

# Inhaltsverzeichnis

|                                                               |          |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1 Einleitung</b>                                           | <b>1</b> |
| <b>2 Motivation, Voraussetzungen, Ziele und Projektgruppe</b> | <b>4</b> |
| <b>3 Grundlagen der Ganzheitlichen Bilanzierung</b>           | <b>6</b> |
| 3.1 Einordnung und Bedeutung von Ökobilanzen                  | 7        |
| 3.2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens         | 9        |
| 3.2.1 Ziel dieser Studie                                      | 9        |
| 3.2.2 Ziele folgender Studien                                 | 10       |
| 3.2.3 Untersuchungsrahmen                                     | 10       |
| 3.2.4 Abschneidekriterien Input                               | 12       |
| 3.2.5 Abschneidekriterien Output                              | 12       |
| 3.2.6 Pflanzliche Ressourcen als Brennstoff                   | 15       |
| 3.2.7 Bilanzzeit                                              | 15       |
| 3.2.8 Bilanzraum                                              | 15       |
| 3.2.9 Datenqualität                                           | 16       |
| 3.3 Sachbilanzierung                                          | 17       |
| 3.3.1 Allgemeine Beschreibung                                 | 17       |
| 3.3.2 Vorgehen bei der Datenaufnahme                          | 17       |
| 3.3.3 Verteilungen/Allokationen                               | 18       |
| 3.3.4 Behandlung von Recycling                                | 20       |
| 3.3.5 Aggregation von Sachbilanzgrößen                        | 24       |
| 3.3.5.1 Primärenergiebedarf                                   | 24       |
| 3.3.5.2 Abfallgrößen                                          | 25       |
| 3.4 Wirkungsabschätzung                                       | 26       |
| 3.4.1 Allgemeine Beschreibung                                 | 26       |
| 3.4.2 Auswahl der Wirkkategorien                              | 28       |
| 3.4.3 Beschreibung der Wirkkategorien                         | 29       |
| 3.4.3.1 Anthropogener Treibhauseffekt                         | 29       |
| 3.4.3.2 Katalytischer Ozonabbau in der Stratosphäre           | 31       |
| 3.4.3.3 Versauerung                                           | 34       |
| 3.4.3.4 Eutrophierung (Überdüngung)                           | 35       |
| 3.4.3.5 Sommersmog (Photooxidantienbildung)                   | 37       |
| 3.4.4 Normalisierung                                          | 39       |
| 3.5 Auswertung                                                | 39       |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4 Baustoff- und Systemprofile .....</b>                     | <b>41</b> |
| 4.1 Gipsprodukte .....                                         | 43        |
| 4.1.1 Übersicht .....                                          | 43        |
| 4.1.2 Datenerhebung .....                                      | 44        |
| 4.1.3 Spezifische Randbedingungen .....                        | 44        |
| 4.1.4 Sachbilanz .....                                         | 44        |
| 4.1.5 Baustoffprofil Gips .....                                | 45        |
| 4.2 Kalkprodukte .....                                         | 47        |
| 4.2.1 Übersicht .....                                          | 47        |
| 4.2.2 Datenerhebung .....                                      | 48        |
| 4.2.3 Sachbilanz .....                                         | 48        |
| 4.2.4 Baustoffprofil Kalk .....                                | 48        |
| 4.3 Zement .....                                               | 50        |
| 4.3.1 Übersicht .....                                          | 50        |
| 4.3.2 Datenerhebung .....                                      | 51        |
| 4.3.3 Spezifische Randbedingungen .....                        | 51        |
| 4.3.4 Sachbilanz .....                                         | 52        |
| 4.3.5 Baustoffprofil Zement .....                              | 52        |
| 4.4 Sand und Kies .....                                        | 54        |
| 4.4.1 Übersicht .....                                          | 54        |
| 4.4.2 Datenerhebung .....                                      | 55        |
| 4.4.3 Sachbilanz .....                                         | 55        |
| 4.4.4 Baustoffprofil Sand und Kies .....                       | 56        |
