%	30,8%	21,5%	15,1%	11,8%	4,6%	13,5%	25,0%	10,0%	28,6%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	33,2%	39,3%	51,4%	62,2%	68,1%	62,2%	62,5%	46,8%	10,3%	42,6%
Fliesenleger	3,8%	7,5%	2,0%	2,0%	1,0%	0,8%	2,4%	4,7%	1,2%	5,3%
Schlosser	11,0%	10,1%	17,2%	13,2%	14,1%	21,1%	14,5%	15,3%	3,0%	13,8%
Tischler	0,5%	0,9%	0,6%	0,6%	0,6%	0,3%	0,7%	0,6%	7,8%	0,7%
Holzfußböden	1,2%	2,1%	1,5%	1,1%	1,2%	0,5%	1,5%	1,4%	32,5%	1,8%
A-WDVS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fenster	4,1%	5,9%	3,7%	4,4%	2,6%	0,9%	2,5%	3,7%	33,5%	4,3%
Jalousien	2,6%	3,4%	2,1%	1,4%	0,7%	9,5%	2,6%	2,6%	1,5%	3,0%

Tabelle C.20: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.22, B.17, B.23, B.29: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen der Errichtungsphase*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Verputzarbeiten	2,4%	4,3%	0,6%	1,1%	0,9%	0,5%	1,5%	2,0%	1,8%	2,3%
Estricharbeiten	34,2%	18,4%	40,2%	20,6%	16,2%	3,7%	14,6%	27,2%	10,1%	27,7%
Dachdecker	19,8%	26,3%	11,6%	22,0%	28,1%	22,1%	26,0%	17,4%	15,9%	17,3%
Bauspengler	6,4%	8,0%	7,3%	16,6%	23,0%	17,1%	16,9%	8,5%	3,0%	7,0%
Fliesenleger	9,1%	18,0%	3,3%	6,2%	3,8%	3,2%	7,5%	10,2%	4,5%	10,3%
Schlosser	6,3%	7,6%	6,1%	10,2%	12,4%	25,9%	14,8%	7,6%	2,9%	6,6%
Tischler	0,5%	0,7%	0,4%	0,6%	0,7%	0,4%	1,0%	0,5%	18,0%	0,6%
Holzfußböden	0,7%	1,3%	0,6%	0,8%	0,9%	0,4%	1,2%	0,8%	30,8%	0,9%
A-WDVS	9,3%	4,2%	23,5%	9,2%	5,9%	2,0%	6,3%	13,4%	1,8%	13,8%
Fenster	7,8%	6,4%	4,2%	10,3%	6,4%	3,5%	10,1%	9,4%	8,0%	10,2%
Jalousien	3,5%	4,9%	2,1%	2,5%	1,6%	21,1%	0,0%	3,2%	3,1%	3,4%
WHA Pinggau										
Verputzarbeiten	6,1%	9,5%	2,1%	3,9%	4,0%	2,6%	6,2%	5,2%	4,0%	5,5%
Estricharbeiten	41,5%	19,9%	66,7%	32,6%	23,8%	3,6%	18,3%	42,9%	8,5%	43,9%
Dachdecker	6,2%	8,8%	3,0%	6,6%	9,2%	5,8%	7,7%	4,8%	4,5%	4,8%
Bauspengler	4,8%	8,0%	4,1%	11,8%	17,7%	9,5%	11,8%	5,5%	2,0%	4,7%
Fliesenleger	8,5%	17,4%	2,8%	5,6%	3,8%	5,1%	6,7%	8,2%	4,3%	8,4%
