



I Inhaltsübersicht

1	Einleitung.....	1
2	Stand des Wissens	11
3	Ökobilanzierung von Innentüren als Vorstudie für komplexe Holzprodukte	47
4	Die Möbelindustrie im Detail	59
5	Vorgehensweise sowie Entwicklung einer Methode zur systematischen Ökobilanzierung von Möbeln	72
6	Ökobilanzergebnisse für Aufbewahrungs- und Ablagemöbel.....	106
7	Diskussion der Ökobilanzergebnisse sowie der entwickelten Methode.....	131
8	Überlegungen zur Nutzungsphase und zum End-of-Life.....	149
9	Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf.....	194
10	Zusammenfassung.....	197
11	Summary	201
12	Literatur.....	205
13	Anhang	233

II Detailliertes Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsübersicht.....	i
II	Detailliertes Inhaltsverzeichnis	i
III	Abkürzungsverzeichnis	v
1	Einleitung.....	1
1.1	Hintergründe	1
1.1.1	Nachhaltigkeit und ihre Operationalisierung	1
1.1.2	Motivation von Unternehmen für Nachhaltigkeitsengagements	5
1.1.3	Holzwirtschaft und Möbelindustrie	8
1.2	Zielsetzung.....	9
2	Stand des Wissens	11
2.1	Ökobilanzierung	11
2.1.1	Methode der Ökobilanzierung nach ISO 14040 und ISO 14044.....	12
2.1.1.1	Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens	12
2.1.1.2	Sachbilanz.....	16
2.1.1.3	Wirkungsabschätzung	21
2.1.1.4	Auswertung	23
2.1.2	Ergänzende Festlegungen nach EN 15804	24
2.1.3	Berücksichtigung der holzinhärenten Materialeigenschaften nach EN 16485	30
2.2	Methodische Ansätze zur Ökobilanzierung komplexer Produkte.....	32
2.3	Entwicklung der Ökobilanzierung im Forst- und Holzsektor.....	37



2.4	Bisher durchgeführte Ökobilanzstudien für Möbel.....	39
2.4.1	Darstellung ausgewählter Studien	43
2.4.2	Kritische Würdigung dieser Studien	45
2.5	Abgeleiteter Forschungsbedarf	46
3	Ökobilanzierung von Innentüren als Vorstudie für komplexe Holzprodukte	47
3.1	Ziel, Untersuchungsrahmen und Vorgehensweise.....	47
3.1.1	Systemgrenzen und deklarierte Einheit	48
3.1.2	Allokation und Ende der Abfalleigenschaft	49
3.1.3	Methode der Wirkungsabschätzung und verwendete Hintergrunddaten.....	50
3.1.4	Türen als Innenausbauprodukte	51
3.1.5	Vorgehensweise und identifizierte Herausforderungen	52
3.2	Ergebnisse der durchgeführten Ökobilanzstudie für Innentüren	55
3.3	Erkenntnisse mit Modellcharakter für die nachfolgende Ökobilanzierung von Möbeln ..	55
4	Die Möbelindustrie im Detail	59
4.1	Darstellung der industriellen Möbelfertigung.....	59
4.2	Datenstruktur in der Möbelindustrie	64
4.3	Motivation von Unternehmen der Möbelindustrie für Nachhaltigkeitsengagements	67
5	Vorgehensweise sowie Entwicklung einer Methode zur systematischen Ökobilanzierung von Möbeln.....	72
5.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	72
5.1.1	Systemgrenzen	73
5.1.2	Allokation und Ende der Abfalleigenschaft	75
5.1.3	Methode der Wirkungsabschätzung und verwendete Hintergrunddaten.....	77
5.2	Produkt- und Funktionsvielfalt in der Möbelindustrie	77
5.2.1	Produktvielfalt als Resultat aus Material- bzw. Komponentenvielfalt.....	77
5.2.2	Funktionsvielfalt	78
5.2.2.1	Hauptfunktionen von Möbeln	79
5.2.2.2	Kombination verschiedener Funktionen und <i>optische Zusatzfunktionen</i>	79
5.3	Entwickelte Strategien zum Umgang mit der Komplexität in der Möbelindustrie	80
5.3.1	Klassifizierungen zur Komplexitätsreduktion	80
5.3.1.1	Funktionelle Gruppen.....	81
5.3.1.2	Materialklassen	82
5.3.1.3	Produktgruppen	84
5.3.1.4	Standardmaterialien	86
5.3.1.5	Prozessgruppen	87
5.3.2	Deklarierte Einheit.....	89
5.3.3	Systematische Datenverarbeitung	90
5.4	Datenerhebung.....	91
5.4.1	Erster Fragebogen zur Einordnung des Unternehmens	91
5.4.2	Zweiter Fragebogen zur detaillierten Erfassung der Werksaufwendungen.....	92
5.4.3	Stücklisten zur Verteilung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen	92



