

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung \_\_\_\_\_viii

Abstract \_\_\_\_\_ix

Definitionen \_\_\_\_\_x

Formelzeichen und Abkürzungen \_\_\_\_\_x

**1 Einleitung \_\_\_\_\_1**

1.1 Motivation und Problemstellung \_\_\_\_\_1

1.2 Zielsetzung \_\_\_\_\_2

1.3 Vorgehensweise \_\_\_\_\_3

**2 Ausgangssituation der Untersuchungen \_\_\_\_\_5**

2.1 Regulatorik \_\_\_\_\_5

2.1.1 Allgemeines \_\_\_\_\_5

2.1.2 Protokoll von Kyoto \_\_\_\_\_5

2.1.3 Agenda 2030 \_\_\_\_\_5

2.1.4 Übereinkommen von Paris \_\_\_\_\_6

2.1.5 Europäischer Grüner Deal, EU-Taxonomie und Level(s) \_\_\_\_\_8

2.1.6 Bundes-Klimaschutzgesetz Deutschland \_\_\_\_\_10

2.2 Umweltbilanz des Bauwesens \_\_\_\_\_12

2.2.1 Allgemeines \_\_\_\_\_12

2.2.2 Ressourcenverbrauch und Abfallaufkommen \_\_\_\_\_12

2.2.3 Treibhausgasemissionen \_\_\_\_\_14

2.3 Aktuelle Planungsgewohnheiten \_\_\_\_\_18

2.4 Zwischenfazit \_\_\_\_\_21

**3 Grundlagen ökobilanzieller Untersuchungen \_\_\_\_\_23**

3.1 Allgemeines \_\_\_\_\_23

3.2 Ziel und Ablauf einer Ökobilanz \_\_\_\_\_23

3.3 Ökobilanzierung im Bauwesen \_\_\_\_\_25

3.3.1 Normative Grundlagen \_\_\_\_\_25

3.3.2 Datenbasis \_\_\_\_\_32

3.3.3 Treibhausgasbilanzierung von Holz und Holzwerkstoffen \_\_\_\_\_35

3.3.4 Kritische Analyse der Bewertungszeiträume \_\_\_\_\_37

3.4 Zwischenfazit \_\_\_\_\_40

**4 Benchmarking im Bauwesen \_\_\_\_\_41**

4.1 Grundlagen Benchmarking \_\_\_\_\_41

4.1.1 Allgemeines \_\_\_\_\_41

4.1.2 Definitionen \_\_\_\_\_41

4.1.3 Benchmarkwerte \_\_\_\_\_42

4.1.4 Ansätze für die Festlegung von Benchmarks \_\_\_\_\_44

4.1.5 Akteure \_\_\_\_\_46

4.2 Benchmarks für gebäudebezogene Treibhausgasemissionen \_\_\_\_\_46

4.2.1 Allgemeines \_\_\_\_\_46

4.2.2 Randbedingungen der Benchmarkstudien \_\_\_\_\_47

4.2.3 Auswertung und Interpretation der betrachteten Benchmarks \_\_\_\_\_54

4.3 Benchmarks für bauteilbezogene Treibhausgasemissionen \_\_\_\_\_63

4.3.1 Allgemeines \_\_\_\_\_63

4.3.2 Benchmarkansatz nach *Hollberg et al. 2019b* \_\_\_\_\_64

4.3.3 Benchmarkansatz nach *Hoxha et al. 2016* \_\_\_\_\_65

4.3.4 Gegenüberstellung und Bewertung \_\_\_\_\_66

4.4 Zwischenfazit \_\_\_\_\_68

**5 Graue Emissionen marktverfügbarer Deckensysteme \_\_\_\_\_70**

5.1 Allgemeines \_\_\_\_\_70

5.2 Randbedingungen der Untersuchungen \_\_\_\_\_70

5.2.1	Systemgrenze und funktionelle Einheit	70
5.2.2	Betrachtete Deckensysteme	74
5.3	Untersuchungen am Beispiel eines Referenzbürogebäudes	76
5.3.1	Allgemeines	76
5.3.2	Randbedingungen	76
5.3.3	Ermittlung der erforderlichen Deckenquerschnitte	79
5.3.4	Einfluss variierender ökobilanzieller Randbedingungen	83
5.3.5	Auswertung der Untersuchungen	88
5.4	Untersuchungen für variierende statische Randbedingungen	92
5.4.1	Allgemeines	92
5.4.2	Randbedingungen und Variationen	92
5.4.3	Ermittlung der erforderlichen Deckenquerschnitte	95
5.4.4	Auswertung der Untersuchungen für Standardanforderungen	96
5.4.5	Auswertung der Untersuchungen für Variationen	105
5.5	Zwischenfazit	113
<b>6</b>	<b>Validierung der eigenen Untersuchungen</b>	<b>115</b>
6.1	Allgemeines	115
6.2	Umfrage zu Hochbaudeckensystemen in der Praxis	115
6.2.1	Methodisches Vorgehen, Ablauf und Umfang der Umfrage	115
6.2.2	Harmonisierung der Rohdaten	116
6.2.3	Analyse der harmonisierten Rohdaten	117
6.2.4	Ermittlung und Analyse der Grauen Emissionen der Deckensysteme	125
6.3	Ökobilanzielle Untersuchung von Deckensystemen in der Literatur	129
6.4	Vergleich und Einordnung der Untersuchungsergebnisse	133
6.4.1	Allgemeines	133
6.4.2	Harmonisierung	133
6.4.3	Gegenüberstellung	134
6.5	Zwischenfazit	139
<b>7</b>	<b>Benchmarkansätze für Graue Emissionen von Deckensystemen</b>	<b>140</b>
7.1	Allgemeines	140
7.2	Bottom-Up-Ansatz	140
7.2.1	Allgemeines	140
7.2.2	Einfluss statischer Randbedingungen	141
7.2.3	Bottom-Up-Benchmark in Abhängigkeit der Spannweite	143
7.2.4	Reduktionspfad	148
7.3	Top-Down-Ansatz	149
7.3.1	Allgemeines	149
7.3.2	Top-Down-Ansätze in der Literatur	150
7.3.3	Ermittlung von Top-Down-Benchmarks für Deckenbauteile	152
7.3.4	Reduktionspfad	159
7.4	Vergleich und Bewertung des Bottom-Up- und Top-Down-Ansatzes	160
7.5	Zwischenfazit	163
<b>8</b>	<b>Anwendungsbeispiel und Optimierungsansätze</b>	<b>165</b>
8.1	Allgemeines	165
8.2	Ausführungsvarianten	166
8.2.1	Variante Standard – SB-Massivdecke	166
8.2.2	Variante I – SB-Massivdecke mit veränderlichem Querschnitt	167
8.2.3	Variante II – SB-Rippendecke mit konstantem Querschnitt	168
8.2.4	Variante III – SB-Rippendecke mit veränderlichem Querschnitt	169
8.2.5	Variante IV – HBV-Rippendecke mit veränderlichem Querschnitt	170
8.2.6	Variante V – SB-Massivdecke mit Ökobeton	170
8.2.7	Variante VI – SB-Rippendecke mit veränderlichem Querschnitt und Ökobeton	171
8.3	Zwischenfazit	172

<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>174</b>
9.1	Zusammenfassung	174
9.2	Ausblick	176
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>178</b>
	<b>Anhang A – Umfrage Planungsgewohnheiten</b>	<b>201</b>
	<b>Anhang B – Zusätzliche Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen</b>	<b>215</b>
	<b>Anhang C – Beispiel für die Kommunikation einer Benchmark</b>	<b>217</b>
	<b>Anhang D – Zusatzinformationen zu Abschnitt 4.2</b>	<b>218</b>
	<b>Anhang E – Graue Emissionen von Unterzügen – Umfrage und Literaturrecherche</b>	<b>226</b>
	<b>Anhang F – Zusatzinformationen zu Abschnitt 5.4.3</b>	<b>227</b>
	<b>Anhang G – Graue Emissionen von Unterzügen und Stützen – Parameterstudie</b>	<b>242</b>
	<b>Anhang H – Umfrage zu Deckensystemen im Hochbau</b>	<b>248</b>
	<b>Anhang I – Zusatzinformationen zu den Abschnitten 6.4.2 und 6.4.3</b>	<b>253</b>
	<b>Anhang J – Zusatzinformationen zu Abschnitt 7.2.2</b>	<b>268</b>
	<b>Anhang K – Top-Down-Benchmarks</b>	<b>271</b>
	<b>Anhang L (informativ) – Gelbdruck der DAfStb-Richtlinie „Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton“</b>	<b>272</b>