| 4.5 Transportbeton und Werkfrischmörtel .....                  | 58        |
| 4.5.1 Übersicht .....                                          | 58        |
| 4.5.2 Datenerhebung .....                                      | 58        |
| 4.5.3 Spezifische Randbedingungen .....                        | 58        |
| 4.5.4 Sachbilanz .....                                         | 59        |
| 4.5.5 Baustoffprofil Transportbeton und Werkfrischmörtel ..... | 60        |
| 4.6 Porenbeton .....                                           | 62        |
| 4.6.1 Übersicht .....                                          | 62        |
| 4.6.2 Datenerhebung .....                                      | 63        |
| 4.6.3 Spezifische Randbedingungen .....                        | 63        |
| 4.6.4 Sachbilanz .....                                         | 63        |
| 4.6.5 Baustoffprofil Porenbeton .....                          | 64        |
| 4.7 Leichtbeton mit Zuschlag Bims .....                        | 66        |
| 4.7.1 Übersicht .....                                          | 66        |
| 4.7.2 Datenerhebung .....                                      | 67        |
| 4.7.3 Spezifische Randbedingungen .....                        | 68        |
| 4.7.4 Sachbilanz .....                                         | 68        |
| 4.7.5 Baustoffprofil Bimsstein .....                           | 68        |
| 4.8 Leichtbeton mit Zuschlag Blähton .....                     | 71        |
| 4.8.1 Übersicht .....                                          | 71        |
| 4.8.2 Datenerhebung .....                                      | 72        |

|          |                                                    |     |
|----------|----------------------------------------------------|-----|
| 4.8.3    | Sachbilanz .....                                   | 72  |
| 4.8.4    | Baustoffprofil Blähtonprodukte .....               | 72  |
| 4.9      | Kalksandstein .....                                | 74  |
| 4.9.1    | Übersicht .....                                    | 74  |
| 4.9.2    | Datenerhebung .....                                | 75  |
| 4.9.3    | Spezifische Randbedingungen .....                  | 75  |
| 4.9.4    | Sachbilanz .....                                   | 76  |
| 4.9.5    | Baustoffprofil Kalksandstein .....                 | 76  |
| 4.10     | Ziegel .....                                       | 78  |
| 4.10.1   | Übersicht .....                                    | 78  |
| 4.10.2   | Datenerhebung .....                                | 80  |
| 4.10.3   | Sachbilanz .....                                   | 80  |
| 4.10.4   | Baustoffprofil Ziegel .....                        | 80  |
| 4.11     | Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) .....               | 82  |
| 4.11.1   | Systemdarstellung .....                            | 82  |
| 4.11.2   | Datenerhebung .....                                | 84  |
| 4.11.3   | Sachbilanz .....                                   | 84  |
| 4.11.4   | Baustoffprofil Wärmedämmverbundsysteme .....       | 84  |
| 4.11.4.1 | WDVS (Kunstharzputz) .....                         | 84  |
| 4.11.4.2 | WDVS (Silikat-Dispersionsputz) .....               | 86  |
| 4.11.4.3 | WDVS (Leichtputz mineralisch) .....                | 88  |
| 4.11.4.4 | WDVS (Kratzputz mineralisch) .....                 | 90  |
| 4.11.4.5 | WDVS (Dekorputz mineralisch) .....                 | 92  |
| 4.12     | Glaswolle .....                                    | 94  |
| 4.12.1   | Übersicht .....                                    | 94  |
| 4.12.2   | Datenerhebung .....                                | 96  |
| 4.12.3   | Sachbilanz .....                                   | 96  |
| 4.12.4   | Baustoffprofil Glaswolle .....                     | 96  |
| 4.13     | Steinwolle .....                                   | 100 |
| 4.13.1   | Übersicht .....                                    | 100 |
| 4.13.2   | Datenerhebung .....                                | 101 |
| 4.13.3   | Sachbilanz .....                                   | 101 |
| 4.13.4   | Baustoffprofil Steinwolle .....                    | 101 |
| 4.14     | Expandiertes Polystyrol (EPS) .....                | 105 |
| 4.14.1   | Übersicht .....                                    | 105 |
| 4.14.2   | Datenerhebung .....                                | 105 |
| 4.14.3   | Spezifische Randbedingungen .....                  | 105 |