5.5	Datenberechnung und Sachbilanzerstellung	93
5.5.1	Herangehensweise als Kombination von TOP-DOWN und BOTTOM-UP Ansatz	93
5.5.2	Validierung der erhobenen Daten.....	94
5.5.3	Bildung von Durchschnittsmöbeln	95
5.5.4	Zuordnung der erhobenen Werksdaten zu den hergestellten Produktgruppen	97
5.5.4.1	Zuordnung der Rohstoffe und Halbwaren	97
5.5.4.2	Zuordnung der Abfälle.....	100
5.5.4.3	Ermittlung der Produktmasse	100
5.5.4.4	Zuordnung der Energieverbräuche	101
5.6	Modellierung des Produktsystems.....	103
6	Ökobilanzergebnisse für Aufbewahrungs- und Ablagemöbel.....	106
6.1	Struktur der Ergebnisdarstellung	106
6.2	Ergebnis für Aufbewahrungsmöbel.....	109
6.2.1	Sachbilanz.....	109
6.2.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	111
6.2.3	Dominanzanalyse	113
6.2.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz.....	119
6.3	Ergebnis für Ablagemöbel	120
6.3.1	Sachbilanz.....	120
6.3.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	122
6.3.3	Dominanzanalyse	123
6.3.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz.....	130
7	Diskussion der Ökobilanzergebnisse sowie der entwickelten Methode.....	131
7.1	Diskussion der Ökobilanzergebnisse	131
7.1.1	Repräsentativität und Qualität der Daten.....	131
7.1.2	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen.....	133
7.1.3	Ergebnisse der Dominanzanalysen im Kontext anderer Studien	135
7.1.4	Modellierung des Produktsystems.....	137
7.1.5	Einfluss der Kapazitätsauslastung von Produktionsanlagen auf die Ökobilanzergebnisse	139
7.2	Diskussion der entwickelten Methode.....	140
7.2.1	Datenerhebung	140
7.2.2	Datenberechnung und Sachbilanzerstellung	141
7.2.2.1	Entwickelte Verteilungsgrundsätze.....	141
7.2.2.2	Vergleich der Ansätze zur Datenberechnung bei Innentüren und Möbeln	144
7.2.3	Verifizierung der entwickelten Methode anhand von Primärdaten aus der Möbelindustrie.....	145
7.2.4	Operationalisierbarkeit der entwickelten Methode zur Ökobilanzierung komplexer (Holz-) Produkte außerhalb der Möbelindustrie.....	145
7.3	Fazit der Diskussion von Ökobilanzergebnissen und entwickelter Methode	148



8	Überlegungen zur Nutzungsphase und zum End-of-Life	149
8.1	Nutzungsphase	149
8.1.1	Nutzungsdauer und Nutzerverhalten	149
8.1.2	Umweltwirkungen während der Nutzungsphase	152
8.2	End-of-Life (Entsorgungsphase)	153
8.2.1	Verwendungs- und Verwertungsoptionen am Ende einer Nutzungsphase	154
8.2.2	Urban Mining	157
8.2.3	Nutzungsoptionen für Altmöbel	158
8.2.3.1	Wiederverwendung	159
8.2.3.2	Stoffliche Verwertung	161
8.2.3.3	Energetische Verwertung	168
8.2.4	Design for End-of-Life	169
8.2.5	End-of-Life von Holzprodukten in Ökobilanzen	171
8.2.5.1	Systemgrenzen für das EoL von Holzprodukten und insbesondere von Möbeln	172
8.2.5.2	Ökobilanzierung von EoL-Optionen für Holzprodukte	175
8.3	Methodische Überlegungen zur ökobilanziellen Erfassung des Lebensweg- abschnitts gate-to-grave	182
8.3.1	Ausgangssituation	182
8.3.2	Informationsbewahrung und -bereitstellung entlang des Lebenswegs	183
8.3.3	Radio Frequency Identification (RFID) zur Informationsbereitstellung entlang des Lebenswegs	186
8.3.4	Anforderungskatalog an eine ID-Card für Möbel	190
8.4	Urban Mining bei Altmöbeln: Potential und Umsetzbarkeit	191
9	Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf	194
10	Zusammenfassung	197
10.1	Vorgehensweise	197
10.2	Ergebnisse und Diskussion	199
10.3	Schlussfolgerungen	200
11	Summary	201
11.1	Methods	201
11.2	Results and Discussion	203
11.3	Conclusions	204
12	Literatur	205
13	Anhang	233
IV	Abbildungsverzeichnis	ix
V	Tabellenverzeichnis	xiii