Schlosser	14,8%	15,7%	12,6%	20,7%	28,3%	32,7%	27,9%	16,4%	38,5%	14,5%
Tischler	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,4%	0,2%	8,1%	0,2%
Holzfußböden	0,3%	0,6%	0,3%	0,3%	0,4%	0,1%	0,3%	0,2%	21,5%	0,3%
A-WDVS	8,8%	9,9%	4,1%	9,1%	6,2%	20,2%	10,4%	8,3%	4,3%	8,9%
Fenster	5,0%	4,2%	2,3%	6,5%	4,4%	1,2%	5,5%	5,2%	1,2%	5,6%
Jalousien	3,8%	5,7%	1,9%	2,6%	1,8%	19,0%	4,9%	3,1%	3,0%	3,2%
WHA Nestelbach										
Verputzarbeiten	0,8%	1,5%	0,3%	0,5%	0,5%	0,7%	1,0%	0,6%	0,6%	0,7%
Estricharbeiten	39,3%	23,2%	49,1%	24,5%	18,5%	4,9%	19,5%	34,1%	12,2%	35,6%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	14,8%	21,2%	21,0%	34,6%	50,3%	42,4%	38,7%	19,4%	7,2%	16,3%
Fliesenleger	7,9%	17,5%	3,6%	4,9%	3,1%	4,0%	6,4%	8,5%	4,2%	8,8%
Schlosser	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,5%	4,6%	2,2%	1,1%	0,4%	0,9%
Tischler	0,4%	0,7%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,8%	0,4%	12,3%	0,5%
Holzfußböden	0,7%	1,2%	0,8%	0,8%	0,9%	0,4%	1,3%	0,7%	39,3%	0,9%
A-WDVS	20,9%	17,6%	13,7%	18,2%	14,9%	8,7%	12,2%	19,5%	16,6%	19,2%
Fenster	9,4%	8,3%	6,3%	11,7%	7,6%	2,9%	11,4%	11,3%	2,7%	12,4%
Jalousien	4,8%	7,8%	3,5%	3,2%	2,1%	30,9%	6,5%	4,4%	4,3%	4,7%
WHA Hart										
Verputzarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Estricharbeiten	48,0%	31,2%	27,2%	19,5%	14,7%	4,6%	18,1%	29,2%	13,5%	33,0%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	21,6%	27,9%	34,7%	46,4%	53,1%	43,0%	45,3%	31,5%	7,1%	28,3%
Fliesenleger	5,0%	11,0%	2,7%	3,0%	1,5%	1,4%	3,5%	6,4%	1,7%	7,1%
Schlosser	16,8%	16,8%	27,6%	23,3%	25,9%	34,1%	25,0%	24,4%	4,7%	21,6%
Tischler	0,6%	1,0%	0,6%	0,7%	0,6%	0,3%	0,8%	0,6%	10,6%	0,7%
Holzfußböden	1,0%	1,9%	1,2%	0,9%	0,8%	0,4%	1,4%	1,2%	29,7%	1,5%
A-WDVS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fenster	3,5%	5,3%	3,1%	4,1%	2,3%	0,8%	2,2%	3,2%	30,6%	3,7%
Jalousien	3,5%	5,0%	2,8%	2,1%	1,1%	15,4%	3,7%	3,5%	2,1%	4,0%