| 4.14.4   | Sachbilanz .....                                   | 108 |
| 4.14.5   | Baustoffprofil expandiertes Polystyrol (EPS) ..... | 108 |
| 4.15     | Zellulosefaserdämmstoff .....                      | 109 |
| 4.15.1   | Übersicht .....                                    | 109 |
| 4.15.2   | Datenerhebung .....                                | 111 |
| 4.15.3   | Sachbilanz .....                                   | 111 |
| 4.15.4   | Baustoffprofil Zelluloseflocken .....              | 111 |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| 4.16     | Flachsfaserdämmstoff .....                          | 115        |
| 4.16.1   | Übersicht .....                                     | 115        |
| 4.16.2   | Datenerhebung .....                                 | 117        |
| 4.16.3   | Sachbilanz .....                                    | 117        |
| 4.16.4   | Baustoffprofil Flachsfaserdämmstoff .....           | 120        |
| 4.17     | Fenstersysteme .....                                | 122        |
| 4.17.1   | Übersicht .....                                     | 122        |
| 4.17.2   | Datenerhebung .....                                 | 122        |
| 4.17.3   | Spezifische Randbedingungen .....                   | 122        |
| 4.17.4   | Sachbilanz .....                                    | 124        |
| 4.17.5   | Systemprofil PVC-Fenster .....                      | 124        |
| 4.17.6   | Systemprofil Holz-Fenster .....                     | 126        |
| 4.17.7   | Systemprofil Aluminium-Fenster .....                | 126        |
| 4.17.8   | Systemprofil Holz-Aluminium-Fenster .....           | 130        |
| 4.18     | Heizsysteme .....                                   | 130        |
| 4.18.1   | Übersicht .....                                     | 130        |
| 4.18.2   | Datenerhebung .....                                 | 130        |
| 4.18.3   | Spezifische Randbedingungen .....                   | 131        |
| 4.18.4   | Sachbilanz .....                                    | 131        |
| 4.18.5   | Systemprofil Heizsysteme .....                      | 133        |
| 4.19     | Baustellenprozesse .....                            | 135        |
| 4.19.1   | Schalung .....                                      | 136        |
| 4.19.2   | Betonieren mit Betonpumpe .....                     | 137        |
| 4.19.3   | Durchschnittsbaumaschine .....                      | 138        |
| 4.19.4   | Minibagger .....                                    | 139        |
| 4.19.5   | Hydraulikbagger .....                               | 139        |
| 4.20     | Nutzungsphasenprozesse .....                        | 140        |
| 4.20.1   | Heizsystembetrieb .....                             | 140        |
| 4.20.2   | Hausgerätebetrieb .....                             | 142        |
| 4.21     | Recycling (Aufbereitungssystem) .....               | 142        |
| <b>5</b> | <b>Methode zur Bilanzierung von Gebäuden .....</b>  | <b>144</b> |
| 5.1      | Allgemeines und Zusammenhänge .....                 | 144        |
| 5.2      | Herstellungsphase (Vorketten und Bauphase) .....    | 155        |
| 5.2.1    | Bauteile mit Schichtaufbau (Wände und Decken) ..... | 155        |
| 5.2.2    | Bauteile mit Fachwerkaufbau .....                   | 157        |
| 5.2.3    | Komplettbauteile .....                              | 160        |
| 5.2.4    | Zusatzbauteile .....                                | 160        |
| 5.3      | Nutzungsphase .....                                 | 161        |
| 5.3.1    | Die thermische Nutzungsphase .....                  | 163        |
| 5.3.1.1  | Benutzerverhalten .....                             | 164        |
| 5.3.1.2  | Klima .....                                         | 165        |
| 5.3.1.3  | Externe Verschattung .....                          | 167        |

|          |                                                                                      |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3.1.4  | Bodentemperatur .....                                                                | 169        |
| 5.3.1.5  | Architektur des Gebäudes .....                                                       | 170        |
| 5.3.1.6  | Kennwerte der Bauteile .....                                                         | 170        |
| 5.3.1.7  | Gebäudeausrichtung .....                                                             | 171        |
| 5.3.1.8  | Innere Wärmequellen .....                                                            | 173        |
| 5.3.1.9  | Resümee .....                                                                        | 173        |
| 5.3.2    | Die unterhaltsbedingte Nutzungsphase .....                                           | 177        |
| 5.3.3    | Randbedingungen der Nutzungsphase .....                                              | 177        |
| 5.3.4    | Analyse der Nutzungsphasen für freigeschnittene Bauteile .....                       | 178        |
| 5.4      | End of Life/Recycling .....                                                          | 181        |
| 5.4.1    | Status Quo der Nachnutzungsmaßnahmen .....                                           | 183        |
| 5.4.2    | Verwertungsmöglichkeiten von Baureststoffen .....                                    | 183        |
| 5.4.3    | Aufwendungen von Recyclingprozessen .....                                            | 187        |
| 5.4.4    | Integration von Recycling in die Ganzheitliche Bilanzierung ..                       | 188        |
| 5.4.4.1  | Produktionsrecycling .....                                                           | 188        |
| 5.4.4.2  | Closed-Loop-Recycling .....                                                          | 188        |
| 5.4.4.3  | Open-Loop-Recycling .....                                                            | 189        |
| 5.4.5    | Beispiel Beton .....                                                                 | 190        |
| <b>6</b> | <b>Softwareunterstützung zur Datenverwaltung und Bilanzierung von Gebäuden .....</b> | <b>194</b> |
| 6.1      | Allgemeines .....                                                                    | 194        |
| 6.2      | Softwareunterstützung in der Bilanzierung – IKP Philosophie für DFE .....            | 194        |
| 6.3      | Systemaufbau von <i>BuildIt</i> .....                                                | 195        |
| 6.3.1    | Entwicklungsumgebung .....                                                           | 195        |
| 6.3.2    | Systemaufbau .....                                                                   | 196        |
| 6.4      | Darstellung ausgewählter Eingabedialoge .....                                        | 197        |
| 6.4.1    | Eingabedialog zum Aufbau von Dachkonstruktionen .....                                | 197        |
| 6.4.2    | Aufbau von Gebäuden (Projekten) .....                                                | 199        |
| 6.5      | Darstellung ausgewählter Ergebnisse .....                                            | 201        |
| 6.5.1    | Vergleich von Konstruktionen .....                                                   | 201        |
| 6.5.2    | Gebäude .....                                                                        | 203        |
| 6.6      | Abschließende Bewertung – Perspektiven .....                                         | 204        |
| <b>7</b> | <b>Verifikation der Methode an Beispielgebäuden .....</b>                            | <b>205</b> |
| 7.1      | Einfamilienhaus .....                                                                | 206        |
| 7.1.1    | Objektbeschreibung Einfamilienhaus .....                                             | 206        |
| 7.1.2    | Herstellungsaufwendungen Einfamilienhaus .....                                       | 207        |
| 7.1.3    | Nutzungsphase Einfamilienhaus .....                                                  | 211        |
| 7.1.4    | Nutzungsszenario Einfamilienhaus .....                                               | 212        |

---

|          |                                                 |            |
|----------|-------------------------------------------------|------------|
| 7.2      | Mehrfamilienhaus .....                          | 215        |
| 7.2.1    | Objektbeschreibung Mehrfamilienhaus .....       | 215        |
| 7.2.2    | Herstellungsaufwendungen Mehrfamilienhaus ..... | 216        |
| 7.2.3    | Nutzungsphase Mehrfamilienhaus .....            | 220        |
| 7.2.4    | Nutzungsszenario Mehrfamilienhaus .....         | 220        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>       | <b>222</b> |
|          | <b>Literatur und Quellen .....</b>              | <b>224</b> |
|          | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>               | <b>230</b> |