Tabelle C.21: Zahlenwerte zu Abbildungen 7.23, B.18, B.24, B.30: *Leistungsgruppen Ausbau – Bauleistungen der Nutzungsphase*

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	HTP	TETP	MRnr	CEDr	CEDnr
WHA Wörschach										
Verputzarbeiten	0,6%	1,4%	0,3%	0,4%	0,3%	0,2%	0,5%	0,7%	0,2%	0,8%
Estricharbeiten	33,8%	19,6%	35,2%	16,4%	12,4%	4,5%	11,1%	24,3%	7,5%	25,3%
Dachdecker	15,0%	22,1%	10,1%	16,4%	19,0%	16,9%	18,8%	14,8%	11,7%	15,1%
Bauspengler	14,5%	19,9%	19,0%	36,7%	46,0%	39,7%	36,6%	21,5%	6,7%	18,2%
Fliesenleger	6,8%	14,6%	2,8%	4,6%	2,6%	2,1%	5,4%	8,5%	3,4%	8,8%
Schlosser	3,8%	5,0%	4,6%	6,3%	7,4%	15,4%	8,9%	5,4%	1,9%	4,7%
Tischler	0,5%	0,7%	0,5%	0,6%	0,7%	0,5%	0,8%	0,5%	13,2%	0,6%
Holzfußböden	1,4%	2,2%	1,2%	1,4%	1,7%	0,7%	1,9%	1,4%	45,3%	1,6%
A-WDVS	12,0%	4,1%	20,4%	7,1%	4,2%	2,5%	5,6%	11,5%	1,5%	12,2%
Fenster	9,0%	6,4%	4,1%	8,3%	4,7%	3,6%	10,4%	8,7%	6,3%	9,8%
Jalousien	2,6%	4,0%	1,8%	1,9%	1,1%	14,0%	0,0%	2,7%	2,3%	2,9%
WHA Pinggau										
Verputzarbeiten	2,8%	2,6%	1,5%	2,8%	2,4%	1,9%	3,4%	3,3%	0,7%	3,2%
Estricharbeiten	48,3%	21,7%	64,6%	28,8%	20,5%	7,8%	15,6%	41,3%	5,6%	42,1%
Dachdecker	4,7%	8,0%	3,0%	5,6%	7,4%	5,8%	6,3%	4,6%	3,0%	4,6%
Bauspengler	11,0%	21,5%	12,0%	30,0%	42,1%	28,8%	29,0%	15,5%	4,0%	13,3%
Fliesenleger	6,4%	15,5%	2,7%	4,8%	3,0%	4,5%	5,5%	7,7%	2,8%	7,9%
Schlosser	8,8%	10,1%	6,9%	10,5%	12,4%	14,1%	18,0%	10,4%	44,6%	10,1%
Tischler	0,2%	0,3%	0,2%	0,3%	0,5%	0,3%	0,4%	0,2%	5,2%	0,2%
Holzfußböden	0,5%	1,2%	0,6%	0,7%	1,2%	0,3%	0,6%	0,5%	28,0%	0,6%
A-WDVS	8,6%	9,6%	4,2%	8,2%	5,2%	18,3%	10,6%	8,3%	3,0%	9,0%
Fenster	5,7%	4,6%	2,4%	6,0%	3,8%	1,9%	6,6%	5,4%	1,1%	5,9%
Jalousien	2,9%	5,0%	1,8%	2,2%	1,4%	16,4%	4,0%	2,9%	2,0%	3,0%
WHA Nestelbach										
Verputzarbeiten	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Estricharbeiten	35,8%	19,6%	34,8%	15,2%	10,3%	5,0%	11,1%	25,4%	8,1%	27,5%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	29,1%	41,5%	43,2%	59,6%	73,1%	68,1%	62,1%	40,4%	13,9%	35,3%
Fliesenleger	5,4%	11,4%	2,5%	2,8%	1,5%	1,9%	3,5%	6,0%	2,8%	6,4%
Schlosser	0,6%	0,7%	0,8%	0,7%	0,7%	2,7%	1,2%	0,7%	0,4%	0,7%
Tischler	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	0,3%	0,2%	7,0%	0,3%
Holzfußböden	1,1%	1,8%	1,3%	1,1%	1,3%	0,6%	1,5%	1,1%	51,5%	1,4%
A-WDVS	14,8%	12,6%	9,8%	10,9%	7,5%	4,4%	7,4%	14,2%	11,1%	14,6%
Fenster	9,8%	6,8%	4,9%	7,5%	4,1%	2,6%	9,2%	8,8%	2,4%	10,2%
Jalousien	3,2%	5,1%	2,4%	1,9%	1,0%	14,5%	3,5%	3,1%	2,8%	3,4%
WHA Hart										
Verputzarbeiten	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Estricharbeiten	37,3%	25,6%	17,3%	11,6%	8,9%	3,6%	10,4%	20,5%	7,9%	23,6%
Dachdecker	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Bauspengler	42,8%	48,9%	62,0%	71,4%	77,0%	73,0%	72,2%	57,4%	12,3%	52,9%
Fliesenleger	3,3%	6,2%	1,6%	1,5%	0,7%	0,7%	1,8%	3,9%	1,0%	4,4%
Schlosser	7,7%	6,9%	11,3%	8,2%	8,5%	13,6%	9,0%	10,2%	1,9%	9,3%
Tischler	0,5%	0,9%	0,5%	0,6%	0,5%	0,2%	0,6%	0,5%	6,2%	0,6%
Holzfußböden	1,4%	2,3%	1,6%	1,2%	1,2%	0,5%	1,5%	1,5%	34,3%	2,0%
A-WDVS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fenster	4,7%	6,5%	4,0%	4,5%	2,6%	0,9%	2,5%	4,0%	35,3%	4,8%
Jalousien	2,3%	2,9%	1,7%	1,1%	0,5%	7,5%	2,0%	2,1%	1,2%	2,5%

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“.
Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe:

D – Diplomarbeiten/Dissertationen | F – Forschungsberichte
S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | V – Vorträge, Tagungen

Institutskennzahl:
1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik
10 – Labor für Konstruktiven Ingenieurbau

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl