

Hochschule Darmstadt  
Fachbereich Gesellschaftswissenschaften  
Studienbereich Sozial- und Kulturwissenschaften  
Master-Studiengang RASUM  
Sommersemester 2021

## **Ökobilanzierung von Möbeln und Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen**

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science  
im Studiengang  
Risk Assessment and Sustainability Management

von  
Carolin Isabel Schwarz

Abgabedatum: 31.08.2021

Referent: Prof. Dr. Martin Führ  
Korreferent: Dr. Julian Schenten

Matrikelnummer 746014  
4. Fachsemester RASUM

## **Zusammenfassung**

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Ökobilanzierung von Möbeln und Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen. Sie widmet sich folgender Kernfrage: „Welche Maßnahmen empfehlen sich im Hinblick auf das Ziel, die Umweltauswirkungen und insbesondere die Treibhausgasemissionen von Möbeln, die über form.bar gefertigt sind, über den gesamten Lebensweg so weit als möglich zu quantifizieren (inkl. der Identifikation von „Hotspots“) und dies verständlich an die Kundschaft zu kommunizieren? Und wie können die zentralen Akteure – im zweiten Schritt – die Umweltauswirkungen reduzieren?“

Die Vorgehensweise orientiert sich an der transdisziplinären Delta-Analyse. Als Startpunkt überführt die Arbeit normative Rahmenbedingungen auf globaler, EU- und nationaler Ebene in Kriterien, anhand welcher sich die ökologische „Nachhaltigkeit“ eines Produkts bewerten lässt (= normatives Soll). Dem steht ein Ist-Zustand gegenüber, welchen die vorliegende Arbeit anhand einer Ökobilanzierung in Anlehnung an die Normen DIN EN ISO 14040/44 ermittelt. Dabei vergleicht sie exemplarisch die Umweltauswirkungen eines Möbelstücks von form.bar mit denen eines ähnlichen Möbelstücks eines in Deutschland agierenden Möbelkonzerns über den gesamten Lebensweg. Die ökobilanzielle Untersuchung quantifiziert die Umweltauswirkungen und deckt Emissions-Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung auf. Als Methode zur Wirkungsabschätzung dient ReCiPe 2016 Midpoint H. Darüber hinaus vergleicht die Arbeit die beiden Möbelstücke bezüglich weiterer Aspekte, darunter die Transparenz von problematischen Inhaltsstoffen und die erwartete Lebensdauer. Bei beiden weisen die untersuchten Produkte Verbesserungspotenziale auf. Zusammen mit den Emissions-Hotspots sind sie die zentralen Hebelpunkte zur Reduzierung der Umweltauswirkungen (= Delta). Zu jedem Hebelpunkt gehören zentrale Akteure, dessen Anreize und Hemmnisse bezüglich der Umsetzung die Arbeit jeweils identifiziert (AHA). Darauf aufbauend entwickelt die Arbeit für jede Gestaltungsoption im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses Maßnahmen entlang eines Plan-Do-Check-Act Zyklus, welcher Hemmnisse abbaut und Anreize verstärkt. Zusätzlich priorisiert eine Roadmap die Gestaltungsoptionen nach ihrem Aufwand und der erwarteten Wirkung (= Reduzierung der Umweltauswirkungen). Zu den zentralen Akteuren gehören auch die Kundschaft und potenzielle Nutzende. Für diese entwirft die Arbeit ein Kommunikationskonzept aufbauend auf dem Stufenmodell der selbstregulierten Verhaltensänderung. Als konkrete Beispiele dienen das Ampelprinzip und das Storytelling. Zentrale Ergebnisse der Arbeit sind, dass der Transport zur Kundschaft eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Treibhausgasemissionen spielt. Diesen gilt es daher möglichst kurz zu halten und die Auslieferung, wobei mehrere Kunden auf einer Tour anzufahren sind, ist der Selbstabholung vorzuziehen. Bei einer lokalen Fertigung spielt außerdem die Wahl der Holzwerkstoffe und der Lieferanten eine entscheidende Rolle. Hier empfiehlt es sich Lieferanten auszuwählen, die nahe am Herstellungsort liegen und auch ihre Vorprodukte möglichst aus der Nähe beziehen. Bei der Materialauswahl birgt der Einsatz von Holzwerkstoffen aus Rezyklat enormes Einsparpotenzial und auch das eingesetzte Bindemittel ist entscheidend. Für eine möglichst lange Lebensdauer empfiehlt sich die Einführung einer lebenslangen Garantie, Reparatur und Rücknahme im Sinne einer erweiterten Herstellerverantwortung (EPR). Zudem ist der verwendete Strommix in den Schreinerbetrieben in ökologischer Hinsicht zu optimieren. Die Hersteller und Händler von beiden untersuchten Produkten müssen die Transparenz über mögliche problematische Inhaltsstoffe in ihren Produkten erhöhen.

## **Abstract**

This master thesis deals with the life cycle assessment of furniture and strategies to reduce the environmental impact. It addresses the following core question: "What measures are recommended regarding the goal of quantifying the environmental impact and in particular the greenhouse gas emissions of furniture manufactured via form.bar as far as possible over the entire life cycle (including the identification of "hotspots") and communicating this to customers in a comprehensible way? And how can the key stakeholders - in the second step - reduce the environmental impact?"

The approach is based on the transdisciplinary delta analysis. As a starting point, the work translates normative framework conditions at global, EU and national level into criteria by which the ecological "sustainability" of a product can be assessed (= normative target). This is contrasted with the actual situation, which this study determines by means of a life cycle assessment based on the DIN EN ISO 14040/44 standards. It compares the environmental impact of a piece of furniture from form.bar with that of a similar piece of furniture from a furniture company operating in Germany over its entire life cycle. The life cycle assessment quantifies the environmental impacts and reveals emission hotspots in the impact category global warming. The impact assessment method used is ReCiPe 2016 Midpoint H. In addition, the work compares the two pieces of furniture regarding other aspects, including the transparency of substances of concern and the expected service life. For both, the products studied show potential for improvement. Together with the emission hotspots, they are the central leverage points for reducing environmental impacts (= delta). For each leverage point, there are key actors whose incentives and barriers to implementation are identified in the work (AHA). Based on this, the work develops measures for each implementation option in the sense of a continuous improvement process along a Plan-Do-Check-Act cycle, which reduces barriers and strengthens incentives. In addition, a roadmap prioritises the implementation options according to their effort and expected impact (= reduction of environmental impacts). The key stakeholders also include customers and potential users. For them, the study develops a communication concept based on the stage model of self-regulated behavioural change. The traffic light principle and storytelling serve as concrete examples. The central results of the work are that the transport to the customer plays a decisive role regarding greenhouse gas emissions. It is therefore important to keep this as short as possible, and delivery to several customers on one tour is preferable to self-collection. In the case of local production, the choice of wood materials and suppliers also plays a key role. Here, it is advisable to choose suppliers that are close to the production site and source their preliminary products as close as possible. When it comes to the choice of materials, the use of wood-based materials made from recycled material offers enormous savings potential and the binder used is also decisive. To ensure the longest possible service life, it is recommended to introduce a lifetime guarantee, repair and take-back in the sense of extended producer responsibility (EPR). In addition, the electricity mix used in the joinery businesses should be optimised from an ecological point of view. The manufacturers and retailers of both products studied must increase transparency about possible substances of concern in their products.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Abstract.....	ii
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	v
Abkürzungsverzeichnis .....	vi
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Möbelindustrie in Deutschland .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Ansatz von form.bar .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Zielsetzung und Kernfrage .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Methodik .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Aufbau der Arbeit .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Normativer Kontext und Kriterien (Normatives Soll) .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 UN-Ebene: Sustainable Development Goals .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Europäische Ebene .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft.....	6
2.2.2 Ökodesign-Richtlinie.....	8
2.2.3 Holzhandelsverordnung.....	9
<b>2.3 Nationale Ebene .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Produktpolitische Vorgaben im Kreislaufwirtschaftsgesetz .....	9
2.3.2 Bundeswaldgesetz / „nachhaltige“ Forstwirtschaft .....	10
<b>2.4 Kriterien und Indikatoren für die Bewertung der Umweltauswirkungen .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Vergleichende Ökobilanz nach ISO 14040/44 (Ist-Zustand) .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Forschungsstand .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie .....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Ziele der Studie.....	17
3.2.2 Untersuchungsrahmen .....	17
3.2.3 Erläuterung des iterativen Prozesses.....	24
<b>3.3 Sachbilanz .....</b>	<b>25</b>
3.3.1 Datenerhebung.....	25
3.3.2 Datenberechnung .....	30
3.3.3 Allokation.....	30
3.3.4 Bilanzierung des Basisszenarios in OpenLCA .....	30
3.3.5 Sensitivitätsanalysen.....	31
3.3.6 End-of-Life Szenarien .....	33
3.3.7 Bewertung der Datenqualität.....	35
<b>3.4 Wirkungsabschätzung.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5 Auswertung .....</b>	<b>39</b>
3.5.1 Basisszenario und Sensitivitätsanalysen .....	40
3.5.2 Potenziale in der End-of-Life Phase .....	43
3.5.3 Identifikation von Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung .....	47
3.5.4 Break-Even-Points in der Wirkungskategorie Erderwärmung .....	48
<b>3.6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>50</b>
<b>4 Betrachtung der weiteren Kriterien .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Recyclingfähiges Material.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Entstehende Menge an Abfall.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4 Problematische Stoffe, einschließlich Anteil an SVHCs.....</b>	<b>54</b>
<b>4.5 Verbrauchte Energie .....</b>	<b>55</b>
<b>4.6 Anteil an Rezyklat .....</b>	<b>56</b>
<b>4.7 Erwartete Lebensdauer.....</b>	<b>56</b>
4.7.1 Wiederverwendbarkeit.....	56
4.7.2 Nachrüstbarkeit.....	56
4.7.3 Reparierbarkeit .....	57
4.7.4 Mindestzeitraum über die Lieferbarkeit von Ersatzteilen .....	57
4.7.5 Garantierte Lebensdauer.....	57
<b>4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse.....</b>	<b>57</b>

<b>5</b>	<b>Übergreifende vergleichende Auswertung .....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen .....</b>	<b>60</b>
<b>6.1</b>	<b>Delta und zentrale Akteure.....</b>	<b>60</b>
<b>6.2</b>	<b>Beiträge der Akteure im Soll-Zustand und Anreize und Hemmnisse.....</b>	<b>61</b>
6.2.1	form.bar .....	61
6.2.2	form.bar und Schreinerei .....	64
6.2.3	Kundschaft.....	66
6.2.4	Potenzielle Nutzende .....	67
<b>6.3</b>	<b>Umsetzung der Verbesserungsstrategien als KVP.....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Kommunikationskonzept.....</b>	<b>73</b>
<b>7.1</b>	<b>Forschungsstand zu geeigneten Kommunikationsinhalten .....</b>	<b>73</b>
<b>7.2</b>	<b>Bausteine für ein Kommunikationskonzept .....</b>	<b>76</b>
7.2.1	Zielgruppe .....	76
7.2.2	Vergleichswerte für zentrale Wirkungskategorien .....	77
<b>7.3</b>	<b>Konkrete Beispiele.....</b>	<b>79</b>
7.3.1	Variante 1: Ampelprinzip .....	80
7.3.2	Variante 2: Storytelling/SusTelling .....	81
<b>7.4</b>	<b>Perspektive: Elektronischer Produktpass .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Antwort auf die Kernfrage .....</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>Fazit und weiterer Forschungsbedarf.....</b>	<b>86</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis und weitere Quellen.....</b>	<b>88</b>
	<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>94</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>95</b>
<b>1</b>	<b>Modellgraphen.....</b>	<b>XCVI</b>
<b>2</b>	<b>Input-Tabellen .....</b>	<b>CXIII</b>
<b>3</b>	<b>Fotos der Komponenten von Produkt 2 .....</b>	<b>CXXX</b>
<b>4</b>	<b>Absolute Ergebnisse aller Wirkungskategorien für alle Szenarien.....</b>	<b>CXXXII</b>
<b>5</b>	<b>Vergleichswerte in allen Wirkungskategorien für Kommunikation.....</b>	<b>CXXXIII</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodik und Vorgehen .....	4
Abbildung 2: Optik und Maße von Produkt 1 .....	18
Abbildung 3: Optik und Maße von Produkt 2 .....	19
Abbildung 4: Systemfließbild .....	21
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Midpoint- und Endpoint-Indikatoren .....	23
Abbildung 6: In den verschiedenen Modulen zu verwendenden Daten .....	25
Abbildung 7: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 1 .....	40
Abbildung 8: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 2 .....	41
Abbildung 9: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 3 .....	42
Abbildung 10: Potenziale in der End-of-Life Phase, Wirkungskategorie Erderwärmung – Teil 1 .....	43
Abbildung 11: Potenziale in der End-of-Life Phase, Wirkungskategorie Erderwärmung – Teil 2 .....	44
Abbildung 12: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 1 .....	44
Abbildung 13: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 2 .....	45
Abbildung 14: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 3 .....	45
Abbildung 15: Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung .....	47
Abbildung 16: Break-Even-Points Transport zur Kundschaft .....	48
Abbildung 17: Break-Even-Points Weiterverwendung.....	49
Abbildung 18: Umweltauswirkungen verschiedener Bindemittel.....	62
Abbildung 19: Roadmap – Einordnung der Gestaltungsoptionen nach Aufwand und Wirkung .....	69
Abbildung 20: PDCA-Zyklus Maßnahme 1.....	70
Abbildung 21: PDCA-Zyklus Maßnahme 2.....	71
Abbildung 22: PDCA-Zyklus Maßnahme 3.....	71

Abbildung 23: PDCA-Zyklus Maßnahme 4.....	72
Abbildung 24: PDCA-Zyklus Maßnahme 5.....	72
Abbildung 25: PDCA-Zyklus Maßnahme 6.....	73
Abbildung 26: Das SSBC und seine vier Stufen.....	76
Abbildung 27: Beispielkommunikation Ampelprinzip – Teil 1.....	80
Abbildung 28: Beispielkommunikation Ampelprinzip – Teil 2.....	81
Abbildung 29: Beispiel Veranschaulichung CO <sub>2</sub> -Budget.....	81
Abbildung 30: Beispieldarstellung Auswahl Stufe für Storytelling.....	82
Abbildung 31: Modellgraph form.bar Basisszenario.....	XCVI
Abbildung 32: Modellgraph Möbelkonzern 2 Basisszenario.....	XCVII
Abbildung 33: Modellgraph form.bar Szenario 2.....	XCVIII
Abbildung 34: Modellgraph Möbelkonzern 2 Szenario 2.....	XCIX
Abbildung 35: Modellgraph form.bar Szenario 3 Koskisen.....	C
Abbildung 36: Modellgraph form.bar Szenario 3 Europlac.....	CI
Abbildung 37: Modellgraph form.bar Szenario 4.....	CII
Abbildung 38: Modellgraph Möbelkonzern 2 Szenario 4.....	CIII
Abbildung 39: Modellgraph Möbelkonzern 2 End-of-Life Verbrennung.....	CIV
Abbildung 40: Modellgraph form.bar End-of-Life Verbrennung.....	CV
Abbildung 41: Modellgraph Erdgas als Vergleichswert für Verbrennung.....	CVI
Abbildung 42: Modellgraph form.bar End-of-Life Recycling.....	CVII
Abbildung 43: Modellgraph Vergleichswert für Recycling form.bar.....	CVIII
Abbildung 44: Modellgraph Möbelkonzern 2 End-of-Life Recycling.....	CIX
Abbildung 45: Modellgraph Vergleichswert für Recycling Möbelkonzern 2.....	CX
Abbildung 46: Modellgraph form.bar cradle-to-cradle über 40 Jahre.....	CXI
Abbildung 47: Modellgraph Möbelkonzern 2 cradle-to-cradle über 40 Jahre.....	CXII
Abbildung 48: Fotos der Komponenten von Produkt 2 – Teil 1.....	CXXX
Abbildung 49: Fotos der Komponenten von Produkt 2 – Teil 2.....	CXXX
Abbildung 50: Verpackung von Produkt 2.....	CXXXI

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durch die Ökodesign-Richtlinie abgedeckte Lebensphasen und Aspekte.....	8
Tabelle 2: Kriterien und Indikatoren.....	10
Tabelle 3: Relevante Studien zum Suchbegriff „Ökobilanz Möbel“, Zeitraum 2015-2021, sortiert nach „Relevanz“.....	13
Tabelle 4: Relevante Studien zum Suchbegriff „LCA Furniture“, Zeitraum 2015-2021, sortiert nach „Relevanz“.....	14
Tabelle 5: Inputs von Produkt 1 (form.bar).....	27
Tabelle 6: Inputs von Produkt 2 (Möbelkonzern 2).....	28
Tabelle 7: Szenario 1: Basisszenario.....	31
Tabelle 8: Szenario 2: Alternativer Transport zur Kundschaft (Änderungen gegenüber Szenario 1).....	32
Tabelle 9: Szenario 3: Koskisen vs. Europlac (Änderungen gegenüber Szenario 1).....	32
Tabelle 10: Szenario 4: Materialien aus recyceltem Holz (Änderungen gegenüber Szenario 1).....	33
Tabelle 11: Szenario 5: kürzere Lebensdauer des Regals von Möbelkonzern 2 (Änderungen gegenüber Szenario 1).....	33
Tabelle 12: End-of-Life Szenarien inklusive Vergleichswerte.....	34
Tabelle 13: Datenqualität des form.bar Basisszenarios.....	35
Tabelle 14: Datenqualität des Basisszenarios von Möbelkonzern 2.....	36
Tabelle 15: Erklärung der Wirkungskategorien und ihre Einheiten.....	37

Tabelle 16: Cradle-to-cradle Ergebnisse, FE verlängert auf 40 Jahre .....	46
Tabelle 17: Verbrauchte Energie form.bar Regal und Möbelkonzern 2 Regal (Module A1 und A3)...	55
Tabelle 18: Anteil an Rezyklat form.bar Regal und Möbelkonzern 2 Regal .....	56
Tabelle 19: Vergleichende Bewertung der Kriterien form.bar und Möbelkonzern 2 (jeweils im Basisszenario) .....	59
Tabelle 20: Verbesserungspotenziale/Hebelpunkte und relevante Akteure .....	60
Tabelle 21: Anreize und Hemmnisse von form.bar - Lieferanten .....	61
Tabelle 22: Anreize und Hemmnisse von form.bar – Alternative zu Melaminharz.....	62
Tabelle 23: Anreize und Hemmnisse form.bar - EPR.....	64
Tabelle 24: Anreize und Hemmnisse form.bar – problematische Inhaltsstoffe .....	64
Tabelle 25: Anreize und Hemmnisse form.bar/Schreinereien - Strommix .....	65
Tabelle 26: Anreize und Hemmnisse form.bar/Schreinereien – Transport zur Kundschaft.....	66
Tabelle 27: Anreize und Hemmnisse Kundschaft – Transport nach Hause .....	66
Tabelle 28: Anreize und Hemmnisse potenziell Nutzender – „nachhaltiger“ Kauf.....	68
Tabelle 29: Vergleichswerte für Kommunikation der Treibhausgasrelevanz (je Regal, Basisszenario, gerundet) .....	78
Tabelle 30: Vergleichswerte Art des Transports zur Kundschaft.....	78
Tabelle 31: Vergleichswerte für Kommunikation des Wasserverbrauchs (je Regal, Basisszenario) ....	79
Tabelle 32: Vergleichswerte für Kommunikation der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (je Regal, Basisszenario, gerundet) .....	79
Tabelle 33: Input-Tabelle form.bar Basisszenario .....	CXIII
Tabelle 34: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Basisszenario .....	CXIV
Tabelle 35: Input-Tabelle form.bar Szenario 2 .....	CXVI
Tabelle 36: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 2 .....	CXVII
Tabelle 37: Input-Tabelle form.bar Szenario 3 Koskisen .....	CXVII
Tabelle 38: Input-Tabelle form.bar Szenario 3 Europlac .....	CXVIII
Tabelle 39: Input-Tabelle form.bar Szenario 4 .....	CXVIII
Tabelle 40: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 4.....	CXIX
Tabelle 41: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 5 .....	CXIX
Tabelle 42: Input-Tabelle form.bar End-of-Life Verbrennung .....	CXXII
Tabelle 43: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 End-of-Life Verbrennung.....	CXXII
Tabelle 44: Input-Tabelle Vergleichswert Erdgas für Verbrennung .....	CXXIII
Tabelle 45: Input-Tabelle form.bar End-of-Life Recycling .....	CXXIII
Tabelle 46: Input-Tabelle Vergleichswert form.bar Recycling.....	CXXIV
Tabelle 47: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 End-of-Life Recycling.....	CXXIV
Tabelle 48: Input-Tabelle Vergleichswert Möbelkonzern 2 Recycling .....	CXXV
Tabelle 49: Input-Tabelle form.bar und Möbelkonzern 2 Weiterverwendung.....	CXXV
Tabelle 50: Input-Tabelle form.bar cradle-to-cradle über 40 Jahre.....	CXXVI
Tabelle 51: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 cradle-to-cradle über 40 Jahre .....	CXXVII
Tabelle 52: Absolute Ergebnisse aller Wirkungskategorien für alle Szenarien .....	CXXXII
Tabelle 53: Vergleichswerte, alle Wirkungskategorien, für Kommunikation.....	CXXXIII

## Abkürzungsverzeichnis

BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
B2C	Business to Consumer
CE	Communauté Européenne (Europäische Gemeinschaft)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
DIN	Deutsches Institut für Normung

EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EPD	Environmental Product Declaration
EPR	Extended Producer Responsibility (erweiterte Herstellerverantwortung)
ISO	International Standards Organization/ Internationale Organisation für Normung
FE	Funktionelle Einheit
FMD	Full Material Declaration
FSC	Forest Stewardship Council
GLO	Global (ecoinvent)
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
kWh	Kilowattstunden
LCI	Life Cycle Inventory
MDF	Mitteldichte Holzfaserverplatte
NCEA	New Circular Economy Action Plan (COM(2020) 98 final) / Neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PEF	Product Environmental Footprint/Umweltfußabdruck eines Produkts
PE-HD	Polyethylene-High Density
PE-LD	Polyethylene-Low Density
PEFCR(s)	Product Environmental Footprint Category Rule(s)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
RER	Europe (ecoinvent)
RoW	Rest of World (ecoinvent)
SDG(s)	Sustainable Development Goal(s)
SVHC(s)	Substance(s) of Very High Concern (besonders besorgniserregende Stoffe)

# 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Umweltauswirkungen von Holzmöbeln. Diese stellen im Lebenszyklus Probleme für Mensch und Umwelt dar. Daher untersucht diese Arbeit anhand einer Ökobilanzierung die Umweltauswirkungen von Möbeln, die lokal über eine Plattform gestaltet und gefertigt sind, und vergleicht diese mit den Umweltauswirkungen von industriell gefertigten „Massen-Möbeln“. Übergeordnetes Ziel ist es, die Umweltbelastungen entlang des gesamten Lebensweges zu verringern.

## 1.1 Möbelindustrie in Deutschland

Die Möbelindustrie fertigt Einrichtungsgegenstände hauptsächlich aus Holz, Metall und Kunststoff. Im Jahr 2019 erzielte die Industrie einen Umsatz von circa 20 Milliarden Euro und beschäftigte mehr als 100.000 Mitarbeitende in Deutschland. Die meisten produzierten Möbel sind für Küchen. Die deutsche Möbelindustrie ist die größte in Europa. Weltweit ist Deutschland sogar der zweitgrößte Möbelexporteur nach China. Trotzdem übersteigen die Importe in der Summe die Exporte, wobei ein Großteil aus Polen, China und der Tschechischen Republik kommt (Hohmann, 2021b).

Im Möbelhandel ist in Deutschland Ikea mit einem Marktanteil von 15,4 % Marktführer, gefolgt von XXXLutz mit einem Marktanteil von 12,5 %. Danach folgt noch Höffner mit einem Marktanteil von 6,7 % und den Rest teilen kleinere Anbieter unter sich auf. Für den internationalen Marktführer Ikea ist Deutschland sogar das umsatzstärkste Land (Hohmann, 2021a).

Das Umweltbundesamt weist auf seiner Webseite daraufhin, dass Möbel aus Holz „aus ökologischer Sicht sinnvoll“ (Umweltbundesamt, 2015) sind, da Holz ein nachwachsender Rohstoff ist. Jedoch sei es wichtig, auf eine „nachhaltige“ Forstwirtschaft zu achten. Bei Holz aus Deutschland ist diese Bedingung erfüllt, da das deutsche Bundeswaldgesetz den Erhalt der Wälder und den sparsamen Umgang mit der Ressource Holz vorschreibt. Wenn das Holz für Möbel nicht aus Deutschland stammt, sondern aus den Tropen oder aus nördlichen Wäldern, bedeutet dies oft, dass darunter wichtige Lebensräume und Biotope leiden (Umweltbundesamt, 2015). In den Karpaten in Rumänien beispielsweise, ein großes Gebiet an Ur- und Naturwäldern, ist zwischen 2014 und 2018 mehr als doppelt so viel Holz verschwunden wie erlaubt wäre (Ulfred & Kuhn, 2020).

Ein weiteres Problem ist der Trend hin zu „Fast Furniture“. Das bedeutet, dass die Nutzenden analog zur Fashion-Industrie immer mehr und günstigere Möbel kaufen (Ulfred & Kuhn, 2020) und diese nur für eine kurze Zeit nutzen. Seit 2009 sind die Konsumausgaben der deutschen Privathaushalte für Möbel in der Tendenz steigend, im Jahr 2020 erreichten sie ein neues Hoch von 46 Milliarden Euro (Hohmann, 2021c). Ein Faktor, der dies begünstigt, ist beispielsweise der Trend zu mehr Single-Haushalten. Von 2009 bis 2019 ist die Anzahl der Einpersonenhaushalte gestiegen, während die Anzahl der Mehrpersonenhaushalte gesunken ist (Rudnicka, 2020). Des Weiteren herrscht laut dem Institut für Handelsforschung in der Möbelbranche ein besonders starker Preiswettbewerb und der Preis ist häufig das ausschlaggebende Verkaufsargument. Die günstigen Preise sorgen dafür, dass Nutzende lieber häufiger Möbel kaufen und diese kürzer behalten, die Hürde sich neu einzurichten ist gering. Dadurch geht der Trend hin zu Einweg- und Wegwerfmöbeln (Ulfred & Kuhn, 2020). Dies bestätigt auch die Menge an Sperrmüll, die zwischen 2009 und 2018 von 2,44 auf 2,69

Millionen Tonnen pro Jahr anstieg. Im Jahr 2009 lag die Verwertungsquote<sup>1</sup> noch bei 74 % und die Recyclingquote bei 54 %. Im Jahr 2018 ist die Verwertungsquote gestiegen auf 98 % und die Recyclingquote leicht gesunken auf 53 %. Dies bedeutet, dass ein Großteil des Sperrmülls verbrannt und nicht recycelt wird (Statistisches Bundesamt, 2020, S. 21 & 30). Dies liegt unter anderem an Schadstoffen<sup>2</sup>, die im Holz enthalten sind. Denn nur schadstofffreies Holz ist recycelbar (EFIC, 2017, S. 1).

## 1.2 Ansatz von form.bar

Form.bar ist eine Plattform für „nachhaltige(re)“ Möbel der Okinlab GmbH, welche einen „disruptiven Design-to-Production-Prozess“ (form.bar, o. J. b) beinhaltet. Sie ermöglicht es Nutzenden, ihre Möbel in einem 3D-Konfigurator selbst zu gestalten. Danach gelangen die Daten über ein dezentrales Schreiner-Netzwerk zu einem Schreiner- oder Tischlerbetrieb in der Nähe der Kundschaft. Dieser fertigt das Möbelstück entsprechend regional<sup>3</sup>, wobei die verwendeten Holzwerkstoffe nicht zwingend aus der Region kommen. Vom Schreinerbetrieb aus erfolgt dann die Auslieferung an die Kundschaft.<sup>4</sup> Die Möbelstücke bestehen aus einem einfachem Stecksystem ohne Schrauben und Leim. Form.bar geht von folgenden Annahmen aus:

- Dass das Stecksystem es erleichtert, die Möbel umzugestalten, was zur Langlebigkeit der eingesetzten Materialien beitragen kann.
- Dass das Stecksystem es ermöglicht, die Einzelteile der Möbelstücke mit geringem Aufwand einem sortenreinen Recyclingprozess zuführen.
- Dass der regionale „on-demand“ Produktionsprozess weniger Auswirkungen auf die Umwelt hat, als der zentrale Fertigungsprozess von „Massen-Möbeln“ aus „klassischen“ Möbelhäusern.
- Dass die Möbel von form.bar langlebiger sind, da sie zum einen aus (meist) hochwertigeren Holzwerkstoffen bestehen und die Kundschaft zum anderen durch das eigene Design eine emotionale Bindung aufbaut, was einen pflegsameren Umgang und eine längere Nutzung erwarten lässt.
- Dass durch das angepasste Design, welches genau auf die Bedürfnisse der Kundschaft zugeschnitten ist, nur so viel Material zum Einsatz kommt, wie wirklich notwendig ist. So muss beispielsweise nicht in jedes Fach eines Regals ein Ordner passen.

Darüber hinaus brauchen die über form.bar gefertigten Möbel keine Verpackung, und die Kundschaft „spart“ sich den Weg ins Möbelhaus.

Die vorliegende Arbeit soll diese Annahmen anhand ökobilanzieller Untersuchungen quantifizieren. Zudem sollen die ökobilanziellen Untersuchungen „Emissions-Hotspots“ und somit Verbesserungspotentiale aufdecken. Zusätzlich ist zu untersuchen, wie sich die Ergebnisse gegenüber der Kundschaft verständlich und nachvollziehbar kommunizieren lassen.

---

<sup>1</sup> Verwertung umfasst sowohl energetische als auch stoffliche Verwertung/Recycling (Statistisches Bundesamt, 2020, S. 6).

<sup>2</sup> Bei Möbeln unter anderem Flammschutzmittel, Schwermetalle, Phtalate, schmutzabweisende Chemikalien (EFIC, 2017, S. 1); insbesondere auch besonders besorgniserregende Stoffe (SVHCs, gem. Art 59 Abs. 10 REACH).

<sup>3</sup> Regional bedeutet, dass der Schreinerbetrieb ausgewählt wird, der die kürzeste Entfernung zur Kundschaft aufweist. Je größer das Netzwerk wird, desto regionaler wird die Produktion.

<sup>4</sup> Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf B2C-Kundschaft.

Neben den ökologischen Vorteilen sieht die Okinlab GmbH auch einen weiteren positiven Impact, da das Geschäftsmodell die Digitalisierung des mittelständisch strukturierten Handwerks fördert. Die Plattform bietet Schreibern und Tischlern einen einfachen Anschluss an Konzepte zum Online-Business, wodurch sie ihre Wettbewerbsfähigkeit und Auslastung der Maschinen erhöhen können. Zudem ermöglicht der direkte Kundenkontakt der Meisterbetriebe die Chance auf Folgeaufträge. Form.bar fördert so eine lokale Wertschöpfung und traditionelles Handwerk. Dadurch könnten auch „Spill-Over-Effekte“ entstehen, da die Kundschaft womöglich die Vorteile von Regionalität erkennt, was sich dann auch auf andere Produktgruppen, beispielsweise Lebensmittel, übertragen kann. Das hat wiederum auch Vorteile in ökologischer Hinsicht. Die Quantifizierung dieser sozialen Faktoren ist nicht Teil der vorliegenden Arbeit, aber sie gehören zum mittelbarem Kontext.

### **1.3 Zielsetzung und Kernfrage**

Aus den beschriebenen Problemen ergibt sich die folgende Kernfrage:

Welche Maßnahmen empfehlen sich im Hinblick auf das Ziel, die Umweltauswirkungen und insbesondere die Treibhausgasemissionen von Möbeln, die über form.bar gefertigt sind, über den gesamten Lebensweg so weit als möglich zu quantifizieren (inkl. der Identifikation von „Hotspots“) und dies verständlich an die Kundschaft zu kommunizieren? Und wie können die zentralen Akteure – im zweiten Schritt – die Umweltauswirkungen reduzieren?

Die erwähnten zentralen Akteure ergeben sich durch die Quantifizierung der Umweltauswirkungen und die Identifikation von Emissions-Hotspots. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf ökologische Aspekte. Soziale Aspekte und die Frage, wie ein verbesserter Zugang zu digitalen Fertigungsmethoden die Wettbewerbsfähigkeit mittelständischer Schreinereien steigern kann, bleiben außer Betracht.

### **1.4 Methodik**

Die transdisziplinäre Delta-Analyse (Bizer & Führ, 2014) erscheint in besonderer Weise geeignet, die Kernfrage zu beantworten, denn sie beinhaltet ein strukturiertes Vorgehen, welches in systematischer Weise Empfehlungen für die konkrete Handlungssituation der relevanten Akteure entwickelt. Startpunkt der Analyse ist ein Problemimpuls. Dieser besteht vorliegend in dem Bedarf, für das Geschäftsmodell von form.bar Optimierungspotentiale im Hinblick auf die Ziele einer Nachhaltigen Entwicklung zu identifizieren und zu erschließen.

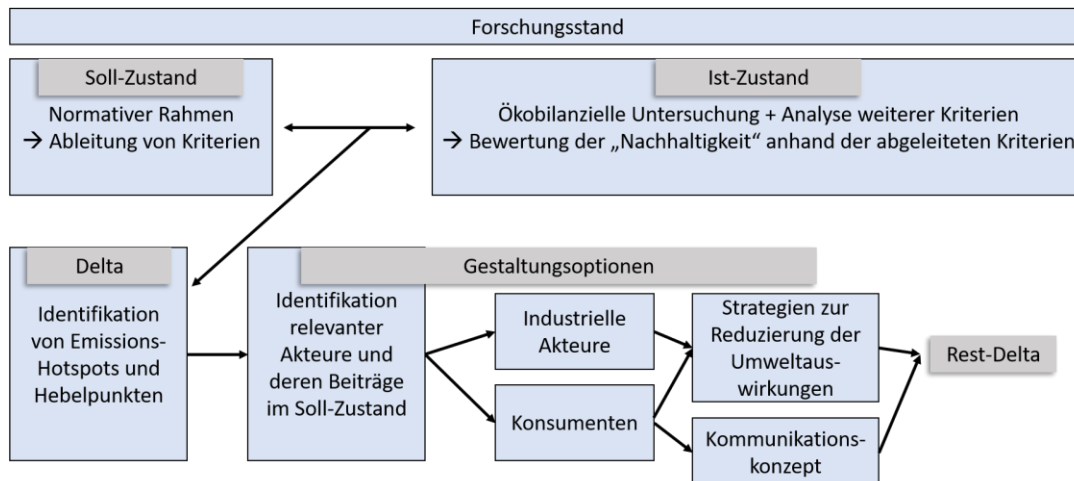


Abbildung 1: Methodik und Vorgehen

Bildquelle: eigene Darstellung

Startpunkt der Analyse ist der normative Zielzustand. Dieser ist unter Rückgriff auf normative Rahmenbedingungen (insbesondere auf EU- und nationaler Ebene) in Kriterien zu überführen. Dem normativen Soll steht ein Ist-Zustand gegenüber, welchen die vorliegende Arbeit im zweiten Schritt anhand einer Ökobilanzierung ermittelt. Die Arbeit vergleicht dazu exemplarisch ein Möbelstück von form.bar mit einem ähnlichen Möbelstück eines in Deutschland agierenden Möbelkonzerns. Sie orientiert sich dabei an den international etablierten Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044. Die ökobilanzielle Untersuchung ermöglicht es, die Umweltauswirkungen zu quantifizieren. Zudem zeigt sie, durch welche Handlungen beziehungsweise in welcher Lebensphase besonders starke Auswirkungen auf die Umwelt stattfinden (Emissions-Hotspots). Dies deckt Potenziale zur Reduzierung der Umweltauswirkungen auf (=Hebelpunkte/Delta). Zu jedem Hebelpunkt gehören außerdem relevante Akteure, welche sich also erst nach der Erfassung des Ist-Zustands, entgegen der ursprünglichen Vorgehensweise in der Delta-Analyse, ermitteln lassen. Die relevanten Akteure und ihre Anreize und Hemmnisse sind zentral, um Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen zu entwickeln (=Delta verkleinern/Gestaltungsoptionen). Als weitere Handlungsoption ist ein Konzept zu erstellen, wie sich die Ergebnisse aus der Ökobilanz verständlich so an die Kundschaft kommunizieren lassen, dass sie die Vorteile des form.bar-Konzeptes erkennen, um auf dieser Grundlage Kaufentscheidungen zu treffen. Hierzu greift die Studie auf bereits vorhandene Erkenntnisse zur Kommunikation von Ökobilanzergebnissen und auf das Stufenmodell der selbstregulierten Verhaltensänderung zurück und entwirft darauf aufbauend Ideen für zwei verschiedene Ansätze der Kommunikation. Da sich die Umweltauswirkungen nicht vollständig eliminieren lassen, verbleibt ein Rest-Delta. Dieses zu benennen ist nicht Teil der Arbeit. Abbildung 1 gibt eine Übersicht der einzelnen Schritte und deren Bezüge zueinander.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 skizziert die relevanten normativen Rahmenbedingungen und damit das normative Soll und leitet daraus Kriterien ab. Kapitel 3 erfasst den Ist-Zustand anhand einer ökobilanziellen Untersuchung, sowie gleichzeitig das Delta anhand der Auswertung der Ökobilanz. Kapitel 4 analysiert weitere Kriterien, die sich aus dem normativen Soll ergeben,

die die Ökobilanzierung aber noch nicht abdeckt. Kapitel 5 führt die Erkenntnisse aus Kapitel 3 und 4 zusammen. Kapitel 6 identifiziert dann anhand des Zielerreichungs-Deltas relevante Akteure und entwickelt Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen. Kapitel 7 entwirft ein Konzept, wie die Umweltauswirkungen des form.bar Produkts verständlich an die (potenzielle) Kundschaft zu kommunizieren sind und wie potenzielle Nutzende in Richtung eines Kaufs bewegbar sind, wodurch ein Wandel „von der Nische zum Mainstream“ erreichbar ist (Kapitel 7). Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den vorherigen Kapiteln beantwortet Kapitel 8 die Kernfrage und leitet Empfehlungen ab. Die Arbeit schließt ab mit einem Fazit und Ausblick in Kapitel 9.

## **2 Normativer Kontext und Kriterien (Normatives Soll)**

Um die in Abschnitt 1.3 formulierte Kernfrage zu beantworten, sind zunächst die normativen Rahmenbedingungen zu betrachten. Dies erlaubt es, Kriterien abzuleiten, anhand derer sich die „Nachhaltigkeit“ von Produkten bewerten lässt. Darzustellen sind Vorgaben auf der globalen Ebene über die EU-Ebene bis hin zur nationalen Ebene. Auf dieser Grundlage leitet Abschnitt 2.4 Kriterien ab, aus denen sich der anzustrebende Soll-Zustand ergibt.

### **2.1 UN-Ebene: Sustainable Development Goals**

Die Vereinten Nationen haben im Jahr 2015 die Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung verabschiedet, in welcher sich die internationale Staatengemeinschaft darauf geeinigt hat, politisch auf 17 Ziele (Sustainable Development Goals - SDGs) hinzuwirken. Relevant für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die SDGs 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur), SDG 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion), SDG 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz), SDG 14 (Leben unter Wasser) sowie SDG 15 (Leben an Land). Als relevant identifiziert die Arbeit solche (Unter-)Ziele, auf welche ein Möbelstück aus Holz entlang seines gesamten Lebenswegs einen direkten Einfluss hat.<sup>5</sup> Alle genannten SDGs haben Unterziele, auf welche dies vereinzelt zutrifft. Bei SDG 9 ist das Unterziel 9.4 bedeutsam, dessen Erklärung lautet: „Bis 2030 die Infrastruktur modernisieren und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 22). Bei SDG 12 sind die Unterziele 12.2, „Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 24), und 12.5, „Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 24), interessant. SDG 13 („Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 24)) ist von übergeordneter Relevanz, seine einzelnen Unterziele jedoch nicht ganz passend. Bezüglich SDG 14 sind vor allem die Unterziele 14.1 („Bis 2025 alle Arten der Meeresverschmutzung, insbesondere durch vom Lande ausgehende Tätigkeiten und namentlich Meeresmüll und Nährstoffbelastung, verhüten und erheblich verringern“ (Vereinte

---

<sup>5</sup> Die gleiche Vorgehensweise findet sich in einer Studie, die eine Methodik erarbeitet, um die „Nachhaltigkeit“ eines Produkts auf der Grundlage der SDGs zu quantifizieren (Eberle & Wenzig, 2020, S. 8). Direkter Einfluss bedeutet „stoffstromgebundene Auswirkungen [...], die beispielsweise durch Emissionen oder die Nutzung von Ressourcen entstehen“ (Eberle & Wenzig, 2020, S. 8).

Nationen, 2015, S. 25)) und 14.3 („Die Versauerung der Ozeane auf ein Mindestmaß reduzieren und ihre Auswirkungen bekämpfen, unter anderem durch eine verstärkte wissenschaftliche Zusammenarbeit auf allen Ebenen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 25)) relevant. Bei SDG 15 sind die Unterziele 15.1 („Bis 2020 im Einklang mit den Verpflichtungen aus internationalen Übereinkünften die Erhaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung der Land- und Binnensüßwasser-Ökosysteme und ihrer Dienstleistungen, insbesondere der Wälder, der Feuchtgebiete, der Berge und der Trockengebiete, gewährleisten“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 26) und 15.2 („Bis 2020 die nachhaltige Bewirtschaftung aller Waldarten fördern, die Entwaldung beenden, geschädigte Wälder wiederherstellen und die Aufforstung und Wiederaufforstung weltweit beträchtlich erhöhen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 26) ausschlaggebend.

Das Statistische Bundesamt stellt außer der Erklärung der einzelnen SDGs auch jeweils Indikatoren zur Verfügung. Diese Indikatoren sind jedoch makro-ökonomisch ausgerichtet und somit für eine Nutzung in der vorliegenden Arbeit weniger geeignet, weshalb es sich empfiehlt, eigene Indikatoren abzuleiten. In Tabelle 2 in Abschnitt 2.4, welche alle aus den normativen Vorgaben abgeleiteten Kriterien auflistet, befinden sich die benannten relevanten SDGs mit eigens abgeleiteten Indikatoren.

## **2.2 Europäische Ebene**

Auf europäischer Ebene sind im Hinblick auf die Kernfrage der Neue Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Abschnitt 2.2.1), die Ökodesign-Richtlinie (Abschnitt 2.2.2) sowie die Holzhandelsverordnung (Abschnitt 2.2.3) relevant, da sich daraus Kriterien für die umweltbezogene „Nachhaltigkeit“ eines Produkts ableiten lassen.

### **2.2.1 Neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft**

Den neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (NCEA) hat die Europäische Kommission im März 2020 veröffentlicht. Er ist Teil des europäischen Grünen Deals, welcher eine „Strategie für eine klimaneutrale, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft“ (Europäische Kommission, 2020, S. 2; siehe auch Europäische Kommission, 2019, S. 2) ist. Demnach soll eine ausgeweitete Kreislaufwirtschaft „entscheidend dazu beitragen, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, [und] das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln“ (Europäische Kommission, 2020, S. 2).

Um das Ziel einer klimaneutralen, ressourceneffizienten und kreislauforientierten Wirtschaft zu erreichen, möchte die Europäische Kommission eine „Rechtsetzungsinitiative für eine nachhaltige Produktpolitik“ (Europäische Kommission, 2020, S. 4) in die Wege leiten. Unter „nachhaltigen“ Produkten versteht die Europäische Kommission Produkte, die haltbar, wiederverwendbar, nachrüstbar und reparierbar sind. Zudem zählt dazu ein verantwortungsvoller Umgang mit gefährlichen Stoffen in Produkten, eine gesteigerte Energie- und Ressourceneffizienz, ein möglichst hoher Anteil an Rezyklat sowie die Möglichkeit der Wiederaufbereitung oder des hochwertigen Recyclings. Allgemein hat ein „nachhaltiges“ Produkt einen so weit wie möglich reduzierten CO<sub>2</sub>- und ökologischen Fußabdruck. Des Weiteren möchte die Europäische Kommission sich für langlebigere Produkte einsetzen, Anreize für Produkte als Dienstleistung<sup>6</sup> schaffen, das Potenzial digitaler

---

<sup>6</sup> Produkt als Dienstleistung = „z. B. bleibt der Hersteller Eigentümer des Produkts oder übernimmt die Verantwortung für den gesamten Lebensweg“ (Europäische Kommission, 2020, S. 5).

Produktinformationen ausschöpfen und Produkte nach ihrer „Nachhaltigkeit“ bewerten. Den Geltungsbereich der Ökodesign-Richtlinie (siehe dazu Abschnitt 2.2.2) möchte die Europäische Kommission über energieverbrauchsrelevante Produkte hinaus ausweiten. Außerdem soll eine überarbeitete Ökodesign-Richtlinie Kriterien aus dem EU-Umweltzeichen<sup>7</sup> und dem Konzept des Umweltfußabdrucks von Produkten (PEF) enthalten. Für die „nachhaltige Produktpolitik“ hat die Europäische Kommission bestimmte Produktgruppen priorisiert, darunter auch Möbel<sup>8</sup>, weshalb diese besonders relevant für die vorliegende Arbeit ist (Europäische Kommission, 2020, S. 3-6).

Darüber hinaus möchte die Europäische Kommission die Position der Verbraucher stärken, was die Idee einer Kommunikationsstrategie als Gestaltungsoption stützt (Kapitel 7). So ist eine Überarbeitung des EU-Verbraucherrechts vorgesehen, wodurch die Europäische Kommission sicherstellen möchte, dass „die Verbraucher an der Verkaufsstelle zuverlässige und sachdienliche Informationen über Produkte erhalten, einschließlich Informationen über deren Lebensdauer und über die Verfügbarkeit von Reparaturdiensten, Ersatzteilen und Reparaturanleitungen“ (Europäische Kommission, 2020, S. 6). Insbesondere möchte die Europäische Kommission Verbraucher vor Grünfärberei und vorzeitiger Obsoleszenz schützen, beispielsweise durch die Einführung eines neuen Rechts auf Reparatur. Auch die Rolle der Garantie für kreislaforientierte Produkte gilt es zu prüfen. Zudem möchte die Europäische Kommission vorschlagen, dass „Unternehmen ihre Umweltaussagen anhand von Methoden zur Messung des Umweltfußabdrucks von Produkten und Organisationen belegen müssen“ (Europäische Kommission, 2020, S. 6) und dass diese Methoden sowie Langlebigkeit, Recyclingfähigkeit und Rezyklatanteil in die Vergabekriterien für das EU-Umweltzeichen aufzunehmen sind (Europäische Kommission, 2020, S. 6-7).

Die Europäische Kommission sieht eine kreislaforientierte Wirtschaft als Voraussetzung für Klimaneutralität. Zudem reiche die Reduzierung an Treibhausgasemissionen nicht aus. Zusätzlich sei es notwendig CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen, es in der Wirtschaft ohne Freisetzung zu verwenden und länger zu speichern. Die Entfernung von CO<sub>2</sub> könne „naturbasiert erfolgen, unter anderem durch Wiederherstellung von Ökosystemen, Schutz der Wälder, Aufforstung, nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Bindung von Kohlendioxid im Boden, oder auf der Grundlage einer verstärkten Anwendung des Kreislaufprinzips, z. B. durch langfristige Speicherung im Holzbau oder durch Wiederverwendung und Speicherung von CO<sub>2</sub> in Produkten“ (Europäische Kommission, 2020, S. 19). Um entsprechende Anreize für die Wirtschaft zu setzen, möchte die Europäische Kommission einen gesetzlichen Rahmen für die Zertifizierung der Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre prüfen. Aus dem NCEA lassen sich Kriterien für „nachhaltige“ Produkte ableiten, welche in Tabelle 2 in Abschnitt 2.4 dargestellt sind.

---

<sup>7</sup> Das EU-Umweltzeichen (auch EU-Ecolabel) ist eine freiwillige Kennzeichnung von Produkten innerhalb der EU und dient als Orientierung für Verbraucher, „die mit dem Kauf von umweltfreundlicheren Produkten und Dienstleistungen zu einer Verringerung der Umweltverschmutzung beitragen wollen. [...] Das EU Umweltzeichen wird an Produkte und Dienstleistungen vergeben, die bezogen auf die gesamte Lebensdauer geringere Umweltauswirkungen haben als der Marktdurchschnitt, ohne dass dabei die Sicherheit oder die Gebrauchstauglichkeit der Produkte verringert wird“ (BMU, 2020).

<sup>8</sup> Begründung: Eine Vorstudie aus dem Jahr 2014 identifizierte unter anderem für diese Produktgruppe die größten Potenziale in einer Kreislaufwirtschaft aufgrund des momentanen Ressourcenverbrauchs (SWD, 2019, S. 5 & European Commission, 2014, S. vi).

### 2.2.2 Ökodesign-Richtlinie

Die Ökodesign-Richtlinie<sup>9</sup> aus dem Jahr 2009 soll die Auswirkungen von energieverbrauchsrelevanten Produkten auf die Umwelt unter Berücksichtigung ihres gesamten Lebenswegs minimieren. In Deutschland setzt das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) die Richtlinie um (Umweltbundesamt, 2021c). Aktuell fallen nur energieverbrauchsrelevante Produkte<sup>10</sup> in den Geltungsbereich der Richtlinie (Art. 1 Abs. 1 Richtlinie 2009/125/EG). Doch wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben, möchte die Europäische Kommission sie auf weitere Produktgruppen ausweiten, darunter auch Möbel. Deshalb ist sie als normativer Rahmen für die vorliegende Arbeit relevant. Die Richtlinie stellt Anforderungen, welche die betroffenen Produkte erfüllen müssen, damit sie in der EU handelbar sind. Sie soll zur nachhaltigen Entwicklung beitragen, indem sie die Energieeffizienz und das Umweltschutzniveau erhöht. Beispielweise schreibt Artikel 14 der Richtlinie die Aufklärung der Verbraucher vor. Dazu zählen unter anderem Informationen über das ökologische Profil eines Produkts. Tabelle 1 zeigt, welche Lebenszyklusphasen eines Produkts in den Rahmen des Gesetzes fallen und welche Aspekte dabei Beachtung finden.

Tabelle 1: Durch die Ökodesign-Richtlinie abgedeckte Lebensphasen und Aspekte

<b>Lebenszyklusphase (Anhang, Teil 1.1, Richtlinie 2009/125/EG)</b>	<b>Zu beachtende Aspekte (Anhang, Teil 1.2, Richtlinie 2009/125/EG)</b>
Alle Phasen	Voraussichtliche Umweltbelastung durch physikalische Einwirkungen wie Lärm, Schwingungen, Strahlung, elektromagnetische Felder
	Menge der voraussichtlich entstehenden Abfallstoffe
Auswahl und Einsatz von Rohmaterial	Voraussichtlicher Verbrauch an Material, Energie und anderen Ressourcen
Fertigung	
Verpackung, Transport und Vertrieb	
Installierung und Wartung	
Nutzung	
Ende der Lebensdauer	Möglichkeiten der Wiederverwendung, des Recyclings und der Verwertung von Material und/oder Energie

Darüber hinaus schreibt die Ökodesign-Richtlinie vor, dass Konsumenten Informationen über wesentliche Umweltaspekte der Produkte erhalten, um Vergleichbarkeit zwischen Produkten zu ermöglichen. Dazu gehören Informationen über Inbetriebnahme, Nutzung, Wartung, Nachrüstbarkeit, und Entsorgung für eine möglichst hohe Lebensdauer mit minimaler Umweltauswirkung (Anhang, Teil 2, Richtlinie 2009/125/EG).

Aus der Richtlinie ergeben sich Vorgaben für Hersteller von Produkten. Dazu zählt die Analyse der „wesentlich beeinflussbaren Umweltaspekte“ (Anhang, Teil 3, Richtlinie 2009/125/EG) für den gesamten Lebensweg des Produkts, woraus der Hersteller dann ein ökologisches Profil des Produkts zu erstellen hat. Die Europäische Kommission ermittelt zudem Referenzwerte für die einzelnen Produktgruppen, welche dann eine Vergleichbarkeit

<sup>9</sup> Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Text von Bedeutung für den EWR), OJ L 285, 31.10.2009, p. 10–35.

<sup>10</sup> Energieverbrauchsrelevante Produkte sind solche, „die den Verbrauch von Energie in irgendeiner Form beeinflussen“ (Art. 2 Nr. 1 Richtlinie 2009/125/EG).

von Produkten der gleichen Produktgruppe gewährleisten sollen (Anhang, Teil 3, Richtlinie 2009/125/EG).

Eine entsprechende Ableitung von Kriterien, die sich aus der Ökodesign-Richtlinie für die vorliegende Arbeit ergeben, findet sich in Tabelle 2 in Abschnitt 2.4.

### **2.2.3 Holzhandelsverordnung**

Die EU-Holzhandelsverordnung (Verordnung (EU) Nr. 995/2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen) setzt bestimmte Verpflichtungen für „Marktteilnehmer, die erstmalig Holz und Holzzeugnisse auf dem Binnenmarkt in Verkehr bringen“ (Art. 1, Verordnung (EU) Nr. 995/2010), sowie für Händler. Sie schreibt zum einen eine Rückverfolgbarkeit vor (Art. 5, Verordnung (EU) Nr. 995/2010), und zum anderen Sorgfaltspflichtenregelungen, bspw. Bewertungsverfahren für das Risiko, dass das Holz aus illegalem Holzeinschlag stammt. Die Vorgabe, dass das Holz aus legalem Holzeinschlag stammen muss, ist indirekt durch den Aspekt Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft (siehe Tabelle 2 und Abschnitt 4.3) abgedeckt, da bei Holz aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft auch von einem legalen Holzeinschlag auszugehen ist.

## **2.3 Nationale Ebene**

Auf nationaler Ebene sind das Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie das Bundeswaldgesetz von Relevanz, da sich daraus Kriterien für die umweltbezogene „Nachhaltigkeit“ eines Produkts entlang des gesamten Lebenswegs ableiten lassen.

### **2.3.1 Produktpolitische Vorgaben im Kreislaufwirtschaftsgesetz**

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen – KrWG) setzt die EU-Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (zuletzt ersetzt durch die EU-Richtlinie 2018/851) um und hat zum Zweck, „die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und [...] Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen“ zu schützen (§ 1 Abs. 1 KrWG). In § 6 formuliert es eine Abfallhierarchie, nach welcher Abfall vorrangig zu vermeiden und zweitrangig die Abfallbehandlung zu wählen ist, welche unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus „den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistet.“ Zur Bewertung der Optionen sind „die zu erwartenden Emissionen“ (§ 6 Abs. 2 Nr. 1 KrWG), „das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen“ (§ 6 Abs. 2 Nr. 2 KrWG), „einzusetzende oder zu gewinnende Energie“ (§ 6 Abs. 2 Nr. 3 KrWG) sowie „die Anreicherung von Schadstoffen“ (§ 6 Abs. 2 Nr. 4 KrWG) zu analysieren. Grundsätzlich ist Abfall, unter Berücksichtigung der eben genannten Kriterien, vorrangig zu vermeiden, danach zur Wiederverwendung vorzubereiten, danach zu recyceln, danach der sonstigen Verwertung zuzuführen und erst als letzte Option zu beseitigen (§ 6 KrWG). Darüber hinaus schreibt § 23 KrWG eine Produktverantwortung zur Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft vor, welche besagt, dass Erzeugnisse „möglichst so zu gestalten [sind], dass bei ihrer Herstellung und ihrem Gebrauch das Entstehen von Abfällen vermindert wird und sichergestellt ist, dass die nach ihrem Gebrauch entstandenen Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden.“ Diese Produktverantwortung, welche noch einer Ausgestaltung durch fallspezifische Rechtsverordnungen bedarf, obliegt dem Hersteller der Produkte. Eine entsprechende Ableitung von Kriterien, die sich aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz für die vorliegende Arbeit ergeben, findet sich in Tabelle 2 in Abschnitt 2.4.

### 2.3.2 Bundeswaldgesetz / „nachhaltige“ Forstwirtschaft

Das Bundeswaldgesetz (BWaldG, Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft - BWaldG) dient unter anderem dazu den Wald zu erhalten und eine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern (§ 1 Nr. 1 BWaldG). So regelt § 9 BWaldG die Erhaltung des Waldes und § 11 BWaldG schreibt eine „nachhaltige“ Bewirtschaftung vor, welche bspw. eine Wiederaufforstung innerhalb einer bestimmten Frist vorschreibt. Aus dem BWaldG ergibt sich ein relevantes Kriterium für die vorliegende Arbeit (siehe Tabelle 2).

### 2.4 Kriterien und Indikatoren für die Bewertung der Umweltauswirkungen

Aus den normativen Vorgaben lassen sich Kriterien ableiten, die es ermöglichen, die Umweltauswirkungen und somit die umweltbezogene „Nachhaltigkeit“ von Produkten zu bewerten. Tabelle 2 fasst die aus den normativen Vorgaben abgeleiteten Kriterien zusammen und ordnet ihnen Indikatoren zu.

Tabelle 2: Kriterien und Indikatoren

Kriterium	Indikator/Wirkungskategorie (jeweils pro Möbelstück form.bar vs. „Massen-Möbelstück“)	Referenz
Modernisierte Infrastruktur und nachgerüstete Industrie		SDG 9.4
Bekämpfung des Klimawandels	Erderwärmung [kg CO <sub>2</sub> -äq.]	SDG 13
Ökologischer Fußabdruck, CO <sub>2</sub> -Fußabdruck		NCEA
Menge an Treibhausgasen Zu erwartende Emissionen		Ökodesign-Richtlinie KrWG
Ressourceneffizienz	Verknappung fossiler Ressourcen [kg Öl äq.] und Verknappung mineralischer Ressourcen [kg Cu äq.]	SDG 12.2 / NCEA / Ökodesign-Richtlinie / KrWG
Abfallaufkommen verringern	Recyclingfähiges Material [kg]	SDG 12.5
	Entstehende Menge an Abfall [kg]	Ökodesign-Richtlinie
Meeresverschmutzung verhindern und verringern	Marine Eutrophierung <sup>11</sup> [kg N äq.]	SDG 14.1
Versauerung der Ozeane erheblich reduzieren		SDG 14.3 / Ökodesign-Richtlinie
Erhaltung, Wiederherstellung und „nachhaltige“ Nutzung der Wälder	Landnutzung [m <sup>2</sup> a crop äq.]	SDG 15.1
„Nachhaltige“ Bewirtschaftung aller Waldarten fördern	Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft	SDG 15.2 / EU-Holzhandelsverordnung / BWaldG
Haltbarkeit/erwartete Lebensdauer	Nachrüstbarkeit	NCEA / Ökodesign-Richtlinie
	Reparierbarkeit	Ökodesign-Richtlinie
	Garantierte Mindestlebensdauer [Jahre]	Ökodesign-Richtlinie
	Mindestzeitraum der Lieferbarkeit von Ersatzteilen [Jahre]	Ökodesign-Richtlinie
Recyclbarkeit	Wiederverwendbarkeit	NCEA / KrWG / Ökodesign-Richtlinie
	Modularität, Anteil an SVHCs	NCEA / KrWG
Umgang mit gefährlichen Stoffen, Anreicherungen von Schadstoffen	Verwendung leicht recycelbarer Materialien	Ökodesign-Richtlinie / KrWG
	Anteil an SVHCs pro Möbelstück form.bar vs. „Massen-Möbelstück“	NCEA / Ökodesign-Richtlinie / KrWG
Energieeffizienz	Energieverbrauch [kWh], zu gewinnende Energie [kWh]	NCEA / Ökodesign-Richtlinie / KrWG

<sup>11</sup> Auch Indikator für Versauerung (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2021).

Rezyklatanteil	Anteil an Rezyklat in %	NCEA / Ökodesign-Richtlinie
Wasserverbrauch	Wasserverbrauch [m <sup>3</sup> ]	Ökodesign-Richtlinie
Emission flüchtiger organischer Verbindungen in die Atmosphäre (und Innenräume)	Karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB], Stratosphärischer Ozonabbau [kg CFC11 äq.], Ozonbildung (menschliche Gesundheit und terrestrische Ökosysteme) [kg NOx äq.], Globale Erwärmung [kg CO <sub>2</sub> äq.] (Amt für Umwelt Thurgau, o. J.)	Ökodesign-Richtlinie
Emission ozonabbauender Stoffe in die Atmosphäre	Stratosphärischer Ozonabbau [kg CFC11 äq.]	Ökodesign-Richtlinie
Emission persistenter organischer Schadstoffe in die Atmosphäre	Karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB], nicht karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB] (Apel & Joerss, 2019)	Ökodesign-Richtlinie
Emission von Fein- und Schwebstaubpartikeln in die Atmosphäre	Feinstaubbildung [kg PM2.5 äq.]	Ökodesign-Richtlinie
Emissionen in Wasser	Süßwasser-Ökotoxizität [kg 1,4-DCB], Süßwasser-Eutrophierung [kg P äq.], Marine Ökotoxizität [kg 1,4-DCB], Marine Eutrophierung [kg N äq.]	Ökodesign-Richtlinie
Emissionen in den Boden	Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> äq.], terrestrische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB]	Ökodesign-Richtlinie

Einige der Indikatoren deckt die ökobilanzielle Untersuchung in Kapitel 3 ab. Für diese und ihre Einheiten findet sich auch eine Erklärung, sprich wie die Wirkungskategorien definiert sind, in Abschnitt 3.4. Die restlichen Kriterien analysiert Kapitel 4.

### 3 Vergleichende Ökobilanz nach ISO 14040/44 (Ist-Zustand)

Eine Ökobilanzierung nach den Normen ISO 14040 und 14044 ermöglicht es, den Ist-Zustand zu erfassen und die ökologische „Nachhaltigkeit“ eines form.bar Produkts zu quantifizieren. Die Norm ISO 14040 beschreibt die Grundsätze und Rahmenbedingungen von Ökobilanzen und die ISO 14044 stellt die „Anforderungen an die Erstellung einer Ökobilanz“ (DIN ISO 14040:2006, Einleitung) detailliert dar. Eine Ökobilanz besteht aus vier Phasen: Ziel und Untersuchungsrahmen (Abschnitt 3.2), Sachbilanz (Abschnitt 3.3), Wirkungsabschätzung (Abschnitt 3.4) und Auswertung (Abschnitt 3.5). Die folgenden Abschnitte orientieren sich an den beiden Normen. Zusätzlich geben die Norm EN 15804 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte) sowie das ILCD Handbuch für Ökobilanzen des Joint Research Centre der Europäischen Kommission Anhaltspunkte für die Vorgehensweise. Bevor die ökobilanzielle Untersuchung startet, ist der aktuelle Stand der Forschung in den Blick zu nehmen, um diesen beim weiteren Vorgehen zu berücksichtigen.

Zur Einordnung der Befunde aus der Sachbilanz und zu den Wirkungskategorien (zusammengefasst in Abschnitt 3.5) ist bereits an dieser Stelle darauf zu verweisen, dass die klassischen Wirkungskategorien einer Ökobilanz eine Reihe relevanter Aspekte ausklammern. Aus diesem Grund öffnet Kapitel 4 den Blick auf weitere Aspekte. Diese sind die Menge an recyclingfähigem Material, die entstehende Menge an Abfall, der Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft, problematische Inhaltsstoffe, verbrauchte Energie, der Anteil an Rezyklat sowie die erwartete Lebensdauer. Eine übergreifende Auswertung folgt in Kapitel 5.

### **3.1 Forschungsstand**

Eine Literaturrecherche in Google Scholar zu den Suchbegriffen „Ökobilanz Möbel“ und „LCA Furniture“ erbrachte circa 7200 Treffer. Beide Suchen waren auf den Zeitraum 2015 bis 2021 begrenzt und die Sortierung der Ergebnisse erfolgte nach „Relevanz“. In die Tabellen aufgenommen sind solche Studien, die relevante Erkenntnisse liefern, um die Kernfrage zu beantworten.

Tabelle 3: Relevante Studien zum Suchbegriff „Ökobilanz Möbel“, Zeitraum 2015-2021, sortiert nach „Relevanz“

Titel	Kurzbeleg	Untersuchungsrahmen	Methodik	Funktionelle/deklarierte Einheit	Datenerhebung	Modellierung	Zentrale Ergebnisse
Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel	(Wenker & Rüter, 2015)	Cradle-to-gate mit Entsorgungsszenario	Kombination von top-down und bottom-up Ansatz <sup>12</sup>	Deklarierte Einheit = 1 kg Möbel	Fragebögen, Stücklisten der Unternehmen	Parametrisiertes Basismodell in GaBi 6, Datenbanken GaBi Professional und ÖkoHolzBaudat	A1 (Bereitstellung der Rohstoffe und Halbwaren) hat verhältnismäßig großen Anteil an Umweltauswirkungen, Transporte und Herstellung haben eher geringe Anteile
Ökobilanzierung komplexer Holzprodukte am Beispiel industriell hergestellter Möbel	(Wenker J., 2015)	Cradle-to-gate mit Optionen	top-down Ansatz ausgehend von der Werksebene		Kombination aus Primärdatenerhebung für Produktionsphase, Hintergrunddaten für die Vorketten und Szenario für End-of-Life	Parametrisiertes Basismodell	Koppelproduktallokation zwischen Hauptprodukt sowie Spänen und Holzresten als Nebenprodukt ist vermutlich entbehrlich, Transporte haben eher geringe Anteile an Umweltauswirkungen
Kaskadennutzung von Altholz in Bayern	(Högelmeier, Weber-Blaschke, & Richter, 2016)	Quantifizierung des jährlich aus bayerischen Gebäudebestand anfallenden Altholzes und Ökobilanzen verschiedener Holznutzungskaskaden <sup>13</sup> , Szenario 1: Herstellung von Dielen aus Altholzbalken, danach 3x Spanplatte. Danach energetische Verwertung, Szenario 2: 3x Spanplatte, danach energetische Verwertung					Knapp die Hälfte des Altholzes erfüllt gesetzliche Anforderungen für stoffliches Recycling (gem. AltholzV), Kaskadennutzung kann (bei richtiger Umsetzung) Großteil der Umweltbelastungen reduzieren, mit jeder Kaskade reduziert sich die zur Verfügung stehende Holzmenge (ca. um 15%), weshalb am Ende weniger Energie entsteht, als wenn das Altholz direkt energetisch verwertet wird
Nachhaltigkeit im Bauwesen: ökologische Analyse von Baustoffen und Bauteilen	(Stephan, 2018)	Vergleich verschiedener Baustoffe hinsichtlich ihrer ökologischen und mechanischen Eigenschaften					Holz hat den geringsten Anteil an nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf, aufgrund des hohen Recyclingpotenzials

<sup>12</sup> Top-down bedeutet, dass Daten beispielsweise für eine ganze Fabrik erhoben werden. Danach werden diese auf einzelne Produkte runtergerechnet, beispielsweise anhand der Stückzahl. Bottom-up bedeutet, dass Daten für einzelne Produkte oder Prozesse erhoben werden (Wenker & Rüter, 2015, S. 6).

<sup>13</sup> Kaskadennutzung bedeutet die „aufeinander folgende, mehrmalige Nutzung eines Rohstoffs zur Herstellung von Produkten gefolgt von einer abschließenden thermischen Verwertung“ (Högelmeier, Weber-Blaschke, & Richter, 2016, S. 8).

Tabelle 4: Relevante Studien zum Suchbegriff „LCA Furniture“, Zeitraum 2015-2021, sortiert nach „Relevanz“

Titel	Kurzbeleg	Untersuchungsrahmen	Methodik	Funktionelle/deklarierte Einheit	Datenerhebung	Modellierung	Zentrale Ergebnisse
Analysis of key environmental areas in the design and labelling of furniture products: Application of a screening approach based on a literature review of LCA studies	(Cordella & Hidalgo, 2016)	Analyse von 82 Studien zum Thema Umweltauswirkungen von Möbeln, Berücksichtigung von fünf Wirkungskategorien: Versauerung, Klimawandel, Eutrophierung, Ozonabbau, Photochemische Ozonbildung Zentrale Erkenntnisse: - Identifikation von „Hotspots“ ist ein typisches Element der Studien - 6 Studien cradle-to-grave - 20 Studien (EPDs) cradle-to-use - 2 Studien cradle-to-gate - Nutzungsphase war nicht immer Bestandteil des Untersuchungsrahmens. Studien, die diese untersuchten, fanden heraus, dass sie unwesentlichen Anteil an Umweltauswirkungen hat		Drei wesentliche Ansätze: - Bezug auf Funktion des Produkts/Möbelstücks in Kombination mit erwarteter Nutzungsdauer - Bezug auf eine Einheit des Produkts/Möbelstücks kombiniert mit erwarteter Nutzungsdauer (meist bei Studien mit verschiedenen Designoptionen, einschließlich EPDs) - Bezug auf eine Einheit des Produkts/Möbelstücks oder eine Masseneinheit ohne Kombination mit Nutzungsdauer	Für Produktionsphase wurden meist Daten direkt beim Hersteller gesammelt, Upstream und Downstream Prozesse meist modelliert anhand von Informationen der Lieferanten, Statistiken und Datenbanken		Materialproduktion und -bereitstellung haben größten Einfluss auf Umweltauswirkungen eines Möbelstücks; Produktionsprozess spielt untergeordnete Rolle; Transport und End-of-Life haben auch eher mittelmäßigen Anteil an den Umweltauswirkungen; eine umfassende Ökobilanz von Möbelstücken sollte eine cradle-to-grave Studie sein und Aspekte wie Haltbarkeit, Qualität, Design und Nutzungsverhalten untersuchen; durch heterogene Ansätze lassen sich die einzelnen LCAs nicht miteinander vergleichen, deshalb Harmonisierung wichtig (wie von EU angestrebt, siehe Abschnitt 7.1); Materialauswahl, effiziente Nutzung von Ressourcen, Haltbarkeit und Entsorgung sind größten Hebelpunkte, zudem ist der Aspekt der bedenklichen Substanzen in Möbeln zentral
On the necessity of improving the environmental impacts of furniture and appliances in net-zero energy buildings	(Hoxha & Jusselme, 2017)	Untersuchung des Anteils von Möbeln an den Umweltauswirkungen von Gebäuden durch Ökobilanzierung					Möbel und Haushaltsgeräte sind für 30 % der Treibhausgasemissionen und des Verbrauchs nicht-erneuerbarer Energie sowie für 15 % des Primärenergieverbrauchs des untersuchten Gebäudes verantwortlich
Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry	(Iritani, Silva, Saavedra, Graell, & Ometto, 2015)	Ökobilanz eines Kleiderschranks aus Holz aus Brasilien um „Nachhaltigkeitsstrategien“ abzuleiten, cradle-to-gate (Materialbereitstellung, Produktion und Transport)		40 kg verstaute Güter pro 5 Jahre, Referenzfluss = ein Kleiderschrank	LCI für die Produktion von MDF aus anderer Studie, LCI für weitere Komponenten aus der GaBi Datenbank, Primärerhebung des LCI für	GaBi Software Professional 4.4, attributional <sup>14</sup> Modellierung, Wirkungsmethode EDIP-97	Relevantesten Wirkungskategorien sind Humantoxizität, Versauerung und globale Erwärmung, zwei „Nachhaltigkeitsstrategien“ identifiziert: Optimierung der Transportwege und alternative Materialien verwenden, z.B. recyceltes Holz

<sup>14</sup> Siehe hierzu Abschnitt 3.2.2.

					Produktionsphase direkt in der Fabrik		
Life cycle assessment in the furniture industry: the case study of an office cabinet	(Medeiros, Tavares, Rapôso, & Kiperstok, 2017)	Ökobilanzierung eines Büroschranks, cradle-to-grave		Ein Büroschrank mit Schiebetür, 900 mm Breite, 480 mm Tiefe und 1600 mm Höhe	Primärdaten für Transportdistanzen und Produktionsphase, Sekundärdaten aus Datenbank für die Materialien, Energie, Transporte und Abfallbehandlung	ecoinvent Datenbank mit Cut-Off Allokation, Wirkungsmethode ILCD 2011 midpoint	Größten Umweltauswirkungen durch Transportwege und Materialproduktion (MDF); Wiederverwendung, Recycling oder Energiegewinnung als Abfallbehandlungen bringen große Einsparungen bei der Umweltauswirkung; Möbel aus Holz sind mögliche Kohlenstoffspeicher, wenn während ihres Lebenszyklus nicht mehr Treibhausgase emittiert werden, als das Material speichern kann
Adaptive remanufacturing for multiple lifecycles: A case study in office furniture	(Krystofik, Luccitti, Parnell, & Thurston, 2018)	Ökobilanzen zur Untersuchung der Auswirkungen mehrerer adaptiver Wiederaufbereitungszyklen <sup>15</sup>					Adaptive Wiederaufbereitung ist sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Sicht sinnvoll; veraltete Produkte so anzupassen, dass sie aktuellen Marktanforderungen gerecht werden, ermöglicht eine Verlängerung des Lebenszyklus, die mit traditioneller Wiederaufbereitung nicht möglich wäre
A Methodical Approach for Systematic Life Cycle Assessment of Wood-Based Furniture	(Wenker, Richter, & Rüter, 2017)	Entwicklung einer Methode für systematische Ökobilanzen von industriell gefertigten Möbeln, Kombination der top-down und bottom-up Ansätze, Anwendung der Methode auf ein Möbelstück aus Deutschland; Cradle-to-gate Studie mit Optionen (nach EN 15804)	Kombination von bottom-up und top-down Ansatz	Deklarierte Einheit = 1 kg Möbel plus Verpackung	Primärdatenerhebung für die Produktionsphase in einer Möbelfabrik über einen Zeitraum von 12 Monaten; sekundäre Daten aus anderer Studie und aus GaBi Datenbank	GaBi Software mit der dazugehörigen Datenbank (PE International 2014)	Die Produktionsphase hat vergleichsweise kleinen Anteil an den Umweltauswirkungen, die Rohstoffgewinnung und -verarbeitung hat vergleichsweise großen Anteil an den Umweltauswirkungen
A Comparative Study on Life Cycle Assessment of Typical Wood base Furniture	(Wang, Su, & Zhu, 2016)	Ökobilanzierung von drei Möbelstücken aus Massivholz (Schreibtisch, Sofa, Kleiderschrank), betrachtete Lebensphasen sind Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport und Abfallentsorgung		Als funktionelle Einheiten wurde eine Beschreibung der drei Produkte verwendet: ein Schreibtisch mit zwei Schubladen aus Buche (50,7 kg), ein weißes Eichen-Stoffsofa (96,1 kg) und ein viertüriger Kleiderschrank aus Gummiholz (324,6 kg)	Primärdatenerhebung für die Produktionsphase in chinesischer Möbelfabrik	Software Simapro 7.3, Wirkungsmethode Eco-Indicator 99	Die Herstellung des Holzwerkstoffs, der Rohstofftransport sowie die Stromerzeugung haben die größten Anteile an der Umweltauswirkung, Produktion des Holzmaterials als Hotspot; Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen sind die Menge des benötigten Materials schon in der Design-Phase zu minimieren, bei der Auswahl der Lieferanten auf „Nachhaltigkeit“ zu achten und die Transportentfernungen zu beachten

<sup>15</sup> Adaptive Wiederaufbereitung bedeutet, dass ein Altprodukt zu einem neuen, ähnlichen, aber nicht identischen Produkt wird (Krystofik, Luccitti, Parnell, & Thurston, 2018).

Die Studien ermitteln meist Hotspots, also Lebensphasen, die die größten Anteile an den Umweltauswirkungen ausmachen. Die Materialproduktion inklusive Rohstoffgewinnung und -verarbeitung identifizieren fast alle Studien als Hotspot (Wenker & Rüter, 2015, S. 68; Cordella & Hidalgo, 2016, S. 70; Medeiros et al., 2017, S. 1828; Wenker, Richter & Rüter, 2017, S. 679; Wang, Su & Zhu, 2016, S. 638). Dies spricht dafür, diese Lebensphase möglichst detailliert in den Untersuchungsrahmen aufzunehmen. Transportwege haben in zwei Studien einen vergleichsweise kleinen Anteil an den Umweltauswirkungen (Wenker & Rüter, 2015, S. 68; Cordella & Hidalgo, 2016, S. 72), während Medeiros et al. (2017, S. 1828) sie als Hotspot beschreiben. Dies spricht dafür, diese in den Untersuchungsrahmen aufzunehmen. Vor allem auch, da die Transportwege einen zentralen Unterschied zwischen den beiden untersuchten Produkten ausmachen. Die Produktion des Möbelstücks scheint einen eher kleinen Anteil an den Umweltauswirkungen zu haben (Wenker & Rüter, 2015, S. 68; Cordella & Hidalgo, 2016, S. 70; Wenker, Richter & Rüter, 2017, S. 679). Deshalb war diese zunächst nicht Teil des Untersuchungsrahmens. Eine Sensitivitätsanalyse hob sie jedoch als relevant hervor, weshalb sie in der finalen Version des Basisszenarios enthalten ist (siehe auch die Erläuterung des iterativen Prozesses in Abschnitt 3.2.3). Cordella und Hidalgo (2016, S. 72) identifizieren die End-of-Life Phase als irrelevant, Medeiros et al. (2017, S. 1833) kommen jedoch zu dem Schluss, dass diese große Einsparpotenziale birgt, weshalb sie in den Untersuchungsrahmen zu integrieren ist. Manche Studien entwickeln ebenfalls Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen, darunter sind Materialauswahl, Haltbarkeit und Entsorgung (Cordella & Hidalgo, 2016, S. 74), Optimierung der Transportwege und alternative Materialien, z.B. aus Rezyklat, zu verwenden (Iritani et al., 2015, S. 317). Diese Erkenntnisse helfen bei der Festlegung alternativer Szenarien zum Basisszenario. Die funktionellen Einheiten der Studien variieren. Cordella und Hidalgo (2016, S. 70) identifizieren in ihrer Meta-Studie drei wesentliche Ansätze, die Ökobilanz-Studien für die Festlegung der funktionellen Einheit verwenden:

1. FE bezieht sich auf die Funktion des Möbelstücks in Kombination mit erwarteter Nutzungsdauer (Beispiel dafür: Iritani et al., 2015),
2. FE bezieht sich auf ein Möbelstück kombiniert mit erwarteter Nutzungsdauer (kein Beispiel dafür in den ausgewählten Studien),
3. FE bezieht sich auf ein Möbelstück oder die Masse eines Möbelstücks ohne Kombination mit erwarteter Nutzungsdauer (Beispiele dafür: Wenker & Rüter, 2015; Medeiros et al., 2017; Wenker, Richter & Rüter, 2017; Wang, Su & Zhu, 2016).

In der vorliegenden Studie ist die FE vom zweiten Typ. Die Nutzungsdauer ist festgelegt auf 20 Jahre. Da diese von Nutzendem zu Nutzendem und auch je nach Qualität des Produkts aber sehr individuell sein kann, gibt es ein alternatives Szenario (Szenario 5, siehe dazu Abschnitt 3.3.4).

### **3.2 Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie**

Dieser Abschnitt erläutert die Ziele der Studie (Abschnitt 3.2.1) und den Untersuchungsrahmen (Abschnitt 3.2.2), welche beide stark abhängig von der beabsichtigten Anwendung der Ökobilanz sind (DIN ISO 14040:2006, Einleitung), sowie den iterativen Prozess (Abschnitt 3.2.3).

### 3.2.1 Ziele der Studie

Beabsichtigte Anwendungen und Zielgruppen: Die Studie zielt auf zwei zentrale Anwendungen. In erster Linie soll sie die unten genannten Akteure unterstützen, die Umweltauswirkungen der Möbel (insbesondere solcher, die regional gefertigt sind) über den gesamten Lebensweg in ökologischer Hinsicht zu optimieren. Dafür sind signifikante Parameter entlang des Lebenswegs zu identifizieren, um so Ansatzpunkte zu ermitteln, die es erlauben, die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Zielgruppe sind insbesondere Unternehmen der Möbelindustrie, die eine regionale Produktion aufrechterhalten möchten, wie die Okinlab GmbH, welche die Plattform form.bar betreibt. Außerdem können (potenziell) kooperierende Schreinerbetriebe an den Ergebnissen interessiert sein.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse an die (potenzielle) Kundschaft zu kommunizieren, um sie in ihrer Kaufentscheidung und der Beachtung von ökologischen Aspekten eines Möbelstücks zu unterstützen. Dazu vergleicht die Studie die unterschiedlichen Umweltauswirkungen eines Regals, welches regional bei einem Schreinerbetrieb gefertigt ist, mit einem Möbelstück eines großen Möbelkonzerns („Fast Furniture“). Ein Regal von form.bar dient dabei als Beispiel für die erste Kategorie und ein Regal vom Möbelkonzern 2 als Beispiel für die zweite Kategorie.

Verwendung in zur Veröffentlichung vorgesehenen vergleichenden Aussagen: Die Studie soll der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen und die Ergebnisse sind an potenzielle Nutzende zu kommunizieren. Eine vergleichende Aussage<sup>16</sup> sollte nur in anonymisierter Form (ohne Nennung des Namens vom Möbelkonzern 2) im Rahmen eines Kommunikationskonzepts an die Öffentlichkeit gelangen. Die Ergebnisse sind jedoch nicht mit den Ergebnissen anderer ökobilanzieller Untersuchungen von Möbelstücken zu vergleichen, da sich dafür der Untersuchungsrahmen und das methodische Vorgehen meist zu sehr unterscheiden.

### 3.2.2 Untersuchungsrahmen

Funktion und funktionelle Einheit: Die Funktion des untersuchten Systems liegt im Verstauen von Gegenständen. Die funktionelle Einheit der Studie ist die Nutzung eines Regals mit einer Höhe von 202 cm, einer Breite von 80 cm und einer durchschnittlichen Tiefe von circa 28 cm über 20 Jahre in der Optik Eichenfurnier in Deutschland. Die Tiefe des Regals ist aufgrund der für form.bar typischen welligen Form als Durchschnittswert angegeben.

Die vorliegende Ökobilanz ist als Fallbeispiel und nicht als repräsentativ zu betrachten. Sie nutzt dafür zwei verschiedene spezifische Produkte. Das eine dient als Beispielprodukt für eine regionale Fertigung (Produkt 1) und das andere für eine industrielle Fertigung (Produkt 2).

Produkt 1 (form.bar): Das erste zu untersuchende Produktsystem ist ein Regal, welches über form.bar gestaltet und gefertigt ist. Dabei orientieren sich die Maße am Produkt 2, damit eine Vergleichbarkeit gewährleistet ist. Es hat eine Höhe von 202 cm, eine Breite von 80 cm, eine maximale Tiefe von 31 cm und eine minimale Tiefe von 25 cm. Das Regal hat zudem eine Wellenform, was das Markenzeichen von form.bar ist. Das Material ist finnisches Birken-Furnierschichtholz mit einem geölten Echtholz furnier aus europäischer Eiche vom Hersteller Koskisen. Abbildung 2 zeigt die Optik und die Maße von Produkt 1.

---

<sup>16</sup> Vergleichende Aussage = „Umweltaussage zur Überlegenheit oder Gleichwertigkeit eines Produktes im Vergleich zu einem Konkurrenzprodukt mit dem gleichen Verwendungszweck“ (DIN ISO 14040:2006, Abschnitt 3.6).

Das Holz für das Material von Koskisen kommt aus finnischen Wäldern, ungefähr 100 km von der Holzfabrik entfernt. Nach Deutschland gelangt das Material über die HOFA Holzimport GmbH in Hamburg. Nachdem das Regal auf form.bar gestaltet ist, gelangen die Daten zum nächstgelegenen Schreinerbetrieb. In dieser Studie ist der angenommene Standort 85049 Ingolstadt. Einer der nächstgelegenen Schreinerbetriebe ist somit die Schreinerei Martin Maierhofer im Erdweg 1 in 86641 Rain-Staudheim. Dieser Schreiner kauft das Material von Koskisen über einen Zwischenhändler in Neu-Ulm (Carl Götz GmbH). Dieser liefert das Material im Rahmen einer Ausliefertour, bei welcher er auch weitere Schreinerbetriebe in der Umgebung beliefert, an den Schreiner aus. Dort wird das Produkt gefertigt. Danach liefert der Schreiner es auf einer Ausliefertour in einem Kleintransporter zur Kundschaft, welche es dann zu Hause aufbaut. Der Referenzfluss für Produkt 1 ist einmal das in Abbildung 2 gezeigte Regal.

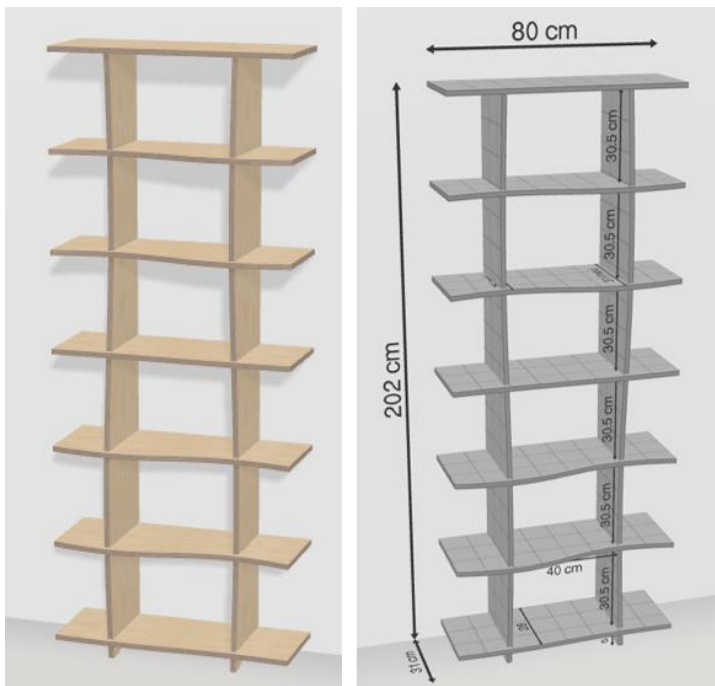


Abbildung 2: Optik und Maße von Produkt 1

[Bildquelle](#) (10.08.2021)

Produkt 2 (Möbelkonzern 2): Das zweite zu untersuchende Produktsystem ist ein Bücherregal vom Möbelkonzern 2. Es hat eine Höhe von 202 cm, eine Breite von 80 cm und eine Tiefe von 28 cm, womit es in etwa den Maßen von Produkt 1 entspricht. Das Hauptmaterial ist eine Spanplatte mit Eichenfurnier. Die Rückwand besteht aus einer Hartfaserplatte. Abbildung 3 zeigt die Optik und die Maße von Produkt 2.

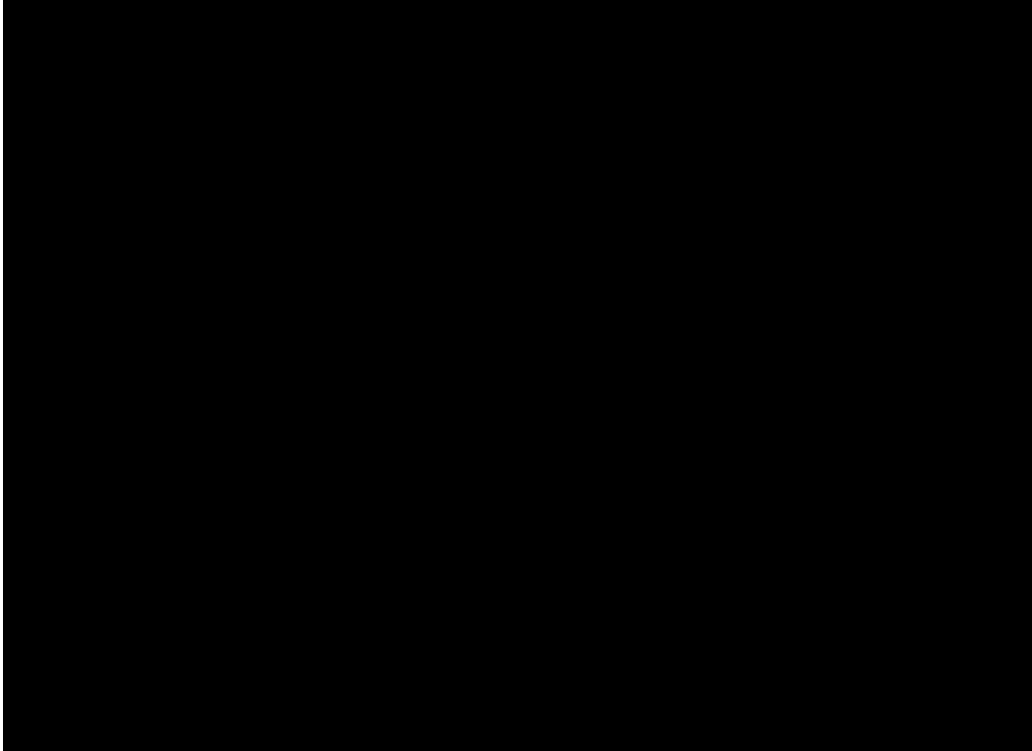


Abbildung 3: Optik und Maße von Produkt 2

Das Holz für das Bücherregal stammt vermutlich aus den Karpaten in Rumänien. Möbelkonzern 2 ist dort einer der größten privaten Waldbesitzer und bezieht einen Großteil seines Holzes von dort (SWR Marktcheck, 2018). Die Fertigungsstätte des Regals befindet sich in Kättilstorp in Schweden (Schmoll, 2018). In der vorliegenden Studie ist davon auszugehen, dass sich der Standort der Kundschaft in 85049 Ingolstadt befindet. Damit ist die nächste Filiale vom Möbelkonzern 2 in der Nähe von Augsburg. Deshalb ist für die Bilanzierung davon auszugehen, dass das Regal mit LKW und Schiff in das Lager dieser Filiale transportiert wird. Danach holt die Kundschaft es im Normalfall dort ab und baut es zu Hause auf. Der Referenzfluss für Produkt 2 (Möbelkonzern 2) ist im Basisszenario einmal das in Abbildung 3 gezeigte Regal.

Das Regal ist ein Beispielprodukt für die „Fast Furniture“ Kategorie, da Möbelkonzern 2 unter den Marktführern in Deutschland ist (Hohmann, 2021a). Zudem eignet sich dieses Produkt für eine ökobilanzielle Untersuchung, da es sehr bekannt und schon lange auf dem Markt ist, wodurch viele Informationen zur Verfügung stehen.

Systemgrenze: Die vorliegende Studie ist eine vergleichende Ökobilanz, weshalb alle Prozessmodule zu untersuchen sind, die sich voneinander unterscheiden. Zudem ist möglichst der gesamte Lebensweg zu bilanzieren, um wichtige Parameter zu identifizieren und Umweltauswirkungen insgesamt zu reduzieren.

Die folgenden Prozessmodule sind enthalten (Einteilung nach EN 15804 (DIN EN 15804:2012+A2:2019), die Bezeichnung mit Buchstaben und Ziffer bewirkt eine bessere Orientierung und Verständlichkeit im Laufe der Studie):

Herstellungsphase

- A1: „Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)
- A2: „Transport zum Hersteller“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)
- A3: „Herstellung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2), hierbei handelt es sich um die Herstellung des Regals an sich.

#### Errichtungsphase

- A4: „Transport zur Baustelle“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.3) – hierunter ist in der vorliegenden Studie analog dazu der Transport des fertigen Möbelstücks zur Verkaufsstätte und/oder zur Kundschaft nach Hause zu verstehen.

#### Entsorgungsphase

- C2: „Transport zur Abfallbehandlung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6)

#### Vorteile und Lasten außerhalb der Systemgrenze

- C3: „Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6)
- D: „Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und/oder Recyclingpotenziale, als Nettoflüsse und Vorteile angegeben“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.7)

In der DIN EN 15804 liegt das Modul C3 noch innerhalb der Systemgrenze. In der vorliegenden Studie liegt es jedoch zusammen mit Modul D außerhalb der Systemgrenze, da diese beiden Module in ecoinvent teilweise ein gemeinsames Prozessmodul darstellen. Die Studie betrachtet die End-of-Life Phase außerhalb der Systemgrenze und gibt mögliche Vorteile und Lasten separat an, da sich diese Phase nicht eindeutig vorhersagen lässt und stark vom individuellen Entsorgungsverhalten der Nutzenden aber auch der städtischen Entsorger abhängt. Zudem folgt diese Logik der DIN EN 15804 und somit der Erstellung einer EPD. Auch andere Studien gehen so vor, wie beispielsweise Wenker & Rüter (2015). Die Berechnung der Vorteile und Lasten im Modul D liegt der folgenden Logik zugrunde: „Wenn ein Sekundärstoff oder -brennstoff die Systemgrenzen verlässt, z. B. am Ende der Entsorgungsphase und wenn er andere Stoffe oder Brennstoffe in einem folgenden Produktsystem ersetzt, können die potenziellen Vorteile oder vermiedenen Lasten auf der Basis eines spezifischen Szenarios berechnet werden, das mit anderen Szenarios für die Abfallbehandlung oder -beseitigung konsistent ist und auf gängiger Durchschnittstechnologie oder -praxis beruht“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.4.3.3). Eine Erläuterung wie die Berechnung in der vorliegenden Studie umgesetzt ist, befindet sich in Abschnitt 3.3.6.

Die folgenden Prozessmodule sind nicht enthalten:

#### Errichtungsphase

- A5: „Einbau in das Gebäude“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.3), Begründung: Es lässt sich kein Prozess analog für Möbelstücke ableiten und keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten

#### Nutzungsphase

- B1: „Nutzung oder Anwendung des eingebauten Produkts“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.4), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten
- B2: „Inspektion, Wartung, Reinigung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.4), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten

- B3: „Reparatur“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.4), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten
- B4: „Austausch, Ersatz“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.4), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten
- B5: „Verbesserung, Modernisierung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.4), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten

#### Entsorgungsphase

- C1: „Rückbau, Abriss“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6), Begründung: Bei Möbelstücken keine (nennenswerten) Umweltauswirkungen zu erwarten
- C4: „Beseitigung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6), Begründung: In der vorliegenden Studie ist davon auszugehen, dass alle Materialien verwertbar sind, was durch die Module C3 und D bereits abgedeckt ist, und nichts deponiert wird.

Die vorliegende Studie ist somit eine „cradle-to-grave“ Ökobilanz mit Entsorgungsszenarien und Vorteilen und Lasten aus einer Verwertung außerhalb der Systemgrenze, wie es in der DIN EN 15804 vorgegeben ist. In einem zweiten Schritt folgt eine „cradle-to-cradle“ Ökobilanz im Sinne der Kreislaufwirtschaft, welche die FE um weitere 20 Jahre verlängert und bestimmte Lebenswege bzw. -kreisläufe für beide Produkte annimmt (siehe Abschnitt 3.3.6).

Systemfließbild: Das Systemfließbild (Abbildung 4) veranschaulicht den Untersuchungsrahmen und die Systemgrenze der vorliegenden Studie.

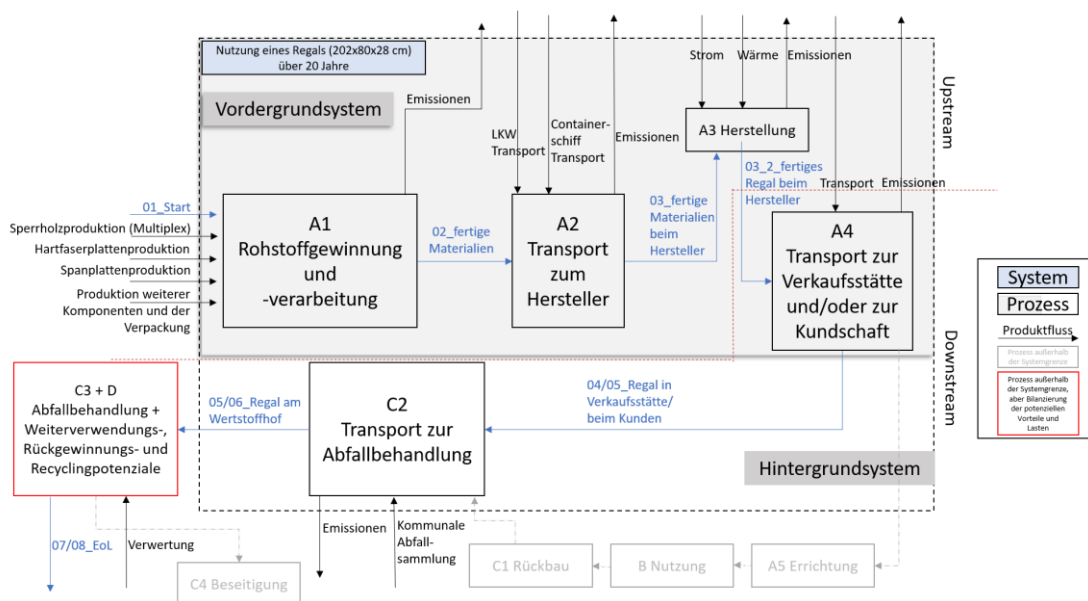


Abbildung 4: Systemfließbild

Bildquelle: eigene Darstellung in Anlehnung an European Commission – JRC (2010, S. 119), Einteilung der Lebensphasen nach (DIN EN 15804:2012+A2:2019, 2020)

Das Systemfließbild bzw. der Untersuchungsrahmen der Studie teilt sich auf in ein Hintergrunds- und ein Vordergrunds-System. Das Vordergrunds-System beinhaltet alle Prozesse, die spezifisch für ein Produktsystem sind. Dazu zählen beispielsweise Tier-1-Lieferanten, Prozesse, für welche Primärdaten vorhanden sind, und Prozesse, welche vom Hersteller unmittelbar beeinflussbar sind (European Commission - JRC, 2010, S. 96f.). Vor

allem aufgrund des zuletzt genannten Kriteriums, der Beeinflussbarkeit, sind die Module A1 bis A4 alle im Vordergrundsystem. Das Modul C2 liegt im Hintergrundsystem, da der Transport zur Abfallbehandlung nicht unmittelbar vom Hersteller beeinflussbar ist. Die Module C3 und D liegen außerhalb der Systemgrenze und somit weder im Vorder- noch Hintergrundsystem. Der Untersuchungsrahmen teilt sich zudem auf in Upstream- und Downstream-Prozesse (getrennt durch die rote gestrichelte Linie). Upstream-Prozesse sind alle Prozesse bis zum Hersteller und inklusive der Herstellung des Regals. Downstream-Prozesse sind alle Prozesse nach der Herstellung. Zu den Upstream-Prozessen gehören folglich die Module A1, A2 und A3. Die Module A4, C2, C3 und D sind Downstream-Prozesse.

Abschneidekriterien: Die Abschneidekriterien bestimmen, welche Inputs in die Bilanzierung aufzunehmen sind. In der vorliegenden Studie orientieren sich die Abschneidekriterien an der Masse (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.2.3.3.3). Alle Inputs, die weniger als 0,01 Massenprozent entsprechen, sind nicht in die Bilanzierung zu integrieren. Bei Produkt 1 (form.bar) entspricht dies allen Inputs, welche weniger als 3,2 g wiegen. Das entspricht keinem der Inputs, weshalb keins abgeschnitten ist. Bei Produkt 2 (Möbelkonzern 2) entspricht dies allen Inputs, die weniger als 3,49 g wiegen. Dies betrifft zwei Klebestreifen, welche auf der Rückwand angebracht sind, einen Aufkleber, ebenfalls auf der Rückwand, eine kleine Tüte aus Polyethylen, in welcher die Nägel für die Montage etc. aufbewahrt sind, sowie zwei kleine Schrauben. Die hier beschriebenen Abschneidekriterien gelten für die eigens definierten Prozessmodule. Die Datenbank ecoinvent 3.6 verwendet eigene Abschneidekriterien, die für die in der Bilanzierung verwendeten Prozessmodule gelten.

Methode für die Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorien: Als Methode für die Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorien dient „Recipe 2016 Midpoint (H)“. Diese umfasst 18 verschiedene Wirkungskategorien, welche viele der in Tabelle 2 ausgearbeiteten Kriterien abdecken. Eine Wirkungskategorie, ionisierende Strahlung, ist keiner der definierten Kriterien zuzuordnen und somit nicht Teil der Auswertung. Die Methode wandelt die vielen einzelnen Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse in eine begrenzte Anzahl an Indikatorwerten um. Diese repräsentieren dann den relativen Schweregrad in einer Umweltwirkungskategorie. Es gibt zwei verschiedene Arten von Indikatorwerten, „midpoint“ und „endpoint“. Midpoint-Indikatoren konzentrieren sich auf einzelne Umweltprobleme während Endpoint-Indikatoren die Umweltauswirkungen an drei Schutzgütern abbilden. Diese sind: Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, auf die biologische Vielfalt sowie auf die Ressourcenknappheit (RIVM, 2018). Allerdings gilt es zu beachten, dass die Endpoint-Indikatoren die gleichen Umweltaspekte umfassen, wie die Midpoint-Indikatoren. Letztere gelten oftmals als eher abstrakt, weswegen die Endpoints als zugänglicher zu bewerten sind und demnach für die Kommunikation nach außen von Vorteil sein können. Auf der anderen Seite ist die Erstellung von linearen Wirkungsketten von den Datensätzen der Sachbilanz zu den Endpoints selten möglich. Dadurch unterliegen diese einer entsprechend größeren Unsicherheit in Bezug auf die Charakterisierungsfaktoren, weshalb Midpoint-Indikatoren häufig bevorzugt Anwendung finden (ifeu, o. J.). In der vorliegenden Studie erfolgt eine tiefere Betrachtung der Midpoint-Indikatoren (Abschnitt 3.5). Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Midpoint- und Endpoint-Indikatoren.

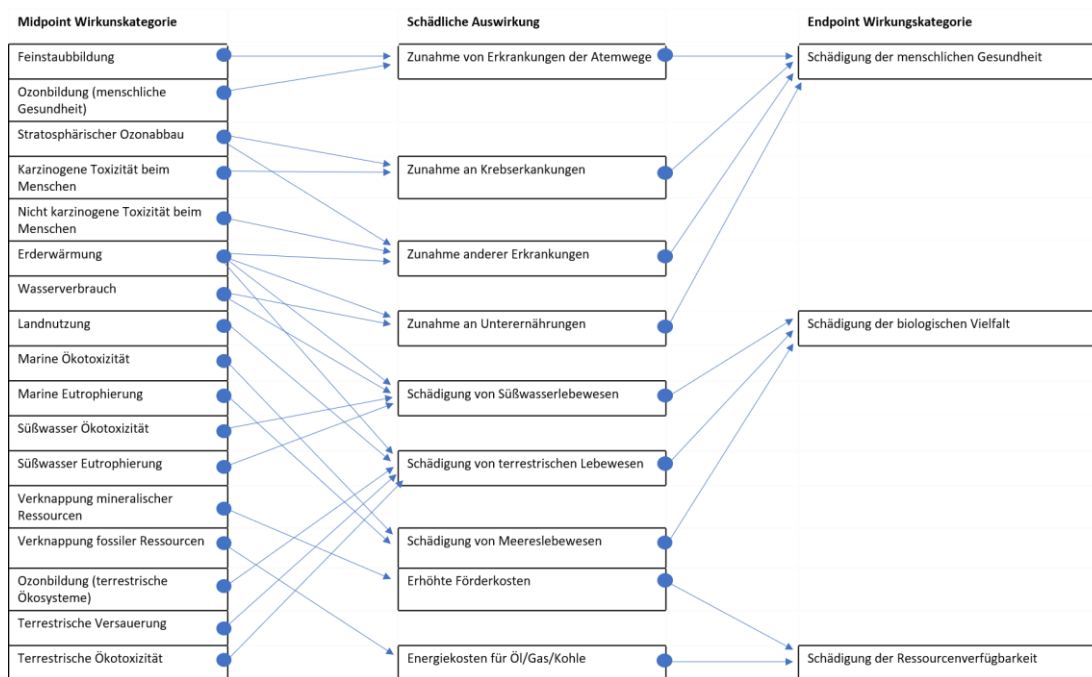


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Midpoint- und Endpoint-Indikatoren

Bildquelle: eigene Darstellung in Anlehnung an RIVM (2018)

Datentypen und -quellen: In Ökobilanzen können die verwendeten Daten „eine Mischung gemessener, errechneter oder geschätzter Daten“ (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.2.3.5) sein. Die Daten für die Inputs des Produkts 1 stammen vom Hersteller form.bar, von den beiden Lieferanten Europlac und Koskisen sowie von der Schreinerei Maierhofer in Rain-Staudheim. Die Daten für die Inputs von Produkt 2 sind selbst erhoben. Es war nicht möglich alle Inputs „aus erster Hand“ zu erheben, weshalb die Primärdaten durch Sekundärdaten aus Recherche sowie der verwendeten Datenbank ecoinvent 3.6 ergänzt sind. Die genaue Vorgehensweise zur Datenerhebung ist in Abschnitt 3.3.1 erläutert.

Die verwendete Datenbank ist eine „cut-off“ Datenbank, was dem „attributional“ Ansatz von Ökobilanzen entspricht. Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Ökobilanzen, den „attributional“ und den „consequential“ Ansatz. Der attributional Ansatz modelliert den tatsächlichen oder angenommenen durchschnittlichen Lebenszyklus eines Produkts und geht dabei von einer statischen Technosphäre<sup>17</sup> aus (European Commission - JRC, 2010, S. 71). Der consequential Ansatz soll die Konsequenzen einer Entscheidung im Vordergrundsystem auf andere Prozesse und Systeme in der Wirtschaft berücksichtigen. Somit modelliert dieser Ansatz nicht die tatsächlichen Prozesse einer Lieferkette, sondern die prognostizierten Konsequenzen von Entscheidungen (European Commission - JRC, 2010, S. 164). Er geht somit von einer dynamischen Technosphäre aus (European Commission - JRC, 2010, S. 71). Der in dieser Studie verwendete attributional Ansatz funktioniert nach dem Prinzip, dass die primäre Produktion eines Materials immer dem primären Nutzer eines Materials angerechnet

<sup>17</sup> In Ökobilanz-Studien unterscheidet man die Welt in einer Technosphäre und eine Ökosphäre. Die Technosphäre ist die Umgebung, die menschengemacht ist; oder natürliche Umgebung, die vom Menschen verändert ist. Die Ökosphäre lässt sich auch als Natur bezeichnen und ist die Umgebung, die nicht menschengemacht ist, bspw. Ökosysteme, menschliche Gesundheit und natürliche Ressourcen. Eine Ökobilanzierung soll die Auswirkungen auf die Ökosphäre quantifizieren (Hauschild, Rosenbaum, & Olsen, 2018, S. S. 78).

ist. Das Recycling oder die Wiederverwendung eines Materials bedeuten keine Gutschrift für den Erstproduzenten. Gleichzeitig sind für Sekundärmaterialien, also Rezyklate, nur die Auswirkungen aus dem Recyclingprozess angerechnet und nicht die Auswirkungen aus der Erstproduktion (ecoinvent, 2021).

Anforderungen an die Datenqualität: Für die Modellierung sind die in der Datenbank ecoinvent 3.6 enthaltenen Daten zu verwenden. Aufgrund des beschränkten Zugangs zu anderen (kostenpflichtigen) Datenbanken, sind keine besonderen Anforderungen an die Qualität der Daten gestellt. Eine Bewertung der Datenqualität findet sich in Abschnitt 3.3.7.

Vergleiche zwischen Systemen: In vergleichenden Ökobilanzen ist „vor der Auswertung der Ergebnisse die Vergleichbarkeit der Systeme“ (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.2.3.7) zu beurteilen. In der vorliegenden Studie ist die Vergleichbarkeit der Systeme gegeben, da die funktionelle Einheit, Systemgrenzen, Anforderungen an die Daten und Wirkungsabschätzung gleich definiert sind. Ein Unterschied zwischen den Systemen besteht darin, dass die Bilanzierung bei Produkt 1 für das Modul A3 (Herstellung) auf Primärdaten zurückgreift, während sie bei Produkt 2 auf Sekundärdaten zurückgreift. Zudem erfüllen die beiden Produkte zwar die gleiche Funktion und haben annähernd die gleiche Optik, unterscheiden sich aber stark in ihren Materialien und auch im Preis. Beide Aspekte sind jedoch jeweils markant für ihre Kategorie (lokale, hochwertige Produktion vs. Fast Furniture), was genau den Zielen der Arbeit entspricht.

Kritische Prüfung: Die kritische Prüfung ist für eine Veröffentlichung der Ergebnisse der Studie notwendig. Der Referent der vorliegenden Arbeit, Prof. Dr. Martin Führ, sowie der Korreferent, führen die kritische Prüfung durch. Die kritische Prüfung muss sicherstellen, dass die angewandte Methodik den Normen ISO 14040 und 14044 entspricht und wissenschaftlich begründet ist, dass die verwendeten Daten im Hinblick auf das Ziel der Studie akzeptabel sind, dass bekannte Einschränkungen und das Ziel der Studie bei der Auswertung Berücksichtigung finden und dass der Bericht transparent und stimmig ist (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 6.1).

### **3.2.3 Erläuterung des iterativen Prozesses**

Ökobilanzstudien weisen einen iterativen Charakter auf (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.2.1). Dieser Abschnitt beschreibt deshalb die iterative Vorgehensweise. In einer ersten Festlegung des Untersuchungsrahmens war das Modul A3, die Herstellung des Regals, nicht enthalten. Gründe, die dafür sprachen, waren: Keine spezifischen Daten für Produkt 2 (Möbelkonzern 2) und zudem keine großen Unterschiede in den Umweltauswirkungen im Vergleich zu Produkt 1 (form.bar) zu erwarten. Form.bar kann die Produktion bei den Partnerbetrieben auch nicht unmittelbar beeinflussen. Andere Studien zeigten zudem, dass die Produktion des Möbelstücks selbst nur einen kleinen Beitrag zu den gesamten Umweltauswirkungen leistet (Wenker & Rüter, 2015, S. 68; Cordella & Hidalgo, 2016, S. 70; Wenker, Richter & Rüter, 2017, S. 679). Eine Sensitivitätsanalyse, in welcher das Modul A3 enthalten war, zeigte jedoch, dass dieses fast 10 % der Treibhausgasemissionen des Produktsystems 1 ausmacht (siehe Abschnitt 3.5.3). Deshalb wurde entschieden, das Modul A3 doch in den Untersuchungsrahmen aufzunehmen. Die Sensitivitätsanalyse wurde so zum neuen Basisszenario. Da das Modul A3 in allen der fünf Szenarien gleich ist, konnten die Werte der einzelnen Wirkungskategorien für alle Szenarien nachträglich aufsummiert werden.

### 3.3 Sachbilanz

Die zweite Phase der Ökobilanz ist die Sachbilanz-Phase. In dieser Phase geht es darum, die erforderlichen Daten zu sammeln und alle Inputs und Outputs des zu untersuchenden Systems zu erfassen (DIN ISO 14040:2006, Einleitung). Im Folgenden ist die Vorgehensweise bei der Datenerhebung (Abschnitt 3.3.1), Datenberechnung (Abschnitt 3.3.2), Allokation (Abschnitt 3.3.3) sowie der Bilanzierung in OpenLCA (Basisszenario Abschnitt 3.3.4, Sensitivitätsanalysen Abschnitt 3.3.5 und End-of-Life Szenarien Abschnitt 3.3.6) beschrieben. Abschnitt 3.3.7 bewertet zudem die Qualität der Daten.

#### 3.3.1 Datenerhebung

Input- und Output-Daten sind für jedes Prozessmodul, welches innerhalb der Systemgrenze (Abbildung 4) liegt, zu sammeln. Abbildung 6 zeigt, dass für Upstream- und Downstream-

Module	Modul A1-A3		A4 und A5	B1-B7	C1-C4
	Herstellung von Rohstoffen, Grund- und Ausgangsstoffen	Produktherstellung	Einbauprozesse	Nutzungsprozesse	Entsorgungsprozesse
Prozesstyp	Vorgelagerte Prozesse (upstream)	Prozesse, auf die der Hersteller einen Einfluss hat	Nachgelagerte Prozesse (downstream)		
Datentyp	Generische Daten	Durchschnittliche oder spezifische Daten des Herstellers	Generische Daten		

Bildquelle: DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.3.7

Abbildung 6: In den verschiedenen Modulen zu verwendenden Daten

Prozesse generische Daten<sup>18</sup> verwendbar sind während für das Modul A3, die Produktherstellung, bevorzugt durchschnittliche oder spezifische Daten des Herstellers zu verwenden sind (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.3.7).

Im Folgenden ist die Datenerhebung für das Basisszenario (siehe auch Abschnitt 3.3.4) erläutert.

#### Produkt 1 (form.bar):

Alle Inputs sind in Tabelle 5 aufgelistet sowie im Folgenden beschrieben. Die Daten der Inputs für das Modul A1 stammen von form.bar. Bei der Menge der Inputs, also der benötigten Menge an Holzwerkstoffen, ist ein Verschnitt bei der Herstellung des Regals nicht berücksichtigt. Der ausgewählte Schreinerbetrieb verwendet zum Zuschneiden der Platten das Nesting-Verfahren, wodurch ein Verschnitt von 13,33 % entsteht. Eine Recherche hat ergeben, dass dies dem Branchendurchschnitt von 13 % Materialverlust entspricht (Kaiser, 2018, S. 14). Es ist somit davon auszugehen, dass der Verschnitt bei Produkt 2 ähnlich ist und somit ist es berechtigt, den Verschnitt nicht zu berücksichtigen. Die Informationen für das Modul A2 stammen vom Lieferanten Koskisen, welcher per E-Mail kontaktiert wurde. Seine Information lautet, dass das Holz für die Multiplexplatten aus Finnland stammt und sie diese über die HOFA Holzimport GmbH nach Deutschland importieren. Von der Schreinerei Maierhofer stammt die Information, dass die Multiplexplatten über einen Zwischenhändler in Neu-Ulm (Carl Götz GmbH) zum Schreinereibetrieb gelangen. Das Tool Google Maps ermöglicht es mit den vorhandenen Informationen die Lieferwege zu rekonstruieren, wobei diese auf Annahmen und auf der von Google Maps am „schnellsten“ ermittelten Route beruhen. Die Informationen für das Modul A3 stammen von der Schreinerei Maierhofer. Insgesamt braucht

<sup>18</sup> „Generische Daten sind öffentlich zugänglich und können spezifisch oder durchschnittlich sein“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.3.7).

diese 6,1 kWh Strom, um das Regal herzustellen. Dazu kommt noch Handarbeit, wie schleifen und putzen, diese wurde jedoch nicht mit bilanziert. Nachdem das Regal fertig hergestellt ist, liefert der Schreiner es im Normalfall auf einer „Tour“ im Kleintransporter an die Kundschaft aus (Modul A4). In der vorliegenden Studie ist der angenommene Standort der Kundschaft in 85049 Ingolstadt. Google Maps gibt dafür eine Strecke von 35 km an. In Ingolstadt gibt es mehrere Wertstoffhöfe. Für das Basisszenario wurde der Wertstoffhof Süd ausgewählt (Modul C2), mit der Option die Transportstrecke in den weiteren Szenarien zu variieren, falls sich diese als relevant herausstellen sollte.

#### Produkt 2 (Möbelkonzern 2):

Alle Inputs sind in Tabelle 6 aufgelistet sowie im Folgenden beschrieben. Die Daten für die Inputs des Moduls A1 sind selbst erhoben. Dafür wurde das Regal vom Möbelkonzern 2 gekauft, ausgepackt und die einzelnen Teile identifiziert und mit einer Personenwaage (größere Teile) oder einer Küchenwaage (kleinere Teile) gewogen. Außerdem wurden sie mit einem Zollstock ausgemessen. Fotos der einzelnen Teile befinden sich im Anhang in Abschnitt 3. Möbelkonzern 2 gibt auf der Webseite ein Gesamtgewicht des Produktsystems von 34,80 kg an. Die eigene Messung ergab ein Gesamtgewicht von 34,87 kg. Die angegebenen Maße auf der Webseite von Möbelkonzern 2 und die Maße aus der eigenen Erhebung stimmen auch überwiegend überein, Abweichungen betragen maximal 1 cm. Somit ist die Qualität der erhobenen Daten mit gut zu bewerten. Wie bereits bei Produkt 1 beschrieben, wurde auch hier der Verschnitt der Holzwerkstoffe nicht berücksichtigt. Die Materialien der einzelnen Komponenten waren durch Angaben auf der Produktseite, auf der Komponente selbst (bei Plastik und Pappe) oder durch Recherche von ähnlichen Produkten (Beispielprodukte sind in Tabelle 6 verlinkt) identifizierbar. Die Daten für die Inputs von Modul A2 stammen aus verschiedenen Quellen. Die Information, dass das Holz für das Regal von Möbelkonzern 2 aus den Karpaten in Rumänien stammt, kommt von Ulfred & Kuhn (2020). Möbelkonzern 2 hat in den Karpaten einen eigenen Wald, mit einer Fläche von fast 50000 Hektar, von wo er einen Großteil des Holzes bezieht (Ulfred & Kuhn, 2020). Deshalb gilt die Annahme, dass das Holz für Produkt 2 aus den Karpaten stammt. Die Information, dass der Lieferant Gyllensvaans Möbler das Regal in Kättilstorp in Schweden fertigt, stammt von Schmoll (2018). Das Tool Google Maps ermöglicht es mit den vorhandenen Informationen die Lieferwege zu rekonstruieren, wobei diese auf Annahmen und auf der von Google Maps am „schnellsten“ ermittelten Route beruhen. Wo genau die Produktion der Hartfaserplatten und Spanplatten stattfindet, ist nicht bekannt. Deshalb gilt die Annahme, dass diese in der Nähe des Holzabschlags in Rumänien ist und die Holzwerkstoffe dann von dort direkt nach Kättilstorp gelangen. Auch die Herkunft der weiteren Komponenten ist nicht bekannt, hierfür gelten die in der Datenbankecoinvent durchschnittlich hinterlegten Transportwege. Die Inputs für das Modul A3 stammen aus einer Studie des Thünen-Instituts, welche umfangreiche Ökobilanz-Daten für holzbasierte und industriell gefertigte Möbel generiert hat. Zwar beziehen sich diese Daten auf eine Fertigung in Deutschland, jedoch gilt die Annahme, dass sich diese auf eine Fertigung in Schweden übertragen lassen. Die Angaben in der Studie beziehen sich auf die funktionelle Einheit 1 kg Möbel, was sich auf 33,44 kg Möbel umrechnen lässt. Insgesamt benötigt die Herstellung 21,27 MJ Energie und 2,81 MJ Wärme aus Öl (Wenker & Rüter, 2015, S. 64). Die Transportwege für die Module A4-1 und A4-2 sind mittels des Tools Google Maps rekonstruiert. In Ingolstadt gibt es mehrere Wertstoffhöfe. Für das Basisszenario wurde der Wertstoffhof Süd ausgewählt (Modul C2), mit der Option die Transportstrecke in den weiteren Szenarien zu variieren, falls sich diese als relevant herausstellen sollte.

Tabelle 5: Inputs von Produkt 1 (form.bar)

<b>Input</b>	<b>Funktion</b>	<b>Menge</b>	<b>Quelle</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>A1: „Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)</b>				
Birkenschichtholz (Multiplex) mit Echtholz furnier aus Birke von Koskisen (FSC-zertifiziert)	Einlegeböden (7x)	19,39 kg	form.bar (Mitarbeiter, Webseite)	Verschnitt nicht berücksichtigt
Birkenschichtholz (Multiplex) mit Echtholz furnier aus Birke von Koskisen (FSC-zertifiziert)	Seitenwände (2x)	12,6 kg	form.bar (Mitarbeiter, Webseite)	Verschnitt nicht berücksichtigt
<b>A2: „Transport zum Hersteller“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)</b>				
LKW-Transporte: Järvelä (Finnland) – Naantali (Finnland); Kapellskär Harbor (Schweden) – Rodbyhavn (Dänemark); Puttgarden Fährbahnhof Fehmarn – Stapelfeld (HOFA Holzimport GmbH); Stapelfeld (HOFA Holzimport GmbH) – Neu-Ulm (Carl Götz GmbH); Neu-Ulm (Carl Götz GmbH) – Rain-Staudheim (Schreinerei Maierhofer)	Transport der Multiplex-Platten zur Schreinerei	202 km + 894 km + 133 km + 705 km + 113 km = 2047 km	Koskisen (Mitarbeiter), Schreinerei Maierhofer (Mitarbeiter), Google Maps	
Schiff-Transporte: Naantali (Finnland) – Kapellskär Harbor (Schweden); Rodbyhavn (Dänemark) – Puttgarden Fährbahnhof Fehmarn	Transport der Multiplex-Platten zur Schreinerei	207 km + 21,6 km = 228,6 km	Koskisen, Google Maps	
<b>A3: „Herstellung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)</b>				
Energie	Daten am PC generieren	0,1 kWh	Schreinerei Maierhofer (Mitarbeiter)	Handarbeit (schleifen, putzen)
Energie	Fräsen	6,1 kWh	Schreinerei Maierhofer (Mitarbeiter)	nicht berücksichtigt
<b>A4: Transport des fertigen Produkts (unverpackt) zur Kundschaft</b>				
Auslieferung (Kleintransporter) Rain-Staudheim (Schreinerei Maierhofer) – 85049 Ingolstadt (Kundschaft)	Transport des Produkts zur Kundschaft	35 km	Google Maps	
<b>C2: „Transport zur Abfallbehandlung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6)</b>				
Spermmüllabfuhr 85049 Ingolstadt – Wertstoffhof Süd Ingolstadt	Transport des ausrangierten Produkts zum Wertstoffhof	15,1 km	Google Maps	

Tabelle 6: Inputs von Produkt 2 (Möbelkonzern 2)

Input	Funktion	Menge	Quelle	Bemerkung
A1: „Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)				
Hartfaserplatte	Rückwand (1x)	3,1 kg	Eigene Erhebung	Verschnitt nicht berücksichtigt
-	Klebestreifen, Zusammenhalten der Rückwand (2x)	-	-	Abgeschnitten, Annahme, dass Gewicht < 0,001 Massenprozent
-	Aufkleber, Kommunikation (1x)	-	-	Abgeschnitten, Annahme, dass Gewicht < 0,001 Massenprozent
Spanplatte mit Birkenfurnier	Einlegeböden (7x)	16,256 kg	Eigene Erhebung	Verschnitt nicht berücksichtigt
Spanplatte mit Birkenfurnier	Fußleiste (1x)	0,681 kg	Eigene Erhebung	Verschnitt nicht berücksichtigt
Spanplatte mit Birkenfurnier	Seitenwände (2x)	13,4 kg	Eigene Erhebung	Verschnitt nicht berücksichtigt
PE-LD	Tüte für Zubehör (1x)	0,004 kg	Eigene Erhebung	
PE-LD	Tüte für Nägel	< 0,001 kg	Eigene Erhebung	
Eisen	Nägel (20x)	0,01 kg	Eigene Erhebung, (OBI Magazin, 2021)	
Stahl	Wandbefestigung (2x)	0,016 kg	Eigene Erhebung	<a href="#">Beispielprodukt</a>
Buchenholz	Dübel (17x)	0,02 kg	Eigene Erhebung	<a href="#">Beispielprodukt</a>
PE-HD	Eindrehmuttern (12x)	0,021 kg	Eigene Erhebung	
Aluminiumlegierung	Einschraubdübel (12x)	0,058 kg	Eigene Erhebung	<a href="#">Beispielprodukt</a>
Metall, vernickelt	Bodenträger (16x)	0,026 kg	Eigene Erhebung	<a href="#">Beispielprodukt</a>
-	Schrauben (2x)	0,003 kg	Eigene Erhebung	Abgeschnitten, da Gewicht < 0,001 Massenprozent
Metall	Unterlegscheiben (5x)	0,007 kg	Eigene Erhebung	
Recyclingpapier	Montageanleitung und Pflegehinweis	0,032 kg	Eigene Erhebung	
PAP 20 (Wellpappe)	Polster (Verpackung)	0,382 kg	Eigene Erhebung	
PAP 20 (Wellpappe)	Umverpackung	0,856 kg	Eigene Erhebung	
A2: „Transport zum Hersteller“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)				
LKW-Transporte: Karpsten (Rumnänien) – Swinemünde (Polen); Port Trelleborg (Schweden) – Kättilstorp (Schweden)	Transport der Hartfaserplatte und Spanplatten zur Fertigungsstätte	1572 km + 373 km = 1945 km	(Ulfréd & Kuhn, 2020), (Schmoll, 2018), Google Maps	Annahme: Holz wird in Karpsten gefällt und dann dort direkt zu Hartfaserplatten und Spanplatten verarbeitet

Schiff-Transport: Swinemünde (Polen) – Port Trelleborg (Schweden)	Transport der Hartfaserplatte und Spanplatten zur Fertigungsstätte	184 km	Google Maps	
<b>A3: „Herstellung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.2)</b>				
Energie	Fertigung, Absaugung, Druckluft, Beleuchtung, Sonstiges	21,27 MJ	(Wenker & Rüter, 2015, S. 64)	Hochgerechnet von FE „1 kg Möbel“ auf 33,44 kg Möbel (Gesamtgewicht ohne Verpackung), Daten sind für industrielle Möbelfertigung in Deutschland, aber Annahme, dass diese auf Schweden übertragbar sind
Wärme aus Öl	Fertigung	2,81 MJ	(Wenker & Rüter, 2015, S. 64)	
<b>A4-1: Transport des fertigen Produkts zur Verkaufsstätte</b>				
LKW-Transporte: Kättilstorp (Schweden) - Rodbyhavn (Dänemark); Puttgarden Fährbahnhof Fehmarn – Möbelkonzern 2 Augsburg	Transport des fertigen Produkts inklusive Verpackung zur Verkaufsstätte	1398 km	Google Maps	
Schiff-Transport: Rodbyhavn (Dänemark) - Puttgarden Fährbahnhof Fehmarn	Transport des fertigen Produkts inklusive Verpackung zur Verkaufsstätte	21,6 km	Google Maps	
<b>A4-2: Transport des Produkts zur Kundschaft</b>				
PKW-Transport Möbelkonzern 2 Augsburg – 85049 Ingolstadt	Transport des fertigen Produkts inklusive Verpackung zur Kundschaft	85 km x 2 (Hin- und Rückfahrt)	Google Maps	
<b>C2: „Transport zur Abfallbehandlung“ (DIN EN 15804:2012+A2:2019, Abschnitt 6.2.6)</b>				
(Sperr-)müllabfuhr 85049 Ingolstadt – Wertstoffhof Süd Ingolstadt	Transport des ausrangierten Produkts zum Wertstoffhof	15,1 km	Google Maps	In der Realität entsorgt die Kundschaft den Verpackungsmüll früher als das Regal (und getrennt), dies spielt jedoch für die ökobilanzielle Untersuchung keine Rolle

Für die weiteren Szenarien (Szenario 2 bis Szenario 5) war es nicht notwendig, weitere Daten zu erheben. Diese Szenarien sind jeweils abgewandelte Versionen der Basisszenarien, in welchen teils andere Annahmen getroffen sind. Somit stellen diese Sensitivitätsanalysen<sup>19</sup> dar, eine genaue Beschreibung folgt in Abschnitt 3.3.5.

Verschiedene Szenarien untersuchen die End-of-Life Phase der Regale. Dabei handelt es sich um Verbrennung/thermische Verwertung, Recycling und Weiterverwendung. Für alle drei Szenarien war es notwendig, Vergleichswerte zu ermitteln. Aus der Verbrennung der Regale entsteht Wärme, welche Wärme aus einer anderen Energiequelle ersetzt. In Deutschland ist Erdgas die meistgenutzte Energiequelle für Wärme, weshalb die Produktion von Wärme aus Erdgas als Vergleichswert dient (Breitkopf, 2020c). Für das Recycling dienen jeweils die gleichen Materialien ohne Rezyklatanteil als Vergleichswerte. Daten dazu befinden sich in der Datenbank ecoinvent 3.6. Für die Weiterverwendung gilt der Kauf eines neuen form.bar oder Regals von Möbelkonzern 2 als Vergleichswert (Basisszenarien).

### **3.3.2 Datenberechnung**

Die Datenberechnung, das heißt der Bezug der Daten auf ein Prozessmodul, geschieht automatisch durch das Programm OpenLCA. OpenLCA berechnet aufgrund der ausgewählten Inputs die jeweiligen Outputs und dann deren Auswirkungen auf die Umwelt. Vor der Bilanzierung war es notwendig, gesammelte Daten in die richtige Einheit umzurechnen oder auf die richtige Menge (also in Bezug auf die FE) umzurechnen.

### **3.3.3 Allokation**

Eine Allokation ist dann notwendig, wenn andere Produktsysteme Prozessmodule des untersuchten Produktsystems verwenden. Wo auch immer möglich, ist eine Allokation zu vermeiden, beispielsweise indem man betroffene Prozessmodule in zwei oder mehrere Teilprozesse teilt. Insbesondere in der End-of-Life Phase, bei Prozessen der Energierückgewinnung, der Wiederverwendung und des Recyclings, sind die Allokationsgrundsätze zu beachten (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.3.4.2 & 4.3.4.3). In der vorliegenden Studie vereinfacht die gesonderte Betrachtung dieser Prozesse außerhalb der Systemgrenze die Vorgehensweise und verhindert eine Allokation. Somit ist in der vorliegenden Studie keine Allokation notwendig. Zudem geht die Arbeit davon aus, dass die in der Datenbank ecoinvent 3.6 hinterlegten Prozesse jeweils die Allokationsgrundsätze beachten.

### **3.3.4 Bilanzierung des Basisszenarios in OpenLCA**

In diesem Abschnitt geht es darum, die erhobenen Daten aus Abschnitt 3.3.1 möglichst realitätsnahe in OpenLCA mit Hilfe der ecoinvent Datenbank abzubilden. Die genauen Inputs, also auch die verwendeten Prozesse aus der Datenbank ecoinvent 3.6, sowie die Modellgraphen, sind im Anhang in den Abschnitten 1 und 2 zu finden. Einige allgemeine Vorgehensweisen und Annahmen lassen sich hier festhalten:

---

<sup>19</sup> Sensitivitätsanalyse = „systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse einer Studie“ (DIN, 2018, Abschnitt 3.31).

- Ein LKW der Schadstoffklasse Euro 6 repräsentiert LKW-Transporte in Deutschland und Skandinavien. Im Jahr 2020 machten Euro 6 LKWs auf deutschen mautpflichtigen Straßen 82,5 % der Fahrleistungen aus (Bundesamt für Güterverkehr, 2021, S. 16). Es ist anzunehmen, dass die Situation in Skandinavien ähnlich ist.
- Ein unspezifischer LKW (Durchschnittswert verschiedener Schadstoffklassen und Größen) repräsentiert LKW-Transporte in Rumänien, Polen, Russland und der Slowakei, da hier keine genaueren Angaben vorliegen.
- Bei Transporten mit dem LKW oder Schiff sind Rückfahrten nicht mit bilanziert, da davon auszugehen ist, dass es keine Leerfahrten gibt.
- Bei Transporten mit dem Kleintransporter ist die Rückfahrt ebenfalls nicht mit bilanziert, da die Auslieferung dann normalerweise anhand einer bestimmten Route erfolgt, und somit quasi „auf dem Weg“.
- Transportstrecken sind jeweils als Parameter bilanziert, damit diese leicht veränderbar sind.

Alle weiteren Annahmen oder Besonderheiten sind im Folgenden für die einzelnen Szenarien gesondert beschrieben.

### Szenario 1: Basisszenario

Szenario 1 bildet ein Basisszenario, welches als Status Quo und als das wahrscheinlichste Szenario anzusehen ist. Der angenommene und bilanzierte Lebensweg des Regals ist vereinfacht in Tabelle 7 dargestellt. Als Input für die Multiplexplatten dient die Produktion von Furniersperrholz in Europa, welches diesem sehr nahekommt. In der Datenbank ist in diesem Prozess standardmäßig Harnstoffharz hinterlegt, welches, angepasst an form.bar (form.bar, o. J. a), durch Melaminharz ersetzt ist.

Tabelle 7: Szenario 1: Basisszenario

<b>Modul</b>	<b>form.bar</b>	<b>Möbelkonzern 2</b>
A1	Produktion der Multiplexplatten	Produktion der Hartfaserplatte, Spanplatten sowie weiterer Komponenten und Verpackung
A2	Transport (LKW und Schiff) der Multiplexplatten aus Finnland zum Zwischenhändler in Neu-Ulm und von dort zur Schreinerei	Transport (LKW und Schiff) der Hartfaserplatte und Spanplatten aus Rumänien zum Hersteller in Schweden
A3	Strom für Herstellung des Regals (Mix für Deutschland)	Strom und Wärme für Herstellung des Regals (Mix für Schweden)
A4-1	-	Transport (LKW und Schiff) des fertigen verpackten Regals zur Verkaufsstätte (Möbelkonzern 2 bei Ingolstadt)
A4-2	Transport (Kleintransporter, Auslieferung, anteilig) des Regals von der Schreinerei zur Kundschaft	Transport (PKW, unspezifisch) von Verkaufsstätte zur Kundschaft (Hin- und Rückfahrt)
C2	Transport (Sperrmüllabfuhr) zum Wertstoffhof	Transport ((Sperr-)Müllabfuhr) zum Wertstoffhof

Die Erkenntnisse aus Szenario 1 bilden die Grundlage für die Sensitivitätsanalysen.

### **3.3.5 Sensitivitätsanalysen**

Neben dem Basisszenario beschreibt dieser Abschnitt weitere Szenarien, welche als Sensitivitätsanalysen dienen. Diese sind im Folgenden jeweils vereinfacht beschrieben. Die

genauen Inputs, also auch die verwendeten Prozesse aus der Datenbank ecoinvent 3.6, sowie die Modellgraphen, sind im Anhang in den Abschnitten 1 und 2 zu finden.

#### Szenario 2: Alternativer Transport zur Kundschaft

Die Auswertung von Szenario 1 hat gezeigt, dass das Modul A4-2 bei Produkt 2 den größten Beitrag zur Erderwärmung hat (siehe Abschnitt 3.5.3), weshalb dieses Modul in Szenario 2 verändert ist. Für das form.bar Regal ist hier die Annahme, dass die Kundschaft es mit einem mittelgroßen PKW, Benziner der Schadstoffklasse 5, abholt. Für das Regal von Möbelkonzern 2 ist hier die Annahme, dass die Kundschaft das Regal nicht selbst abholt, sondern eine Spedition es in einem Kleintransporter ausliefert, welcher auch noch weitere Kundschaft anfährt, weshalb die Bilanzierung einer „leeren“ Rückfahrt wegfällt. Tabelle 8 fasst die Änderungen in Szenario 2 gegenüber dem Basisszenario zusammen.

Tabelle 8: Szenario 2: Alternativer Transport zur Kundschaft (Änderungen gegenüber Szenario 1)

<b>Verändertes Modul</b>	<b>form.bar</b>	<b>Möbelkonzern 2</b>
A4-2	Transport (PKW, mittelgroß, Benzin, Euro 5) des Regals von der Schreinerei zur Kundschaft (Hin- und Rückfahrt)	Transport (Spedition, Kleintransporter, anteilig) von Verkaufsstätte zur Kundschaft

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist in Abschnitt 3.5.1 beschrieben.

#### Szenario 3: Koskisen vs. Europlac

Szenario 3 soll die Multiplex-Platte von Koskisen (bereits beschrieben in Abschnitt 3.3.1) mit der Multiplex-Platte vom Hersteller Europlac vergleichen. Laut Angaben vom Hersteller Europlac kommt das Holz aus Russland. Da der Hersteller keine genaueren Angaben machen konnte, wurde das Gebiet Mumansk als Herkunft angenommen (Greenpeace, 2001). Die Produktion des Herstellers befindet sich in der Slowakei. Von dort aus kommt die Multiplex-Platte dann zum Zwischenhändler in Neu-Ulm und von dort zur Schreinerei. Tabelle 9 fasst die Änderungen in Szenario 3 gegenüber dem Basisszenario zusammen.

Tabelle 9: Szenario 3: Koskisen vs. Europlac (Änderungen gegenüber Szenario 1)

<b>Verändertes Modul</b>	<b>Koskisen</b>	<b>Europlac</b>
A1	Holz aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft in Schweden + Transport (LKW) des Holzes zum Sägewerk	Holz aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft (wie im Basisszenario) + Transport (LKW) des Holzes aus Russland in die Slowakei
A2	-	Transport (LKW) der Multiplex-Platte aus der Slowakei nach Neu-Ulm und von dort zur Schreinerei

Das Ergebnis des Vergleichs der beiden Hersteller ist in Abschnitt 3.5.1 dargestellt.

#### Szenario 4: Materialien aus recyceltem Holz

Szenario 4 soll darstellen, wie sich die Umweltauswirkungen verändern, wenn das Regal aus Materialien aus recyceltem Holz besteht. Dazu wurden die entsprechenden Produktflüsse aus der Datenbank ecoinvent 3.6 verwendet. Für die Spanplatte für das Regal von Möbelkonzern 2 musste eine unbeschichtete Spanplatte verwendet werden, da es nur diese aus Altholz in der Datenbank gab. Dies sollte die Ergebnisse leicht, aber nicht unverhältnismäßig, verfälschen. Tabelle 10 fasst die Änderungen in Szenario 4 gegenüber dem Basisszenario zusammen.

Tabelle 10: Szenario 4: Materialien aus recyceltem Holz (Änderungen gegenüber Szenario 1)

Verändertes Modul	form.bar	Möbelkonzern 2
A1	Multiplexplatte aus Altholz	Hartfaserplatte aus Altholz, unbeschichtete Spanplatte aus Altholz

Szenario 4 zeigte deutlich weniger Umweltauswirkungen als das Basisszenario (Abschnitt 3.5.1) und bietet somit Input für die Gestaltungsoptionen in Kapitel 6.

Szenario 5: kürzere Lebensdauer des Regals von Möbelkonzern 2

Es ist davon auszugehen, dass das Produkt 1 (form.bar) länger hält, als Produkt 2 (Möbelkonzern 2) und somit über einen Zeitraum von 20 Jahren nur ein form.bar Regal aber zwei Regale von Möbelkonzern 2 nötig sind. Gründe dafür sind die bessere Qualität der Materialien von form.bar sowie eine stärkere emotionale Bindung zu personalisierten Produkten. So konnte eine Studie zum Thema personalisierte Möbel zeigen, dass die Mehrheit der Befragten ein selbst zusammengestelltes Möbelstück länger behalten würde als ein herkömmliches (85 %, n = 97) (Juraske, 2016, S. 66). Zudem ist das Regal von Möbelkonzern 2 sehr günstig und Nutzende neigen dazu, mehr Möbel zu kaufen und diese kürzer zu nutzen (Phänomen „Fast Furniture“, siehe Abschnitt 1.1). Tabelle 11 fasst die Änderungen in Szenario 5 gegenüber dem Basisszenario zusammen.

Tabelle 11: Szenario 5: kürzere Lebensdauer des Regals von Möbelkonzern 2 (Änderungen gegenüber Szenario 1)

Verändertes Modul	form.bar	Möbelkonzern 2
A1	-	Produktion der Hartfaserplatte, Spanplatten sowie weitere Komponenten und Verpackung x 2
A2	-	Transport (LKW und Schiff) der Hartfaserplatte und Spanplatten aus Rumänien zum Hersteller in Schweden x 2
A4-1	-	Transport (LKW und Schiff) des fertigen verpackten Regals zur Verkaufsstätte (Möbelkonzern 2 bei Ingolstadt) x 2
A4-2	-	Transport (Spedition, Kleintransporter) von Verkaufsstätte zur Kundschaft x 2
C2	-	Transport ((Sperr-)Müllabfuhr) zum Wertstoffhof x 2

Wie zu erwarten, bedeutet eine halbierte Lebensdauer die doppelte Menge an Umweltauswirkungen (Abschnitt 3.5.1). Da die Lebensdauer je nach Nutzungsverhalten der Kundschaft jedoch sehr individuell ist, ist diese Annahme nicht Teil des Basisszenarios.

**3.3.6 End-of-Life Szenarien**

Für die End-of-Life Modellierung kommt für die Verbrennungsszenarien der „Opposite Direction Approach“ zum Einsatz. Dabei ist ein Prozess der Müll „produziert“ als negativer Input dargestellt (ask.openLCA, 2019). Im Verbrennungsszenario erfolgt im Modul C3 die Vorbehandlung des Altholzes und beim Regal von Möbelkonzern 2 auch der restlichen Materialien. Das Modul D stellt die Verbrennung, Gewinnung der Wärme und Bereitstellung

dieser am Markt dar. Die Menge an Wärme, die aus der Verbrennung entsteht, ist aus der Datenbank ecoinvent 3.6 ermittelt. Als Vergleichswert dient hier die Produktion der gleichen Menge an Wärme aus Erdgas. Für das Recyclingszenario ist die Annahme, dass aus dem Altholz Holzspäne entsteht. Für das Produktsystem 2 sind für die restlichen Inputs aus dem Modul A1 auch jeweils passende Rezyklate aus der Datenbank ecoinvent 3.6 dargestellt. Da es sich um eine Datenbank handelt, die den attributional Ansatz verwendet, lassen sich im Recyclingszenario die Prozesse für die Produktion der Rezyklate verwenden. Denn für diese sind nur die Auswirkungen aus dem Recyclingprozess angerechnet und nicht die Auswirkungen aus der Erstproduktion (ecoinvent, 2021). Als Vergleichswert dienen dafür jeweils die gleichen Materialien, aber nicht aus Rezyklat, sondern aus „Virgin Material“ (außer für das Papier für Bedienungsanleitung und Pflegehinweis, hier gab es kein Äquivalent). Eine dritte Möglichkeit besteht darin, dass das Regal ein zweites bzw. verlängertes Leben erhält. Hier unterscheidet die Arbeit in Weiterverwendung und Wiederverwendung. Weiterverwendung bedeutet, dass das Regal die gleiche Funktion behält und den Nutzer wechselt (Secondhand). Wiederverwendung bedeutet, dass einzelne Elemente des Regals in ggf. veränderter Form einer anderen Funktion dienen. Letzteres ist nicht Teil der ökobilanziellen Betrachtung, da es zu viel Raum für Annahmen und unterschiedliche Szenarien bietet, was den Umfang der Arbeit übersteigt. Abschnitt 4.7.1 greift die Wiederverwendung jedoch auf. Die Weiterverwendung ist Teil der ökobilanziellen Untersuchung. Hier ist die Annahme, dass diese an sich keine Auswirkungen auf die Umwelt hat, sie aber zunächst einen Transport des Regals zu einem neuen Besitzer erfordert. Deshalb ist dafür ein Transport mit dem PKW über 20 km (Annahme) bilanziert. Die Transportstrecke ist später variiert und ein Break-Even-Point ermittelt (siehe Abschnitt 3.5.4). Nach der verlängerten Nutzungsphase lässt sich das Regal dann außerdem noch recyceln und/oder thermisch verwerten. Diese Aspekte finden ebenfalls Beachtung. Tabelle 12 fasst alle End-of-Life Szenarien und ihre Vergleichswerte auf einen Blick zusammen.

Tabelle 12: End-of-Life Szenarien inklusive Vergleichswerte

<b>Nummer</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Bilanzierung</b>	<b>Vergleichswert</b>
1	Verbrennung	Vorbehandlung, Verbrennung, Gewinnung Wärme und Bereitstellung am Markt	Gleiche Menge an Wärme aus Erdgas
2	Recycling	Holzspäne aus Altholz und beim Regal von Möbelkonzern 2 weitere Rezyklate aus den verschiedenen Komponenten	Vergleichbare Materialien aus „Virgin Material“
3	Weiterverwendung	Transport mit dem PKW über 20 km (zum Zweitnutzer)	Kauf eines neuen Regals (Basisszenarien für Produkt 1 und Produkt 2)
4	Weiterverwendung + Verbrennung	Zeile 1 + 3	Zeile 1 + 3
5	Weiterverwendung + Recycling + Verbrennung	Zeile 1 + 2 + 3	Zeile 1 + 2 + 3

Um die gesamte „Cradle-to-cradle“-Bilanz zu untersuchen, gibt es ein weiteres End-of-Life Szenario, welches die FE um weitere 20 Jahre verlängert (Modellgraphen und Input-Tabellen

im Anhang). Hier ist die Annahme, dass das form.bar Regal nach 20 Jahren den Besitzer wechselt und mit dem PKW zum zweiten Nutzer gelangt. Dieser nutzt es weitere 10 Jahre, bevor es zum Sperrmüll kommt. Der kommunale Entsorger sammelt es dann ein, bringt es zum Wertstoffhof und entscheidet sich für ein stoffliches Recycling. Aus dem form.bar Regal entsteht somit recycelte Holzspäne. Diese hat eine weitere Nutzungsphase von 10 Jahren, bspw. in einer Spanplatte, bevor das Material endgültig in die thermische Verwertung gelangt. Das Regal von Möbelkonzern 2 hingegen gelangt nach den ersten 20 Jahren direkt auf den Sperrmüll. Der kommunale Entsorger sammelt es ein, fährt es zum Wertstoffhof, wo es dann in die thermische Verwertung gelangt (wahrscheinlichste Option, siehe Abschnitt 4.1). Für die nächsten 20 Jahre muss also ein neues Regal vom Möbelkonzern 2 zum Einsatz kommen, welches nach diesen 20 Jahren ebenfalls wieder direkt in die thermische Verwertung gelangt. Die Ergebnisse dieses Szenarios finden sich in Abschnitt 3.5.2.

### 3.3.7 Bewertung der Datenqualität

Informationen zur Datenqualität lassen sich von OpenLCA ausgeben. OpenLCA berechnet dabei für jeden Fluss und jede Wirkungskategorie durch Aggregation der Informationen die Datenqualität. Allerdings bewertet OpenLCA die Qualität der in ecoinvent hinterlegten Daten. Für die vorliegende Studie ergibt es mehr Sinn, zu bewerten, inwiefern die aus ecoinvent verwendeten Prozesse mit den tatsächlichen, in der Realität stattfindenden, Prozessen übereinstimmen. Deshalb empfiehlt sich eine eigene Bewertung der Datenqualität. Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen die Beurteilung der Datenqualität der beiden Basisszenarien für Produkt 1 und 2. Was die einzelnen Buchstaben und Zahlen bedeuten, ist der Legende zu entnehmen. Auffällig ist, dass beide Produktsysteme recht ähnlich abschneiden. Nicht so gut schneidet die zeitliche Korrelation ab. Das bedeutet, dass die verwendeten Daten meist vor relativ langer Zeit erhoben sind (vor 10 oder mehr Jahren). Da es jedoch immer um einen Vergleich der beiden Produktsysteme geht, und die Datenqualität für beide Produktsysteme ähnlich ist, ist sie akzeptabel.

Tabelle 13: Datenqualität des form.bar Basisszenarios

form.bar Basisszenario	R	C	T	G	F
<b>A1</b>					
Multiplexplatten	2	2	5	3	2
<b>A2</b>					
LKW-Transporte (Euro 6)	2	2	4	2	2
Schiff-Transporte	2	3	4	2	2
<b>A3</b>					
Strom	2	1	3	1	1
<b>A4</b>					
Kleintransporter	2	3	4	2	2
<b>C2</b>					
Sperrmüllabfuhr	2	3	5	2	2

Legende:

R = Reliabilität<sup>20</sup>

<sup>20</sup> „Die Reliabilität einer Messmethode gibt an, inwieweit Messergebnisse, die unter gleichen Bedingungen mit identischen Messverfahren erzielt werden (z.B. bei Wiederholungsmessungen), übereinstimmen. Sie wird häufig als Korrelation zwischen zwei Messreihen berechnet“ (Maier, o. J.).

- 1 = Geprüfte Daten auf Basis von Messungen
- 2 = Geprüfte Daten, die teilweise auf Annahmen basieren, oder nicht geprüften Daten, die auf Messungen basieren
- 3 = Nicht verifizierte Daten, die teilweise auf qualifizierten Schätzungen beruhen
- 4 = Qualifizierte Schätzung (z. B. durch Industrieexperten)
- 5 = Nicht qualifizierte Schätzungen

C = Vollständigkeit (englisch: Completeness)

- 1 = Repräsentative Daten von allen für den betrachteten Markt relevanten Standorten, über einen ausreichenden Zeitraum, um normale Schwankungen auszugleichen
- 2 = Repräsentative Daten von > 50 % der für den betrachteten Markt relevanten Standorte, über einen ausreichenden Zeitraum, um normale Schwankungen auszugleichen
- 3 = Repräsentative Daten von nur einigen für den betrachteten Markt relevanten Standorten (<50%) oder > 50% der Standorte, aber aus kürzeren Zeiträumen
- 4 = Repräsentative Daten von nur einem für den betrachteten Markt relevanten Standort oder von einigen Standorten, aber aus kürzeren Zeiträumen
- 5 = Repräsentativität unbekannt oder Daten von einer kleinen Anzahl von Standorten und aus kürzeren Zeiträumen

T = Zeitliche Korrelation (englisch: Temporal Correlation)

- 1 = 3 Jahre oder weniger Unterschied zum Zeitraum des Datensatzes
- 2 = 6 Jahre oder weniger Unterschied zum Zeitraum des Datensatzes
- 3 = 10 Jahre oder weniger Unterschied zum Zeitraum des Datensatzes
- 4 = 15 Jahre oder weniger Differenz zum Zeitraum des Datensatzes
- 5 = Alter der Daten unbekannt oder mehr als 15 Jahre Differenz zum Zeitraum des Datensatzes

G = Geografische Korrelation (englisch: Geographical Correlation)

- 1 = Daten aus dem untersuchten Gebiet
- 2 = Durchschnittsdaten aus einem größeren Gebiet, in dem das untersuchte Gebiet enthalten ist
- 3 = Daten aus Gebiet mit ähnlichen Produktionsbedingungen
- 4 = Daten aus einem Gebiet mit leicht ähnlichen Produktionsbedingungen
- 5 = Daten aus unbekanntem oder deutlich anderem Gebiet (Nordamerika statt Naher Osten, OECD-Europa statt Russland)

F = Weitere technologische Zusammenhänge (englisch: Further Technological Correlation)

- 1 = Daten von untersuchten Unternehmen, Prozessen und Materialien
- 2 = Daten von untersuchten Prozessen und Materialien (d. h. identische Technologie), aber von verschiedenen Unternehmen
- 3 = Daten von untersuchten Prozessen und Materialien, aber von unterschiedlicher Technologie
- 4 = Daten zu verwandten Prozessen oder Materialien
- 5 = Daten zu verwandten Prozessen im Labormaßstab oder aus einer anderen Technologie

Tabelle 14: Datenqualität des Basisszenarios von Möbelkonzern 2

<b>Basisszenario Möbelkonzern 2</b>	<b>R</b>	<b>C</b>	<b>T</b>	<b>G</b>	<b>F</b>
<b>A1</b>					
Aluminiumlegierung	?	?	3	?	4
Wellpappe	2	2	3	?	2
Hartfaserplatte	2	2	3	2	2
Recyclingpapier	2	2	4	?	2
Eisen-Nickel-Chrom-Legierung	2	2	5	?	4
Spanplatte	2	4	5	4	2
PE-HD	2	1	3	?	4
PE-LD	2	1	3	?	4
Zellstoffholz	2	3	4	?	4
Stahl	2	2	5	?	4
<b>A2</b>					
LKW-Transporte (Euro 6)	2	2	4	2	2
LKW-Transporte (unspezifisch)	2	2	3	2	3

Schiff-Transporte	2	3	4	2	2
A3					
Strom	2	1	3	1	1
Wärme aus Öl	2	4	5	2	2
A4-1					
LKW-Transporte (Euro 6)	2	2	4	2	2
Schiff-Transporte	2	3	4	2	2
A4-2					
PKW-Transport	2	2	3	2	3
C2					
Sperrmüllabfuhr	2	3	5	2	2

Legende: siehe Tabelle 13

Für das Basisszenario von Möbelkonzern 2 war es teilweise nicht möglich, Aussagen zur geografischen Korrelation zu treffen, da unbekannt ist, woher die einzelnen Komponenten für das Regal in der Realität kommen.

### 3.4 Wirkungsabschätzung

Wie bereits in Abschnitt 3.2.2 erwähnt, ist die Methode für die Wirkungsabschätzung Recipe 2016 Midpoint (H). Diese umfasst 18 verschiedene Wirkungskategorien, eine davon ist jedoch nicht der Teil der Auswertung, da sie keinem der in Abschnitt 2.4 definierten Kriterien zuordbar ist. Dabei handelt es sich um die Wirkungskategorie ionisierende Strahlung. Tabelle 15 zeigt die Wirkungskategorien und erklärt ihre Einheiten. Weitere Informationen zu ReCipe 2016, wie etwa die genauen Berechnungsmethoden, finden sich auf der Webseite des Umweltministeriums der Niederlande<sup>21</sup>. Welche Kriterien die Wirkungskategorien jeweils abdecken, ist Tabelle 2 in Abschnitt 2.4 zu entnehmen. „Äquivalente“ bedeutet immer, dass verschiedene Emissionen einer Kategorie zur besseren Vergleichbarkeit und zur Vereinfachung in eine Einheit umgerechnet sind. Die Wirkungskategorie Erderwärmung steht aufgrund der Kernfrage bei der Auswertung besonders im Fokus.

Tabelle 15: Erklärung der Wirkungskategorien und ihre Einheiten

Wirkungskategorie	Erklärung (Huijbregts, et al., 2017)	Einheit
Feinstaubbildung	Aufnahme von PM2,5 durch die menschliche Bevölkerung, Änderung der Umgebungskonzentration von PM2,5 durch Vorläufersubstanzen (NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ) oder durch primäres PM2,5 (Van Zelm et al, 2016; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 140)	kg PM2,5 äq.: „Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer“ (Äquivalente) (Umweltbundesamt, 2021a)
Verknappung fossiler Ressourcen	Verhältnis zwischen dem höheren Heizwert einer fossilen Ressource und dem Energiegehalt von Rohöl (Jungbluth & Frischknecht, 2010; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 142)	kg Öl äq.: Erdöl (Äquivalente)
Süßwasser Ökotoxizität	Verbleib und Auswirkungen chemischer Emissionen, unter anderem Verwendung der USEtox-Datenbank (Rosenbaum et al., 2008; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017,	kg 1,4-DCB: 1,4-Dichlorbenzol, sehr giftig für Wasserorganismen (mit

<sup>21</sup> <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads> (19.08.2021).

	S. 142), Änderung von Spezies aufgrund einer Änderung der Umweltkonzentration einer Chemikalie (Huijbregts, et al., 2017, S. 142)	langfristiger Wirkung) (ECHA, o. J.)
Süßwasser Eutrophierung	Verbleib von Phosphor, globale Verbleib-Faktoren für Phosphoremissionen in Süßwasser (Helmes et al, 2012; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 142), 10 % des Phosphors in landwirtschaftlich genutzten Böden gelangt in Oberflächengewässer (Bouwman et al., 2009; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 142)	kg P äq.: Phosphor, Eutrophierung = Nährstoffe reichern sich in ursprünglich nährstoffarmen Gewässern an und entziehen anderen Pflanzenarten, Kleinlebewesen und Tieren die Lebensgrundlage (Äquivalente) (Umweltbundesamt, 2021b)
Erderwärmung	Das globale Erwärmungspotenzial (GWP) quantifiziert die integrierte Infrarot-Strahlungserhöhung eines Treibhausgases, ausgedrückt in CO <sub>2</sub> äq. (IPCC, 2013 & Joos et al., 2013; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 140)	kg CO <sub>2</sub> äq.: Steht für Emissionen aller Treibhausgase, welche man zur besseren Vergleichbarkeit entsprechend ihres Erwärmungspotenzials in CO <sub>2</sub> -Äquivalente umrechnet (Umweltbundesamt, o. J. b)
Karzinogene Toxizität beim Menschen	Änderung der lebenslangen Krankheitsinzidenz aufgrund einer Änderung der Aufnahme einer chemischen Substanz (Huijbregts, et al., 2017, S. 142)	kg 1,4-DCB: 1,4-Dichlorbenzol, steht im Verdacht, Krebs zu verursachen (ECHA, o. J.)
Nicht karzinogene Toxizität beim Menschen	Siehe Wirkungskategorie karzinogene Toxizität beim Menschen	kg 1,4-DCB: 1,4-Dichlorbenzol, verursacht schwere Augenreizungen (ECHA, o. J.)
Landnutzung	Relativer Artenverlust durch eine bestimmte Landnutzungsart, nach Landumwandlung sind durchschnittliche Erholungszeiten von Curran et al. (2014; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 142) angenommen	m <sup>2</sup> a crop äq.: Quadratmeter pro Jahrespflanzen (Äquivalente)
Marine Ökotoxizität	Siehe Wirkungskategorie Süßwasser Ökotoxizität	Siehe Wirkungskategorie Süßwasser Ökotoxizität
Marine Eutrophierung	Siehe Wirkungskategorie Süßwasser Eutrophierung	kg N äq.: Stickstoff, Eutrophierung = Nährstoffe reichern sich in ursprünglich nährstoffarmen Gewässern an und entziehen anderen Pflanzenarten, Kleinlebewesen und Tieren die Lebensgrundlage (Äquivalente) (Umweltbundesamt, 2021b)
Verknappung mineralischer Ressourcen	„Die primäre Extraktion einer mineralischen Ressource führt zu einer Gesamtabnahme des Erzgehalts, d.h. der Konzentration dieser Ressource in den Erzen weltweit. Dies führt zu einer Erhöhung der benötigten Menge an Erz pro kg mineralischer Ressource“ (ins Deutsche übersetzt, Huijbregts, et al., 2017, S. 142)	kg Cu äq.: Kupfer (Äquivalente)

Ozonbildung (menschliche Gesundheit)	Aufnahme von Ozon durch die menschliche Bevölkerung, Änderung der Umgebungskonzentration von Ozon durch Vorläufersubstanzen (NO <sub>x</sub> oder flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) (Van Zelm et al., 2016; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 141)	kg NO <sub>x</sub> äq.: Stickstoffoxide (Äquivalente), Vorläuferstoffe zur Bildung von bodennahem Ozon (Umweltbundesamt, o. J. c)
Ozonbildung (terrestrische Ökosysteme)	„Bezieht sich auf die Summe der Unterschiede zwischen der stündlichen mittleren Ozonkonzentration und 40 ppb während der Tageslichtstunden über die relevante Wachstumsperiode in ppm x h“ (ins Deutsche übersetzt, van Zelm et al., 2016; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 141)	kg NO <sub>x</sub> äq.: Stickstoffoxide (Äquivalente), Vorläuferstoffe zur Bildung von bodennahem Ozon (Umweltbundesamt, o. J. c)
Stratosphärischer Ozonabbau	Bezieht sich auf eine zeitintegrierte Abnahme der stratosphärischen Ozonkonzentration über einen unendlichen Zeithorizont (WMO, 2011; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 140)	CFC11 äq.: Trichlorfluormethan (Äquivalente)
Terrestrische Versauerung	Verbleib eines Schadstoffes in der Atmosphäre und im Boden (Roy et al., 2014; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 141f.), Änderung der Säuredeposition durch Änderung der Luftemissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> und SO <sub>2</sub> ), welche wiederum eine Änderung des Säuregehalts im Boden verursacht (Roy et al., 2012; zitiert nach Huijbregts, et al., 2017, S. 141f.)	kg SO <sub>2</sub> äq.: Schwefeldioxid (Äquivalente)
Terrestrische Ökotoxizität	Siehe Wirkungskategorie Süßwasser Ökotoxizität	Siehe Wirkungskategorie Süßwasser Ökotoxizität
Wasserverbrauch	-	m <sup>3</sup> : Kubikmeter

Die „Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungskategorien (Klassifizierung)“ (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.4.2.1) sowie die „Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (Charakterisierung)“ (DIN ISO 14044:2006, Abschnitt 4.4.2.1) erfolgen durch das Programm OpenLCA.

### 3.5 Auswertung

Dieser Abschnitt wertet die ökobilanziellen Untersuchungen aus und beschränkt sich darauf, die Ergebnisse vorzustellen. Eine Diskussion der Ergebnisse folgt in Abschnitt 3.6. Abschnitt 3.5.1 stellt zunächst die Ergebnisse des Basisszenarios und der Sensitivitätsanalysen für alle Wirkungskategorien dar. Abschnitt 3.5.2 betrachtet die sich ergebenden Potenziale in der End-of-Life Phase und Abschnitt 3.5.3 identifiziert Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung. Abschnitt 3.5.4 zeigt Break-Even-Points in der Wirkungskategorie Erderwärmung.

### 3.5.1 Basisszenario und Sensitivitätsanalysen

Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen alle Szenarien für beide Produktsysteme über alle Wirkungskategorien hinweg im Vergleich. Die Farbskala rot bis orange zeigt die Ergebnisse für Produkt 2 (Möbelkonzern 2) und die Farbskala blau bis grau die Ergebnisse für Produkt 1 (form.bar). Es handelt sich dabei um eine relative Darstellung, das Basisszenario von Produkt 2 ist in jeder Wirkungskategorie auf 100 % gesetzt, da es als Vergleichsszenario dient. Die anderen Szenarien sind jeweils im Vergleich dazu dargestellt. Die absoluten Ergebnisse für jede einzelne Wirkungskategorie befinden sich im Anhang in Abschnitt 4.

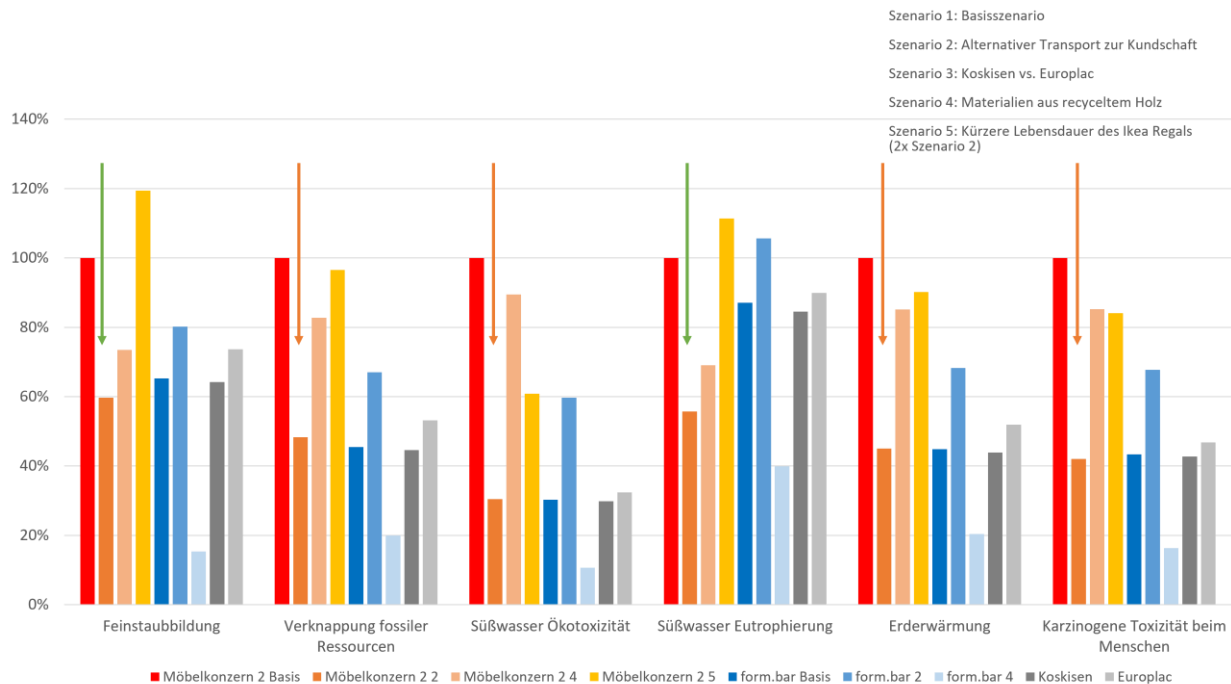


Abbildung 7: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 1 Bildquelle: eigene Darstellung

Abbildung 7 zeigt, dass das form.bar Regal in den Wirkungskategorien Feinstaubbildung, Verknappung fossiler Ressourcen, Süßwasser Ökotoxizität, Erderwärmung und karzinogene Toxizität beim Menschen allgemein besser abschneidet als das Regal von Möbelkonzern 2. Eine Ausnahme bildet das Szenario 2, in welchem es genau andersherum ist. Ein jeweils direkter Vergleich innerhalb der Szenarien zeigt Folgendes:

- Das Basisszenario vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie besser ab als das Basisszenario vom Regal von Möbelkonzern 2.
- Szenario 2 vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als Szenario 2 vom Regal von Möbelkonzern 2.
- Der Vergleich zwischen den beiden Lieferanten Koskisen und Europlac (Szenario 3) zeigt, dass Koskisen in jeder Wirkungskategorie etwas besser abschneidet.
- Szenario 4 vom Regal von Möbelkonzern 2 schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als Szenario 4 vom form.bar Regal. Zudem ist Szenario 4 vom form.bar Regal in jeder Wirkungskategorie das deutliche Gewinnerszenario.
- Szenario 5 vom Regal von Möbelkonzern 2 schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als jedes der Szenarien vom form.bar Regal.

Die Pfeile sollen einen Vergleich zwischen Szenario 2 vom Regal von Möbelkonzern 2, das bedeutet eine Auslieferung per Spedition, mit dem Basisszenario vom form.bar Regal (das bedeutet ebenfalls Auslieferung per Spedition) erleichtern. Ein grüner Pfeil bedeutet, dass das Szenario 2 von Möbelkonzern 2, Auslieferung per Spedition, in dieser Wirkungskategorie besser abschneidet als das form.bar Basisszenario. Dies ist in fünf von 17 Wirkungskategorien der Fall (Feinstaubbildung, Süßwasser Eutrophierung, nicht karzinogene Toxizität beim Menschen, Marine Eutrophierung und stratosphärischer Ozonabbau, siehe auch Abbildung 8 und Abbildung 9. Ein orangener Pfeil bedeutet, dass das Szenario 2 von Möbelkonzern 2, Auslieferung per Spedition, ungefähr gleich abschneidet wie das form.bar Basisszenario. Dies ist ebenfalls in fünf von 17 Wirkungskategorien der Fall (Verknappung fossiler Ressourcen, Süßwasser Ökotoxizität, Erderwärmung, karzinogene Toxizität beim Menschen und Marine Ökotoxizität, (siehe auch siehe auch Abbildung 8 und Abbildung 9). Somit bleiben sieben von 17 Wirkungskategorien, in denen das form.bar Basisszenario besser abschneidet als das Szenario 2 vom Regal von Möbelkonzern 2 (Landnutzung, Verknappung mineralischer Ressourcen, Ozonbildung (menschliche Gesundheit und terrestrische Ökosysteme), terrestrische Versauerung, terrestrische Ökotoxizität und Wasserverbrauch).

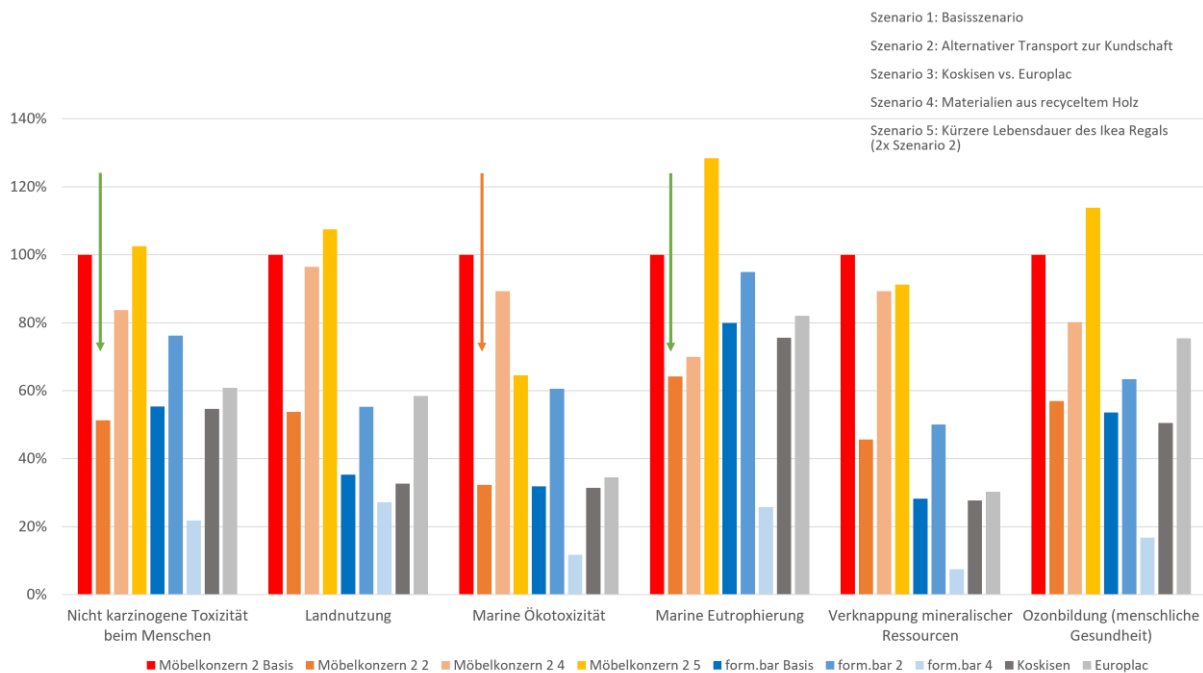


Abbildung 8: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 2

Bildquelle: eigene Darstellung

Abbildung 8 zeigt, dass das form.bar Regal in den Wirkungskategorien nicht karzinogene Toxizität beim Menschen, Landnutzung, Marine Ökotoxizität, Marine Eutrophierung, Verknappung mineralischer Ressourcen und Ozonbildung (menschliche Gesundheit) allgemein besser abschneidet als das Regal von Möbelkonzern 2. Ein jeweils direkter Vergleich innerhalb der Szenarien zeigt Folgendes:

- Das Basisszenario vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie besser ab als das Basisszenario vom Regal von Möbelkonzern 2.
- Szenario 2 vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als Szenario 2 vom Regal von Möbelkonzern 2.

- Der Vergleich zwischen den beiden Lieferanten Koskisen und Europlac (Szenario 3) zeigt, dass Koskisen in jeder Wirkungskategorie etwas besser abschneidet.
- Szenario 4 vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie besser ab als Szenario 4 vom Regal von Möbelkonzern 2. Zudem ist Szenario 4 vom form.bar Regal in jeder Wirkungskategorie das deutliche Gewinnerszenario.
- Szenario 5 vom Regal von Möbelkonzern 2 schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als jedes der Szenarien vom form.bar Regal.

Die Bedeutung der Pfeile ist bereits im Text über Abbildung 8 erklärt.

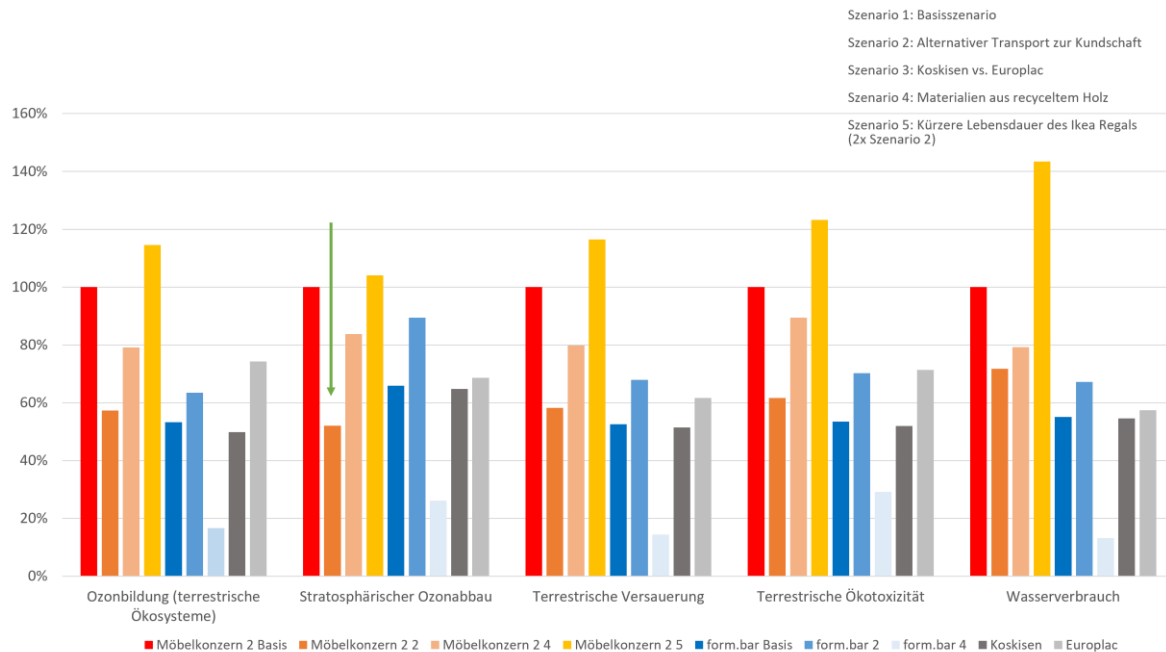


Abbildung 9: Ergebnisse aller Szenarien im Vergleich – Teil 3

Bildquelle: eigene Darstellung

Abbildung 9 zeigt, dass das form.bar Regal in den Wirkungskategorien Ozonbildung (terrestrische Ökosysteme), stratosphärischer Ozonabbau, terrestrische Versauerung, terrestrische Ökotoxizität und Wasserverbrauch allgemein besser abschneidet als das Regal von Möbelkonzern 2. Ein jeweils direkter Vergleich innerhalb der Szenarien zeigt Folgendes:

- Das Basisszenario vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie besser ab als das Basisszenario vom Regal von Möbelkonzern 2.
- Szenario 2 vom form.bar Regal schneidet in fast jeder Wirkungskategorie schlechter ab als Szenario 2 vom Regal von Möbelkonzern 2, außer in der Wirkungskategorie Wasserverbrauch, wo das form.bar Regal besser abschneidet.
- Der Vergleich zwischen den beiden Lieferanten Koskisen und Europlac (Szenario 3) zeigt, dass Koskisen in jeder Wirkungskategorie etwas besser abschneidet.
- Szenario 4 vom form.bar Regal schneidet in jeder Wirkungskategorie besser ab als Szenario 4 vom Regal von Möbelkonzern 2. Zudem ist Szenario 4 vom form.bar Regal in jeder Wirkungskategorie das deutliche Gewinnerszenario.
- Szenario 5 vom Regal von Möbelkonzern 2 schneidet in jeder Wirkungskategorie schlechter ab als jedes der Szenarien vom Regal von Möbelkonzern 2.

Die Bedeutung der Pfeile ist bereits im Text über Abbildung 8 erklärt.

### 3.5.2 Potenziale in der End-of-Life Phase

Potenziale, die sich in der End-of-Life-Phase aus Verbrennung, Recycling oder Weiterverwendung ergeben, sind für die Wirkungskategorie Erderwärmung in Abbildung 10 dargestellt. Durch die Verbrennung des form.bar Regals lässt sich 451,23 MJ Energie gewinnen, was 0,46 kg CO<sub>2</sub> äq. ausstößt. Die Produktion der gleichen Menge an Energie aus Erdgas (meist genutzte Energiequelle in Deutschland, siehe Abschnitt 3.3.4) setzt 12,84 kg CO<sub>2</sub> äq. frei. Damit ergibt sich ein Einsparpotenzial von 96,42 %. Die Verbrennung des Regals von Möbelkonzern 2 ermöglicht die Gewinnung von 495,19 MJ Energie und setzt dabei 0,66 kg CO<sub>2</sub> äq. frei. Die gleiche Menge an Energie aus Erdgas verursacht 14,09 MJ Energie. Somit ergibt sich ein Einsparpotenzial von 95,31 %. Das Recycling des form.bar Regals verursacht 0,59 kg CO<sub>2</sub> äq., der Vergleichswert (Erklärung in Abschnitt 3.3.4) 0,97 kg CO<sub>2</sub> äq. Dies entspricht einem Einsparpotenzial von 39,18 %. Das Recycling des Regals von Möbelkonzern 2 erzeugt 1,44 kg CO<sub>2</sub> äq., der Vergleichswert 2,91 kg CO<sub>2</sub> äq. Dies entspricht einem Einsparpotenzial von 50,72 %. Die Weiterverwendung des form.bar Regals (Transport mit dem PKW, Erklärung siehe Abschnitt 3.3.4) setzt 6,82 kg CO<sub>2</sub> äq. frei. Der Vergleichswert, ein neues form.bar Regal, verursacht 41,67 kg CO<sub>2</sub> äq., was einem Einsparpotenzial von 83,63 % gleicht. Die Weiterverwendung des Regals von Möbelkonzern 2 erzeugt 6,82 kg CO<sub>2</sub> äq. Der Vergleichswert, ein neues Regal von Möbelkonzern 2, verursacht 92,95 kg CO<sub>2</sub> äq., was ein Einsparpotenzial von 92,66 % bedeutet. Nach der zweiten Nutzungsphase ist das Regal zudem noch thermisch verwertbar und/oder recycelbar, weshalb eine Weiterverwendung kombiniert mit Verbrennung und/oder Recycling ebenfalls zu betrachten ist (Abbildung 11). Eine Weiterverwendung mit anschließender Verbrennung setzt beim form.bar Regal 7,28 kg CO<sub>2</sub> äq. frei, was einer Einsparung von 86,64 % gegenüber dem Vergleichswert entspricht. Beim Möbelkonzern 2 Regal sind es 7,48 kg CO<sub>2</sub> äq., was eine Einsparung von 93,01 % gegenüber dem Vergleichswert bedeutet. Eine Weiterverwendung mit anschließendem Recycling und anschließender Verbrennung verursacht beim form.bar Regal 7,87 kg CO<sub>2</sub> äq., was einer Einsparung von 85,81 % entspricht, und beim Möbelkonzern 2 Regal 8,91 kg CO<sub>2</sub> äq., was einer Einsparung von 91,90 % gleicht.

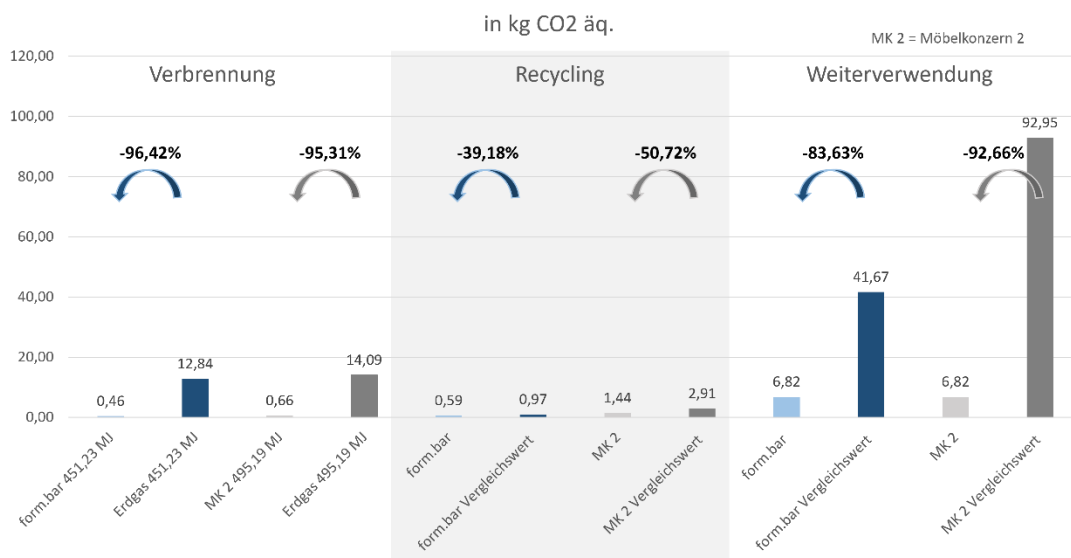


Abbildung 10: Potenziale in der End-of-Life Phase, Wirkungskategorie Erderwärmung – Teil 1

Bildquelle: eigene Darstellung

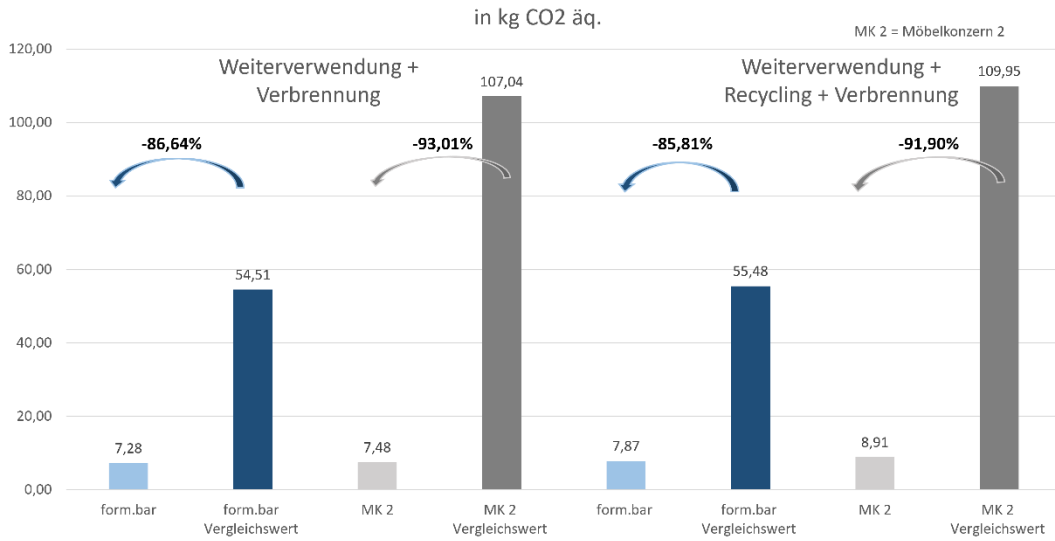


Abbildung 11: Potenziale in der End-of-Life Phase, Wirkungskategorie Erderwärmung – Teil 2

Bildquelle: eigene Darstellung

Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen alle End-of-Life Szenarien über alle Wirkungskategorien hinweg im Vergleich. Das Möbelkonzern 2 Verbrennungsszenario dient als Vergleichswert und ist auf 100 % gesetzt.

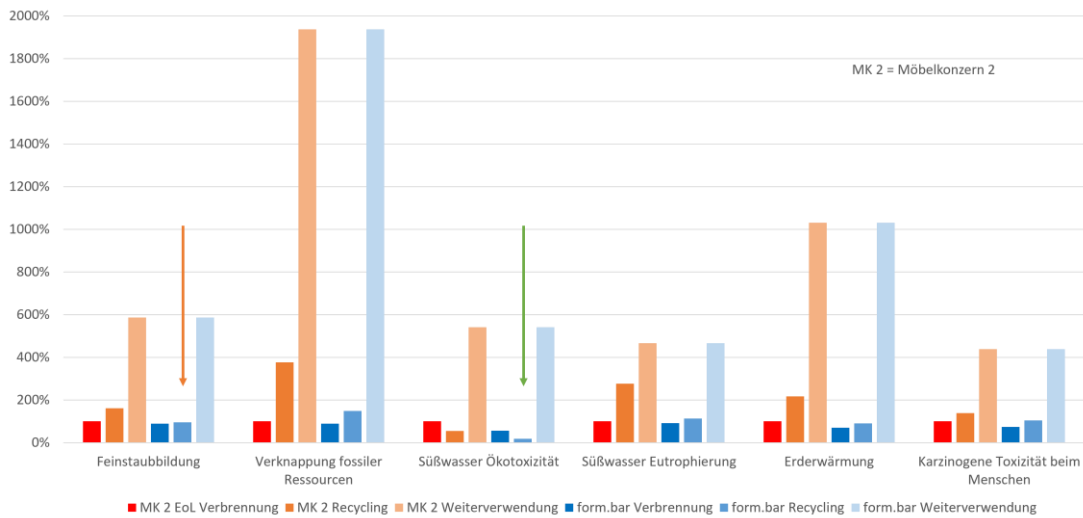


Abbildung 12: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 1

Bildquelle: eigene Darstellung

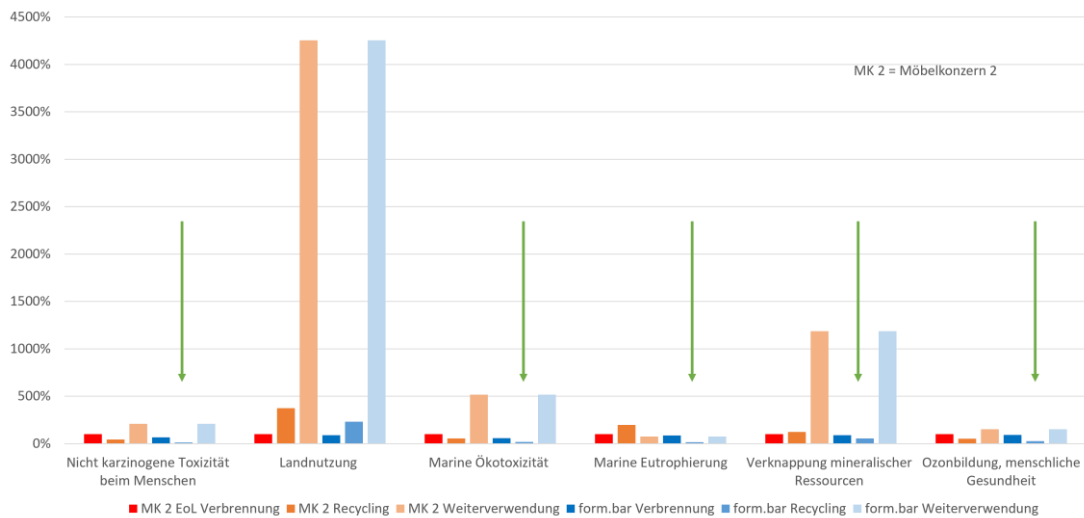


Abbildung 13: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 2

Bildquelle: eigene Darstellung

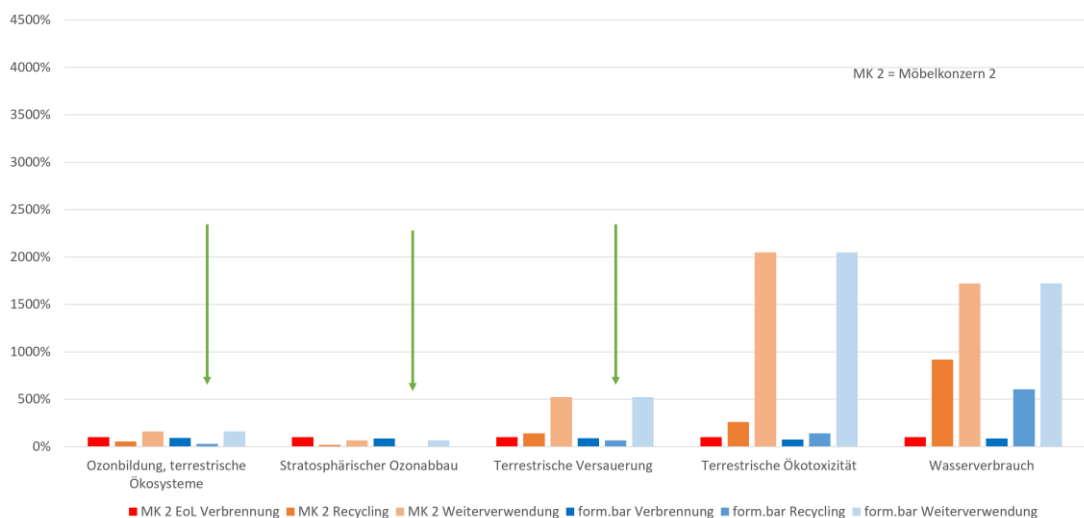


Abbildung 14: Ergebnisse aller End-of-Life Szenarien im Vergleich – Teil 3

Bildquelle: eigene Darstellung

Die Abbildungen zeigen, dass die Weiterverwendungsszenarien in absoluten Werten in fast allen Wirkungskategorien am schlechtesten abschneiden. Lediglich in den Wirkungskategorien Marine Eutrophierung, Ozonbildung (menschliche Gesundheit und terrestrische Ökosysteme) und stratosphärischer Ozonabbau schneiden sie etwa so ab wie Verbrennung und Recycling. Die Pfeile sollen einen Vergleich zwischen einer Verbrennung des form.bar Regals und einem Recycling des form.bar Regals erleichtern. Ein grüner Pfeil bedeutet, dass das form.bar Recyclingszenario besser abschneidet als das form.bar Verbrennungsszenario bzw. dass das form.bar Recyclingszenario das beste von allen ist. Dies ist in 9 von 17 Wirkungskategorien der Fall. Ein orangener Pfeil bedeutet, dass das form.bar Recyclingszenario etwa genauso gut abschneidet wie das form.bar Verbrennungsszenario.

Dies ist in einer Wirkungskategorie der Fall. Somit bleiben 7 von 17 Wirkungskategorien in denen eine Verbrennung des form.bar Regals besser abschneidet als ein Recycling.

Ein weiteres End-of-Life Szenario ist ein komplettes „Cradle-to-cradle“-Szenario. Der angenommene Lebensweg des form.bar und des Möbelkonzern 2 Regals über 40 Jahre (verlängerte FE) ist bereits in Abschnitt 3.3.6 beschrieben. Tabelle 16 stellt die Ergebnisse dieses Szenarios dar.

Tabelle 16: Cradle-to-cradle Ergebnisse, FE verlängert auf 40 Jahre

<b>Wirkungskategorie</b>	<b>Einheit</b>	<b>form.bar über 40 Jahre</b>	<b>Möbel- konzern 2 über 40 Jahre</b>	<b>Prozentuale Steigerung Möbelkonzern 2 zu form.bar</b>
Feinstaub	kg PM2.5 äq.	0,11	0,29	272%
Verknappung fossiler Ressourcen	kg Öl äq.	16,77	60,75	362%
Süßwasser Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	3,00	14,07	469%
Süßwasser Eutrophierung	kg P äq.	0,02	0,04	206%
Erderwärmung	kg CO2 äq.	51,14	185,21	362%
Karzinogene Toxizität beim Menschen	kg 1,4-DCB	2,33	8,49	364%
Nicht karzinogene Toxizität beim Menschen	kg 1,4-DCB	51,18	151,05	295%
Landnutzung	m2a crop äq.	0,65	2,90	447%
Marine Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	4,01	18,19	453%
Marine Eutrophierung	kg N äq.	0,00	0,00	228%
Verknappung mineralischer Ressourcen	kg Cu äq.	0,02	0,08	532%
Ozonbildung, menschliche Gesundheit	kg NOx äq.	0,17	0,54	324%
Ozonbildung, terrestrische Ökosysteme	kg NOx äq.	0,17	0,57	326%
Stratosphärischer Ozonabbau	kg CFC11 äq.	0,00	0,00	262%
Terrestrische Versauerung	kg SO2 äq.	0,19	0,64	329%
Terrestrische Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	371,40	1203,10	324%
Wasserverbrauch	m3	168,63	368,43	218%

Die Ergebnisse zeigen, dass das form.bar Regal im Szenario über 40 Jahre deutlich besser abschneidet als das Regal von Möbelkonzern 2.

### 3.5.3 Identifikation von Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung

Abbildung 15 zeigt, wie viel die einzelnen Module im Möbelkonzern 2 und form.bar

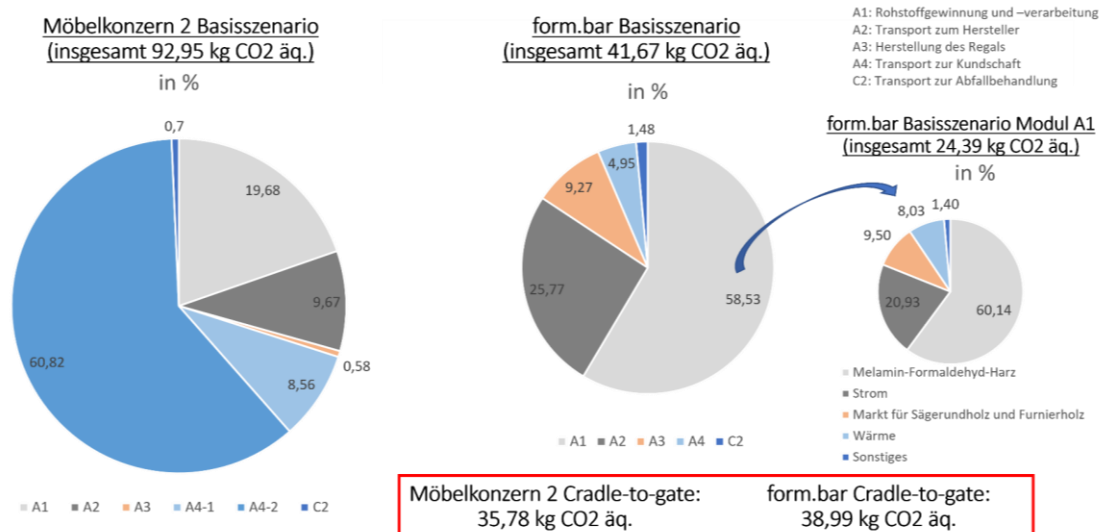


Abbildung 15: Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung

Bildquelle: eigene Darstellung

Basisszenario zu den Gesamtemissionen in der Wirkungskategorie Erderwärmung beitragen. Zunächst ist deutlich zu erkennen, dass die Gesamtemissionen im Möbelkonzern 2 Basisszenario viel höher sind als im form.bar Basisszenario (92,95 kg CO<sub>2</sub> äq. vs. 41,67 kg CO<sub>2</sub> äq.). Im Möbelkonzern 2 Basisszenario liefert das Modul A4-2 (Transport des Regals zur Kundschaft) den größten Beitrag in der Wirkungskategorie Erderwärmung (60,82 %). Danach folgt das Modul A1 (Rohstoffgewinnung und -verarbeitung) mit 19,68 %. Einen ähnlichen großen Anteil liefern die Module A2 (Transport zum Hersteller) mit 9,67 % und A4-1 (Transport zur Verkaufsstätte) mit 8,56 %. Die Module A3 (Herstellung des Regals) und C2 (Transport zur Abfallbehandlung) machen mit 0,58 % und 0,7 % nur einen sehr geringen Teil der CO<sub>2</sub> äq. Emissionen aus. Im form.bar Basisszenario zeigt die Verteilung deutliche Unterschiede zum Möbelkonzern 2 Basisszenario. Hier liefert das Modul A1 (Rohstoffgewinnung und -verarbeitung) mit 58,53 % den größten Beitrag in der Wirkungskategorie Erderwärmung. Danach folgen die Module A2 (Transport zum Hersteller) mit 25,77 %, A3 (Herstellung des Regals) mit 9,27 %, A4 (Transport zur Kundschaft) mit 4,95 % und C2 (Transport zur Abfallbehandlung) mit 1,48 %. Da das Modul A1 den mit Abstand größten Beitrag ausmacht, ist es interessant sich anzuschauen, woran das liegt. Eine Aufspaltung des Moduls A1 zeigt, dass die Produktion des Melamin-Formaldehyd-Harzes mit 60,14 % den größten Anteil ausmacht. Danach folgt die Stromproduktion mit 20,93 %. Daraufhin folgen noch die Produktion von Sägerundholz und Furnierholz mit 9,5 % und Wärmeherstellung mit 8,03 %. Die restlichen 1,4 % teilen andere Prozessschritte unter sich auf. Der große Anteil des Moduls A4-2 an den Treibhausgasemissionen des Möbelkonzern 2 Basisszenarios deutete daraufhin, dass es Sinn ergibt, sich die Treibhausgasemissionen „nur“

Cradle-to-gate<sup>22</sup> anzuschauen. Cradle-to-gate verursacht das Möbelkonzern 2 Basisszenario 35,87 kg CO<sub>2</sub> äq. und damit weniger als das form.bar Basisszenario mit 38,99 kg CO<sub>2</sub> äq.

### 3.5.4 Break-Even-Points in der Wirkungskategorie Erderwärmung

Da der Transport zur Kundschaft im Möbelkonzern 2 Basisszenario im Hinblick auf den Beitrag zur Erderwärmung so viel ausmacht, ist es zudem spannend, sich Break-Even-Points bezüglich der Transportstrecke anzuschauen. In diesem Zusammenhang bedeutet Break-Even-Point der Punkt bis zu dem das form.bar Regal besser abschneidet als das Möbelkonzern 2 Regal, wenn man die Entfernung der Kundschaft zur Schreinerei variiert. Zudem ist es interessant, sich verschiedene Arten des Transports anzuschauen (Auslieferung durch Schreinerei vs. Selbstabholung durch Kundschaft). Abbildung 16 zeigt das Ergebnis der Berechnungen.

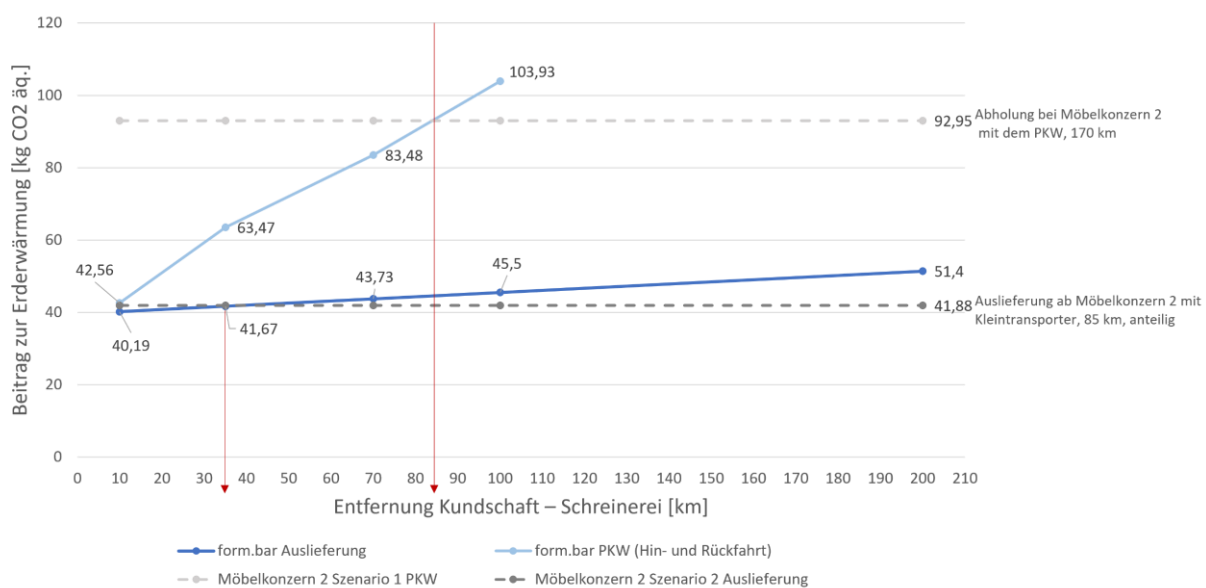


Abbildung 16: Break-Even-Points Transport zur Kundschaft

Bildquelle: eigene Darstellung

Wenn die Schreinerei das form.bar Regal mit dem Kleintransporter ausliefert (dunkelblaue Linie) gelten folgenden Break-Even-Points:

- Bis zu einer Entfernung von unter 35 km leistet das Regal von form.bar einen kleineren Beitrag zur Erderwärmung als das Regal von Möbelkonzern 2, welches eine Spedition ausliefert (dunkelgraue gestrichelte Linie, Kleintransporter, 85 km, anteilig).
- Ein form.bar Regal, welches die Schreinerei ausliefert, leistet immer (bis min. 210 km Entfernung) einen kleineren Beitrag zur Erderwärmung als das Regal von Möbelkonzern 2, welches die Kundschaft dort selbst abholt (hellgraue gestrichelte Linie, PKW, 170 km, Hin- und Rückfahrt).

Wenn die Kundschaft das form.bar Regal mit dem PKW selbst abholt (hellblaue Linie), gelten die folgenden Break-Even-Points. Wichtig ist dabei, bei der Abholung mit dem PKW auch die

<sup>22</sup> Cradle-to-gate = von der Wiege bis zum Tor, vom Rohstoffabbau bis zum Verkaufstor, beinhaltet also die Module A1 bis A4-1 (bei form.bar ohne Modul A4).

Hinfahrt mit zu bilanzieren. Wenn die Entfernung zwischen Kundschaft und Schreinerei (X-Achse) also 35 km beträgt, entspricht dies einer Transportstrecke von 70 km mit dem PKW.

- Bis zu einer Entfernung von unter ca. 85 km (zwischen Schreinerei und Kundschaft, Hin- und Rückfahrt also 170 km) leistet das Regal von form.bar einen kleineren Beitrag zur Erderwärmung als das Regal von Möbelkonzern 2, welches die Kundschaft dort abholt (hellgraue gestrichelte Linie, PKW, 170 km, Hin- und Rückfahrt). Dieses Ergebnis ergibt Sinn, da die Treibhausgasemissionen Cradle-to-gate fast identisch sind (Abschnitt 3.5.3).
- Ein form.bar Regal, welches die Kundschaft selbst mit dem PKW abholt, verursacht bereits ab einer Entfernung von 10 km zwischen Kundschaft und Schreinerei mehr Treibhausgasemissionen als das Regal von Möbelkonzern 2, welches eine Spedition ausliefert (dunkelgraue gestrichelte Linie, Kleintransporter, 85 km, anteilig).

Auch für das End-of-Life Szenario der Weiterverwendung sind Break-Even-Points anzuschauen. Dabei geht es darum, zu schauen, wie weit man das genutzte Regal mit dem PKW zum Weiterverkauf transportieren „darf“, damit es weniger Treibhausgasemissionen verursacht als der Kauf eines neuen Regals.

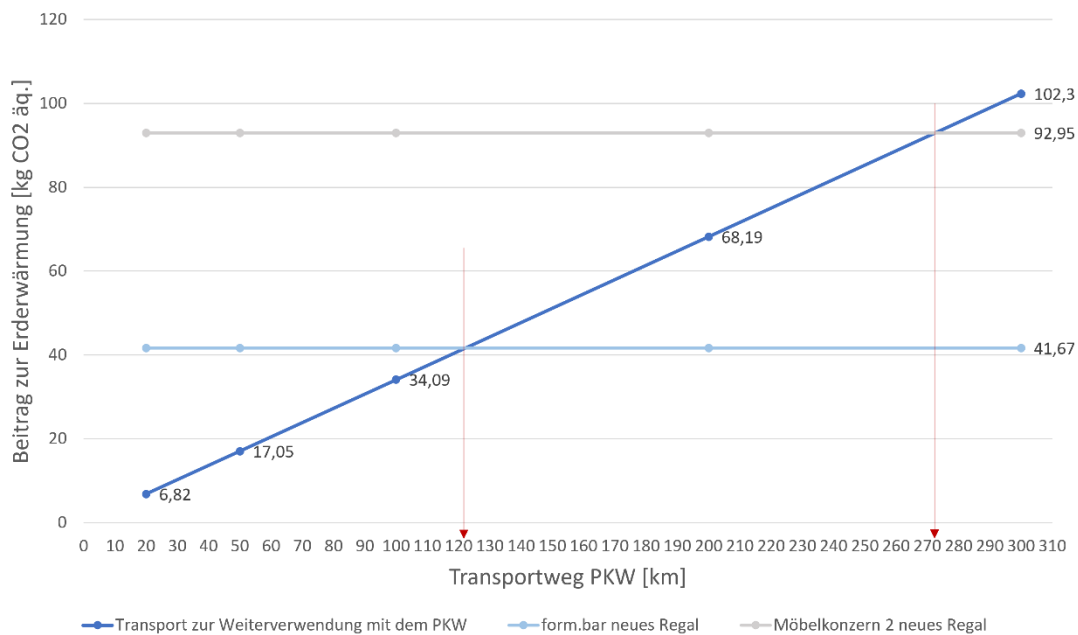


Abbildung 17: Break-Even-Points Weiterverwendung

Bildquelle: eigen Darstellung

Abbildung 17 veranschaulicht, dass eine Weiterverwendung des form.bar oder des Möbelkonzern 2 Regals bei einer Transportstrecke von bis zu unter 120 km (Transport mit PKW, Hin- und Rückfahrt) weniger CO<sub>2</sub> äq. Emissionen verursacht als der Neukauf eines Regals von form.bar. Eine Weiterverwendung des form.bar oder des Möbelkonzern 2 Regals verursacht zudem bei einer Transportstrecke von bis zu unter 270 km (Transport mit PKW, Hin- und Rückfahrt) weniger CO<sub>2</sub> äq. Emissionen als der Neukauf eines Regals von Möbelkonzern 2.

### 3.6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse aus Abschnitt 3.5 zusammen und diskutiert sie im Hinblick auf die Kernfrage.

Das Basisszenario von Produkt 1 (form.bar) schneidet in allen 17 Wirkungskategorien besser ab als das Basisszenario von Produkt 2 (Möbelkonzern 2). Bei einer Cradle-to-gate Betrachtung verursachen das Möbelkonzern 2 Regal und das form.bar Regal fast die gleiche Menge an Treibhausgasemissionen. Die Sensitivitätsanalysen (Szenarien 2 bis 5 sowie Break-Even-Points) zeigen jedoch, dass eine Veränderung bestimmter Parameter auch eine Veränderung der Ergebnisse mit sich bringt.

Sobald man das Modul A4(-2), die Auslieferung des Regals zum Kunden, verändert (Szenario 2), verändert sich die eindeutige Überlegenheit des form.bar Regals. Wenn die Kundschaft das form.bar Regal mit dem PKW beim Schreiner abholt, und dabei insgesamt eine Strecke von 70 km zurücklegt, schneidet dieses in jeder Wirkungskategorie, außer beim Wasserverbrauch, schlechter ab als das Regal von Möbelkonzern 2, welches eine Spedition ausliefert (85 km). Dies zeigt bereits, dass die Art der Auslieferung und die Entfernung zur Kundschaft einen sehr entscheidenden Unterschied machen. Auch der Vergleich zwischen dem form.bar Basisszenario und Szenario 2 vom Möbelkonzern 2 Regal (grüne und orangene Pfeile), wo jeweils eine Auslieferung per Spedition stattfindet, bestätigt dies. Denn dann ist teilweise das form.bar Regal „besser“ und teilweise das Möbelkonzern 2 Regal.

Ein Vergleich der beiden form.bar Lieferanten Koskisen und Europlac (Szenario 3) hat gezeigt, dass Koskisen in jeder Wirkungskategorie etwas besser abschneidet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Unterschiede in den meisten Wirkungskategorien sehr klein sind. Verantwortlich für das bessere Abschneiden von Koskisen ist vor allem der Transport im Modul A1. Hier hat Europlac eine deutlich längere Transportstrecke, da das Holz aus Russland kommt, die Herstellung der Multiplexplatten aber in der Slowakei stattfindet.

Der Einsatz von Recyclingmaterial (Szenario 4) birgt große Potenziale, um die Umweltauswirkungen zu verringern. Das form.bar Regal aus Recyclingmaterial schneidet in jeder Wirkungskategorie mit Abstand am besten ab. Und auch das Möbelkonzern 2 Regal aus Recyclingmaterial verursacht in jeder Wirkungskategorie deutlich weniger Emissionen als das Möbelkonzern 2 Basisszenario. Interessant ist allerdings, dass es das Recyclingszenario nicht schafft, das Möbelkonzern 2 Szenario 2 zu übertreffen. Das bedeutet der Einsatz von Recyclingmaterial kann die Selbstabholung des Regals mit dem PKW nicht „ausgleichen“. Den Unterschied macht also vor allem eine Optimierung des Moduls A1 in Kombination mit dem Modul A4(-2).

Szenario 5 zeigt, dass sich durch eine halbierte Lebensdauer des Möbelkonzern 2 Regals die Umweltauswirkungen verdoppeln. Erstaunlich ist, dass Szenario 5 in manchen Wirkungskategorien trotzdem besser abschneidet als das Basisszenario, da eine Auslieferung per Spedition anstelle einer Selbstabholung mit dem PKW stattfindet. Auch dies verdeutlicht die Relevanz der Art des Transports zur Kundschaft.

Die Analyse der End-of-Life Phase zeigt, dass eine Verbrennung die größten Einsparungen an Treibhausgasemissionen ermöglicht, da der Unterschied zum Vergleichswert am größten ist. Auch verursacht diese absolut weniger Treibhausgasemissionen als das Recycling und die Wiederverwendung. Das Recycling verursacht nur etwas mehr Treibhausgasemissionen, birgt dafür aber vergleichsweise kleine Einsparungen gegenüber den Vergleichswerten. Dem entgegen steht, dass Szenario 4 jeweils eine große Einsparung gegenüber dem Basisszenario

in der gleichen Wirkungskategorie, und auch in allen anderen Wirkungskategorien, ergeben hat. Das Recycling lohnt sich also, wenn die Rezyklate auch tatsächlich den Einsatz von „Virgin Material“ in der Industrie ersetzen. Auch könnten sich die Einsparpotenziale aus der Verbrennung in Zukunft schmälern, wenn Erdgas nicht mehr die meistgenutzte Energiequelle in Deutschland ist, sondern vermehrt erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Zudem ist Holz ein natürlicher Kohlenstoffspeicher. Bei einer Verbrennung wird der gebundene Kohlenstoff freigesetzt, beim Recycling und der Weiterverwendung bleibt er in den Holzwerkstoffen gespeichert (siehe auch Abschnitt 2.2.1). Eine Weiterverwendung schneidet am schlechtesten ab in Bezug auf den Ausstoß von Treibhausgasemissionen, was am Transport mit dem PKW liegt, hat dafür aber fast genauso hohe Einsparpotenziale gegenüber den Vergleichswerten wie die Verbrennung. Hier ist es also wichtig, den Transport zur Wiederverwendung so zu gestalten, dass möglichst wenige (Treibhausgas-)Emissionen entstehen. Ein Blick auf die weiteren Wirkungskategorien verdeutlicht dies, da das Weiterverwendungsszenario in fast allen Wirkungskategorien am schlechtesten abschneidet. Gleichzeitig steht dadurch das Recyclingszenario besser dar, da es in etwas mehr als der Hälfte der Wirkungskategorien am besten abschneidet. In der Realität folgt auf die Weiterverwendung und eine zweite Nutzungsphase von beispielsweise 20 Jahren eine Verbrennung, oder ein Recycling mit einer dritten Nutzungsphase und anschließender Verbrennung. Diese beiden Optionen haben fast die gleichen Einsparpotenziale wie eine direkte Verbrennung. Darüber hinaus bieten sie den großen Vorteil, dass der Kohlenstoff länger im Holz gespeichert bleibt (siehe auch Abschnitt 2.2.1), weshalb sie die besten End-of-Life Optionen darstellen. Das „Cradle-to-cradle“-Szenario über 40 Jahre verdeutlicht dies. Hier schneidet das form.bar Regal deutlich besser ab, da es eine zweite Nutzungsphase mit gleicher Funktion hat, eine dritte als Holzspäne und erst dann thermisch verwertet wird. Das Regal von Möbelkonzern 2 schneidet über 40 Jahre gesehen deutlich schlechter ab, wenn man davon ausgeht, dass es keine zweite und dritte Nutzungsphase erhält und direkt thermisch verwertet wird. Je länger das Holz also im Kreislauf bleibt, desto besser. Somit schneidet das form.bar Regal hier besser ab, da das Regal von Möbelkonzern 2 nur bedingt recycelbar ist (siehe hierzu Abschnitt 4.1). Eine andere Studie kam ebenfalls zu dem Schluss, dass eine Kaskadennutzung des Holzes mit abschließender Verbrennung am sinnvollsten sein könnte. Dies ist allerdings nur der Fall, wenn es gelingt, pro Kaskade möglichst wenig Materialverlust zu erreichen. Ansonsten könnte eine direkte Verbrennung unter ökologischen Gesichtspunkten sogar sinnvoller sein (Högelmeier, Weber-Blaschke, & Richter, 2016, S. 4 (11)).

Als Emissions-Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung, und somit als Hebelpunkte, haben sich beim form.bar Regal die Module A1, A2 und A3 herausgestellt. Im A1 Modul verursacht die Produktion von Melamin-Formaldehyd-Harz mehr als die Hälfte der Treibhausgasemissionen, obwohl es von der Masse her nur 10,32 % des Gesamtgewichts ausmacht. Auch die gesundheitliche Problematik ist bereits bekannt (Inerle, 2020). Hier gilt es also geeignete Alternativen zu finden. Der zweitgrößte Anteil des Moduls A2 an den Treibhausgasemissionen spricht dafür, die Holzwerkstoffe möglichst in der Nähe des Schreiners zu produzieren, um Transportwege kurz zu halten. Das Modul A3, also Strom und Wärme zur Produktion des Regals, hat beim form.bar Regal einen viel größeren Anteil an den Treibhausgasemissionen als beim Möbelkonzern 2 Regal. Dies liegt am unterschiedlichen Strommix in den beiden Ländern Deutschland und Schweden. Im Jahr 2016 waren Öl (32,7 %), Gas (22,7 %) und Kohle (24,9 %) die meistgenutzten Energieträger in Deutschland. Der Anteil der erneuerbaren Energien lag bei 12,5 %. In Schweden kommt mehr Kernenergie zum

Einsatz (33,4 %), welche weniger Treibhausgasemissionen verursacht, gefolgt von Öl (23,8 %). Vor allem aber machen erneuerbare Energien in Schweden mit 37,1 % den größten Anteil aus (bpb, 2019). Es empfiehlt sich also für die Schreinereibetriebe auf den verwendeten Strommix zu achten. Dass das Regal von Möbelkonzern 2 in einer Cradle-to-gate Betrachtung weniger Treibhausgasemissionen verursacht als das form.bar Regal, ist auch durch den unterschiedlichen Strommix erklärbar. Gleichzeitig spricht diese Erkenntnis sehr stark für das Konzept der regionalen Fertigung in der Nähe der Kundschaft von form.bar, da allein das Modul A4(-2) den wirklichen Unterschied der beiden Regale in Bezug auf die Treibhausgasemissionen ausmacht. Beim Regal von Möbelkonzern 2 verursacht der Transport zur Kundschaft 56,53 kg CO<sub>2</sub> äq., beim form.bar Regal lediglich 2,06 kg CO<sub>2</sub> äq. Dieser Unterschied ist gravierend und lässt sich wie folgt erklären: Beim Möbelkonzern 2 Regal transportiert die Kundschaft das Regal insgesamt 170 km im PKW nach Hause und legt extra für dieses eine Regal die Strecke zurück. Beim form.bar Regal transportiert der Schreiner das Regal im Basisszenario insgesamt nur 35 km in einem Kleintransporter. Dabei lassen sich die Emissionen anteilig für ein Regal berechnen (31,99 kg). Das bedeutet die Emissionen des Kleintransporters gehen nicht vollständig zu Lasten eines Regals. Insgesamt hat ein Kleintransporter bis zu 1,4 Tonnen Nutzlast (Fritzsche & Fritzsche, o. J.). Geht man von einer Zuladung von einer Tonne aus, entspricht das 31 Regalen. Bilanziert man mit dieser Zuladung, liegen die Treibhausgasemissionen bei 64,53 kg CO<sub>2</sub> äq., welche sich aber auf 31 Regale verteilen. Da der entscheidende Unterschied in der Auslieferung zum Kunden liegt, haben hier Unternehmen wie Möbelkonzern 2 die Möglichkeit anzusetzen. Es handelt sich eher um ein logistikbezogenes „Problem“ als ein produktbezogenes. Optimiert ein Hersteller wie Möbelkonzern 2 die Logistik, genauer gesagt die Auslieferung zur Kundschaft, in ökologischer Hinsicht, kann er die größten Einsparungen an Treibhausgasemissionen erreichen. Hier liegt viel Potenzial, gleichzeitig haben die Hersteller und Händler hierüber begrenzte Kontrolle, da letztendlich die Kundschaft entscheidet, wie das Regal zu ihnen nach Hause gelangt.

Die Break-Even-Points bezüglich des Transports zur Kundschaft konkretisieren den Vorteil des form.bar Konzepts. Damit das form.bar Regal gemessen an den Treibhausgasemissionen in jedem Fall besser abschneidet als das Möbelkonzern 2 Regal, darf der Schreinereibetrieb maximal 35 km von der Kundschaft entfernt sein und der Schreiner muss das Regal im Rahmen einer Ausliefertour an die Kundschaft ausliefern. Durch die kleine Entfernung zwischen Schreinerei und Kundschaft wären auch andere Formen der Auslieferung denkbar, beispielsweise mit dem Lastenrad (siehe auch Abschnitt 6.2.2.2). Dies ist ein klarer Vorteil des Konzepts von form.bar gegenüber Möbelkonzern 2, dessen Filialen meist etwas außerhalb in Gewerbegebieten und in der Nähe zu Autobahnen liegen.

Dieser Abschnitt beantwortet bereits einen Teil der Kernfrage. Eine ökobilanzielle Untersuchung nach ISO 14040/44 empfiehlt sich, um die Umweltauswirkungen und insbesondere die Klimawirksamkeit von Möbeln zu quantifizieren, da sie interessante Erkenntnisse liefert, die ansonsten nur zu erraten sind. Sie ermöglicht es auch Hotspots zu identifizieren, aus denen sich im nächsten Schritt (Kapitel 6) Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen ableiten lassen. Die ökobilanzielle Untersuchung allein schafft es jedoch nicht, alle Kriterien für eine Bewertung der „Nachhaltigkeit“ eines Produkts abzudecken, weshalb nun in Kapitel 4 eine weitere Analyse folgt.

## 4 Betrachtung der weiteren Kriterien

Weitere Kriterien sind alle Kriterien, die sich aus dem normativen Rahmen ergeben haben (Tabelle 2) und durch die Ökobilanz noch nicht abgedeckt sind. Dazu gehören der Anteil an recyclingfähigem Material (Abschnitt 4.1), die entstehende Menge an Abfall (Abschnitt 4.2), der Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft (Abschnitt 4.3), Informationen über problematische Inhaltsstoffe (Abschnitt 4.4), die verbrauchte Energie (Abschnitt 4.5), der Anteil an Rezyklat (Abschnitt 4.6) sowie die erwartete Lebensdauer (Abschnitt 4.7).

### 4.1 Recyclingfähiges Material

Um herauszufinden, wie groß der Anteil an recyclingfähigem Material für beide Regale ist, stellte die Autorin eine Anfrage an die kommunalen Entsorger in Darmstadt und in Ingolstadt. Die Anfrage beinhaltete die Frage, was nach dem Einsammeln des Sperrmülls damit passiert und anhand welcher Kriterien sie entscheiden, ob sie ein Möbelstück recyceln oder thermisch verwerten. Leider waren beide Antworten unzureichend, weshalb dieser Abschnitt nur theoretische Vermutungen anstellen kann.

Beide Produktsysteme bestehen zum größten Teil aus Holzwerkstoffen. Das Regal von Möbelkonzern 2 aus Spanplatte und Hartfaserplatte und das form.bar Regal aus Multiplexplatten. Die Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV) bildet den normativen Rahmen für die stoffliche Verwertung, sprich das Recycling von Altholz (§ 1 Abs. 1 Nr. 1 AltholzV). Demnach ist Altholz der Altholzkategorien AI, AII und teilweise AIII (wenn Beschichtung vorher entfernt) stofflich verwertbar (Anhang I AltholzV). Möbel aus naturbelassenem Vollholz gehören zur Kategorie AI, Möbel ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung zur Kategorie AII und Möbel mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung zur Kategorie AIII (Anhang III AltholzV). Beide Produkte haben keine PVC-Beschichtung, womit das Altholz beider Produkte theoretisch der Kategorie AII zuzuordnen und somit recycelbar ist. Die Realität sieht aber wohl häufig anders aus. In einer Studie überschritten sechs von neun untersuchten Spanplatten mehrere Grenzwerte der Altholzverordnung, womit sie nicht mehr recycelbar sind (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015). Das gleiche sollte sich auf Hartfaserplatten übertragen lassen. Ob das Altholz des Regals von Möbelkonzern 2 also recycelbar ist, ist fraglich. Das Regal von Möbelkonzern 2 hat außerdem noch weitere Inputs, welche jedoch nur einen geringen Anteil der Gesamtmasse ausmachen (4,01 %). Davon ist ein Großteil die Verpackung aus Wellpappe (3,55 %), welche normalerweise recycelbar ist (Câmpean, et al., 2017). Die restlichen 0,46 % sind die Plastiktüten aus Polyethylen (0,001 %) und das sonstige Zubehör aus verschiedenen Metallen oder Holzmaterialien (Schrauben, Nägel, Dübel etc.). Polyethylen ist recycelbar (Achilias, Roupakias, Megalokonomos, Lappas, & Antonakou, 2007, S. 536). Die restlichen Komponenten sind nach dem Zusammenbau des Regals fest mit der Spanplatte oder Hartfaserplatte verbunden. Hier stellt sich die Frage, ob diese für ein Recycling abgetrennt und sortiert werden. Schlussendlich ist das Regal von Möbelkonzern 2 also zu mindestens 99,54 % recycelbar, wenn man davon ausgeht, dass Spanplatte und Hartfaserplatte recycelbar sind. Falls nicht, ist lediglich die Verpackung aus Wellpappe und Polyethylen recycelbar, welche 3,55 % ausmachen. Das form.bar Regal ist zu 100 % aus recyclingfähigem Material, womit das form.bar Regal besser abschneidet.

#### **4.2 Entstehende Menge an Abfall**

Um dieses Kriterium zu beurteilen, gilt es festzustellen, wie viel Kilogramm Abfall bei einer Nutzung der beiden Regale über 20 Jahre jeweils entsteht. Als Abfall gelten die Verpackung sowie Aufbauanleitung und Pflegehinweise. Das Regal selbst in der End-of-Life Phase gilt nicht als Abfall, da es wie in den Abschnitten 3.3.6, 3.5.2 und 4.1 erläutert entweder thermisch verwertbar, recycelbar oder weiterverwendbar ist. Auch der entstehende Abfall in den Upstream-Prozessen (Pre-Consumer Waste) ist nicht Bestandteil dieses Kriteriums, da hierzu keine Informationen vorliegen.

Beim form.bar Regal entsteht somit kein Abfall, da das Regal unverpackt zum Verbraucher gelangt. Beim Regal von Möbelkonzern 2 entstehen insgesamt 1,27 kg Abfall. Das Regal von Möbelkonzern 2 schneidet somit bei diesem Kriterium schlechter ab.

#### **4.3 Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft**

Bei form.bar kommen nach eigenen Angaben nur FSC-zertifizierte Holzwerkstoffe zum Einsatz (form.bar, o. J. a), der Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft beträgt also 100 %. Auch Möbelkonzern 2 hat nach eigenen Angaben im Jahr 2020 sein Ziel erreicht, nur noch FSC-zertifiziertes oder recyceltes Holz einzusetzen (Debus-Spangenberg, 2021). Da Möbelkonzern 2 jedoch auch seine eigenen Wälder in den Karpaten nach FSC-zertifiziert hat (Ulfréd & Kuhn, 2020), ist diese Aussage fragwürdig. Denn dort findet wie bereits in Abschnitt 1.1 beschrieben illegale Abholzung statt.

#### **4.4 Problematische Stoffe, einschließlich Anteil an SVHCs**

Die etablierte Ökobilanz-Methodik klammert toxische Wirkungen, die über Kurzzeitwirkungen hinaus gehen, aus. Das könnte aber, vor allem bei den industriellen Herstellungsschritten, durchaus relevante Emissionen in die Umwelt beinhalten, die über die Umweltpfade dann auch wieder den Menschen erreichen.

Hinzu kommen problematische Stoffe, die in den Produkten selbst enthalten sind. Dabei ist davon auszugehen, dass die vollständige Materialzusammensetzung zum Zeitpunkt der Herstellung und Auslieferung weder den Herstellern noch den Händlern bekannt ist. Hinzu kommt die Problematik, dass – etwa über die REACH-Mechanismen – unerwünschte Eigenschaften von Stoffen erst nach und nach bekannt werden. Regulative Maßnahmen können dann nachträglich dazu führen, dass Produkte als nicht rechtskonform einzuordnen sind.

In dieser Hinsicht wären alle „problematischen Stoffe“ im Sinne von Art. 14 Abs. 4 REACH in die Betrachtung einzubeziehen. Gleiches gilt für alle Stoffe, die regulativen Beschränkungen unterliegen (etwa in Anhang XVII REACH oder der EU-POP-Verordnung). Eine herausgehobene Stellung nehmen in diesem Zusammenhang „besonders besorgniserregende Stoffe“ (englisch „substances of very high concern“ – SVHC) nach Art. 57 REACH ein. Für Stoffe, die auf der entsprechenden Liste verzeichnet sind, formuliert Art. 33 REACH besondere Informationspflichten in der Lieferkette und gegenüber den Verbrauchern. Die Herausforderung für Unternehmen besteht hier darin, dass die Europäische Chemikalienagentur ECHA die Liste halbjährlich fortschreibt. Sobald die ECHA einen Stoff in die im Internet einsehbare Liste aufnimmt, greifen die entsprechenden Rechtspflichten direkt und ohne weiteren behördlichen Umsetzungsakt. Möbelhersteller müssen also ihre

Produkte nicht nur im Einklang mit den Stoffbeschränkungen herstellen und vermarkten, sondern zusätzlich auch die dynamische Fortschreibung der SVHC-Liste im Auge behalten.

Um zu beurteilen, inwieweit die Lieferanten die Anforderungen im Hinblick auf SVHC erfüllen, wurde für beide Produkte eine Anfrage über die App des EU Life AskREACH Projekts „Scan4Chem“ gestellt.<sup>23</sup> Für das form.bar Regal an die beiden Lieferanten der Multiplexplatten, Europlac und Koskisen, und für das Regal von Möbelkonzern 2 an die Filiale, woher das Regal zur Datenerhebung stammt. Die Anfrage wurde am 08. Juni 2021 gestellt. Die Händler oder Hersteller haben 45 Tage Zeit, um die Anfrage zu beantworten (Art. 33 Abs. 2 REACH), was dem 22. Juli 2021 entspricht. Bis zu diesem Datum hat keiner der Akteure die Anfrage beantwortet. Die Filiale von Möbelkonzern 2 hat zwar auf die Anfrage reagiert, jedoch lediglich die Informationen bereitgestellt, die auch auf der Webseite des Produkts zu finden sind [REDACTED]. Die Autorin wies gegenüber Möbelkonzern 2 darauf hin, dass diese Antwort unzureichend ist. Seitdem ist Möbelkonzern 2 dabei, die Anfrage zu bearbeiten.

Eine Nicht-Beantwortung der Anfrage kann bedeuten, dass keine SVHCs mit einer Konzentration von mehr als 0,1 Massenprozent im Produkt enthalten sind, da die Akteure dann die Anfrage nicht beantworten müssen. Es kann aber auch bedeuten, dass sie es nicht wissen oder sie keine Auskunft darüber geben möchten. Dieses Kriterium ist also nicht eindeutig zu bewerten.

#### 4.5 Verbrauchte Energie

Um die Menge an verbrauchter Energie zu bestimmen, kann man auf die Werte aus der ecoinvent Datenbank 3.6 aus dem Basisszenario zurückgreifen. Zur Vereinfachung erfolgt lediglich ein Vergleich der verbrauchten Energie aus den Modulen A1 und A3, also zur Herstellung der Vorprodukte (ohne Transporte) und zur Herstellung des Regals. Als anzunehmende Werte gelten die Werte aus den Basisszenarien für beide Produkte. Tabelle 17 zeigt die Werte für die beiden Produkte.

Tabelle 17: Verbrauchte Energie form.bar Regal und Möbelkonzern 2 Regal (Module A1 und A3)

Energietyp	form.bar	Möbelkonzern 2
Elektrizität	18,247 kWh	12,869 kWh
Wärme	257,55 MJ	73,721 MJ
Diesel	-	0,128 MJ
<b>Summe</b>	<b>89,789 kWh</b>	<b>33,385 kWh</b>

Das form.bar Regal benötigt einen deutlich höheren Energieeinsatz als das Möbelkonzern 2 Regal. Das liegt vor allem daran, dass die Produktion der Multiplexplatten laut ecoinvent 3.6 deutlich energieintensiver ist (ca. 238 kWh Strom und 5050 MJ Wärme pro 1 m<sup>3</sup>), als die Produktion der Spanplatten (ca. 101 kWh Strom und 1186 MJ Wärme pro 1 m<sup>3</sup>). Das erklärt auch, warum das Regal von Möbelkonzern 2 cradle-to-gate eine etwas niedrigere CO<sub>2</sub>-Äq.-Bilanz hat: Das Regal von Möbelkonzern 2 hat einen niedrigeren Energieverbrauch in der Herstellung, dafür aber weitere Transportwege.

<sup>23</sup> Mehr Informationen über das Projekt und die App gibt es hier: <https://www.askreach.eu/scan4chem-app-for-checking-substances-of-very-high-concern-in-products-launched/> (13.07.2021).

#### 4.6 Anteil an Rezyklat

Ein Vergleich des Anteils an Rezyklat erfolgt nur für die verwendeten Holzwerkstoffe. Die Daten dafür stammen aus der Datenbank ecoinvent 3.6. Somit spiegeln diese nicht die tatsächlich eingesetzten Holzwerkstoffe wider, sind aber ein Anhaltspunkt und lassen sich vermutlich auf andere Holzwerkstoffe der gleichen Art übertragen.

Tabelle 18: Anteil an Rezyklat form.bar Regal und Möbelkonzern 2 Regal

	form.bar	Möbelkonzern 2	
		Hartfaserplatte	Spanplatte
Anteil an Rezyklat	0 %	2,15 %	75,2 %

Tabelle 18 zeigt deutlich, dass das Möbelkonzern 2 Regal in diesem Punkt besser abschneidet. Vor allem aufgrund des Einsatzes von Spanplatten, die einen Rezyklatanteil von ca. 75 % aufweisen, während die Multiplexplatten gar kein Rezyklat beinhalten.

#### 4.7 Erwartete Lebensdauer

Die erwartete Lebensdauer setzt sich unter anderem aus weiteren Kriterien aus Tabelle 2 zusammen: Wiederverwendbarkeit, Nachrüstbarkeit, Reparierbarkeit, Lieferbarkeit von Ersatzteilen und garantierte Lebensdauer.

##### 4.7.1 Wiederverwendbarkeit

Wie bereits in Abschnitt 3.3.6 beschrieben, unterscheidet die Arbeit in Weiterverwendung und Wiederverwendung. Die Weiterverwendung ist Teil der ökobilanziellen Untersuchung in Kapitel 3. Dieser Abschnitt beschäftigt sich nun mit der Wiederverwendung. Wiederverwendung bedeutet, dass einzelne Elemente des Regals in ggf. veränderter Form einer anderen Funktion dienen. Durch seinen modularen Aufbau weist das form.bar Regal eine hohe Wiederverwendbarkeit auf. Die einzelnen Teile lassen sich gut voneinander trennen und somit auch gut verarbeiten und verändern. So sind einzelne Teile wiederverwendbar, oder auch Varianten des Regals möglich, z.B. durch das Hinzufügen von mehr Fächern, so wie der neue Besitzer es möchte. Das Regal von Möbelkonzern 2 ist nicht modular aufgebaut, die einzelnen Teile sind verschraubt oder vernagelt. Somit ist ein Umbau oder eine andere Gestaltung schwieriger als beim form.bar Regal, weshalb es keine gute Wiederverwendbarkeit aufweist.

Weiterer Indikator für die Wiederverwendbarkeit ist die Qualität des Ausgangsmaterials, so ist z.B. Vollholz besser als eine Spanplatte, da es besser verarbeitbar ist (Ulfred & Kuhn, 2020). Hier schneidet aufgrund seiner Materialien das form.bar Regal besser ab.

##### 4.7.2 Nachrüstbarkeit

Das form.bar Regal ist gut nachrüstbar, einzelne Fächer lassen sich entfernen oder hinzufügen. Auch die Höhe, Breite oder Tiefe sind theoretisch veränderbar. Der modulare Aufbau des form.bar Regals ist also auch hier ein klarer Vorteil. Krystofik et al. (2018) weisen ebenso auf den ökologischen Sinn der adaptiven Wiederaufbereitung hin. Das bedeutet, dass veraltete Produkte so angepasst sind, dass sie wieder den aktuellen Marktanforderungen gerecht sind. Das Regal von Möbelkonzern 2 ist nicht modular aufgebaut, die einzelnen Teile sind miteinander verschraubt oder vernagelt. Somit lässt es sich schwieriger nachrüsten als das form.bar Regal.

### **4.7.3 Reparierbarkeit**

Der modulare Aufbau des form.bar Regals hat den Vorteil, dass bei Beschädigung einzelne Bretter nachgefertigt und somit einfach austauschbar sind. So muss nicht das ganze Regal ersetzt werden. Auch beim Regal von Möbelkonzern 2 ließen sich theoretisch einzelne Bretter austauschen, sofern diese nicht vernagelt sind, was aber mit mehr Aufwand verbunden wäre.

### **4.7.4 Mindestzeitraum über die Lieferbarkeit von Ersatzteilen**

Beide Hersteller machen keine Angaben zum Mindestzeitraum über die Lieferbarkeit von Ersatzteilen. Beim Möbelkonzern 2 stellte die Autorin eine Anfrage, ob und wie lange Ersatzteile für das Regal lieferbar sind. Bis zur Fertigstellung der Arbeit gab Möbelkonzern 2 keine Rückmeldung dazu. Seit 01. März 2021 schreibt die Ökodesign-Richtlinie vor, dass Ersatzteile von bestimmten Elektrogeräten 7 bis 10 Jahre lieferbar sein müssen. Zudem müssen Verkäufer darüber informieren, welche Mängel beim Produkt auftreten und welche Kosten dafür entstehen könnten (EVZ, 2021). Da die Ökodesign-Richtlinie bald auch für Möbel gelten könnte (Abschnitt 2.2.2), haben hier beide Hersteller Verbesserungsbedarf.

### **4.7.5 Garantierte Lebensdauer**

Form.bar gibt für sein Produkt die gesetzliche Gewährleistung, welche zwei Jahre beträgt (§ 438 Abs. 1 Nr. 3 BGB). Möbelkonzern 2 vergibt ebenfalls die gesetzliche Gewährleistung.

## **4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Beim recyclingfähigen Material schneidet das form.bar Regal besser ab, was (auch) daran liegt, dass es lediglich aus einem Material besteht und nicht aus mehreren verschiedenen, welche für ein Recycling erst voneinander getrennt werden müssen.

Beim Thema Kommunikation zu problematischen Inhaltsstoffe schneiden beide Regale schlecht ab, da beide Hersteller nicht oder unzureichend auf die AskREACH Anfrage reagiert haben. Hier haben beide Hersteller bzw. ihre Lieferanten dringend Verbesserungsbedarf. Falls in beiden Produkten wirklich keine problematischen Inhaltsstoffe enthalten sind, müssen die Hersteller das zwar nicht kommunizieren. Es empfiehlt sich aber, dies trotzdem oder gerade dann zu tun, da sie so „Pluspunkte“ beim (potenziellen) Nutzenden sammeln können.

Bei der erwarteten Lebensdauer schneidet das form.bar Regal aufgrund seines modularen Aufbaus und der höheren Qualität des Holzwerkstoffs in den Punkten Wiederverwendbarkeit, Nachrüstbarkeit und Reparierbarkeit besser ab als das Regal von Möbelkonzern 2. Bei der Lieferung von Ersatzteilen und der garantierten Lebensdauer besteht für beide Regale bzw. Hersteller Verbesserungsbedarf, da beide auf diese Aspekte nicht aktiv in der Produktkommunikation eingehen bzw. diese Aspekte nicht (über den gesetzlichen Rahmen hinaus) anbieten.

Die restlichen Kriterien sind die entstehende Menge an Abfall, der Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft, die verbrauchte Energie und der Anteil an Rezyklat. Bei der entstehenden Menge an Abfall und dem Anteil an Holz aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft schneidet das form.bar Regal besser ab. Bei der verbrauchten Energie und dem Rezyklatanteil schneidet jedoch das Regal von Möbelkonzern 2 besser ab. In Bezug auf die Kernfrage lässt sich sagen, dass Kapitel 4 die ökobilanzielle Untersuchung aus Kapitel 3 um wichtige Aspekte ergänzt und weitere Verbesserungspotenziale aufdeckt.

## **5 Übergreifende vergleichende Auswertung**

Tabelle 19 greift die Indikatoren aus Tabelle 2 in Abschnitt 2.4 auf und führt vergleichend die Bewertung der Kriterien für form.bar und Möbelkonzern 2 zusammen. Sie zeigt, dass das form.bar Regal bei der Mehrheit der Kriterien besser abschneidet als das Regal von Möbelkonzern 2. Bei der erwarteten Lebensdauer schneidet es nur teilweise besser ab, da es zwar modular aufgebaut ist, aber bei der garantierten Mindestlebensdauer und der Lieferbarkeit von Ersatzteilen nicht über momentane gesetzliche Vorgaben hinausgeht. Beim Energieverbrauch, der zu gewinnenden Energie und dem Anteil an Rezyklat ist das form.bar Regal schlechter als das Regal von Möbelkonzern 2. Der Anteil an SVHCs ist nicht beurteilbar.

Tabelle 19: Vergleichende Bewertung der Kriterien form.bar und Möbelkonzern 2 (jeweils im Basisszenario)

Kriterium	Indikator/Wirkungskategorie (jeweils pro Möbelstück form.bar vs. Möbelkonzern 2)	form. bar	Möbel- konzern 2
Modernisierte Infrastruktur und nachgerüstete Industrie			
Bekämpfung des Klimawandels	Erderwärmung [kg CO <sub>2</sub> -äq]		
Ökologischer Fußabdruck, CO <sub>2</sub> -Fußabdruck			
Menge an Treibhausgasen			
Zu erwartende Emissionen			
Ressourceneffizienz	Verknappung fossiler Ressourcen [kg Öl äq.] und Verknappung mineralischer Ressourcen [kg Cu äq.]		
Abfallaufkommen verringern	Recyclingfähiges Material [kg]		
	Entstehende Menge an Abfall [kg]		
Meeresverschmutzung verhindern und verringern	Marine Eutrophierung [kg N äq.]		
Versauerung der Ozeane erheblich reduzieren			
Erhaltung, Wiederherstellung und „nachhaltige“ Nutzung der Wälder	Landnutzung [m <sup>2</sup> a crop äq.]		
„Nachhaltige“ Bewirtschaftung aller Waldarten fördern	Anteil des Holzes aus „nachhaltiger“ Forstwirtschaft		
Haltbarkeit/erwartete Lebensdauer	Nachrüstbarkeit		
	Reparierbarkeit		
	Garantierte Mindestlebensdauer [Jahre]		
	Mindestzeitraum der Lieferbarkeit von Ersatzteilen [Jahre]		
	Wiederverwendbarkeit		
Recyclbarkeit	Modularität, Anteil an SVHCs (Ulfréd & Kuhn, 2020)	?	?
	Verwendung leicht recycelbarer Materialien		
Umgang mit gefährlichen Stoffen, Anreicherung von Schadstoffen	Anteil an SVHCs pro Möbelstück form.bar vs. „Massen-Möbelstück“	?	?
Energieeffizienz	Energieverbrauch [kWh], zu gewinnende Energie [kWh]		
Rezyklatanteil	Anteil an Rezyklat in %		
Wasserverbrauch	Wasserverbrauch [m <sup>3</sup> ]		
Immission flüchtiger organischer Verbindungen in die Atmosphäre	Karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB], Stratosphärischer Ozonabbau [kg CFC11 äq.], Ozonbildung (menschliche Gesundheit und terrestrische Ökosysteme) [kg NO <sub>x</sub> äq.], Globale Erwärmung [kg CO <sub>2</sub> äq.] (Amt für Umwelt Thurgau, o. J.)		
Emission ozonabbauender Stoffe in die Atmosphäre	Stratosphärischer Ozonabbau [kg CFC11 äq.]		
Emission persistenter organischer Schadstoffe in die Atmosphäre	Karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB], nicht karzinogene Toxizität beim Menschen [kg 1,4-DCB] (Apel & Joerss, 2019)		
Emission Partikeln in die Atmosphäre	Feinstaubbildung [kg PM2.5 äq.]		
Emission in Wasser	Süßwasser-Ökotoxizität [kg 1,4-DCB], Süßwasser-Eutrophierung [kg P äq.], Marine Ökotoxizität [kg 1,4-DCB], Marine Eutrophierung [kg N äq.]		
Emissionen in den Boden	Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> äq.], terrestrische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB]		
Legende	Besser als das andere Regal		
	Schlechter als das andere Regal/beide schlecht		
	? = nicht beurteilbar		

Bis zu diesem Punkt beantwortet die Arbeit einen Teil der Kernfrage: Sie quantifiziert die Umweltauswirkungen eines Möbelstücks, welches über form.bar gefertigt ist, vergleicht diese

mit einem industriell gefertigten Möbelstück und identifiziert Hotspots. An diesem Punkt lässt sich sagen, dass das regional gefertigte Regal „nachhaltiger“ ist als das industriell gefertigte. Das Ziel der Arbeit besteht jedoch auch darin, die Umweltauswirkungen so weit wie möglich zu reduzieren und an die potenzielle Kundschaft zu kommunizieren. Deshalb entwickelt Kapitel 6 aufbauend auf den Erkenntnissen Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen und Kapitel 7 ein Kommunikationskonzept.

## 6 Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen

Die ökobilanzielle Untersuchung (Kapitel 3) sowie die Analyse der weiteren Kriterien (Kapitel 4) haben gezeigt, wo Verbesserungspotenziale liegen (siehe auch Kapitel 5). Dieses Kapitel entwickelt Strategien, um die Umweltauswirkungen weiter zu reduzieren. Dazu identifiziert es die relevanten Akteure (Abschnitt 6.1) und analysiert deren Anreiz- und Hemmnis-Situation (Abschnitt 6.2). Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Reduzierung der Umweltauswirkungen des regionalen Produktionsprozesses (Produktsystem 1). Auch das Produktsystem 2 weist Verbesserungspotenziale auf, diese sind aber nicht Teil dieser Arbeit. Aufbauend auf der Anreiz- und Hemmnis-Situation beschreibt Abschnitt 6.3, wie die Strategien umsetzbar sind. Kapitel 7 entwickelt aufbauend auf den Anreizen und Hemmnissen der Kundschaft und Nutzenden ein Kommunikationskonzept.

### 6.1 Delta und zentrale Akteure

Tabelle 20 zeigt, welche Verbesserungspotenziale (=Zielerreichungs-Delta) es gibt und welche Akteure dafür jeweils ausschlaggebend sind.

Tabelle 20: Verbesserungspotenziale/Hebelpunkte und relevante Akteure

Verbesserungspotenzial/Hebelpunkt	Akteur(e)
Modul A1: Herkunft des Holzes und Transportstrecke zum Lieferanten: Auswahl von Lieferanten, die bei Bezug von Rohstoffen auf Regionalität achten	form.bar
Modul A1: Einsatz von Recyclingmaterial: Auswahl von Holzwerkstoffen, die (zumindest teilweise) aus Rezyklat bestehen	form.bar
Modul A1: Alternative zu Melaminharz finden	form.bar
Modul A2: Transportstrecke zum Hersteller möglichst kurzhalten: Auswahl von Lieferanten, die in der Nähe zum Schreinereibetrieb sind	form.bar
Modul A3: Strom für Produktion des Regals: Strommix verbessern; auch aufgrund des höheren Energieverbrauchs des form.bar Regals	form.bar, Schreinerei
Modul A4(-2): Transport des Regals zur Kundschaft: möglichst kurz halten, Wahl des Transportmittels entscheidend	form.bar, Schreinerei, Kundschaft
Lebenslange Garantie und Reparatur	form.bar
Informationen über problematische Inhaltsstoffe bereitstellen	form.bar

Neben den Verbesserungspotenzialen, die die ökobilanzielle Untersuchung ergeben hat, erscheint es auch sinnvoll, das Konzept der lokalen Fertigung an sich zu stärken. Das Produktsystem 1 ist aufgrund der Nähe zur Kundschaft klarer „Gewinner“ der ökobilanziellen Untersuchung. Deshalb empfiehlt es sich, solche Konzepte auszubauen und Konsumenten dazu zu bewegen, diese zu nutzen. Nur so kann ein Wandel von der „Nische zum Mainstream“ gelingen. Deshalb erfolgt in Abschnitt 6.2.4 auch eine Analyse der Anreize und Hemmnisse der potenziellen Nutzenden.

## 6.2 Beiträge der Akteure im Soll-Zustand und Anreize und Hemmnisse

Um die Umweltauswirkungen weiter zu reduzieren, müssen die einzelnen Akteure bestimmte Veränderungen in die Wege leiten. Die einzelnen Abschnitte beschreiben, was die Akteure tun müssten und analysieren jeweils Anreize und Hemmnisse.

### 6.2.1 *form.bar*

Der Akteur *form.bar* kann vor allem an der Auswahl der Lieferanten ansetzen (Module A1 und A2) und sich mit einer Alternative zu Melaminharz auseinandersetzen. Außerdem könnte *form.bar* für eine möglichst lange Lebensdauer des Regals eine lebenslange Garantie, Reparatur und Rücknahme anbieten sowie Informationen über problematische Inhaltsstoffe bereitstellen. In einem Gespräch präsentierte die Autorin die Verbesserungsvorschläge und befragte *form.bar* nach den Anreizen und Hemmnissen. Die Ergebnisse finden sich in den folgenden Abschnitten.

#### 6.2.1.1 *Auswahl der Lieferanten*

Bei der Auswahl der Lieferanten ergeben sich folgende Verbesserungspotenziale:

- Lieferanten, die in Deutschland produzieren
- Lieferanten, die ihre Rohstoffe/Vorprodukte möglichst regional beziehen
- Lieferanten, die Holzwerkstoffe aus Rezyklat anbieten

Eine Recherche identifizierte den Lieferanten EGGER<sup>24</sup>, der die ersten drei Kriterien abdeckt. Er produziert in Deutschland, verwendet Sägebeneprodukte aus angrenzendem Sägewerk für die Holzwerkstoffe, hat Kreislaufwirtschaft im Unternehmensleitbild verankert und bietet somit auch Holzwerkstoffe aus Recyclingmaterial an (EGGER, 2020, S. 6).

Aus dem Gespräch mit *form.bar* hat sich Folgendes ergeben: *form.bar* kenne den Lieferanten EGGER bereits und einzelne Holzwerkstoffe der *form.bar* Möbel stammen von diesem Lieferanten. Die Beschaffung von regionalen Materialien entspreche genau der *form.bar*-Philosophie. Bei der Auswahl der Lieferanten achte *form.bar* bis jetzt auf eine FSC-Zertifizierung und darauf, dass die Materialien längerfristig verfügbar seien. Allerdings überlasse *form.bar* in der Regel den Partner-Schreinereien die Wahl der Lieferanten. Mit dem Thema Recyclingmaterialien setze sich *form.bar* ebenfalls bereits auseinander. Möbel aus recycelten PET-Flaschen seien bereits im Sortiment und ein Partner-Schreiner fertige aus Restmaterialien neue Produkte und Ersatzteile („Upcycling“/Wiederverwendung).

Tabelle 21: Anreize und Hemmnisse von *form.bar* - Lieferanten

Anreize	Hemmnisse
Regionale Materialien entsprechen genau dem <i>form.bar</i> Prinzip	In der Regel wählen die Schreinereien die Lieferanten aus
<i>form.bar</i> ist bestrebt stets besser und „nachhaltiger“ zu werden	
Erfahrungen mit Recyclingmaterial sind bereits vorhanden	
(Einzelne) Schreinereien sind ebenfalls offen für das Thema Recycling/Upcycling	

Tabelle 21 zeigt die Anreize und Hemmnisse von *form.bar* für die Wahl von Lieferanten, die die drei oben genannten Kriterien abdecken. Das einzige Hemmnis liegt darin, dass *form.bar*

<sup>24</sup> Webseite: <http://www.egger.com/umwelt> (10.08.2021).

die Lieferanten normalerweise nicht selbst auswählt, sondern die Schreinereien dafür zuständig sind. Gründe dafür sind, dass die Schreinereien teilweise eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit bestimmten Lieferanten haben. Zudem vermutet form.bar, dass die Schreinereien „automatisch“ lokale Lieferanten auswählen. Nichtsdestotrotz macht form.bar Vorschläge für in Frage kommende Lieferanten.

### 6.2.1.2 Alternative zu Melaminharz

Form.bar sollte eine Alternative zu Melaminharz als Beschichtung finden, oder den Einsatz so weit wie möglich reduzieren. Denn Melaminharz schneidet bei der ökobilanziellen Untersuchung mit Blick auf die Treibhausgasemissionen nicht gut ab. Die Recherche nach einer Alternative zu Melaminharz gestaltet sich schwierig. Das Bremer Umweltinstitut hat verschiedene Bindemittel hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen untersucht (siehe Abbildung 18). Die folgende Abbildung zeigt, dass Melamin-Harnstoff-Formaldehydharze (MUF) und Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehydharze (MUPF) in drei Wirkungskategorien deutlich am schlechtesten abschneiden, darunter auch Erderwärmung (GWP). Der formaldehydfreie Leim PMDI liegt meist im mittleren Bereich, besser schneidet jedoch Harnstoff-Formaldehyd ab (UF/UFm) (Bremer Umweltinstitut, 2011, S. 4).

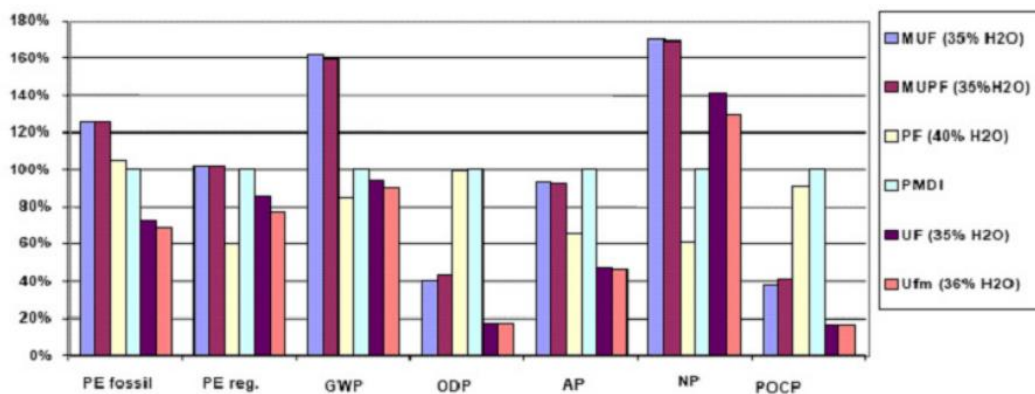


Abbildung 18: Umweltauswirkungen verschiedener Bindemittel

Bildquelle: Bremer Umweltinstitut, 2011, S. 4

Laut dieser Studie ist Harnstoff-Harz im Hinblick auf die Umweltauswirkungen die beste Alternative. Aus dem Gespräch mit form.bar hat sich ergeben, dass sie bis jetzt wenig Erfahrungen mit Harnstoffharz haben, sich aber seit kurzem damit auseinandersetzen. Melaminharz habe die Vorteile, dass es die Möbel gut schützt, weil es sie kratzfest, wasser- und reibungsresistent und somit alltagstauglich mache. Form.bar verfolge immer das Ziel, die bestmögliche Alternative für Mensch und Umwelt zu finden. Deshalb beobachte form.bar immer den aktuellen technologischen Fortschritt. Bei der Auswahl des Bindemittels müsse form.bar grundsätzlich abwägen zwischen den Bedürfnissen der Kunden, Sicherheit und Qualität, und den Aspekten „Nachhaltigkeit“, Verfügbarkeit und Preis. Tabelle 22 zeigt die Anreize und Hemmnisse von form.bar für die Wahl einer Alternative zu Melaminharz.

Tabelle 22: Anreize und Hemmnisse von form.bar – Alternative zu Melaminharz

Anreize	Hemmnisse
Form.bar möchte stets die beste Alternative für Mensch und Umwelt finden	Wenig Erfahrung mit Harnstoffharz
	Melaminharz schützt die Möbel gut und hat sich deshalb durchgesetzt
	Verfügbarkeit, Preis, Qualität und Sicherheit müssen übereinstimmen

Bei diesem Verbesserungsvorschlag überwiegen demnach die Hemmnisse, obgleich die Bereitschaft auch in der Wahl des Bindemittels besser zu werden, vorhanden ist. Abschnitt 6.3 zeigt, wie eine Umstellung gleichwohl gelingen kann.

#### 6.2.1.3 *Lebenslange Garantie, Reparatur und Rücknahme*

Im Sinne einer erweiterten Herstellerverantwortung (EPR), wie sie auch der neue Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft vorschlägt (Europäische Kommission, 2020, S. 15), könnte form.bar eine lebenslange Garantie- und Reparaturleistung sowie Rücknahme anbieten. Form.bar könnte auch im Sinne eines Modells „Produkt als Dienstleistung“ (Europäische Kommission, 2020, S. 5) Eigentümer des Produkts bleiben und somit Verantwortung für den gesamten Lebensweg übernehmen. Dies könnte jedoch bei der Produktgruppe Möbel eher ungeeignet sein, da die Kundschaft dann den Anreiz verliert, pfleglich mit dem Möbelstück umzugehen, da es ja nicht ihr gehört. Für form.bar wäre also unabhängig von der Eigentümerschaft ein System sinnvoll, in welchem form.bar verspricht, dass das Regal lebenslange Garantie hat und der Schreiner es bei Mängeln kostenlos repariert. Dies motiviert die Kundschaft das Regal lange zu behalten und nicht so schnell zum Sperrmüll zu geben. Dazu gehört dann auch die Möglichkeit zur kostenlosen Rückgabe am Ende des (ersten) Lebens des Produkts. Wenn der erste Nutzende das Produkt nicht mehr möchte, kann er es an form.bar, oder noch besser an den Schreinerbetrieb in der Nähe, zurückgeben. Dieser entscheidet dann, ob er das Produkt weiterverkaufen und/oder erneuern kann, oder ob es bereit für ein Recycling ist. Wenn letzteres der Fall ist, sollte der Schreinerbetrieb sicherstellen, dass ein stoffliches Recycling stattfindet. In der EU gibt es bereits eine EPR für Batterien, Fahrzeuge und Elektro- bzw. Elektronikgeräte. Die Mitgliedsstaaten dürfen diese auch auf andere Abfallströme ausweiten, um die Sammlung und Verwertung von Abfällen zu fördern (Art. 8 Abfallrahmenrichtlinie). Eine EPR fördert, dass Hersteller die „Umweltkosten“ entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts zum Marktpreis addieren (Internalisierung), sowie ein „Design for Recycling“, da die Hersteller für die Entsorgung bezahlen müssen. Führt form.bar das Prinzip einer EPR zeitnahe ein, könnte form.bar als „First Mover“ hervorstechen und Wettbewerbsvorteile ausnutzen, falls eine verpflichtende EPR für Möbel in der EU oder in einzelnen Mitgliedsstaaten kommt. Aus dem Gespräch mit form.bar hat sich ergeben, dass form.bar von der guten Qualität seiner Produkte überzeugt ist und somit eine lebenslange Garantie möglich sei. Derzeit sei dies allerdings noch nicht geplant, da es mit unkalkulierbaren Konsequenzen und Kosten verbunden sei, was für ein junges und noch kleines Unternehmen wie der Okinlab GmbH ein großes Risiko darstelle. Die Reparatur, sprich der Ersatz einzelner Möbelteile, sei jedoch immer möglich, da die Daten eines Möbelstücks immer gespeichert bleiben. Hier sei das Stecksystem ohne Schrauben und Klebstoffe ein großer Vorteil (wie auch bereits in Abschnitt 4.7 beschrieben). Bezüglich der Rücknahme sieht form.bar keinen Bedarf, dies komme eher für Standardmöbel in Frage. Möbel von form.bar seien meist exakt an eine bestimmte Raumsituation angepasst und deshalb sehr lange in Nutzung. Ähnlich wie bei einer Einbauküche stellt sich form.bar vor, dass seine Möbelstücke bei einem Mieterwechsel übernommen werden.

Tabelle 23 zeigt die Anreize und Hemmnisse von form.bar für eine EPR.

Tabelle 23: Anreize und Hemmnisse form.bar - EPR

<b>Anreize</b>	<b>Hemmnisse</b>
Lebenslange Garantie ist ein Zeichen für gute Qualität der form.bar Produkte	Unkalkulierbare Kosten
Daten der Möbelstücke ohnehin über langen Zeitraum gespeichert	Unvorhersehbare andere Konsequenzen
Stecksystem gute Voraussetzung für ERP	Okinlab GmbH ist (noch) junges und kleines Unternehmen
	Rücknahme nicht notwendig/sinnvoll

Die Gegenüberstellung zeigt, dass es in etwa gleich viele Anreize und Hemmnisse gibt. Abschnitt 6.3 zeigt, wie die Einführung einer EPR trotz der Hemmnisse gelingen kann.

#### 6.2.1.4 *Bereitstellung von Informationen über problematische Inhaltsstoffe*

Die Befunde aus Abschnitt 4.4 und Abschnitt 4.8 weisen bereits daraufhin, dass form.bar und seine Lieferanten beim Thema problematische Inhaltsstoffe Verbesserungsbedarf haben. Aus dem Gespräch mit form.bar hat sich ergeben, dass form.bar von seinen Lieferanten die technischen Datenblätter aller Holzwerkstoffe erhält und diese auch den Kunden zur Verfügung stellt. Erfahrungsgemäß halte sich das Interesse der Kunden für dieses Thema jedoch in Grenzen. Form.bar sieht hier Aufklärungsbedarf und suche nach Möglichkeiten, wie sie einen entsprechenden Beitrag leisten können, um für mehr Transparenz zu sorgen. Bei der Frage, ob in form.bar Produkten problematische Inhaltsstoffe enthalten sind, sei form.bar auf die Angaben der Lieferanten angewiesen und könne ein Vorhandensein deshalb nicht zu 100 % ausschließen. Dessen ungeachtet laute ihr Versprechen, stets das für Mensch und Umwelt bestmögliche Material einzusetzen. Die Vorgaben aus REACH seien nicht bekannt, aber form.bar werde sich dies anschauen. Als Anreiz sieht form.bar, dass gerade im Bereich problematischer Inhaltsstoffe so viel Transparenz wie möglich sehr wichtig sei und die Kunden dies sicherlich auch honorieren. Tabelle 24 fasst die Anreize und Hemmnisse zusammen.

Tabelle 24: Anreize und Hemmnisse form.bar – problematische Inhaltsstoffe

<b>Anreize</b>	<b>Hemmnisse</b>
Transparenz in diesem Bereich wichtig	Form.bar ist auf Informationen der Lieferanten angewiesen
Kundschaft würde Informationen über problematische Inhaltsstoffe honorieren	Kundschaft zeigt bislang wenig Interesse – Aufklärungsbedarf
	REACH ist nicht bekannt

Die Gegenüberstellung der Anreize und Hemmnisse zeigt, dass die Hemmnisse überwiegen. Abschnitt 6.3 überlegt, wie sich die Hemmnisse überwinden lassen.

## 6.2.2 *form.bar und Schreinerei*

Mit den Schreinereibetrieben gemeinsam kann form.bar am Strommix arbeiten und sich dafür einsetzen, dass der Transport von der Schreinerei zur Kundschaft möglichst kurz ist und mit dem optimalen Transportmittel geschieht.

### 6.2.2.1 *Strommix verbessern*

Den Strommix bei der Herstellung des Regals in ökologischer Hinsicht zu verbessern, kann die Umweltauswirkungen des Regals insgesamt schmälern. Wenn nicht schon geschehen,

sollten die Partnerschreinereien also auf Ökostrom umstellen. Zusätzlich könnten auf dem Dach der Schreinerei, wenn es der Standort zulässt, PV-Anlagen installiert werden. Der Betrieb einer PV-Anlage verursacht keine Treibhausgasemissionen, die Produktion verursacht diese aber natürlich. Die Einsparung durch den Betrieb macht aber die verursachten Emissionen wieder wett. Im Jahr 2020 hat die Nutzung von PV-Anlagen in Deutschland netto 34,9 Mio. Tonnen Treibhausgasemissionen eingespart, wobei Emissionen, die bei der Produktion der PV-Anlagen entstanden sind, bereits berücksichtigt sind (Wirth, 2021, S. 49ff.). Die Kosten für eine PV-Anlage sind in den vergangenen Jahren immer weiter gesunken, oft ist es auch möglich eine Förderung zu erhalten. Für PV-Anlagen, die im Jahr 2021 in Betrieb genommen werden, liegen die Stromgestehungskosten bei etwa 11 ct/kWh (Wirth, 2021, S. 8). Der Ansatz ist auch auf die Lieferanten übertragbar, da die Produktion der Multiplexplatten verhältnismäßig viel Strom verbraucht. Dies liegt jedoch außerhalb des Einflussbereichs von form.bar.

Das Gespräch mit form.bar hat gezeigt, dass einige Partnerschreinereien bereits Ökostrom beziehen, da der Staat dafür Anreize schafft. Form.bar würde es jedoch begrüßen, wenn es weitere Fördermittel gäbe, damit noch mehr Partnerschreinereien auf Ökostrom umstellen. Form.bar könne sich auch vorstellen, Schreinereien mit Ökostrom oder allgemein einem Umweltmanagementsystem im eigenen Vergabesystem zu priorisieren und diese somit verstärkt mit Aufträgen zu versorgen. Für die Schreinereien liege ein Hemmnis darin, dass die Umstellung auf Ökostrom für die meist kleinen Betriebe sehr teuer sei. Form.bar könne es sich vorstellen, gemeinsam mit den Schreinereibetrieben ein Projekt zu starten, mit welchem PV-Anlagen installiert und der benötigte Strom selbst produziert werde. Allerdings sei dies mit viel Aufwand und Koordination verbunden. Ein Anreiz liege darin, dass das große Netzwerk aus Partnern größere Mengen abnimmt und die Preise somit sinken sollten. Tabelle 25 fasst die Anreize und Hemmnisse zusammen.

Tabelle 25: Anreize und Hemmnisse form.bar/Schreinereien - Strommix

<b>Anreize</b>	<b>Hemmnisse</b>
Staatliche Förderungen	Weitere Fördermittel notwendig, da trotzdem noch teuer
Mehr Aufträge für Schreinereien, wenn form.bar sein Vergabesystem entsprechend anpasst	PV-Projekt: Viel (Koordinations-)Aufwand
PV-Projekt: großes Netzwerk an Betrieben, wodurch Preis sinkt (Skaleneffekt)	

Abschnitt 6.3 ordnet diese in eine Roadmap ein und überlegt aufbauend auf den identifizierten Anreizen und Hemmnissen, wie die Maßnahme umsetzbar ist.

#### 6.2.2.2 *Transport zur Kundschaft optimieren*

Form.bar kann den Transport zur Kundschaft optimieren, indem die Entfernung vom Schreinereibetrieb zur Kundschaft möglichst kurz ist. Dafür empfiehlt es sich, das Netzwerk an Partnerschreinereien weiter auszubauen. Zudem lässt sich auch bei der Art der Auslieferung ansetzen. Momentan liefert normalerweise der Schreinereibetrieb das Regal im Kleintransporter auf einer Tour an die Kundschaft aus. Zumindest in Städten wäre aber beispielsweise auch eine Auslieferung mit dem Lastenrad denkbar. In Hamburg bietet form.bar dies sogar schon an. Dafür gibt es einigen Städten auch bereits Lieferdienste per

Lastenrad, wie beispielsweise LieferradDA<sup>25</sup> in Darmstadt. Das ist natürlich nur bis zu einer bestimmten Größe der Bretter eine Option. Eine weitere Idee ist, mit Paketdienstleistern/der Post zu kooperieren. Diese beliefern an einem Tag mehrere Kunden und haben dabei eine feste Route. Wenn Schreinerei und Kundschaft beide auf derselben Route liegen, könnte der Paketdienstleister das Regal beim Schreiner einladen und dann bei der Kundschaft wieder ausladen. Das Gespräch mit form.bar gezeigt, dass form.bar plant das Schreinernetzwerk weiter auszubauen, sowohl national als auch international. Sie wollen immer näher an ihre Kundschaft heranrücken und Wege verkürzen. Dabei sei es stets wichtig, dass die Partner von der form.bar-Mission überzeugt seien und die geforderte Qualität liefern können. Bezüglich der Auslieferung per Lastenrad seien ja bereits Erfahrungen vorhanden, allerdings hänge dies stark von den Schreinereien ab – wie offen diese seien und welche Möglichkeiten sie haben. In urbanen Räumen sei dies natürlich viel besser machbar. Insgesamt steige aber mit steigender Anzahl an Partnerschreinereien auch die Wahrscheinlichkeit, dass Lastenräder zum Einsatz kommen. Form.bar müsse hier Überzeugungsarbeit leisten und konkrete Vorschläge machen. Form.bar habe bereits Partner, die teilweise die Möbelstücke ausliefern. Allerdings haben diese vereinzelt die Möbelstücke beim Transport beschädigt. Deshalb setzte form.bar hier lieber auf eine Auslieferung durch die Schreinereibetriebe (ohne Verpackung). Tabelle 26 fasst die Anreize und Hemmnisse zusammen.

Tabelle 26: Anreize und Hemmnisse form.bar/Schreinereien – Transport zur Kundschaft

<b>Anreize</b>	<b>Hemmnisse</b>
Form.bar möchte immer näher an Kundschaft heran und Wege verkürzen	Partnerschreien müssen von Mission überzeugt sein und gewünschte Qualität liefern
Bereits Erfahrungen mit Auslieferung per Lastenrad	Auslieferung an Kundschaft stark von Schreinerei abhängig – Überzeugungsarbeit und konkrete Vorschläge notwendig
Im urbanen Raum Auslieferung per Lastenrad gut machbar	Möbelstück wird bei Auslieferung durch Partnerunternehmen anstelle durch Schreinereien eher beschädigt

Abschnitt 6.3 ordnet diese Maßnahme aufbauend auf den identifizierten Anreizen und Hemmnissen in eine Roadmap und erarbeitet einen Plan-Do-Check-Act Zyklus ein.

### 6.2.3 *Kundschaft*

Auch die Kundschaft ist dafür verantwortlich, den Transport des Regals von der Schreinerei in die eigenen vier Wände in ökologischer Hinsicht optimal zu gestalten. So könnte Kundschaft, die ein Lastenrad zur Verfügung hat, das Regal selbst abholen. In einigen Städten gibt es außerdem Sharing-Angebote für Lastenräder, wie beispielsweise von Sigo<sup>26</sup>, die die Kundschaft nutzen könnte. Tabelle 27 zeigt mögliche Anreize und Hemmnisse der Kundschaft den Transport zu sich nach Hause möglichst ökologisch zu gestalten.

Tabelle 27: Anreize und Hemmnisse Kundschaft – Transport nach Hause

<b>Anreize</b>	<b>Hemmnisse</b>
Umweltschutz	Bequemlichkeit (mit dem Auto einfacher)

<sup>25</sup> Mehr Infos dazu hier: <https://lieferradda.de/faq-frequently-asked-questions/> (27.07.2021).

<sup>26</sup> Mehr Infos dazu hier: <https://sigo.green/> (27.07.2021).

Durch Kommunikation (Kapitel 7) sind die Hemmnisse abzubauen und die Anreize zu verstärken. Darüber hinaus könnte form.bar Kooperationen mit Sharing-Anbietern für Lastenräder eingehen, und das der Kundschaft dann aktiv anbieten.

#### **6.2.4 *Potenzielle Nutzende***

Potenzielle Nutzende sind von der Kundschaft (Abschnitt 6.2.3) zu unterscheiden. Die Kundschaft hat sich bereits für ein form.bar Regal entschieden und dieses auch bereits gekauft. Potenzielle Nutzende sind potenzielle Kundschaft, die sich noch nicht für ein form.bar Regal entschieden haben. Diese gilt es also davon zu überzeugen, sich für ein lokal gefertigtes, und damit „nachhaltigeres“, anstatt eines industriell gefertigten Regals zu entscheiden, damit es dieser Ansatz „von der Nische zum Mainstream“ schafft. Eventuell wäre der Ansatz einer lokalen Produktion dann auch auf andere Produktgruppen übertragbar („Spill-Over-Effekt“). Zunächst ist es dafür notwendig, die Anreize und Hemmnisse der potenziellen Nutzenden zu analysieren, um danach ein darauf aufbauendes Kommunikationskonzept zu entwickeln.

Eine Studie untersuchte die Handlungsmöglichkeiten und -grenzen von Konsumenten in der Kreislaufwirtschaft. Dafür erfolgte eine empirische Untersuchung der Nutzungsdauer und Obsoleszenz von Gebrauchsgütern in österreichischen Haushalten, anhand einer Online-Befragung (N = 1.009) und persönlicher Interviews (N = 25). Die Studie hat gezeigt, dass sich die Befragten insbesondere bei Möbeln eine lange Haltbarkeit wünschen. Zudem tendieren die Befragten eher zu langlebigen Möbeln, wenn sie längere Zeit am gleichen Ort leben möchten. Den Vorteil einer längeren Nutzungsdauer sehen die Befragten vor allem in der finanziellen Einsparung, da bei Möbeln in der Regel auch keine Kosten für Reparaturen anfallen (Mandl & Tröger, 2020, S. 84-106).

Eine weitere Studie untersuchte die Anreize und Hemmnisse für den Kauf „grüner“, größerer Elektronikprodukte, was mit Möbeln gut vergleichbar ist. Als Kriterien für „grün“ sahen die Befragten zum einen die Umweltperformance des Produkts (Energieverbrauch, Langlebigkeit, Wasserverbrauch), zum anderen die Art der Herstellung des Produkts (Rezyklatanteil, chemische Inhaltsstoffe) sowie die Verfügbarkeit von Secondhand-Angeboten. Als Hemmnisse identifiziert die Studie fehlende Zeit für eine genaue Recherche, den Preis, fehlende Informationen zur Umweltperformance eines Produkts und einen zu hohen kognitiven Aufwand. Letzteres ist relevant, da Nutzende Elektronikprodukte und auch Möbel oft kaufen, wenn sie umziehen. Es ist anzunehmen, dass während des meist stressigen Umzugs wenig Motivation besteht, Aufwand für die Recherche nach „grünen“ Produkten zu betreiben. Zusätzlich ist der Kauf solcher Produkte sowieso schon kognitiv anspruchsvoller als der Kauf alltäglicher Produkte. Deshalb kamen Sriram und Forman (1993; zitiert nach Young, Hwang, McDonald, & Oates, 2010, S. 26) auch zu dem Schluss, dass Konsumenten bei gut überlegten, teureren Anschaffungen weniger Wert auf Umweltfaktoren legen als bei alltäglichen Produkten. Ein weiteres Hemmnis ist die Priorisierung anderer, nicht-grüner, Kriterien, wie Preis, Marke, Aussehen, kostenlose Lieferung etc. Als Anreiz definiert die Studie „grüne“ Zertifizierungen oder Labels. Diese reduzieren den kognitiven Aufwand und die Konsumenten verlassen sich auf ihre Richtigkeit. Ein weiterer Anreiz ist die Verfügbarkeit „grüner“ Produkte dort, wo die Konsumenten auch normalerweise einkaufen. Ein dritter Anreiz ist ein schlechtes Gewissen beim Kauf „nicht-grüner“ Produkte (Young, Hwang, McDonald, & Oates, 2010, S. 25-30). Tabelle 28 fasst die Anreize und Hemmnisse der potenziellen Nutzenden für den Kauf eines „nachhaltigen“ lokal gefertigten Möbelstücks anstatt eines industriell gefertigten Möbelstücks zusammen.

Tabelle 28: Anreize und Hemmnisse potenziell Nutzender – „nachhaltiger“ Kauf

Anreize	Hemmnisse
„Grüne“ Zertifizierungen, Labels	Fehlende Zeit für genauen Research
Verfügbarkeit in der Nähe, bequemer Einkauf	Preis
Schlechtes Gewissen	Fehlende Informationen zur Umweltperformance
	Hoher kognitiver Aufwand
	Priorisierung anderer, „nicht-grüner“, Kriterien, bspw. Aussehen, Marke, Lieferkosten

Um die Hemmnisse der potenziellen Nutzenden zu verkleinern und die Anreize zu stärken, erarbeitet Kapitel 7 ein Kommunikationskonzept.

### 6.3 Umsetzung der Verbesserungsstrategien als KVP

Dieser Abschnitt bezieht sich auf den Akteur form.bar und auf die Schreinereien (Abschnitte 6.2.1 und 6.2.2). Es empfiehlt sich, die erarbeiteten Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) umzusetzen. Der KVP ist Bestandteil der EU-EMAS-Verordnung<sup>27</sup> und der ISO 14001 für Umweltmanagement. EMAS zielt darauf ab, eine kontinuierliche Verbesserung „der Umweltleistung von Organisationen zu fördern, indem die Organisationen Umweltmanagementsysteme errichten und anwenden, die Leistung dieser Systeme einer systematischen, objektiven und regelmäßigen Bewertung unterzogen wird, Informationen über die Umweltleistung vorgelegt werden, ein offener Dialog mit der Öffentlichkeit und anderen interessierten Kreisen geführt wird und die Arbeitnehmer der Organisationen aktiv beteiligt werden und eine angemessene Schulung erhalten“ (Art. 1 EMAS-VO). Unternehmen, die sich nach EMAS zertifizieren lassen wollen, müssen über ein Umweltmanagementsystem verfügen, welches die Ergebnisse einer initialen Umweltprüfung berücksichtigt (Art. 4 Abs. 1 a)+b) EMAS-VO). Die Umweltprüfung sieht vor, direkte oder indirekte Umweltaspekte mit positiven oder negativen Umweltauswirkungen zur ermitteln und deren Bedeutung zu bestimmen. Die Organisation muss dabei diejenigen Lebenswegabschnitte berücksichtigen, die sie unmittelbar beeinflussen kann (direkte Umweltaspekte) oder über Dritte beeinflussen kann (indirekte Umweltaspekte). Viele der in der EMAS-VO genannten Umweltaspekte sind durch die ökobilanzielle Untersuchung in Kapitel 3 abgedeckt (Anhang I, EMAS-VO). Das entwickelte Umweltmanagementsystem muss die Organisation dann fortlaufend verbessern, wie es auch in der ISO 14001 beschrieben ist. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess durchläuft einen iterativen Prozess von Planen-Durchführen-Prüfen-Handeln (PDCA, engl.: Plan-Do-Check-Act):

- „Planen: erforderliche Umweltziele und Prozesse werden festgelegt, um Ergebnisse in Übereinstimmung mit der Umweltpolitik der Organisation zu erhalten;
- Durchführen: die Prozesse werden wie geplant verwirklicht;

<sup>27</sup> VERORDNUNG (EG) Nr. 1221/2009 vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 761/2001, sowie der Beschlüsse der Kommission 2001/681/EG und 2006/193/EG.

- Prüfen: die Prozesse werden überwacht und an der Umweltpolitik, einschließlich ihrer Verpflichtungen, Umweltziele sowie Ablaufkriterien gemessen und die Ergebnisse berichtet;
- Handeln: Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung werden ergriffen“ (DIN ISO 14001:2015, Abschnitt 0.4).

Form.bar könnte eine Zertifizierung nach EMAS oder ISO 14001 anstreben, oder sich unabhängig davon einem KVP durch PDCA „verpflichten“. Abbildung 19 stellt eine mögliche Roadmap vor. Die Roadmap orientiert sich an der Projektpriorisierung nach Windolph (2017). Demnach lassen sich Aufgabenpakete nach ihrer erwarteten Wirkung (X-Achse) und ihrem Aufwand (Y-Achse) priorisieren. Die erwartete Wirkung bezieht sich in diesem Fall auf die erwartete Reduzierung der Umweltauswirkungen. Die „Low hanging fruits“ sind solche Veränderungen, die einen geringen Aufwand, aber auch eine geringe erwartete Wirkung aufweisen. Die „Quick wins“ bringen einen geringen Aufwand mit sich und trotzdem eine große erwartete Wirkung. Die „Must haves“ sind zwar aufwändig, haben dafür aber auch eine große erwartete Wirkung. Die „Money pits“ bringen viel Aufwand mit sich und haben trotzdem nur eine kleine erwartete Wirkung (Windolph, 2017).

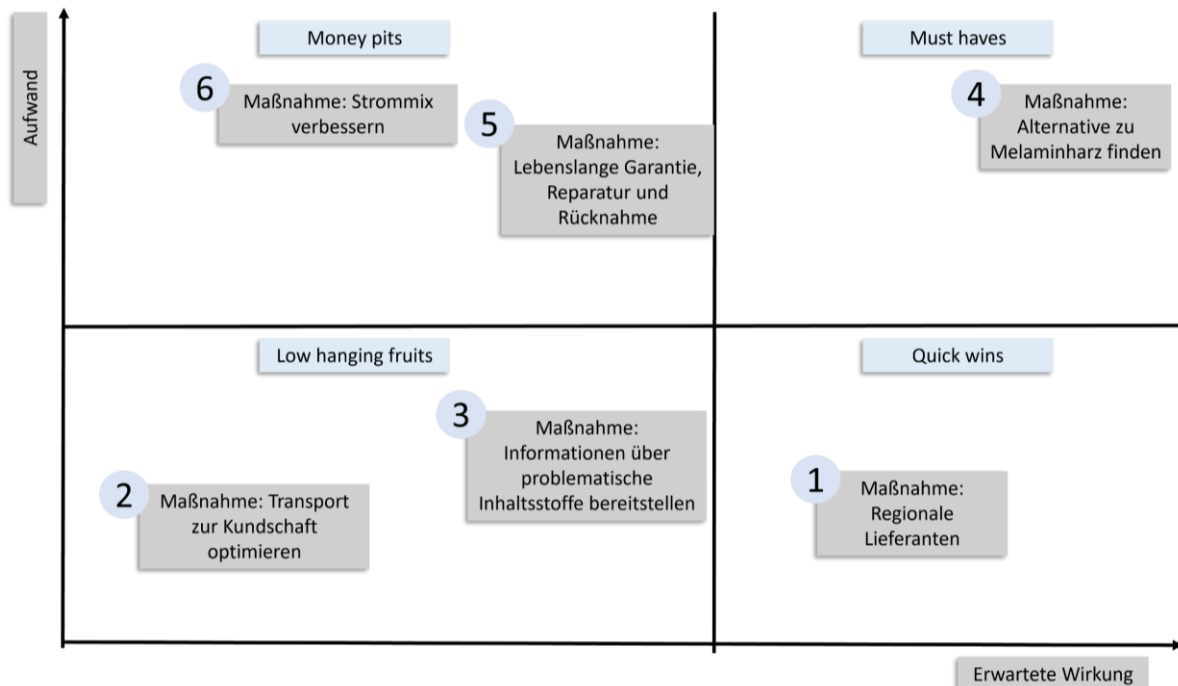


Abbildung 19: Roadmap – Einordnung der Gestaltungsoptionen nach Aufwand und Wirkung

Bildquelle: eigene Darstellung

Es empfiehlt sich mit den Quick wins zu starten. Hier lässt sich als erste umzusetzende Maßnahme die Auswahl regionaler Lieferanten (*Plan*) einordnen. Die erwartete Wirkung ist groß, da sie beim Modul A2 ansetzt, welches 25,77 % der Treibhausgasemission verursacht (siehe Abbildung 15), und der Aufwand klein. Zudem überwiegen die Anreize, das einzige Hemmnis ist, dass form.bar die Lieferanten normalerweise nicht selbst aussucht. Die Gestaltungsoption liegt also darin, dass form.bar eine Reihe an geeigneten Lieferanten identifiziert und diese den Partnerschreinereien empfiehlt. Dafür sollte form.bar die Schreinereien befragen, was ihnen bei der Auswahl der Lieferanten wichtig ist, um diese

Aspekte entsprechend in den Empfehlungen zu berücksichtigen. Form.bar sollte auch auf die Relevanz der regionalen Beschaffung hinweisen. Darüber hinaus könnte form.bar eine Servicefunktion anbieten und die Absprache mit Lieferanten und Bestellung der Holzwerkstoffe komplett für die Schreinereien übernehmen (*Do*). Im nächsten Schritt sollten die Schreinereien die empfohlenen/ausgewählten Lieferanten testen und ihre Erfahrungen schildern (*Check*). Lieferanten, die positiv abschneiden, bleiben auf der Empfehlungsliste von form.bar. Lieferanten, die negativ abschneiden, sind beim nächsten Mal nicht mehr zu empfehlen und es sind Alternativen zu finden (*Act*).

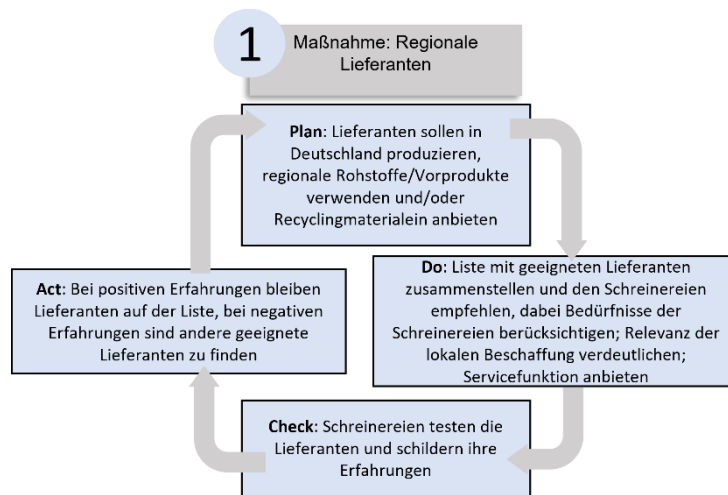


Abbildung 20: PDCA-Zyklus Maßnahme 1

Bildquelle: eigene Darstellung

Als nächstes sind die Low hanging fruits an der Reihe. Hier empfiehlt es sich als zweite Maßnahme den Transport zur Kundschaft zu optimieren. Diese Maßnahme ist als nicht sehr aufwändig bewertet, da form.bar ohnehin plant, das Schreinernetzwerk auszubauen (*Plan*). Die erwartete Wirkung ist klein, da der Transport zur Kundschaft aufgrund des form.bar Konzepts schon relativ „ökologisch“ gestaltet ist (verursacht 4,95 % der Treibhausgasemissionen, siehe Abbildung 15). Verbesserungspotenzial gibt es dennoch. Um die identifizierten Hemmnisse zu überwinden, muss es gelingen, möglichst viele Partnerschreinereien von der Relevanz der Auslieferung zur Kundschaft zu überzeugen. Darauf aufbauend kann form.bar mit ihnen gemeinsam Auslieferungskonzepte entwerfen und umsetzen (*Do*). Im Zeitverlauf sollte form.bar Rücksprache mit den Partnerschreinereien halten und evaluieren, wie die Auslieferung zur Kundschaft läuft. Die Schreinereien könnten dokumentieren, wie viele Kilometer sie mit welchem Transportmittel zurücklegen und wie viele Regale sie dabei ausliefern (*Check*). Daraufhin weiß form.bar, ob sie noch mehr Partnerschreinereien brauchen und kann diesen Best Practice Beispiele vorlegen (*Act*).

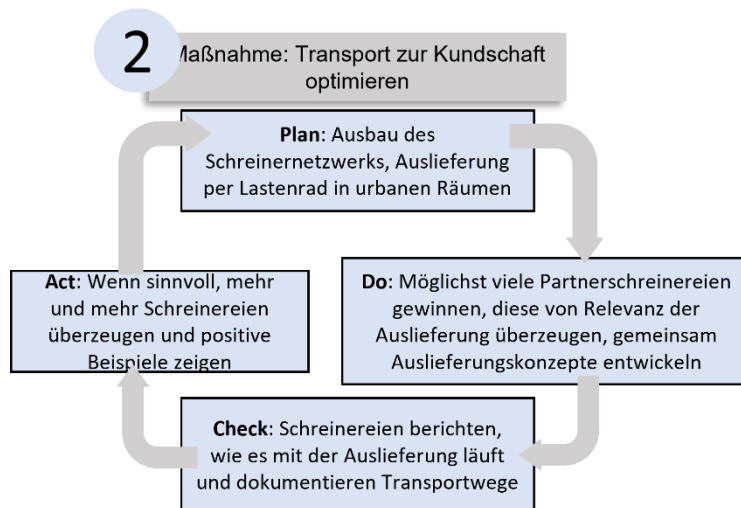


Abbildung 21: PDCA-Zyklus Maßnahme 2

Bildquelle: eigene Darstellung

Als dritte Maßnahme sollte form.bar Informationen über problematische Inhaltsstoffe beschaffen und bereitstellen. Hier ist der Aufwand größer als bei der zweiten Maßnahme, dafür aber auch die erwartete Wirkung. Für jedes Produkt sollte form.bar wissen, ob problematische Inhaltsstoffe enthalten sind (*Plan*). Hemmnisse bestehen darin, dass form.bar auf die Information der Lieferanten angewiesen ist und die (potenziellen) Nutzenden noch wenig Bewusstsein für dieses Thema haben. Deshalb empfiehlt es sich sowohl bei den Lieferanten als auch bei den Konsumenten Aufklärungsarbeit zu leisten und sie über ihre Rechte und Pflichten zu informieren. Um die benötigten Informationen von den Lieferanten zu bekommen, können form.bar und die Schreinereien Pilot-Unternehmen im LIFE AskREACH Projekt werden, um ein entsprechendes IT-Instrument zu verwenden und eine Full Material Declaration (FMD) anzufordern (*Do*) (sofia, 2020). Als Kontrollinstrument kann form.bar Holzwerkstoffe stichprobenartig auf problematische Inhaltsstoffe testen lassen und die Ergebnisse dann mit den Angaben der Lieferanten vergleichen (*Check*). Im nächsten Schritt sollte form.bar die Auswahl bzw. Empfehlung von Lieferanten davon abhängig machen, ob sie eine (wahrheitsgemäße) FMD zur Verfügung stellen können und ob problematische Inhaltsstoffe in ihren Produkten enthalten sind (*Act*).

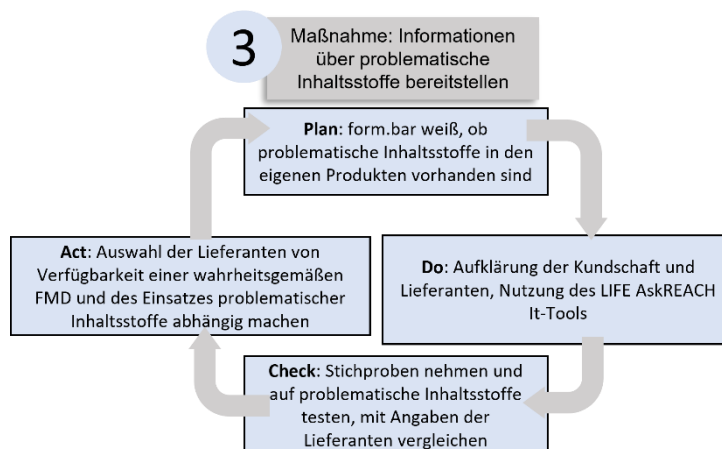


Abbildung 22: PDCA-Zyklus Maßnahme 3

Bildquelle: eigene Darstellung

Die nächste Kategorie sind die Must haves. Hier lässt sich als vierte Maßnahme die Suche nach einer Alternative zu Melaminharz nennen. Hier ist der Aufwand hoch, dafür aber auch die erwartete Wirkung, da das Melaminharz einen großen Anteil der Treibhausgasemissionen ausmacht (Abschnitt 3.5.3). Hemmnisse bestehen darin, dass form.bar wenig Erfahrungen mit anderen Bindemitteln hat und Melaminharz viele wichtige Anforderungen erfüllt. Die Alternative sollte weniger Auswirkungen auf die Umwelt haben und trotzdem den Qualitätsansprüchen genügen. Deshalb sollte form.bar Kriterien festlegen, die eine mögliche Alternative erfüllen muss (*Plan*). Um geeignete Alternativen zu finden, sollte form.bar stets die aktuelle Forschung beobachten. Womöglich ist es sinnvoll, ein Forschungsprojekt gemeinsam mit einer wissenschaftlichen Institution zu starten. Parallel sollte form.bar verschiedene Alternativen, wie Harnstoffharz, ausprobieren (*Do*). Als nächsten Schritt sind die getesteten Alternativen dann anhand der festgelegten Kriterien zu bewerten (*Check*). Erfüllt eine Alternative alle Kriterien, kann sie vermehrt zum Einsatz kommen. Falls keine Alternative vollständig geeignet scheint, muss form.bar weitersuchen (*Act*).

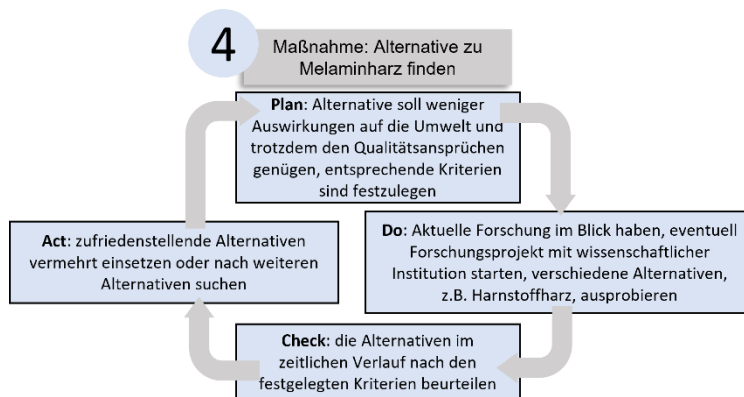


Abbildung 23: PDCA-Zyklus Maßnahme 4

Bildquelle: eigene Darstellung

Die letzte Kategorie der Money pits beinhaltet zwei weitere Maßnahmen. Als fünfte Maßnahme kann form.bar im Sinne einer EPR eine lebenslange Garantie, Reparatur und Rücknahme einführen (*Plan*). Der Aufwand ist hier mit hoch zu bewerten und die erwartete Wirkung mittelmäßig. Hemmnisse liegen darin, dass diese Maßnahme mit unvorhersehbaren Kosten und anderen Konsequenzen einhergeht. Als junges Unternehmen sieht sich form.bar diesen noch nicht gewachsen. Deshalb kann form.bar mit einzelnen ausgewählten Produkten starten und für diese eine lebenslange Garantie anbieten (*Do*). Nach einigen Jahren lässt sich dann eine Bilanz ziehen (*Check*). Aufgrund der gemachten Erfahrungen kann form.bar entscheiden, ob die Maßnahme auf alle Produkte auszuweiten ist (*Act*).

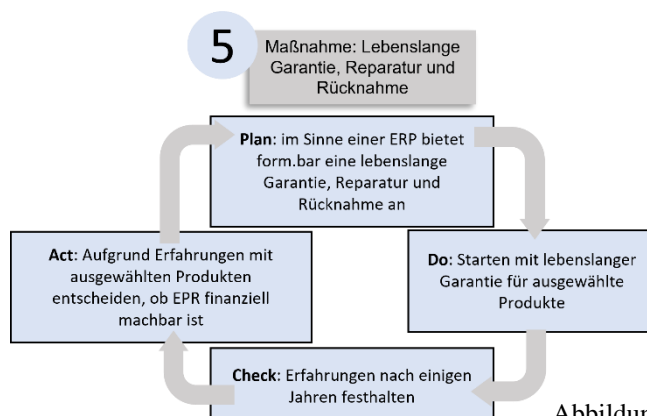


Abbildung 24: PDCA-Zyklus Maßnahme 5

Bildquelle: eigene Darstellung

Die sechste Maßnahme ist die Verbesserung des Strommixes der Schreinereien. Diese Maßnahme bringt viel Aufwand mit sich und eine vergleichsweise kleine erwartete Wirkung (Strom zur Herstellung des Regals beim Schreiner macht 9,27 % der Treibhausgasemissionen aus, siehe Abbildung 15). Geplant ist hier, die Schreinereien auf Ökostrom umzustellen und zusätzlich PV-Anlagen zu installieren (*Plan*). Hemmnisse sind hier die Kosten bzw. nicht genügend Fördermittel sowie der Koordinationsaufwand. Ein Anreiz für die Schreinereien kann aber sein, dass form.bar sein Vergabesystem so anpasst, dass Schreinereien mit Ökostrom bevorzugt Aufträge erhalten. form.bar und die Schreinereien sollten außerdem jeweils überprüfen, ob der Wechsel zu Ökostrom wirklich mehr Kosten verursacht, da Ökostrom meist gar nicht teurer als konventioneller Strom ist (Hildebrandt & Silber, 2020, S. 255). Zudem kann form.bar mit ersten „Pilotschreinereien“ PV-Anlagen installieren (*Do*). Im Verlauf der Zeit lässt sich dann absehen, ob sich der Aufwand und die Kosten für die PV-Anlage rentieren (*Check*). Wenn dies der Fall ist, ist die Maßnahme auf weitere Schreinereien auszuweiten (*Act*).

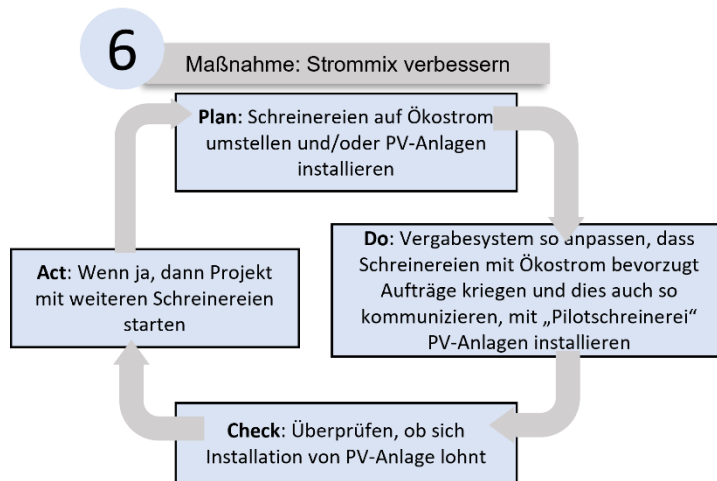


Abbildung 25: PDCA-Zyklus Maßnahme 6

Bildquelle: eigene Darstellung

## 7 Kommunikationskonzept

Eine geeignete Kommunikation soll potenzielle Kunden gewinnen, indem sie sie von den Vorteilen einer lokalen Fertigung überzeugt. Abschnitt 7.1 wirft einen Blick auf den aktuellen Forschungsstand zu geeigneten Kommunikationsinhalten, Abschnitt 7.2 erarbeitet zentrale Bausteine für ein Kommunikationskonzept, darunter die Definition der Zielgruppe (Abschnitt 7.2.1) und Vergleichswerte für ausgewählte Wirkungskategorien (Abschnitt 7.2.2), Abschnitt 7.3 beinhaltet konkrete Beispiele zur Umsetzung und Abschnitt 7.4 gibt einen Ausblick auf den elektronischen Produktpass.

### 7.1 Forschungsstand zu geeigneten Kommunikationsinhalten

Zunächst ist zu klären, welche Inhalte einer ökobilanziellen Untersuchung wie an die potenzielle Kundschaft zu kommunizieren sind. Dafür wirft die Studie einen Blick in bisherige Erkenntnisse aus anderen Studien.

Von 2013 bis 2016 lief in der EU eine Pilotphase zum Thema ökologischer Fußabdruck (Product Environmental Footprint, PEF). Hauptziel des Projekts ist, eine harmonisierte Methode zur Berechnung des ökologischen Fußabdrucks von Produkten und Organisationen

zu entwickeln (Europäische Kommission, o. J. a). Zu dem Projekt gehörten auch Studien zum Thema Kommunikation des ökologischen Fußabdrucks eines Produkts. Die Studien zeigen, dass die Mehrheit der Europäer sich Gedanken über „Nachhaltigkeit“ macht und sich verpflichtet fühlt, zukünftige Generationen zu schützen. Sie sind daran interessiert, Informationen über die Umweltauswirkungen von Produkten zu erhalten, jedoch sind zum Beispiel Preis und Qualität meist wichtigere Kriterien bei der Kaufentscheidung. Situationen, in denen Angaben zu Umweltauswirkungen eines Produkts Hauptargument für oder gegen eine Kaufentscheidung sind, sind die folgenden:

- Wenn zwei Produkte den gleichen Preis haben
- Wenn Produkte sehr groß, langlebig oder teuer sind
- Wenn die Produkte sich auf die eigene Gesundheit oder die Gesundheit der Kinder auswirken (European Commission, 2018, S. 166).

Die Studien zeigen, dass manche Umweltwirkungskategorien unverständlich für Konsumenten sind, darunter zum Beispiel Versauerung, terrestrische Eutrophierung und Ökotoxizität. Zudem verstehen sie nicht den Zusammenhang zwischen dem Produkt und beispielsweise terrestrischer Eutrophierung. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Studien sollten Kommunikationskonzepte (European Commission, 2018, S. 10-11) die folgenden Aspekte berücksichtigen:

- Klarheit, Einfachheit und Nachvollziehbarkeit
- Numerische und wissenschaftliche Begriffe (zum Beispiel kg CO<sub>2</sub>-äq.) vermeiden
- Diagramme und Farben verwenden
- Leicht verständliche Label nachahmen, wie zum Beispiel das Ampelprinzip („besser“, „durchschnittlich“ und „schlechter“ mit Ampelfarben symbolisiert)
- Zertifizierungen aus vertraulichen Quellen nutzen
- Detaillierte Informationen für Interessierte bereitstellen, beispielsweise über einen QR-Code

Zudem gilt es „information overload“ zu vermeiden. Die Konsumenten gaben an, dass drei Midpoint-Indikatoren ausreichen. Die restlichen sollten jedoch durch einen QR-Code oder ähnliches zugänglich sein. Bezüglich der Wirksamkeit von negativ formulierten im Vergleich zu positiv formulierten Statements gab es widersprüchliche Ergebnisse. Die Angabe des PEF eines Produkts war wirksamer als die Kennzeichnung mit dem EU Ecolabel und auch wirksamer als die Angabe des EU Ecolabels gemeinsam mit dem PEF. Vier von zehn Konsumenten sind bereit, etwas mehr für ökologisch „nachhaltigere“ Produkte zu bezahlen. Als vertrauenserweckende Quellen sehen die Konsumenten die Europäische Kommission und auch Verbraucherschutzorganisationen (European Commission, 2018, S. 167).

Eine andere Studie fand heraus, dass Informationen aus Ökobilanzen im Marketing die Glaubwürdigkeit von „Nachhaltigkeit“ erhöhen können und auch die Kaufabsicht positiv beeinflussen können. Gerade bei einer umweltbewussten Zielgruppe sind solche Marketingmaßnahmen effektiver als nur funktionale Beschreibungen des Produkts. Zudem übertragen Konsumenten die Komplexität einer Anzeige positiv auf das kommunizierende Unternehmen, da es zeigt, dass das Unternehmen sich auskennt und transparent ist. Die Glaubwürdigkeit beeinflusst „in starkem Maße die Einstellung der Käufer gegenüber der Anzeige, der Marke, dem Unternehmen und ihre Absicht, das zu bewertende Produkt zu kaufen, auf positive Weise“ (Molina-Murillo & Smith, 2009, S. 185).

Beim Thema Kommunikation gilt es stets zu beachten, wer die Zielgruppe ist, um auf diese zugeschnitten zu kommunizieren (siehe Abschnitt 7.2.1). Außerdem empfiehlt es sich bei Klimakommunikation Frames und Narrative zu nutzen, wie beispielsweise ein Bezug zur eigenen Heimat. Auch Solidarität oder eine „Enkeltauglichkeit“ hervorzuheben, kann überzeugend sein. Eine gute Klimakommunikation hat einen lokalen Bezug, ist lebendig und anschaulich. Sie stellt Bezüge zum Alltag her und gibt anschauliche Beispiele (Schäfer, 2021, S. 14). Eine Studie aus Finnland hat beispielsweise verschiedene anschauliche Benchmarks zur besseren Einordnung der Ergebnisse aus der Ökobilanz erstellt (Nissinen, et al., 2007, S. 545). Es empfiehlt sich zudem lösungsorientiert zu kommunizieren und gezielt Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Um für Abwechslung zu sorgen sind Diagramme, Infografiken und Bilder gut geeignet. Es kann auch helfen glaubwürdige „Zeugen“ sprechen zu lassen, die nicht aus der Wissenschaft kommen, sondern „ganz normale Menschen, wie du und ich“ sind. Eventuell eignen sich dafür auch bekannte Persönlichkeiten, die als Testimonials auftreten. All dies vermittelt den Eindruck eines breiten Konsens. Wirksam kann auch eine faktenbasierte Geschichte sein, sogenanntes Storytelling, welche Emotionen weckt (Schäfer, 2021, S. 13f.).

Zusammenfassend ergeben sich aus der Literaturrecherche folgende Kriterien, die ein Kommunikationskonzept zu beachten hat:

- Klarheit, Einfachheit und Nachvollziehbarkeit (European Commission, 2018, S. 10-11)
- Diagramme und Farben verwenden (European Commission, 2018, S. 10-11)
- Leicht verständliche Label nachahmen, wie zum Beispiel das Ampelprinzip („besser“, „durchschnittlich“ und „schlechter“ mit Ampelfarben symbolisiert) (European Commission, 2018, S. 10-11)
- Bezüge zum Alltag und anschauliche Beispiele (Schäfer, 2021, S. 14)
- Diagramme, Infografiken und Bilder eignen sich gut (Schäfer, 2021, S. 13)
- Lösungsorientiert kommunizieren und gezielt Handlungsmöglichkeiten aufzeigen (Schäfer, 2021, S. 14)
- Numerische und wissenschaftliche Begriffe (zum Beispiel kg CO<sub>2</sub>-äq.) vermeiden (European Commission, 2018, S. 10-11)
- Frames und Narrative nutzen, wie beispielsweise ein Bezug zur eigenen Heimat (Schäfer, 2021, S. 11)
- Solidarität oder eine „Enkeltauglichkeit“ hervorheben (Schäfer, 2021, S. 11)
- Glaubwürdige „Zeugen“ sprechen lassen, die nicht aus der Wissenschaft kommen, sondern „ganz normale Menschen, wie du und ich“ sind (Schäfer, 2021, S. 13)
- Bekannte Persönlichkeiten, die als Testimonials auftreten, sprechen lassen (Schäfer, 2021, S. 13)
- Eine faktenbasierte Geschichte, welche Emotionen weckt, verwenden (Schäfer, 2021, S. 13f.)
- Detaillierte Informationen für Interessierte bereitstellen, beispielsweise über einen QR-Code (European Commission, 2018, S. 10-11)

Die konkreten Beispiele in den Abschnitten 7.3.1 und 7.3.2 orientieren sich an diesen Kriterien.

## 7.2 Bausteine für ein Kommunikationskonzept

Ausgangspunkt für eine gelungene Kommunikation ist die Zielgruppe, welche Abschnitt 7.2.1 definiert. Abschnitt 7.2.2 identifiziert Vergleichswerte, um eine bessere Nachvollziehbarkeit der Umweltauswirkungen zu erreichen. Darauf aufbauend entwickelt Abschnitt 7.3 dann konkrete Beispiele.

### 7.2.1 Zielgruppe

Wie in Abschnitt 7.1 erwähnt, sollte man sich beim Thema Kommunikation immer der Zielgruppe bewusst sein. Zu klären ist daher die Frage, welche Zielgruppe für form.bar besonders relevant ist. Das Stufenmodell der selbstregulierten Verhaltensänderung (SSBC) untersucht, wie Akteure dazu ermutigt werden können, ihr gegenwärtiges Verhalten zu ändern und sich umweltfreundlicheren Alternativen anzupassen (Bamberg, 2013; zitiert nach Eisen et al., 2019). Es versucht Antworten auf die folgenden Fragen zu finden:

- Was motiviert eine Person dazu, ihr gegenwärtiges Verhalten kritisch zu überdenken?
- Wie entsteht und verwandelt sich eine Absicht, etwas zu ändern, in eine konkrete Strategie?
- Wie können Individuen Probleme bei der Umsetzung ihrer gewählten Strategie überwinden?

Dabei konzentriert sich das Modell auf die dynamischen und zeitlichen Aspekte von Verhaltensänderungen. Es beschreibt den Verlauf einer Verhaltensänderung hin zu einem umweltfreundlicherem Verhalten in vier Stufen. Diese sind jeweils gekennzeichnet durch spezifische Absichten und beeinflusst durch psychologische Variablen. Das SSBC hilft also dabei, individuelle Verhaltensänderungen im Bereich des umweltfreundlichen Verhaltens zu verstehen, relevante Einflussfaktoren zu identifizieren und wirksame Interventionen zur Verhaltensänderung zu entwerfen, die auf das Stadium der Veränderung einer Person zugeschnitten sind (Eisen, et al., 2019). Abbildung 26 zeigt das Modell und die vier Stufen.

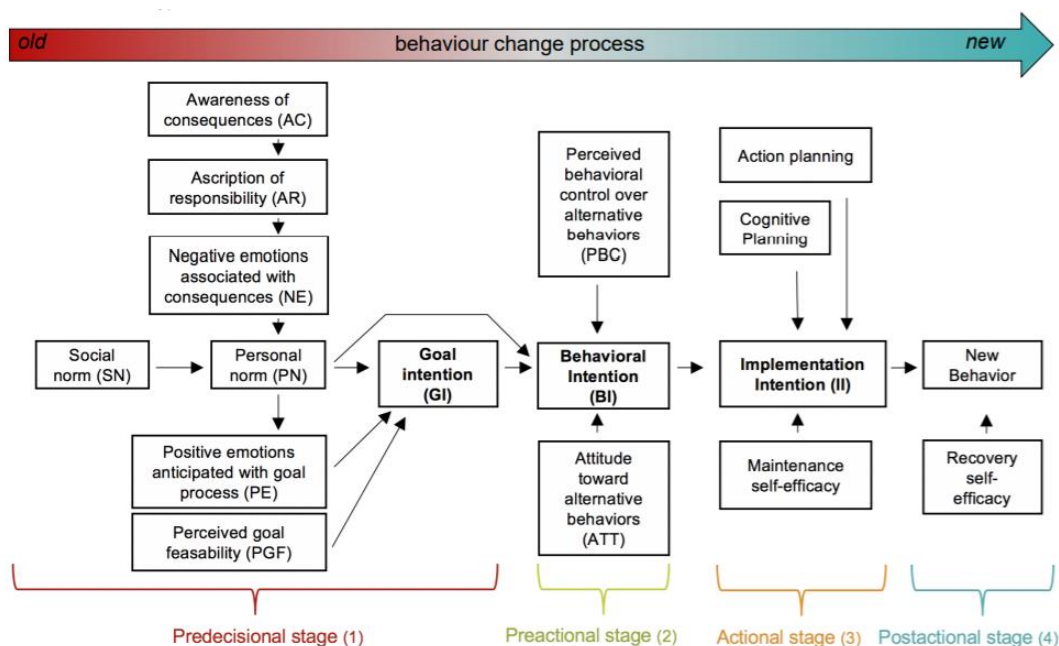


Abbildung 26: Das SSBC und seine vier Stufen

Bildquelle: Eisen, et al., 2019

Im vorliegenden Fall ist das neue, umweltfreundlichere Verhalten der Kauf eines „nachhaltigeren“ Möbelstücks anstelle eines industriell gefertigtem aus dem Möbelhaus. Für eine Kommunikation der ökobilanziellen Ergebnisse sind potenzielle Nutzende auf der „Preactional Stage“ und auf der „Actional Stage“ relevant für form.bar.

Potenzielle Nutzende auf der Preactional Stage haben bereits die Absicht ihr Verhalten zu ändern, wissen aber noch nicht genau, wie sie dieses Ziel erreichen können. Einflussfaktoren auf der Preactional Stage sind die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und die Einstellung zum neuen Verhalten. Diese lassen sich wie folgt operationalisieren (Keller, Köhler, Eisen, Kleihauer, & Hanss, o. J., S. 40f.):

- Es wäre leicht für mich, ein „nachhaltigeres“ Möbelstück zu kaufen.
- Ein „nachhaltigeres“ Möbelstück zu kaufen, ist gut.

Potenzielle Nutzende auf der Actional Stage sind noch einen Schritt weiter: Sie möchten ihr Verhalten ändern und wissen auch schon, wie sie dies tun können, haben aber noch nicht damit angefangen (Keller, Köhler, Eisen, Kleihauer, & Hanss, o. J., S. 38). Einflussfaktoren auf dieser Stufe sind die Fähigkeit Strategien zur Überwindung von Hindernissen abzuleiten (Cognitive Planning), die Fähigkeit konkrete Schritte zur Umsetzung zu planen (Action Planning) sowie die Fähigkeit schwieriges Verhalten aufrechtzuerhalten (Schwarzer, 2008; zitiert nach Keller et al., o. J., S. 8). Diese lassen sich zur Operationalisierung zu einer Variable zusammenfassen (Planning Ability, Keller et al., o. J., S. 9 & 42):

- Ich weiß, wie ich trotz potenzieller Hindernisse (z. B. wenig Zeit während der stressigen Umzugsphase), ein „nachhaltigeres“ Möbelstück kaufen kann.

Nutzende auf der „Postactional Stage“ üben das gewünschte „umweltfreundlichere“ Verhalten bereits aus, auf dieser Stufe befindet sich die Kundschaft von form.bar. Auf dieser Stufe gibt es keine neuen Einflussfaktoren. Nutzende auf dieser Stufe müssen das neue Verhalten regelmäßig ausführen, damit es zur Gewohnheit wird (Keller et al., o. J., S. 8).

Potenzielle Nutzende in der „Predecisional Stage“ sind zufrieden mit ihrer jetzigen Situation und sehen (noch) keine Gründe dafür, ihr Verhalten zu ändern. Für diese wird eine reine Kommunikation der Ergebnisse nicht ausreichen, um ihr Verhalten zu ändern.

Die genannten Einflussfaktoren gilt es nun gezielt anzusprechen, um potenzielle Nutzende auf der Preactional und Actional Stage durch Kommunikation in die Richtung des gewünschten Verhaltens zu bewegen (= vom form.bar Konzept überzeugen). Auch Nutzende auf der Postactional Stage gehören zur Zielgruppe, da eine Kommunikation der ökobilanziellen Ergebnisse ihnen die Relevanz ihres Verhaltens verdeutlicht und sie dazu motiviert, das neue Verhalten beizubehalten (= erneut bei form.bar/beim Schreiner kaufen oder den lokalen Konsum auf andere Lebensbereiche übertragen).

### **7.2.2 Vergleichswerte für zentrale Wirkungskategorien**

Dieser Abschnitt identifiziert die Wirkungskategorien, die vorrangig zu kommunizieren sind (ca. drei, siehe Abschnitt 7.1). Hierbei kommen solche in Frage, die gut verständlich und in ihrem Bezug zur Entscheidungssituation besonders relevant sind. Gleichzeitig sollten aber auch alle relevanten Wirkungskategorien abgedeckt sein. Diese sollten im Hintergrund (bspw. über einen QR-Code, siehe Abschnitt 7.4) also abrufbar sein (Vergleichswerte finden sich im Anhang in Abschnitt 5). Als die drei relevantesten Wirkungskategorien sind Treibhausgasemissionen, Wasserverbrauch und Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (nicht karzinogene Toxizität) festgelegt. Treibhausgasemissionen, da sie den

Klimawandel vorantreiben, welcher für die deutsche Bevölkerung eines der wichtigsten Themen unserer Zeit ist (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2021). Auch der Wasserverbrauch eignet sich, da er für die Mehrheit der Konsumenten sehr greifbar und gut vorstellbar sein dürfte, und er im Vergleich der absoluten Werte mit den anderen Wirkungskategorien relevant ist (Anhang, Abschnitt 1). Die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind anzugeben, da dieser Aspekt entscheidend für eine Kaufentscheidung sein kann (European Commission, 2018, S. 166).

### 7.2.2.1 Treibhausgasemissionen

Als Vergleichswert für die Treibhausgasrelevanz eignet sich die Fahrt mit dem Auto. Diese sollte möglichst spezifiziert sein: Eine Autofahrt von 100 km, was ca. einer Entfernung von Frankfurt nach Heidelberg entspricht (laut Google Maps), Durchschnittswert verschiedener PKWs und Schadstoffklassen (berechnet mit ecoinvent 3.6 in OpenLCA). Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse nebeneinander.

Tabelle 29: Vergleichswerte für Kommunikation der Treibhausgasrelevanz (je Regal, Basisszenario, gerundet)

	form.bar	Möbel- konzern 2	Autofahrt 100 km
Erderwärmung/Treibhausgasemissionen [kg CO <sub>2</sub> äq.]	41,67	92,95	31,96

Die Autofahrt über 100 km eignet sich gut als Vergleichswert, da die Treibhausgasemissionen ungefähr in der gleichen Größenordnung liegen wie die des form.bar Regals.

Für die Treibhausgasemissionen scheint es außerdem sinnvoll, eine konkrete Bezugsgröße bereitzustellen. Laut Umweltbundesamt muss Deutschland seine Treibhausgasemissionen von über 11 Tonnen CO<sub>2</sub> äq. pro Person und Jahr auf unter eine Tonne CO<sub>2</sub> äq. pro Person und Jahr begrenzen um seine Klimaschutzziele „im Einklang mit der internationalen Staatengemeinschaft“ zu erreichen (Umweltbundesamt, o. J. a). Das bedeutet, jede Person in Deutschland hat pro Jahr 1000 kg CO<sub>2</sub> äq. zur Verfügung. Das form.bar Regal würde davon 4,17 % ausmachen, das Regal von Möbelkonzern 2 9,3 %. Das Regal hat zudem eine Lebensdauer von mehreren Jahren, der prozentuale Anteil ließe sich also für diesen längeren Zeitraum berechnen und wäre dann noch kleiner. Zu beachten ist hierbei auch, dass der tatsächliche Ausstoß an Treibhausgasen im Jahr 2019 bei durchschnittlich 7900 kg CO<sub>2</sub> äq. lag (Breitkopf, 2020a). Es ist also noch viel zu tun und es ließe sich damit argumentieren, dass jede Kaufentscheidung zählt.

Wichtig ist auch ein Vergleich der Emissionen, die sich aus den unterschiedlichen Transportmöglichkeiten des Regals zur Kundschaft ergeben, da dies eine konkrete Handlungsoption für die Nutzenden widerspiegelt. Tabelle 30 zeigt die Unterschiede der verschiedenen Transportmöglichkeiten zur Kundschaft.

Tabelle 30: Vergleichswerte Art des Transports zur Kundschaft

Auslieferung durch Schreinerei im Kleintrans- porter (35 km)	Selbstabholung mit dem PKW (70 km)	Selbstabholung mit dem E-Lastenrad (70 km)	Auslieferung durch Schreinerei im E-Lastenrad (35 km)
---	--	---	---

Treibhausgas- emissionen [kg CO <sub>2</sub> äq.]	2,06	22,37	1,78	0,89
---	------	-------	------	------

Hierbei ist zu beachten, dass eine Selbstabholung über eine Strecke von insgesamt 70 km (Hin- und Rückfahrt) mit dem E-Lastenrad nicht realistisch ist. Auch eine Auslieferung über 35 km mit dem E-Lastenrad durch die Schreinereien ist nicht realistisch. Es geht lediglich darum, die Konsequenzen der Art der Auslieferung zu verdeutlichen: Je kürzer die Entfernung desto besser und desto sinnvoller wird die Auslieferung per E-Lastenrad, vor allem im urbanen Raum.

### 7.2.2.2 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch ist gut mit dem täglichen Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser in Deutschland vergleichbar. Dieser lag im Jahr 2019 in Deutschland bei 147 Litern (Breitkopf, 2020b).

Tabelle 31: Vergleichswerte für Kommunikation des Wasserverbrauchs (je Regal, Basisszenario)

	form.bar	Möbel- konzern 2	Täglicher Pro- Kopf- Verbrauch
Wasserverbrauch [m <sup>3</sup> ]	151,25	274,34	0,147
Wasserverbrauch [l]	151250	274340	147

Es empfiehlt sich, den Wasserverbrauch in Litern anzugeben, da es für die (potenziellen) Nutzenden leichter verständlich sein dürfte. Der tägliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch ist viel geringer, weshalb die Anzahl der Tage zu errechnen ist, die dem gleichen Verbrauch der beiden Regale entspricht. Beim form.bar Regal sind das 1029 Tage, was 2,8 Jahren entspricht. Beim Regal von Möbelkonzern 2 sind das 1866 Tage, was 5,1 Jahren entspricht.

### 7.2.2.3 Menschliche Gesundheit

Die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit lassen sich wie die Treibhausgasemissionen gut mit einer Autofahrt vergleichen. Dabei dient der gleiche Wert wie in Tabelle 29.

Tabelle 32: Vergleichswerte für Kommunikation der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (je Regal, Basisszenario, gerundet)

	form.bar	Möbel- konzern 2	Autofahrt 100 km
Menschliche Gesundheit (nicht karzinogen) [kg 1,4- DCB]	41,54	74,99	27,31

Bei dieser Wirkungskategorie ist neben der Angabe eines Vergleichswerts die Einheit zu erklären (siehe Abbildung 27).

## 7.3 Konkrete Beispiele

Dieser Abschnitt entwickelt Beispiele für zwei verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten. Die erste ist das „Ampelprinzip“, welches einen schnellen Vergleich zwischen mehreren Optionen fokussiert (Abschnitt 7.3.1). Die zweite ist das Storytelling, welches detaillierte Informationen und tiefergehendes Wissen auf eine interessante Art kommunizieren will (Abschnitt 7.3.2).

### 7.3.1 Variante 1: Ampelprinzip

Eine Variante für die Kommunikation der Ergebnisse der Ökobilanz ist das Ampelprinzip. Es erfüllt die folgenden, in Abschnitt 7.1 genannten, Vorgaben:

- Klarheit, Einfachheit und Nachvollziehbarkeit
- Diagramme und Farben verwenden
- Leicht verständliche Label nachahmen, wie zum Beispiel das Ampelprinzip
- Bezüge zum Alltag und anschauliche Beispiele
- Diagramme, Infografiken und Bilder eignen sich gut
- Lösungsorientiert kommunizieren und gezielt Handlungsmöglichkeiten aufzeigen

Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen, wie eine solche Kommunikation anhand des Ampelprinzips aussehen könnte. Der Text über der Abbildung soll zudem die wahrgenommene Verhaltenskontrolle, Einstellung und Planning Ability fokussieren (siehe Abschnitt 7.2.1). Abbildung 27 fokussiert auf die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und Einstellung, da sie aufzeigt, wie „leicht“ es ist ein „nachhaltigeres“ Möbelstück zu kaufen, indem man „einfach“ lokal produziert und kauft, und dass dies „gut“ ist, da man sich, andere und die Umwelt schützt. Abbildung 28 fokussiert auf die Planning Ability, indem sie hervorhebt, dass man dabei sogar Zeit spart und man sich um fast nichts kümmern muss. Für Nutzende auf der Postactional Stage verdeutlichen beide Abbildungen die Vorteile des lokalen Konsums und motivieren, dies zur Gewohnheit zu machen.

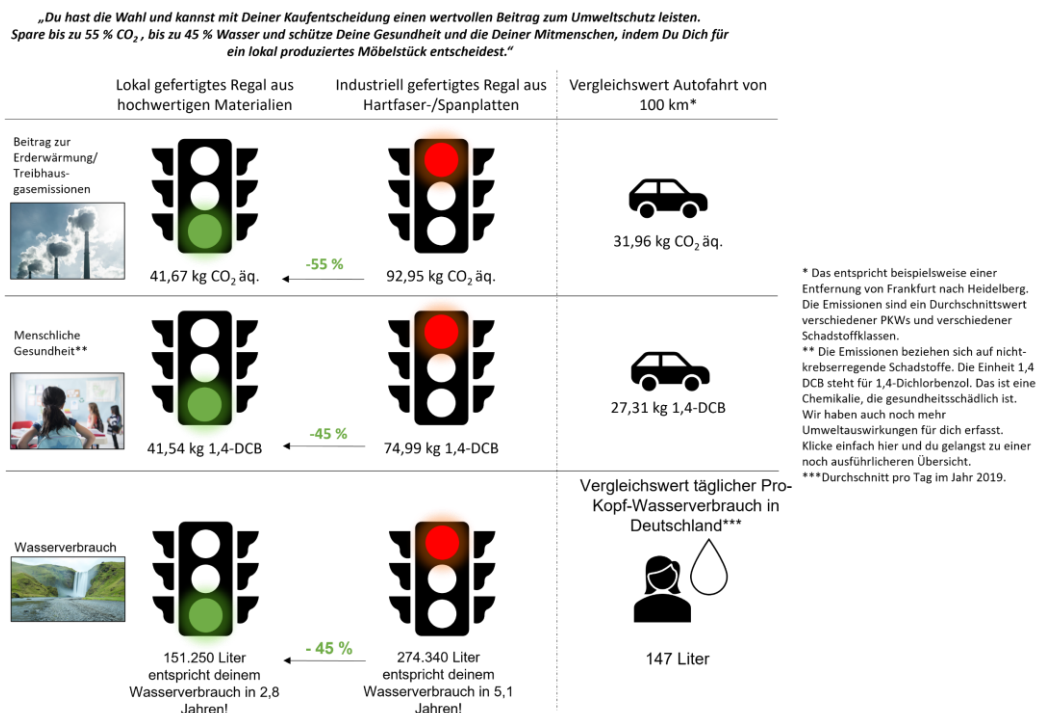


Abbildung 27: Beispielkommunikation Ampelprinzip – Teil 1

Bildquelle: eigene Darstellung

„Spare wertvolle Zeit und leiste gleichzeitig einen Beitrag zur Nachhaltigen Entwicklung. Wir wissen, dass ein Umzug sehr stressig sein kann. Deshalb kannst Du Dir Dein neues Traumregal ganz bequem von zu Hause aus designen und direkt zu Dir liefern lassen. So sparst Du Dir den Weg ins Möbelhaus und CO<sub>2</sub>! Standardmäßig liefern unsere Partnerschreinereien das Regal zu Dir nach Hause. Auf eine Selbstabholung per PKW solltest Du verzichten, nutze die Zeit doch für andere schöne Dinge. Falls Du Lust hast, kannst Du Dein Regal natürlich selbst abholen, dann am liebsten mit dem E-Lastenrad – das spart weitere 14 % CO<sub>2</sub>. Wahrscheinlich würdest Du aber mit Deinem E-Lastenrad keine 70 km fahren. Deshalb arbeiten wir daran unser Schreinernetzwerk weiter auszubauen. Denn je kürzer die Entfernung, desto besser für Mensch und Umwelt und desto eher lohnt sich die Abholung per E-Lastenrad.“

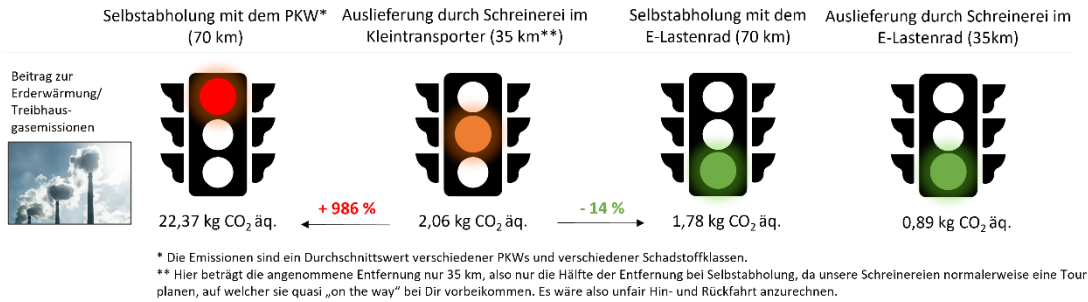


Abbildung 28: Beispielkommunikation Ampelprinzip – Teil 2

Bildquelle: eigene Darstellung

Eine weitere Abbildung könnte den Anteil eines Regals von form.bar und eines industriell gefertigten Regals am CO<sub>2</sub>-Budget des Kunden veranschaulichen. Abbildung 29 ist ein Beispiel dafür (Proportionen stimmen).

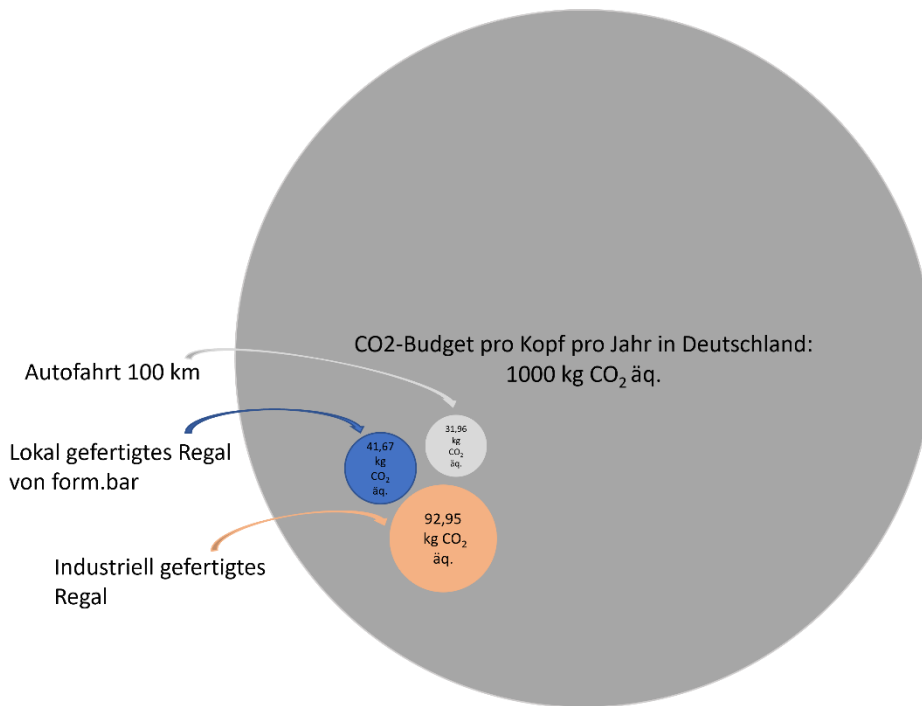


Abbildung 29: Beispiel Veranschaulichung CO<sub>2</sub>-Budget

Bildquelle:  
eigene  
Darstellung

### 7.3.2 Variante 2: Storytelling/SusTelling

Storytelling bedeutet, Geschichten zu erzählen um bestimmte „affektive, kognitive oder konative Auswirkungen“ (Fischer, Fücker, Selm, Storksdieck, & Sundermann, 2021, S. 2) bei den Empfängern zu bewirken. Im Zusammenhang mit Nachhaltiger Entwicklung hat sich der Begriff „SusTelling“ gebildet, welcher für „Storytelling für Nachhaltigkeit“ steht. Das SusTelling möchte aufklärend und bildend sein und „den Wandel hin zu einer Nachhaltigen

Entwicklung“ (Fischer et al., 2021, S. 4) fördern. Fischer et al. (2021, S. 5) definieren die folgenden Bausteine eines SusTellings: Eine Geschichte...

- „mit klaren Anordnung von Handlungsabläufen (Plot),
- die auf Charaktere und deren Erfahrungen fokussiert (Personalisierung),
- die Konflikte, Entwicklungen und Lösungen darbietet (Dramaturgie),
- die eine spezifische zeitliche Anordnung aufweist (Chronologie),
- die Informationen über das zeitliche, räumliche oder kulturelle Umfeld gibt (Kontext),
- die einen inneren Spannungsbogen durch Stilmittel aufbaut (Stilistik),
- die auf eine bestimmte Stimmung abzielt (Tonalität) und
- die eine mehr oder weniger interaktive bzw. immersive Art der Präsentation aufweist (Modalität), um [...] den Wandel im Sinne einer Nachhaltigen Entwicklung zu fördern (Nachhaltigkeitswirkung).“

Das Storytelling/SusTelling erfüllt die folgenden in Abschnitt 7.1 genannten Vorgaben:

- Numerische und wissenschaftliche Begriffe (zum Beispiel kg CO<sub>2</sub>-äq.) vermeiden
- Frames und Narrative nutzen, wie beispielsweise ein Bezug zur eigenen Heimat
- Solidarität oder eine „Enkeltauglichkeit“ hervorheben
- Lösungsorientiert kommunizieren und gezielt Handlungsmöglichkeiten aufzeigen
- Glaubwürdige „Zeugen“ sprechen lassen, die nicht aus der Wissenschaft kommen, sondern „ganz normale Menschen, wie du und ich“ sind
- Bekannte Persönlichkeiten, die als Testimonials auftreten, sprechen lassen
- Eine faktenbasierte Geschichte, welche Emotionen weckt, verwenden

Dieser Abschnitt gibt Vorgaben für die Umsetzung des Storytellings. Im ersten Schritt sollen sich die (potenziellen) Nutzenden selbst ihrer Stufe des SSBC zuordnen. Dazu präsentiert eine Internetseite verschiedene Statements. Die Personen sollen dann das Statement anklicken, welches am ehesten auf sie zutrifft. Die Internetseite könnte eine Landing Page zu einer Werbeanzeige im Internet sein, welche das Thema „Nachhaltigkeit“ von Möbeln oder dass form.bar „nachhaltigere“ Möbel anbietet, fokussiert. Das bedeutet, dass die (potenziellen) Nutzenden bereits aktiv daraufgeklickt haben und sich für das Thema interessieren, was zur in Abschnitt 7.2.1 definierten Zielgruppe passt. Abbildung 30 zeigt, wie eine solche Internetseite aussehen kann.

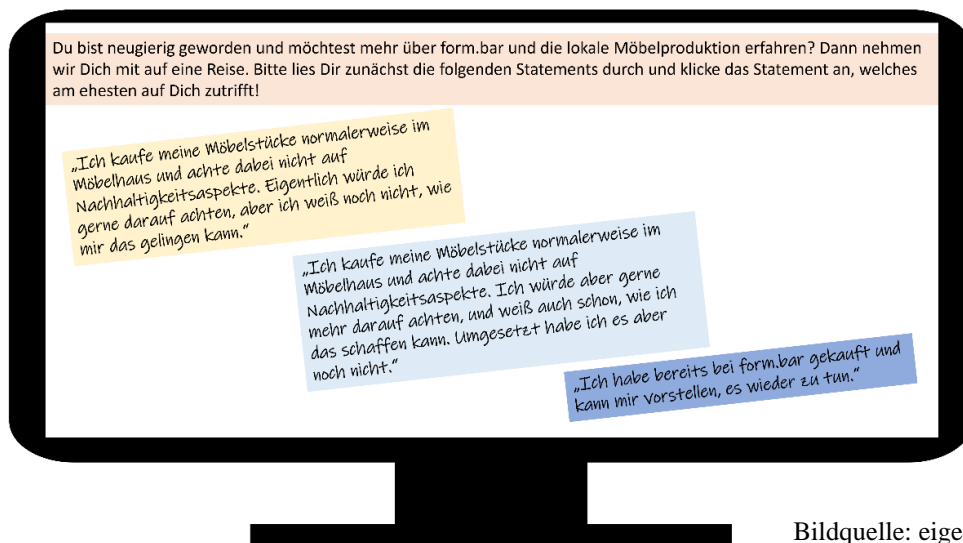


Abbildung 30: Beispieldarstellung Auswahl Stufe für Storytelling

Bildquelle: eigene Darstellung

Das gelb hinterlegte Statement repräsentiert die Preactional Stage, das hellblau hinterlegte die Actional Stage und das dunkelblau hinterlegte die Postactional Stage (Keller, Köhler, Eisen, Kleihauer, & Hanss, o. J., S. 38). Je nachdem auf welches Statement die Person klickt, öffnet sich eine andere Storyline. Für potenzielle Nutzende auf der Preactional Stage sollte sie auf die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und (positive) Einstellung fokussieren, für diejenigen auf der Actional Stage die Planning Ability und für Nutzende auf der Postactional Stage allgemein die ökologischen Vorteile des form.bar Konzepts hervorheben und so dazu motivieren, den lokalen Konsum zur Gewohnheit zu machen. Die Story lässt sich in Form eines „Scrollytellings“ oder in Form eines Videos vermitteln. Beim Scrollytelling handelt es sich um eine interaktive Webseite, bei welcher sich je nach Klick- und Scrollverhalten der (potenziellen) Nutzenden neue Seiten mit neuen Informationen öffnen.

#### **7.4 Perspektive: Elektronischer Produktpass**

Eine technische Möglichkeit, die Umweltauswirkungen eines Produkts, und somit die Ergebnisse aus den Kapiteln 3 und 4, an Nutzende zu kommunizieren, ist ein elektronischer Produktpass. Als „digitaler Zwilling“ des Produkts enthält er wichtige Informationen. Ein solcher Produktpass würde das in Abschnitt 7.1 identifizierte Kriterium „Detaillierte Informationen für Interessierte bereitstellen, beispielsweise über einen QR-Code“ abdecken. In einem elektronischen Produktpass sind „u. a. Informationen über Herkunft, Zusammensetzung, Reparatur- und Demontagemöglichkeiten eines Produktes sowie über die Handhabung am Ende seiner Lebensdauer“ (Götz, Adisorn, & Tholen, 2021, S. 7) enthalten. Aktuell ist absehbar, dass diese Form der Informationsvermittlung in der Zukunft an Bedeutung gewinnt, da verschiedene Akteure fordern, einen elektronischen Produktpass (verpflichtend) einzuführen (u.a. die Europäische Kommission (2020), das European Policy Centre (Hedberg & Šipka, 2020), die European Environmental Agency (2020) und das Bundesministerium für Umwelt (2020)). Ein digitaler Produktpass soll in Zukunft allen Stakeholdern dienen. Für Unternehmen erleichtert er die Erfüllung von Berichtspflichten, für Konsumenten eine „nachhaltigere“ Kaufentscheidung und für die Abfallwirtschaft ein Recycling des Produkts (Götz, Adisorn, & Tholen, 2021, S. 19). Ein Beispiel für solch einen digitalen Produktpass gibt es bereits in der Teppichindustrie. Über das System PRODIS<sup>28</sup> (Product Information System) können Endkonsumenten oder die Industrie über einen QR-Code auf dem Produkt oder durch Eingabe einer Kennnummer auf den digitalen Produktpass zugreifen. Dort sind dann die folgenden Informationen hinterlegt (Vankann, 2020, S. 13):

- Materialzusammensetzung
- Informationen über eingesetzte Chemikalien, z.B. Flammschutzmittel
- Rezyklatanteil
- Recyclingpotenziale
- CE Label
- Technische Daten (basierend auf dem CEN Produktstandard)
- Qualität der Innenraumluft
- Ökobilanzdaten (in Form einer EPD)

Für form.bar könnte für jedes Produkt einen digitalen Produktpass hinterlegen. Zwar designen die Kunden ihre Produkte zum Teil selbst, allerdings ist die Auswahl an Materialien und Formen bzw. Maßen begrenzt. Somit wäre es möglich, entsprechende Daten zu hinterlegen

---

<sup>28</sup> Zugriff über diesen Link: <https://www.gut-prodis.eu/produktpruefung/prodis> (29.07.2021).

und dass diese schon im Designprozess im Konfigurator zugänglich sind. So hätten die Nutzenden direkt im Designprozess vor Augen, welche Auswirkungen ihre Entscheidungen auf die Umwelt haben. Auch hier sollten aber die Aspekte aus Abschnitt 7.1 Beachtung finden und ähnlich wie in Abschnitt 7.3.1 kommuniziert werden. Der digitale Produktpass eignet sich zudem erst als Kommunikationsmittel, wenn die Kaufentscheidung bereits gefallen ist, oder zumindest eine Kaufbereitschaft vorhanden ist (wenn sich die Nutzenden bereits im Konfigurator befinden). Ein elektronischer Produktpass kann darüber hinaus bei der Umsetzung einer EPR (siehe Abschnitte 6.2.1.3 und 6.3) hilfreich sein, da Informationen zu Garantie, Reparatur und Ersatzteilversorgung dort hinterlegt sein können.

## **8 Antwort auf die Kernfrage**

Die vorliegende Thesis widmet sich der folgenden Kernfrage:

„Welche Maßnahmen empfehlen sich im Hinblick auf das Ziel, die Umweltauswirkungen und insbesondere die Treibhausgasemissionen von Möbeln, die über form.bar gefertigt sind, über den gesamten Lebensweg so weit als möglich zu quantifizieren (inkl. der Identifikation von „Hotspots“) und dies verständlich an die Kundschaft zu kommunizieren? Und wie können die zentralen Akteure – im zweiten Schritt – die Umweltauswirkungen reduzieren?“

Der erste Teil der Kernfrage lässt sich wie folgt beantworten:

Die Arbeit quantifiziert die Umweltauswirkungen anhand einer ökobilanziellen Untersuchung in Anlehnung an die Normen ISO 14040 und 14044. Dabei bedient sie sich eines Fallbeispiels, indem sie einen bestimmten Standort annimmt und die Nutzung eines spezifischen über die Plattform form.bar gefertigten Regals mit der Nutzung eines ähnlichen spezifischen Regals vom Möbelkonzern 2 über 20 Jahre vergleicht. Ersteres dient als Beispiel für eine regionale Fertigung und letzteres als Beispiel für ein industriell gefertigtes Möbelstück aus dem Möbelhaus (auch „Fast Furniture“). Die ökobilanzielle Untersuchung betrachtet den gesamten Lebensweg, von der Materialproduktion bis zum Ende der Nutzungsphase. Die End-of-Life Phase findet in verschiedenen Szenarien Beachtung. Die Ergebnisse zeigen, dass das lokal produzierte Möbelstück in allen 17 Wirkungskategorien besser abschneidet als das Vergleichsprodukt. Ausschlaggebend dafür ist vor allem der kürzere Transportweg zur Kundschaft sowie die Art der Auslieferung. In einer „cradle-to-gate“ Betrachtung verursachen beide Produkte hingegen fast die gleiche Menge an Treibhausgasemissionen. Allein der Transport zur Kundschaft macht also den deutlichen Unterschied zwischen beiden Möbelstücken aus, was für das Konzept der regionalen Fertigung spricht. Die Analyse der End-of-Life Phase verdeutlicht, dass eine längere Nutzungsdauer die Umweltauswirkungen deutlich reduzieren kann. Aus ökologischer Sicht ist es am sinnvollsten, das Holz durch mehrere Nutzungsphasen und Recycling so lange wie möglich im Kreislauf zu halten und anschließend thermisch zu verwerten. Die Studie identifiziert den Transport zur Kundschaft, die Rohstoffgewinnung und -verarbeitung (Produktion der Holzwerkstoffe) und den Transport der Holzwerkstoffe zum Hersteller des Möbelstücks als Emissions-Hotspots in der Wirkungskategorie Erderwärmung. Innerhalb der Produktion der Holzwerkstoffe macht die Produktion von Melamin-Formaldehyd-Harz beim lokal gefertigten Möbelstück mehr als die Hälfte der Treibhausgasemissionen aus. Über die ökobilanzielle Untersuchung hinaus analysiert die Arbeit vergleichend weitere Kriterien, die sich aus dem normativen Soll ergeben haben, durch die Ökobilanz aber nicht abgedeckt sind. Auch bei diesen schneidet das lokal

gefertigte Regal überwiegend besser ab. Verbesserungspotenzial gibt es jedoch bei der Kommunikation zu problematischen Inhaltsstoffen, bei der Lieferung von Ersatzteilen und der garantierten Lebensdauer (welche beide mit der erwarteten Lebensdauer zusammenhängen, welche wie oben beschrieben relevant in Bezug auf die Umweltauswirkungen über einen längeren Zeitraum ist), dem Energieverbrauch und dem Rezyklatanteil.

Der zweite Teil der Kernfrage lässt sich wie folgt beantworten:

Die Arbeit definiert verschiedene Kriterien für eine verständliche Kommunikation der ökobilanziellen Ergebnisse an die Kundschaft und potenzielle Nutzende. Dazu zählen klar, einfach und nachvollziehbar zu kommunizieren; Diagramme, Bilder, verständliche Symbole und Farbe zu verwenden; anschauliche Beispiele zu geben; konkrete Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen; schwer verständliche Begriffe zu vermeiden; Emotionen zu erwecken, indem eine faktenbasierte Geschichte erzählt oder ein Bezug zur eigenen Heimat hergestellt wird; Testimonials als glaubwürdige Zeugen sprechen zu lassen und detailliertere Informationen für Interessierte zugänglich zu machen. Konkrete Konzepte, die die genannten Kriterien (teilweise) erfüllen, sind das Ampelprinzip, welches Vergleichswerte mit Alltagsbezug nutzt, und das Storytelling. Zu beidem entwirft die Arbeit beispielhafte Konzepte. Zentraler Baustein einer Kommunikation, die nicht nur verständlich, sondern auch überzeugend ist und somit den Wandel von der „Nische zum Mainstream“ vorantreibt, ist die auf eine konkrete Zielgruppe zugeschnittene Ansprache. Als theoretischer Hintergrund eignet sich dafür das Stufenmodell der selbstregulierten Verhaltensänderung. Jeder potenzielle Nutzende befindet sich auf einer bestimmten Stufe auf dem Weg hin zu einem umweltfreundlicheren Verhalten, im vorliegenden Fall den Kauf eines „nachhaltigeren“, lokal produzierten, Möbelstücks. Auf jeder Stufe wirken bestimmte verhaltensverändernde Faktoren auf den potenziell Nutzenden ein, die es gezielt anzusprechen gilt. Für form.bar gilt es vor allem die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und eine positive Einstellung gegenüber dem Kauf eines lokal produzierten Möbelstücks durch Kommunikation zu steigern sowie Hindernisse zu entfernen, um potenzielle Nutzende auf der Preactional und Actional Stage zu überzeugen. Perspektivisch empfiehlt sich auch die Einführung eines elektronischen Produktpasses für jedes form.bar Produkt, welcher es erlaubt detailliertere Informationen zu Umweltauswirkungen, Garantie, Reparatur und Rücknahme bereit zu stellen.

Der dritte Teil der Kernfrage lässt sich wie folgt beantworten:

Die ökobilanzielle Untersuchung und die Analyse der weiteren Kriterien hat Verbesserungspotenziale aufgedeckt, für die jeweils bestimmte Akteure ausschlaggebend sind. Für den Akteur form.bar empfiehlt es sich, bei der Auswahl der Lieferanten anzusetzen. Form.bar sollte Lieferanten auswählen, die in Deutschland produzieren und auch ihre Vorprodukte möglichst regional beziehen, sowie solche, die Holzwerkstoffe aus Rezyklat im Sortiment haben. Außerdem sollte form.bar eine Alternative zu Melaminharz finden, die weniger Auswirkungen auf die Umwelt hat und trotzdem alle funktionalen Ansprüche erfüllt. Als weitere Handlungsoption kann form.bar eine lebenslange Garantie, Reparatur und Rücknahme im Sinne einer EPR einführen. Darüber hinaus sollte form.bar an der Transparenz von problematischen Inhaltsstoffen in den eigenen Produkten arbeiten und Informationen darüber zur Verfügung stellen. Gemeinsam mit den Partnerschreinereien kann form.bar zudem den Strommix für die Produktion der Möbelstücke verbessern. Entweder indem die Schreinereien auf Ökostrom umstellen und/oder indem sie PV-Anlagen installieren und somit ihren eigenen Solarstrom produzieren. Die Kundschaft von form.bar ist auch daran beteiligt,

den Transport zu sich nach Hause möglichst emissionsarm zu gestalten, indem sie das Regal mit dem Lastenrad abholt oder es sich von der Schreinerei ausliefern lässt. Die potenziell Nutzenden können Umweltauswirkungen reduzieren, indem sie sich für ein lokal produziertes anstelle eines industriell gefertigten Möbelstücks entscheiden. Für alle genannten Akteure ermittelt die Arbeit Anreize und Hemmnisse zur Umsetzung der Verbesserungen. Für die Kundschaft und potenzielle Nutzende dient das bereits erwähnte Kommunikationskonzept zur Überwindung der Hemmnisse. Für die Akteure form.bar und die Schreinereien entwickelt die Arbeit eine Roadmap, die die Gestaltungsoptionen anhand der erwarteten Wirkung und ihrem Aufwand priorisiert. Zusätzlich ist jede einzelne Maßnahme im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses in einem Plan-Do-Check-Act Zyklus einzuführen. Der für jede Maßnahme erarbeitete Plan-Do-Check-Act Zyklus orientiert sich jeweils an den identifizierten Anreizen und Hemmnissen und zielt darauf ab, Hemmnisse abzubauen und Anreize zu verstärken.

## **9 Fazit und weiterer Forschungsbedarf**

Die vorliegende Thesis widmet sich der Kernfrage wie sich die Umweltauswirkungen eines Möbelstücks, welches über form.bar gefertigt ist, quantifizieren und verständlich an die Kundschaft kommunizieren lassen. Übergeordnetes Ziel ist zudem die Reduzierung der Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenswegs.

Das Vorgehen der Arbeit orientiert sich an der transdisziplinären Delta-Analyse. Im ersten Schritt beschreibt Kapitel 2 den normativen Kontext und leitet daraus Kriterien ab, die als normatives Soll dienen und anhand welcher sich die ökologische „Nachhaltigkeit“ eines Produkts bewerten lässt. Kapitel 3 erfasst den Ist-Zustand anhand einer vergleichenden ökobilanziellen Untersuchung, die es erlaubt einen Großteil der definierten Kriterien zu analysieren. Dabei bedient sich die Arbeit zweier spezifischer Produkte, die als Fallbeispiele für die regionale und die industrielle Fertigung dienen. Ergänzend erfasst Kapitel 4 ebenfalls den Ist-Zustand anhand weiterer Kriterien, die über die ökobilanzielle Untersuchung hinausgehen. Kapitel 5 führt beide Analysen, vergleichend für beide Produkte, zusammen. Die Analyse des Ist-Zustands zeigt, dass das lokal produzierte Möbelstück bei der Mehrheit der Kriterien besser abschneidet, es aber dennoch Verbesserungspotenziale im Hinblick auf den Soll-Zustand gibt. Kapitel 6 ermittelt das Zielerreichungs-Delta und die relevanten Akteure. Daraufhin beschreibt es Gestaltungsoptionen, die das Delta verkleinern sollen. Aufbauend auf den jeweiligen Anreizen und Hemmnissen bezüglich der Umsetzung der Gestaltungsoptionen entwirft es eine Roadmap und empfiehlt die Umsetzung der Maßnahmen im Rahmen eines KVP. Kapitel 7 entwirft ein Kommunikationskonzept, welches als wichtige Bausteine die Zielgruppe und Vergleichswerte mit Alltagsbezug enthält. Die Zielgruppe ist anhand des Stufenmodells der selbstregulierten Verhaltensänderung definiert, welches es erlaubt die (potenziellen) Nutzenden gezielt in die Richtung einer „nachhaltigeren“ Verhaltensalternative zu lenken. Als konkrete Umsetzungsbeispiele nutzt das Kapitel das Ampelprinzip und das Storytelling.

Die Arbeit liefert einen wertvollen Beitrag für die Möbelindustrie. Sie hilft Möbelherstellern und Händlern dabei, Ansatzpunkte für die Reduzierung der Umweltauswirkungen ihrer Produkte zu finden. Wertvoll ist hier vor allem die Erkenntnis, dass der Transport zur Kundschaft eine entscheidende Rolle spielt. Insbesondere für Möbelhäuser und -händler bedeutet dies, dass sie eher einer logistikbezogenen als einer produktbezogenen Herausforderung gegenüberstehen. Gleichzeitig bestärkt dieser Aspekt den Ansatz der lokalen

Fertigung in der Nähe der Kundschaft. Für Möbelhersteller und Schreinereien, die bereits lokal produzieren, ergeben sich andere Ansatzpunkte zur Reduzierung der Umweltauswirkungen. Darunter insbesondere die Auswahl der Materialien und Lieferanten. Die Ergebnisse der Arbeit unterstützen potenzielle Nutzende von Möbelstücken in einer „nachhaltigeren“ Kaufentscheidung.

Als Limitation der Arbeit ist zu nennen, dass die Ergebnisse der Analyse spezifisch für die beiden Fallbeispiele sind. Für eine repräsentativere Verallgemeinerung der Ergebnisse wären Durchschnittsdaten von mehreren lokal produzierten im Vergleich zu mehreren industriell gefertigten Möbelstücken wünschenswert. Diese standen jedoch für die vorliegende Arbeit nicht zur Verfügung. Dieses Manko gleicht die Arbeit durch mehrere Sensitivitätsanalysen aus.

Außerdem fokussiert sich die Arbeit auf Verbesserungsstrategien für lokal gefertigte Möbelstücke. Weitere Untersuchungen sollten die Verbesserungspotenziale für industriell gefertigte Möbelstücke aus dem Möbelhaus genauer beleuchten, die Anreize und Hemmnisse der relevanten Akteure identifizieren und Strategien zur Reduzierung der Umweltauswirkungen ausarbeiten. Auch sollten weitere Untersuchungen die Schreinereien und ihre Anreize und Hemmnisse als zentralen Akteur der lokalen Fertigung stärker in den Blick nehmen und mit ihnen gemeinsam Verbesserungsstrategien entwickeln.

Als Emissions-Hotspot hat sich außerdem die Produktion von Melamin-Formaldehyd-Harz herausgestellt. Weitere Forschungsarbeit sollte in die Suche oder Entwicklung eines alternativen Bindemittels fließen, welches weniger Emissionen verursacht und gleichzeitig gewisse funktionale Ansprüche erfüllt.

## 10 Literaturverzeichnis und weitere Quellen

- Achilias, D., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A., & Antonakou, E. (2007). Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, 149(3), S. 536-542. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.076>
- Amt für Umwelt Thurgau. (o. J.). *Flüchtige organische Stoffe (VOC)*. Abgerufen am 08. Juni 2021 von <https://umwelt.tg.ch/luft-und-strahlung/luftreinhaltung/luftbelastungen/fluechtige-organische-stoffe-voc.html/2264>
- Apel, C., & Joerss, H. (2019). *Langlebige organische Schadstoffe - Auswirkungen auf die marine Umwelt im chemischen Anthropozän*. Abgerufen am 08. Juni 2021 von Helmholtz-Zentrum Hereon: <https://hcdc.hzg.de/storymaps/schadstoffe/#:~:text=Beispiele%20F%C3%BCr%20Folgen%20von%20Luft,der%20EU%20E2%80%93%20in%20Verbindung%20gebracht.>
- ask.openLCA. (2019). *How does waste treatment (end-of-life; EoL) modelling work in openLCA?* Abgerufen am 26. Juli 2021 von <https://ask.openlca.org/1761/how-does-waste-treatment-end-life-eol-modelling-work-openlca?show=1761#q1761>
- Bamberg, S. (2013). Changing environmentally harmful behaviours: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology*(34), S. 151-159. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.01.002>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2015). *Spanplatten nur bedingt fürs Recycling geeignet*. EUWID Recycling und Entsorgung. Abgerufen am 10. August 2021 von <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/lfu-spanplatten-fuer-weitere-stoffliche-verwertung-nur-ingeschraenkt-geeignet-1.html>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2021). *Eutrophierung und Versauerung*. Abgerufen am 08. Juni 2021 von [https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe\\_luft/eutrophierung\\_versauerung/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe_luft/eutrophierung_versauerung/index.htm)
- Bizer, K., & Führ, M. (2014). *Praktisches Vorgehen in der interdisziplinären Institutionenanalyse*. Darmstadt: sofia-Diskussionsbeiträge. Abgerufen am 06. April 2021 von [https://www.sofia-darmstadt.de/fileadmin/Dokumente/Diskussion/2014/Netzversion\\_Stufenheuristik.pdf](https://www.sofia-darmstadt.de/fileadmin/Dokumente/Diskussion/2014/Netzversion_Stufenheuristik.pdf).
- BMU. (2020). *EU Umweltzeichen (EU Ecolabel)*. Abgerufen am 01. April 2021 von <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/eu-umweltzeichen-eu-ecolabel/>.
- Bouwman, A., Beusen, A., & Billen, G. (2009). Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970–2050. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(4). doi:<https://doi.org/10.1029/2009GB003576>
- bpb. (2019). *Energiemix nach Staaten*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/europa/75140/themengrafikenergiemix-nach-staaten>
- Breitkopf, A. (2020a). *Entwicklung der Pro-Kopf-CO2-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019*. Abgerufen am 29. Juli 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/153528/umfrage/co2-ausstoss-je-einwohner-in-deutschland-seit-1990/>
- Breitkopf, A. (2020b). *Entwicklung des Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12353/umfrage/wasserverbrauch-pro-einwohner-und-tag-seit-1990/>
- Breitkopf, A. (2020c). *Nettowärmeerzeugung in Deutschland nach ausgewählten Energieträgern in den Jahren 2018 und 2019*. Abgerufen am 25. Juli 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250059/umfrage/waermeerzeugung-in-deutschland-nach-energetraeger/>
- Breitkopf, A. (2020d). *Pro-Kopf-Stromverbrauch in Deutschland bis 2018*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/240696/umfrage/pro-kopf-stromverbrauch-in-deutschland/>
- Bremer Umweltinstitut. (2011). *Stellungnahme, PMDI in Holzwerkstoffen*. Bremen. Abgerufen am 27. Juli 2021 von [http://natureplus.info/cms/uploads/media/Brumi\\_h3476g\\_PMDI-Studie.pdf](http://natureplus.info/cms/uploads/media/Brumi_h3476g_PMDI-Studie.pdf)
- Bundesamt für Güterverkehr. (2021). *Mautstatistik, Jahrestabellen 2020*. Köln: Bundesamt für Güterverkehr.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (2020). *Umweltpolitische Digitalagenda*. Berlin. Abgerufen am 29. Juli 2021 von [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/broschuere\\_digitalagenda\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/broschuere_digitalagenda_bf.pdf)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (2021). *Trotz Corona: Umwelt- und Klimaschutz bleibt für die Deutschen ein Top-Thema*. Abgerufen am 29. Juli 2021 von <https://www.bmu.de/pressemitteilung/trotz-corona-umwelt-und-klimaschutz-bleibt-fuer-die-deutschen-ein-top-thema>

- Câmpean, T., Grad, F., Grădinariu, C., Patrașcu, C., Gavrilăscu, M., & Gavrilăscu, D.-A. (2017). ECO-FRIENDLY CORRUGATED BOARD AND SUSTAINABLE PACKAGING MANUFACTURING. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 16(3), S. 705-714.
- Cordella, M., & Hidalgo, C. (2016). Analysis of key environmental areas in the design and labelling of furniture products: Application of a screening approach based on a literature review of LCA studies. *Sustainable Production and Consumption*, 8, S. 64-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.07.002>
- Curran, M., Hellweg, S., & Beck, J. (2014). Is there any empirical support for biodiversity offset policy? *Ecological Applications*, 24(4), S. 617-632. doi:<https://doi.org/10.1890/13-0243.1>
- Debus-Spangenberg, I. (2021). **■** *Nachhaltigkeitsbericht 2020: Große Fortschritte beim Thema Holz*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von **■** [article/2021/nachhaltigkeitsbericht-gj20-holz](https://www.forschungsstelle.de/article/2021/nachhaltigkeitsbericht-gj20-holz)
- DIN EN 15804:2012+A2:2019. (2020). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019*. DIN.
- DIN ISO 14001:2015. (2015). *Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14001:2015*.
- DIN ISO 14040:2006. (2006). *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)*. DIN.
- DIN ISO 14044:2006. (2018). *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018*. DIN.
- Eberle, D., & Wenzig, J. (2020). *SDG-Evaluation of Products - SEP*. Witten: ZNU-Zentrum für Nachhaltige Unternehmensführung. Abgerufen am 25. August 2021 von [https://www.sdg-evaluation.com/fileadmin/media-sdg-evaluation/img/2020\\_SEP-Broschuere\\_de.pdf](https://www.sdg-evaluation.com/fileadmin/media-sdg-evaluation/img/2020_SEP-Broschuere_de.pdf)
- ECHA. (o. J.). *Substance Infocard*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von 1,4-dichlorobenzene: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.003.092>
- ecoinvent. (2021). *Allocation cut-off by classification*. Abgerufen am 31. Mai 2021 von [ecoinvent: https://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html](https://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html)
- EFIC. (2017). *EFIC position towards the EC initiative: Analysis of the interface between chemicals, products and waste legislation and identification of policy options – Roadmap and public consultation*. Abgerufen am 25. August 2021 von [https://docs.wixstatic.com/ugd/a1d93b\\_8307c93f3e9a4e1f84d12bb4aa082ad7.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/a1d93b_8307c93f3e9a4e1f84d12bb4aa082ad7.pdf)
- EGGER. (2020). *Umwelt & Nachhaltigkeit - mit Egger Holzwerkstoffen nachhaltig bauen und gesund wohnen*. Abgerufen am 10. August 2021 von [https://www.egger.com/get\\_download/2a7c6ccf-0e06-4907-87aa-490871c656ef/Broschuere\\_Umwelt\\_Nachhaltigkeit.pdf](https://www.egger.com/get_download/2a7c6ccf-0e06-4907-87aa-490871c656ef/Broschuere_Umwelt_Nachhaltigkeit.pdf)
- Eisen, C., Köhler, J., Keller, A., Hanß, D., Kleihauer, S., & Wendorff, N. (2019). The Stage Model of Self-Regulated Behavioural Change and its Contributions to Sustainable Transformations. Darmstadt. Abgerufen am 22. August 2021 von [https://buergerpanel.h-da.de/fileadmin/Einrichtungen/Buergerpanel/290819\\_ITD\\_Poster\\_FINAL.pdf](https://buergerpanel.h-da.de/fileadmin/Einrichtungen/Buergerpanel/290819_ITD_Poster_FINAL.pdf)
- Europäische Kommission. (2019). *Der europäische Grüne Deal*. Brüssel. Abgerufen am 25. August 2021 von [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF)
- Europäische Kommission. (2020). *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN - Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, Für ein sauberes und wettbewerbsfähigeres Europa*. Brüssel.
- Europäische Kommission. (o. J. a). *Policy background*. Abgerufen am 05. April 2021 von Environmental Footprint pilot phase: [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/policy\\_footprint.htm](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/policy_footprint.htm)
- European Commission - JRC. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2788/38479
- European Commission. (2014). *Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains*. Luxembourg. Abgerufen am 25. August 2021 von <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/0619e465-581c-41dc-9807-2bb394f6bd07>
- European Commission. (2018). *Assessment of different communication vehicles for providing Environmental Footprint Information, Final Report*. Abgerufen am 29. Juli 2021 von [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/2018\\_pilotphase\\_commreport.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/2018_pilotphase_commreport.pdf)
- European Environment Agency. (2020). *Europe's consumption in a circular economy: the benefits of longer-lasting electronics*. Abgerufen am 29. Juli 2021 von <https://www.eea.europa.eu/publications/europe2019s-consumption-in-a-circular/benefits-of-longer-lasting-electronics>

- EVZ. (2021). *Mehr Umweltschutz: Die Reparatur von Elektrogeräten wird einfacher*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von <https://www.evz.de/presse/pressemitteilungen/mehr-umweltschutz-die-reparatur-von-elektrogeraeten-wird-einfacher.html>
- Fischer, D., Fücker, S., Selm, H., Storksdieck, M., & Sundermann, A. (2021). *SusTelling: Storytelling für Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 09. August 2021 von [https://www.researchgate.net/publication/348818619\\_SusTelling\\_Storytelling\\_fur\\_Nachhaltigkeit](https://www.researchgate.net/publication/348818619_SusTelling_Storytelling_fur_Nachhaltigkeit)
- form.bar. (o. J. a). *Der Wert des Holzes*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von <https://www.form.bar/materialien>
- form.bar. (o. J. b). Die Plattform für nachhaltige Möbel.
- Fritzsche, J., & Fritzsche, P. (o. J.). *Zwölf Transportermodelle im Vergleich: Wer lädt am meisten? Wer fährt am meisten?* Abgerufen am 19. August 2021 von Malerblatt: <https://www.malerblatt.de/betrieb-markt/transporter/>
- Götz, T., Adisorn, T., & Tholen, L. (2021). *Der Digitale Produktpass als Politik-Konzept*. Wuppertal: Wuppertal Institut. Abgerufen am 30. April 2021 von <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7694/file/WR20.pdf>
- Greenpeace. (2001). *Russland: Die letzten Urwälder*. Abgerufen am 26. Juli 2021 von <https://www.greenpeace.de/themen/waelder/urwaelder/russland-die-letzten-urwaelder>
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life Cycle Assessment Theory and Practice*. Cham, Switzerland: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-319-56475-3
- Hedberg, A., & Šipka, S. (2020). *Towards a green, competitive and resilient EU economy: How can digitalisation help?* European Policy Centre. Abgerufen am 29. Juli 2021 von [https://wms.flexious.be/editor/plugins/imagemanager/content/2140/PDF/2020/Towards\\_a\\_green\\_competitive\\_and\\_resilient\\_EU\\_economy.pdf](https://wms.flexious.be/editor/plugins/imagemanager/content/2140/PDF/2020/Towards_a_green_competitive_and_resilient_EU_economy.pdf)
- Helmes, R., Huijbregts, M., Henderson, A., & Jolliet, O. (2012). Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, S. 646-654. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-012-0382-2>
- Hildebrandt, A., & Silber, C. (2020). Wo Klimaschutz beginnt. Zum bewussten Umgang mit Energie und Wasser. In A. Hildebrandt, *Klimawandel in der Wirtschaft - Warum wir ein Bewusstsein für Dringlichkeit brauchen* (S. 247-258). Burgthann: Springer Gabler. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-662-60395-6>
- Högelmeier, K., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2016). *Kaskadennutzung von Altholz in Bayern*. Abgerufen am 30. April 2021 von [https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/bilder/a109\\_kaskadennutzung\\_von\\_holz\\_in\\_bayern\\_gesch.pdf](https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/bilder/a109_kaskadennutzung_von_holz_in_bayern_gesch.pdf)
- Hohmann, M. (11. Februar 2021a). *Marktanteil der größten Unternehmen im Möbelhandel in Deutschland im Jahr 2019*. Abgerufen am 02. April 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/791159/umfrage/marktanteil-der-groessten-moebelhaendler-in-deutschland/>
- Hohmann, M. (24. März 2021b). *Statistiken zur Möbelindustrie in Deutschland*. Abgerufen am 02. April 2021 von Statista: <https://de.statista.com/themen/1427/moebelindustrie-in-deutschland/>
- Hohmann, M. (2021c). *Konsumausgaben der privaten Haushalte in Deutschland für Möbel, Leuchten und Teppiche in den Jahren 1991 bis 2020*. Abgerufen am 06. April 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/283615/umfrage/konsumausgaben-in-deutschland-fuer-moebel/>
- Hoxha, E., & Jusselme, T. (2017). On the necessity of improving the environmental impacts of furniture and appliances in net-zero energy buildings. *Science of The Total Environment*, 596-597, S. 405-416. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.107>
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., . . . van Zelm, R. (2017). ReCiPe 2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int J Life Cycle Assess*, 22, S. 138-147. doi:10.1007/s11367-016-1246-y
- ifeu. (o. J.). *Wirkungsabschätzung*. Abgerufen am 19. August 2021 von Methoden & Tools: <https://www.ifeu.de/methoden-tools/wirkungsabschaetzung/>
- (2021). ■■■■ Von <https://www.buecherregal-eichenfurnier-weiss-lasiert-> abgerufen
- Inerle, K. (2020). *Melamin: 4 gute Gründe gegen das Kunststoff-Geschirr*. Abgerufen am 27. Juli 2021 von Utopia: <https://utopia.de/ratgeber/melamin-4-gute-gruende-gegen-das-kunststoff-geschirr/>
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley.
- Iritani, D., Silva, D., Saavedra, Y., Graef, P., & Ometto, A. (2015). Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, S. 308-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.029>

- Joos, F., Roth, R., Fuglestvedt, J., Peters, G., Enting, I., von Bloh, W., . . . Weaver, A. (2013). Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, *13*, S. 2793-2825. doi:<https://doi.org/10.5194/acp-13-2793-2013>
- Jungbluth, N., & Frischknecht, R. (2010). Cumulative Energy demand. In R. Hischier, & B. Weidema, *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods* (S. 33-40). St Gallen: Ecoinvent Centre.
- Juraske, F. (2016). *Design Research - Personalisierbare Möbel*. Dessau. Abgerufen am 27. Mai 2021 von <https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/12607/1/Bachelorarbeit%20Franziska%20Juraske.pdf>
- Kaiser, O. S. (2018). *VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 21 - Ressourceneffizienz in der Holzmöbelindustrie*. Berlin: Zentrum Ressourceneffizienz. Abgerufen am 25. Mai 2021 von [https://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/VDI\\_ZRE\\_Kurzanalyse\\_Nr.\\_21\\_Ressourceneffizienz\\_in\\_der\\_Holzmoebelindustrie\\_bf.pdf](https://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_Nr._21_Ressourceneffizienz_in_der_Holzmoebelindustrie_bf.pdf)
- Keller, A., Köhler, J., Eisen, C., Kleihauer, S., & Hanss, D. (o. J.). Why consumers shift from single-use to-go-cups to environmentally-friendlier alternatives: An empirical application of the stage model of self-regulated behavioral change. *under review*.
- Krystofik, M., Luccitti, A., Parnell, K., & Thurston, M. (2018). Adaptive remanufacturing for multiple lifecycles: A case study in office furniture. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, S. 14-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.028>
- Maier, P. (o. J.). *Gabler Wirtschaftslexikon*. Abgerufen am 20. Juli 2021 von Reliabilität - Definition: Was ist "Reliabilität"?: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/reliabilitaet-44718>
- Mandl, S., & Tröger, N. (2020). Handlungsmöglichkeiten und -grenzen von KonsumentInnen in der Kreislaufwirtschaft. In S. Eisenriegler, *Kreislaufwirtschaft in der EU. Eine Zwischenbilanz* (S. 81-112). Wiesbaden: Springer Gabler. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-658-27379-8>
- Medeiros, D., Tavares, A., Rapôso, Á., & Kiperstok, A. (2017). Life cycle assessment in the furniture industry: the case study of an office cabinet. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *22*, S. 1823-1836. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1370-3>
- Molina-Murillo, S. A., & Smith, T. M. (2009). Exploring the use and impact of LCA-based information in corporate communications. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *14*, S. 184-194. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-008-0042-8>
- Nissinen, A., Grönroos, J., Heiskanen, E., Honkanen, A., Katajajuuri, J.-M., Kurppa, S., . . . Voutilainen, P. (2007). Developing benchmarks for consumer-oriented life cycle assessment-based environmental information on products, services and consumption patterns. *Journal of Cleaner Production*, *15*(6), S. 538-549. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.016>
- OBI Magazin. (2021). *SO GEHT DAS*. Abgerufen am 20. Mai 2021 von Der richtige Nagel für jeden Zweck: <https://www.obim.de/magazin/bauen/werkzeuge-und-maschinen/der-richtige-nagel>
- RIVM. (2018). *LCIA: the ReCiPe model*. Abgerufen am 19. Juli 2021 von <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
- Rosenbaum, R., Bachmann, T., Gold, L., & et al. (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *13*(7), S. 532-546. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Roy, P.-O., Huijbregts, M., Deschênes, L., & Margni, M. (2012). Spatially-differentiated atmospheric source-receptor relationships for nitrogen oxides, sulfur oxides and ammonia emissions at the global scale for life cycle impact assessment. *Atmospheric Environment*, *62*, S. 74-81. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.069>
- Rudnicka, J. (2020). *Anzahl der Haushalte in Deutschland nach Anzahl der Personen im Haushalt von 2000 bis 2019*. Abgerufen am 06. April 2021 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167169/umfrage/entwicklung-der-haushaltsgroessen-in-deutschland-seit-2000/>.
- Schäfer, T. (2021). Exakt, klar und immer sicher? Warum Wahrnehmung und Kommunikation des Klimawandels anders funktionieren. Abgerufen am 26. Juli 2021 von [https://www.youtube.com/watch?v=SPjdkXkIHJ8&ab\\_channel=Initiative%3ANachhaltigeEntwicklung](https://www.youtube.com/watch?v=SPjdkXkIHJ8&ab_channel=Initiative%3ANachhaltigeEntwicklung)
- Schmoll, N. (05. Dezember 2018). [REDACTED]. Abgerufen am 14. April 2021 von [REDACTED]
- Siriam, V., & Forman, A. (1993). The Relative Importance of Products' Environmental Attributes: A Cross-cultural Comparison. *International Marketing Review*, *10*(3). doi:<https://doi.org/10.1108/02651339310040670>
- sofia. (2020). *LIFE AskREACH*. Abgerufen am 20. August 2021 von laufende Projekte: <https://www.sofia-darmstadt.de/projekte/laufende-projekte/life-askreach>

- Statistisches Bundesamt. (2020). *Umwelt, Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen) 2018*. Abgerufen am 30. März 2021 von [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf?__blob=publicationFile).
- Stephan, D. (2018). *Nachhaltigkeit im Bauwesen: ökologische Analyse von Baustoffen und Bauteilen*. Abgerufen am 01. Mai 2021 von <https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/3454/2/Stephan%20Daniel%20-%202018%20-%20Nachhaltigkeit%20im%20Bauwesen%20oekologische%20Analyse%20von...pdf>
- SWD. (2019). *Sustainable Products in a Circular Economy - Towards an EU Product Policy Framework contributing to the Circular Economy*. Brüssel. Abgerufen am 25. August 2021 von [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=SWD\(2019\)91&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=SWD(2019)91&lang=en)
- SWR Marktcheck (Regisseur). (2018). *im Check: Der [redacted] Möbelgigant unter der Lupe* [Kinofilm]. Abgerufen am 26. Juli 2021 von [https://www.youtube.com/watch/\[redacted\]](https://www.youtube.com/watch/[redacted])
- Ulfred, A., & Kuhn, N. (2020). Fast Furniture, Wie billige Möbel kostbare Wälder vernichten. (ZDF, Hrsg.) Abgerufen am 06. April 2021 von <https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-fast-furniture-100.html>.
- Umweltbundesamt. (11. November 2015). *Augen auf beim Möbelkauf*. Abgerufen am 02. April 2021 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/augen-auf-beim-moebelkauf>.
- Umweltbundesamt. (2021a). *Emission von Feinstaub der Partikelgröße PM<sub>2,5</sub>*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm25#internationale-vereinbarungen-zur-minderung-der-emissionen>
- Umweltbundesamt. (2021b). *Eutrophierung*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung#eutrophierung-was-bedeutet-das>
- Umweltbundesamt. (2021c). *Ökodesign-Richtlinie*. Abgerufen am 04. April 2021 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie#umweltfreundliche-gestaltung-von-produkten>.
- Umweltbundesamt. (o. J. a). *CO<sub>2</sub>-Rechner des Umweltbundesamtes*. Abgerufen am 29. Juli 2021 von [https://uba.co2-rechner.de/de\\_DE/](https://uba.co2-rechner.de/de_DE/)
- Umweltbundesamt. (o. J. b). *Glossar*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von CO<sub>2</sub>-Äquivalent: <https://www.umweltbundesamt.de/service/glossar/c>
- Umweltbundesamt. (o. J. c). *Häufig gestellte Fragen zum Thema Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) – und Antworten darauf*. Abgerufen am 21. Juli 2021 von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/faq\\_nox.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/faq_nox.pdf)
- Van Zelm, R., Preiss, P., Van Goethem, T., Van Dingenen, R., & Huijbregts, M. (2016). Regionalized life cycle impact assessment of air pollution on the global scale: damage to human health and vegetation. *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 134, S. 129-137. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.044>
- Vankann, E. (2020). *Electronic Product Passport: Contributions to a Circular Economy*. (elni, Hrsg.) Abgerufen am 29. Juli 2021 von [https://www.elni.org/fileadmin/elni/dokumente/elni\\_forum/2020/Electronic\\_product\\_passport\\_Edmund\\_Vankann\\_14\\_oct\\_2020.pdf](https://www.elni.org/fileadmin/elni/dokumente/elni_forum/2020/Electronic_product_passport_Edmund_Vankann_14_oct_2020.pdf)
- Vereinte Nationen. (2015). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 25. August 2021 von <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- Wang, S., Su, D., & Zhu, S. (2016). A Comparative Study on Life Cycle Assessment of Typical Wood base Furniture. *Proceedings of the 2016 5th International Conference on Sustainable Energy and Environment Engineering (ICSEEE 2016)*. doi:<https://doi.org/10.2991/icseee-16.2016.115>
- Wenker, J. (2015). *Ökobilanzierung komplexer Holzprodukte am Beispiel industriell hergestellter Möbel*. Cuvillier Verlag. Abgerufen am 30. April 2021 von [https://books.google.de/books?id=Ve7-DwAAQBAJ&dq=%C3%96kobilanz+M%C3%B6bel&lr=&hl=de&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.de/books?id=Ve7-DwAAQBAJ&dq=%C3%96kobilanz+M%C3%B6bel&lr=&hl=de&source=gbs_navlinks_s)
- Wenker, J. L., & Rüter, S. (2015). *Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel*. Braunschweig: Johan Heinrich von Thünen-Institut. doi:10.3220/REP1440055961000
- Wenker, J., Richter, K., & Rüter, S. (2017). A Methodical Approach for Systematic Life Cycle Assessment of Wood-Based Furniture. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), S. 671-685. doi:<https://doi.org/10.1111/jiec.12581>
- Windolph, A. (2017). *Die Vier-Felder-Matrix: 7 praktische Methoden für Projektmanager*. Abgerufen am 09. August 2021 von Projekte leicht gemacht: <https://projekte-leicht-gemacht.de/blog/pm-methoden-erklart/die-vier-felder-matrix-7-praktische-methoden-fuer-projektmanager/>

- Wirth, H. (2021). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Fraunhofer ISE. Abgerufen am 27. Juli 2021 von <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>
- WMO. (2011). *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. Abgerufen am 19. August 2021 von [https://library.wmo.int/index.php?id=5230&lvl=notice\\_display#.YR5bz4gzbb1](https://library.wmo.int/index.php?id=5230&lvl=notice_display#.YR5bz4gzbb1)
- Young, W., Hwang, K., McDonald, S., & Oates, C. J. (2010). Sustainable Consumption: Green Consumer Behaviour when Purchasing Products. *Sustainable Development*, 18, S. 20-31. doi:10.1002/sd.394

### **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit in allen Teilen selbstständig bearbeitet und verfasst habe. Ich habe dabei keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel (einschließlich elektronischer Medien und Online-Quellen) benutzt. Alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen habe ich als solche vollständig und eindeutig (etwa mit Angabe der Seitenzahl) kenntlich gemacht.

Mir ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch vorliegt, wenn die vorstehende Erklärung sich als unrichtig erweist. Ein Täuschungsversuch führt dazu, dass die Prüfung als „nicht ausreichend“ zu bewerten ist. Außerdem muss ich damit rechnen, im Falle eines mehrfachen oder schwerwiegenden Täuschungsversuchs von weiteren Prüfungen ausgeschlossen und exmatrikuliert zu werden.

Darmstadt, 31.08.2021,

A handwritten signature in blue ink that reads "C. Schwarz". The letter "C" is written in a large, stylized, cursive font, followed by the name "Schwarz" in a smaller, more standard cursive script.

Eigenhändige Unterschrift

## **Anhang**

Im Anhang befinden sich die Modellgraphen (Screenshots aus OpenLCA, Abschnitt 1), die Input-Tabellen (Abschnitt 2), die Fotos der Komponenten von Produkt 2 (Abschnitt 3), die absoluten Ergebnisse aller Wirkungskategorien für die Szenarien 1 bis 5 (Abschnitt 1) sowie die Vergleichswerte in allen Wirkungskategorien für eine Kommunikation der ökobilanziellen Ergebnisse (Abschnitt 5). Alle Abbildungen aus den Abschnitten 3 und 4 sind eigene Darstellungen.

# 1 Modellgraphen

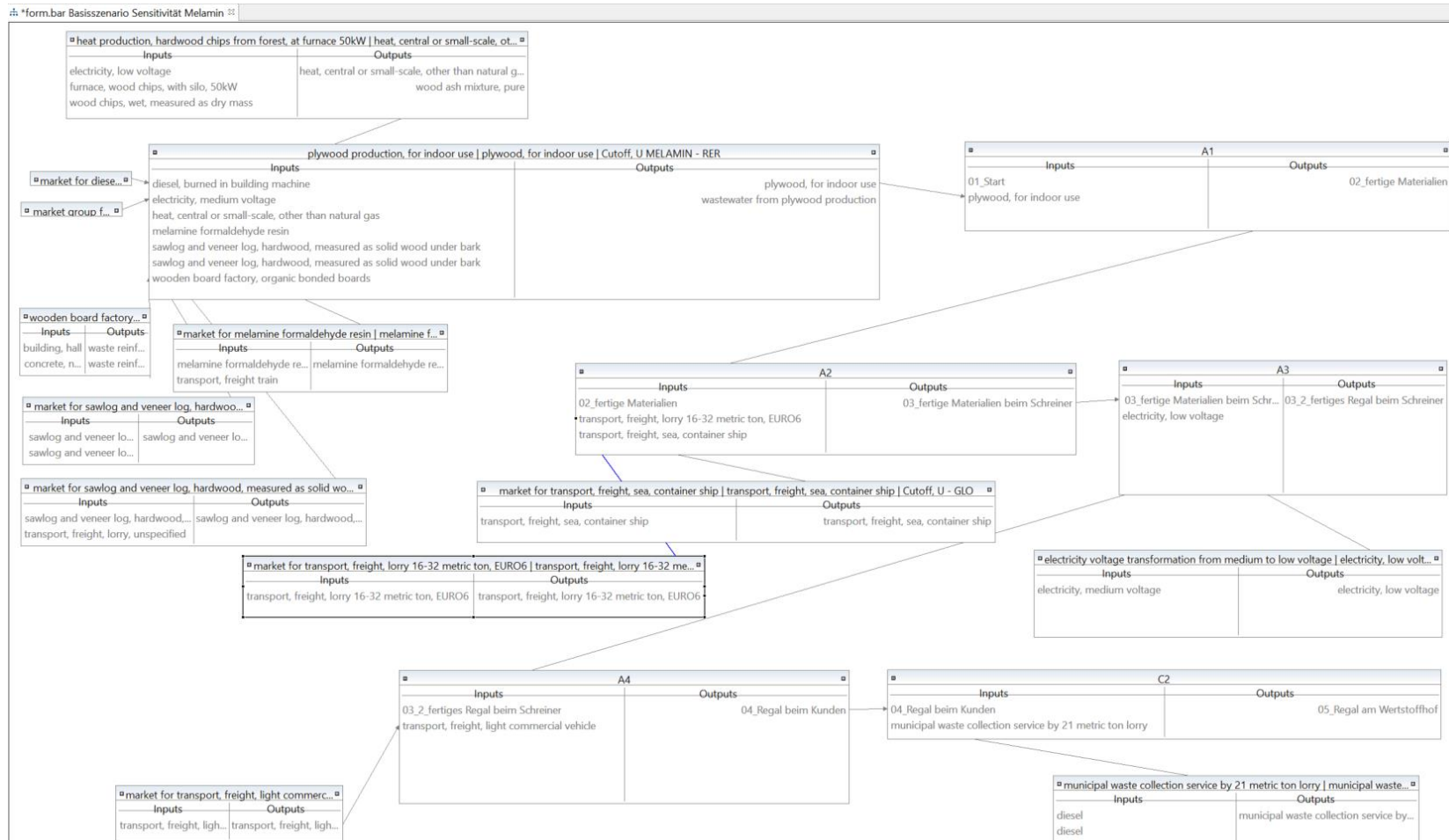


Abbildung 31: Modellgraph form.bar Basisszenario

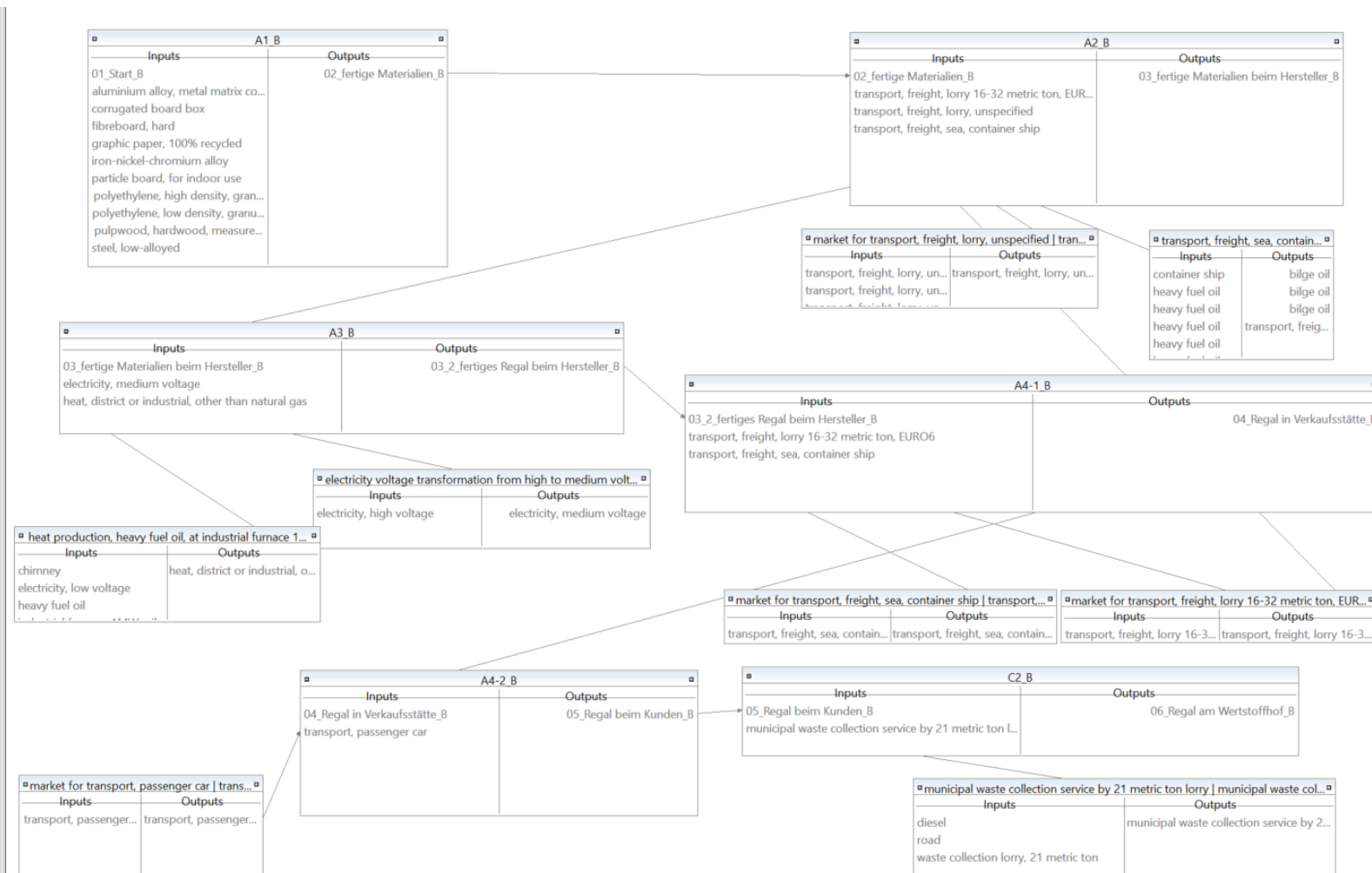


Abbildung 32: Modellgraph Möbelkonzern 2 Basisszenario

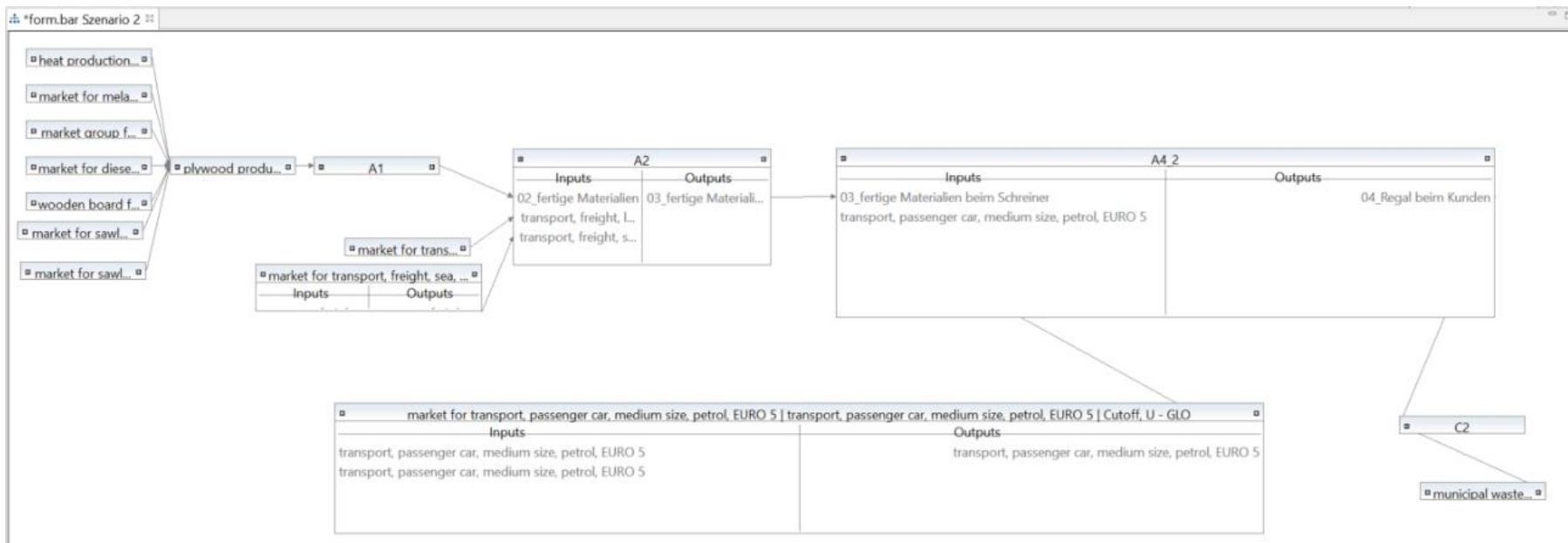


Abbildung 33: Modellgraph form.bar Szenario 2

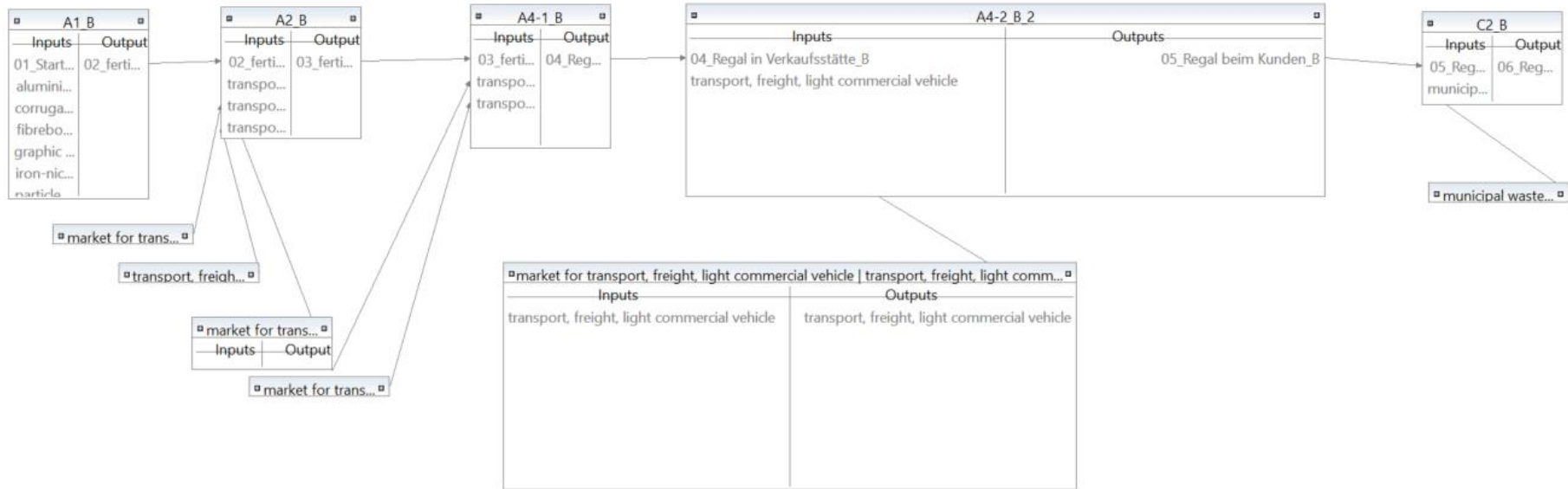


Abbildung 34: Modellgraph Möbelkonzern 2 Szenario 2

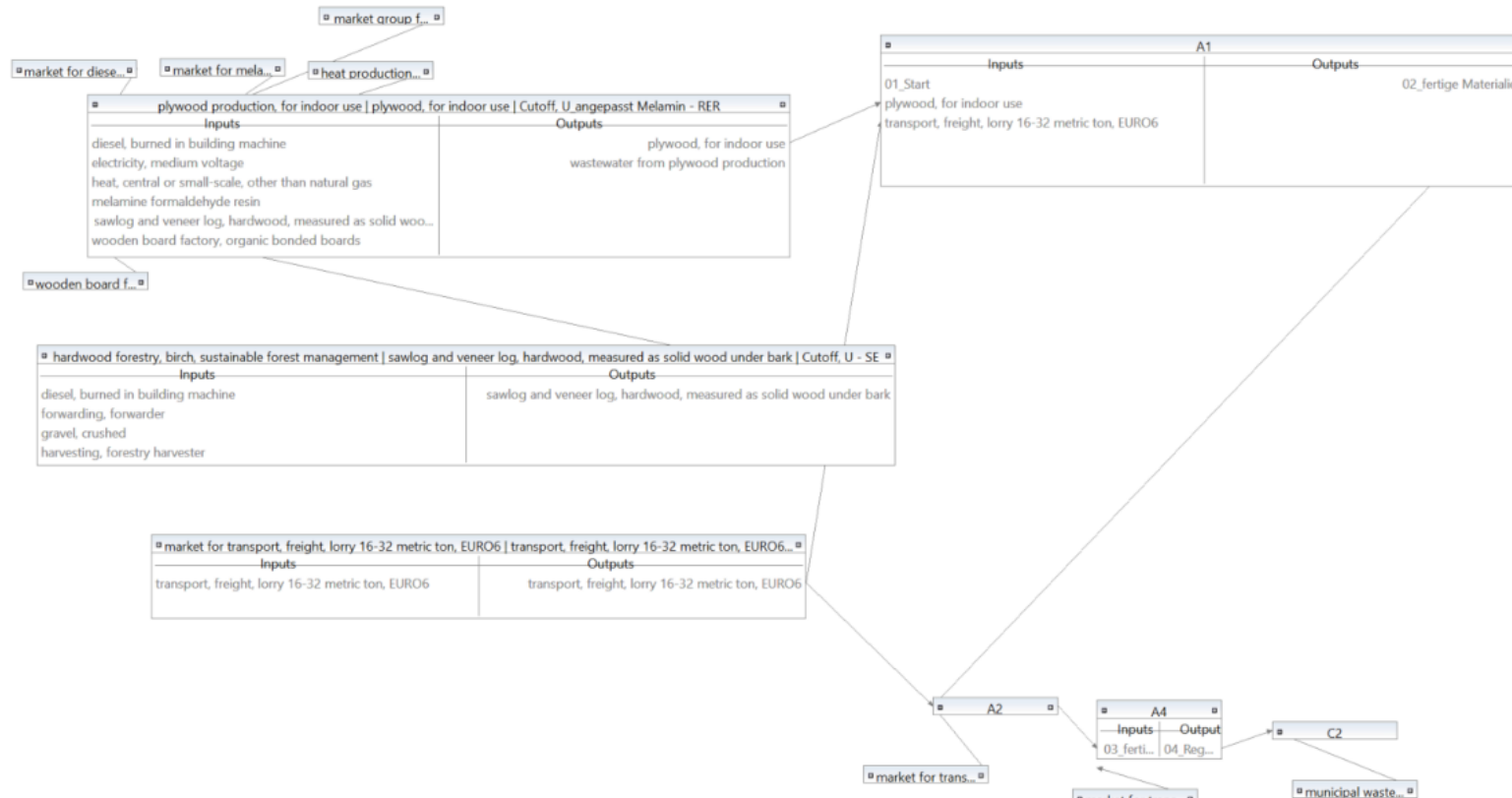


Abbildung 35: Modellgraph form.bar Szenario 3 Koskisen

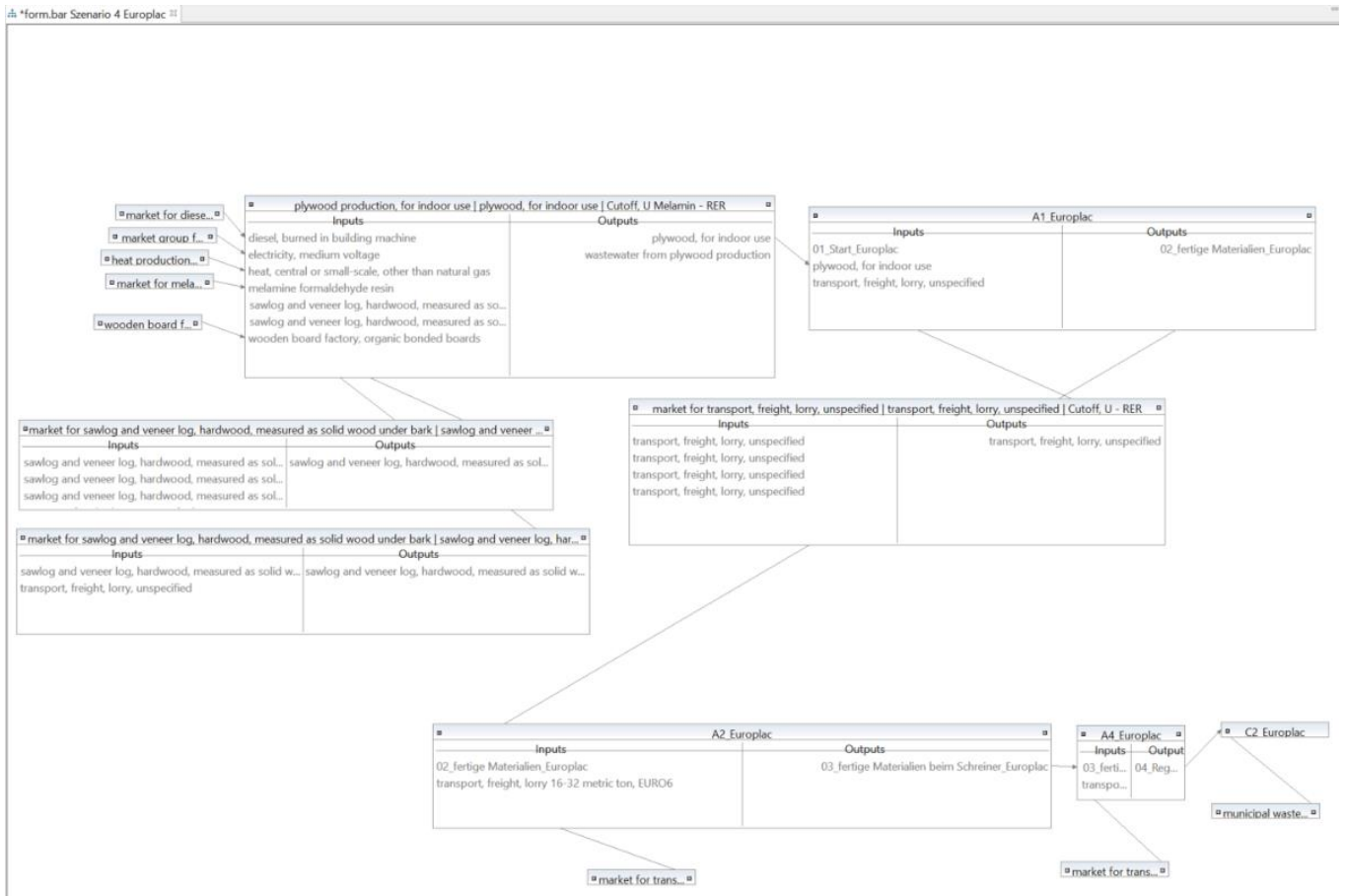


Abbildung 36: Modellgraph form.bar Szenario 3 Europlac

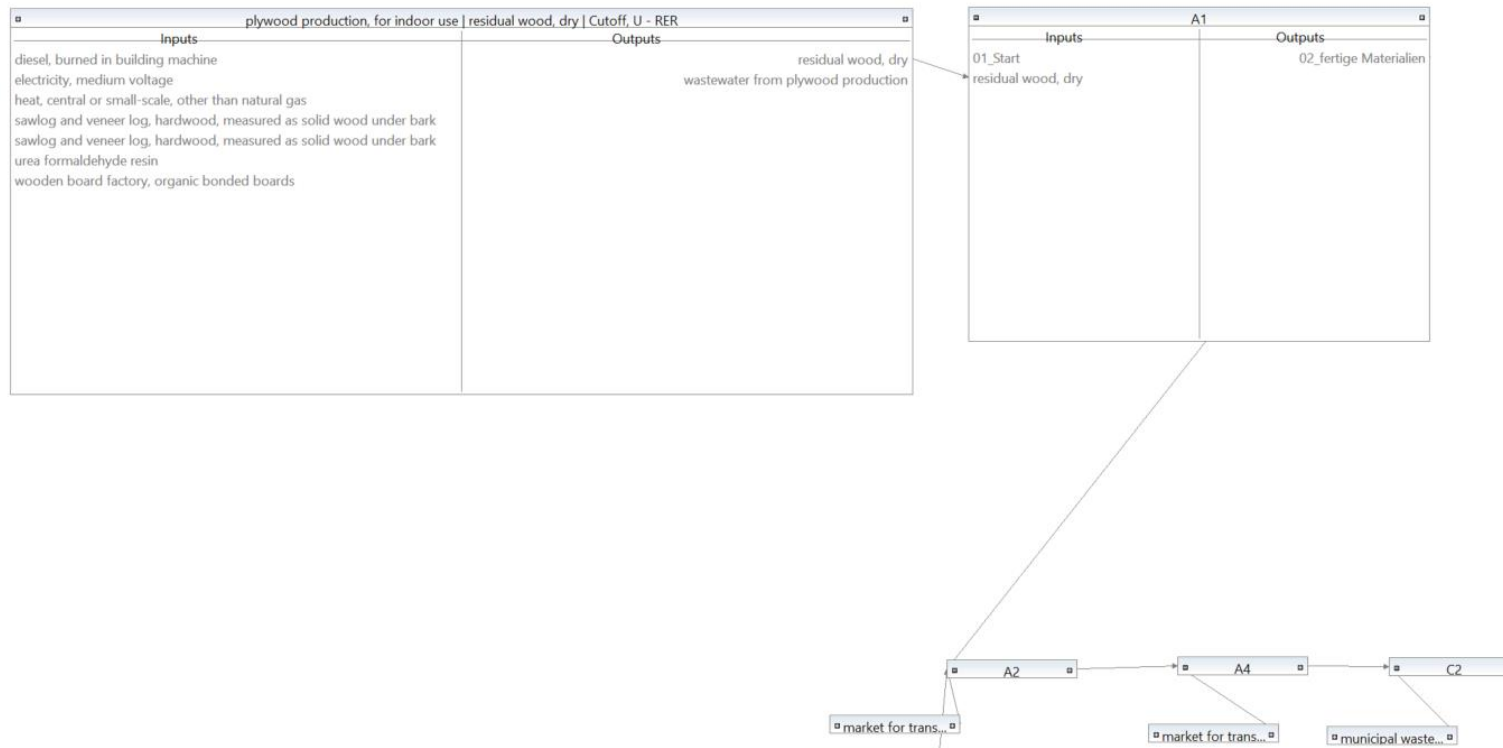


Abbildung 37: Modellgraph form.bar Szenario 4

fibreboard production, hard   residual wood, dry   Cutoff, U - RER	
Inputs	Outputs
aluminium sulfate, powder	biowaste
chemical, organic	hazardous waste, for incineration
diesel, burned in building machine	hazardous waste, for incineration
dust collector, electrostatic precipitator,...	residual wood, dry
electricity, medium voltage	wastewater from hard fibreboard prod...
electricity, medium voltage	wood ash mixture, pure
electricity, medium voltage	wood ash mixture, pure
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
furnace, wood chips, softwood storage...	
furnace, wood chips, with silo, 5000kW	
heat, district or industrial, natural gas	
heat, district or industrial, other than na...	
heat, district or industrial, other than na...	
lubricating oil	
paraffin	
phenolic resin	

particle board production, uncoated, average glue mix   residual wood, dry   Cutoff, U - RER	
Inputs	Outputs
aluminium sulfate, powder	biowaste
chemical, organic	hazardous waste, for incineration
diesel, burned in building machine	hazardous waste, for incineration
dust collector, electrostatic precipitator, for industr...	residual wood, dry
electricity, medium voltage	wastewater from particle board production
electricity, medium voltage	wood ash mixture, pure
electricity, medium voltage	wood ash mixture, pure
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
electricity, medium voltage	
furnace, wood chips, softwood storage area, 1000...	
furnace, wood chips, with silo, 5000kW	
heat, district or industrial, natural gas	
heat, district or industrial, other than natural gas	
heat, district or industrial, other than natural gas	
lubricating oil	
melamine formaldehyde resin	
methylene diphenyl diisocyanate	
paraffin	

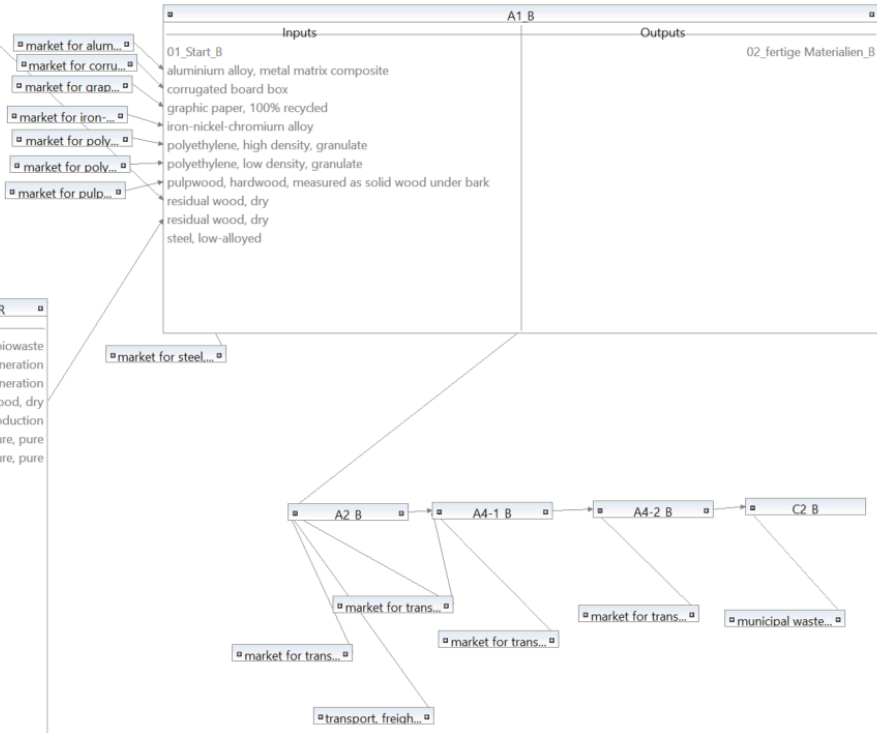


Abbildung 38: Modellgraph Möbelkonzern 2 Szenario 4

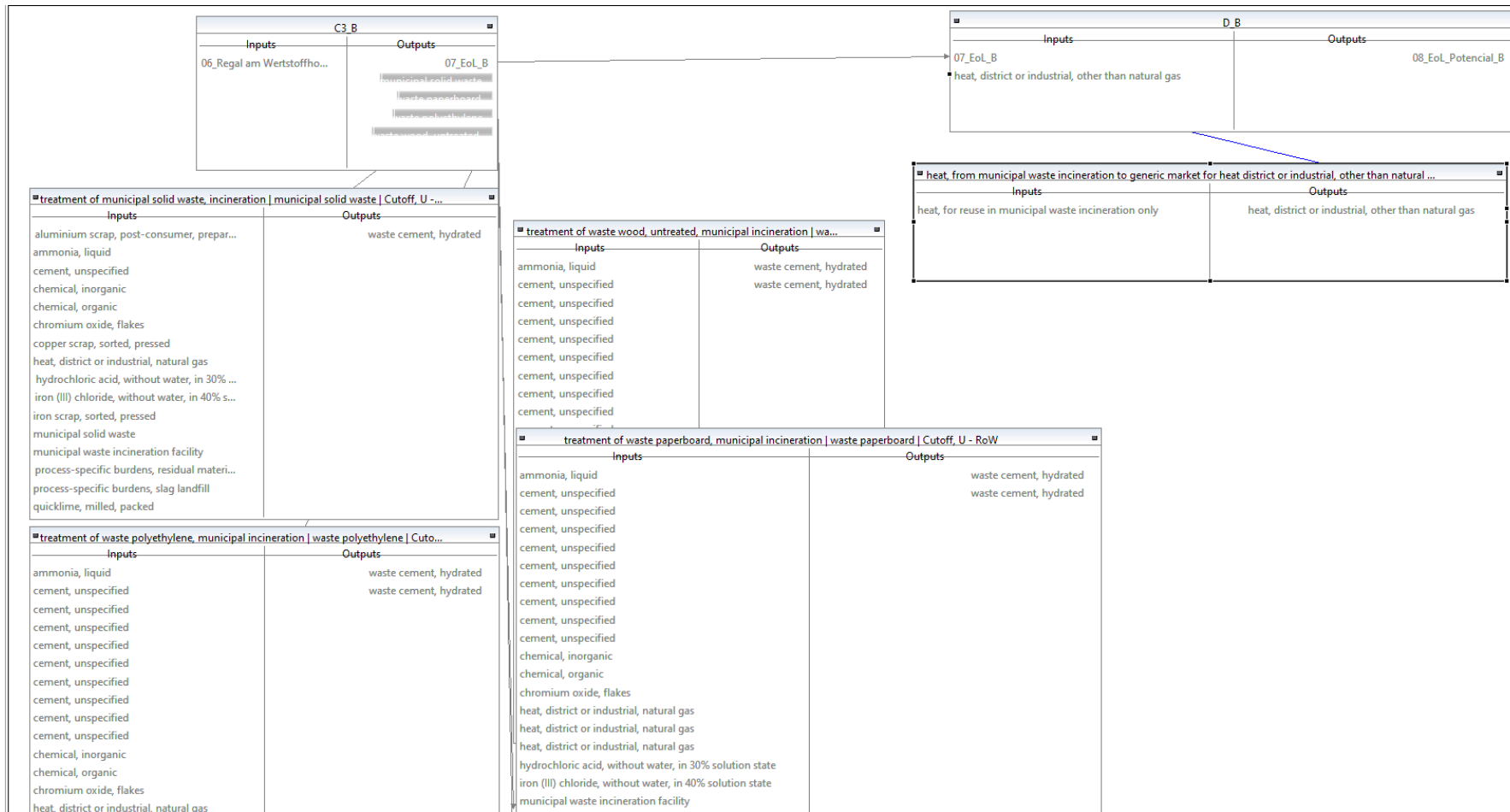


Abbildung 39: Modellgraph Möbelkonzern 2 End-of-Life Verbrennung

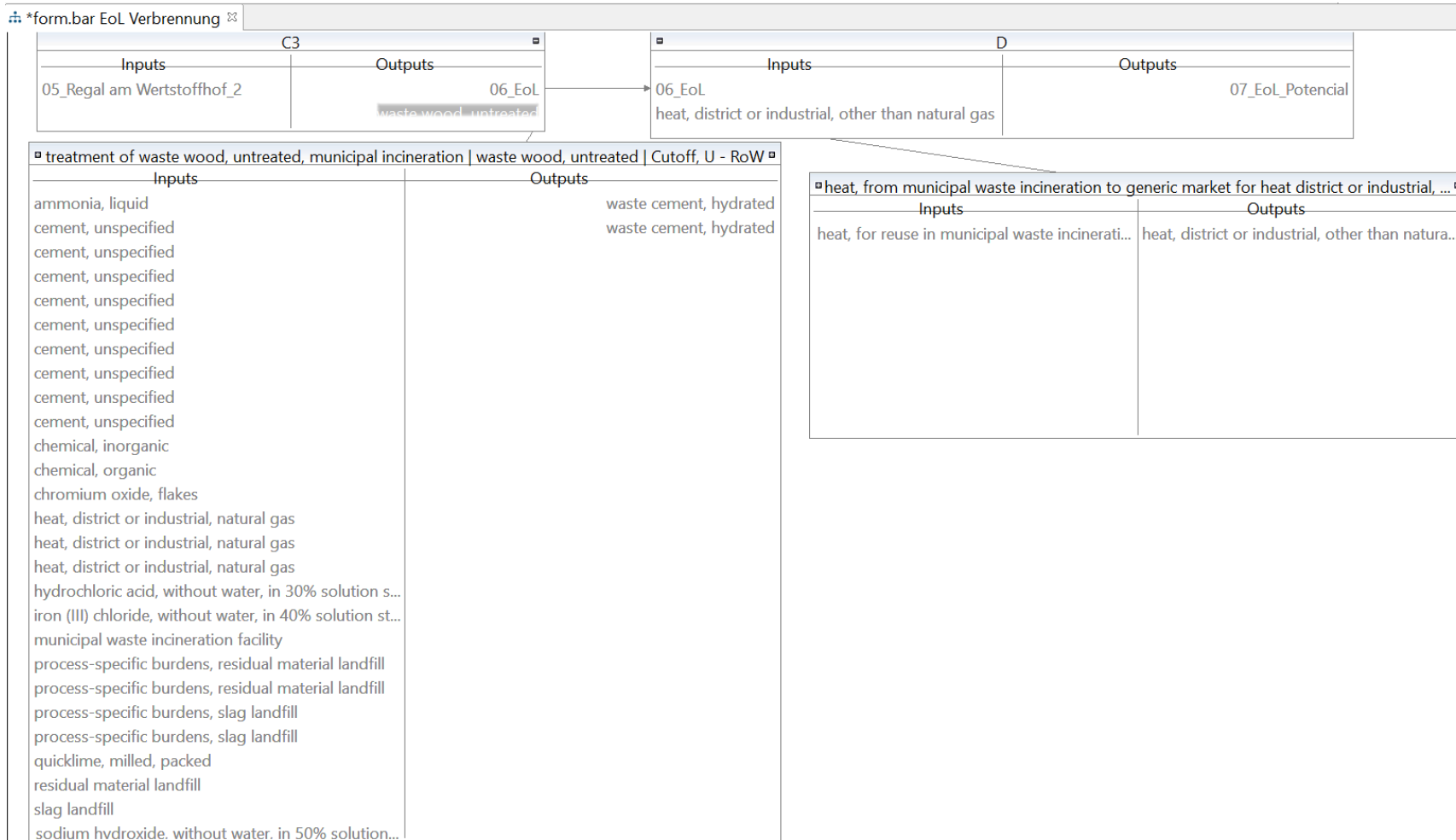


Abbildung 40: Modellgraph form.bar End-of-Life Verbrennung

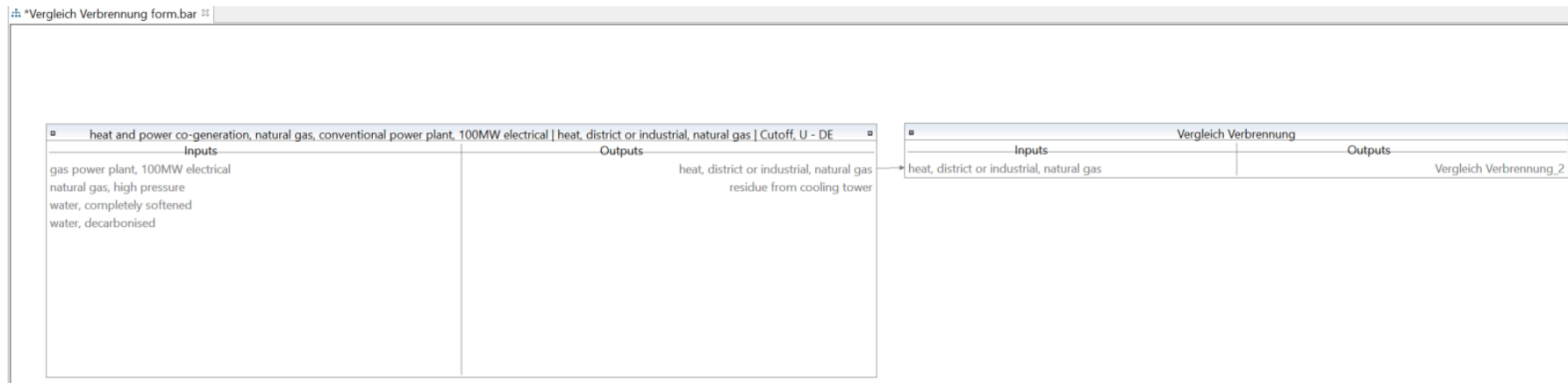


Abbildung 41: Modellgraph Erdgas als Vergleichswert für Verbrennung

C3 + D 2 Recycling	
Inputs	Outputs
05_Regal am Wertstoffhof_3 wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass	06_EoL_2

treatment of waste wood, post-consumer, sorting and shredding   wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass   ...	
Inputs	Outputs
sawmill	waste building wood, chrome preserved
tap water	wastewater from particle board production
tap water	wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass
tap water	
tap water	
tap water	
tap water	
tap water	
tap water	
waste wood, post-consumer	
wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper	

Abbildung 42: Modellgraph form.bar End-of-Life Recycling

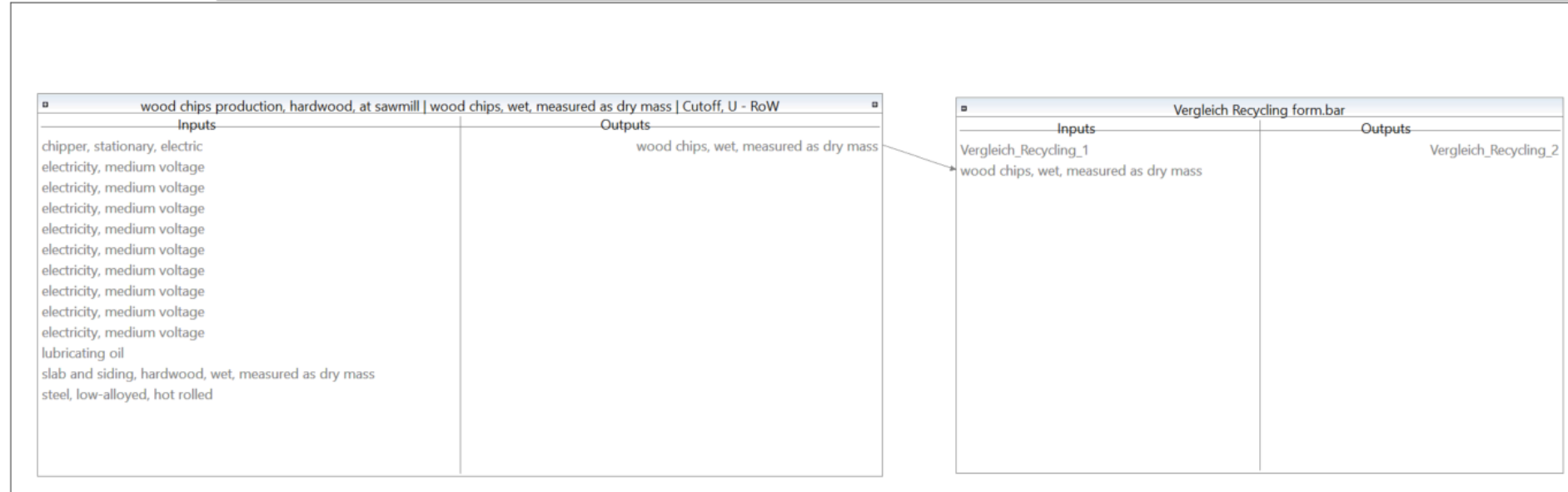


Abbildung 43: Modellgraph Vergleichswert für Recycling form.bar

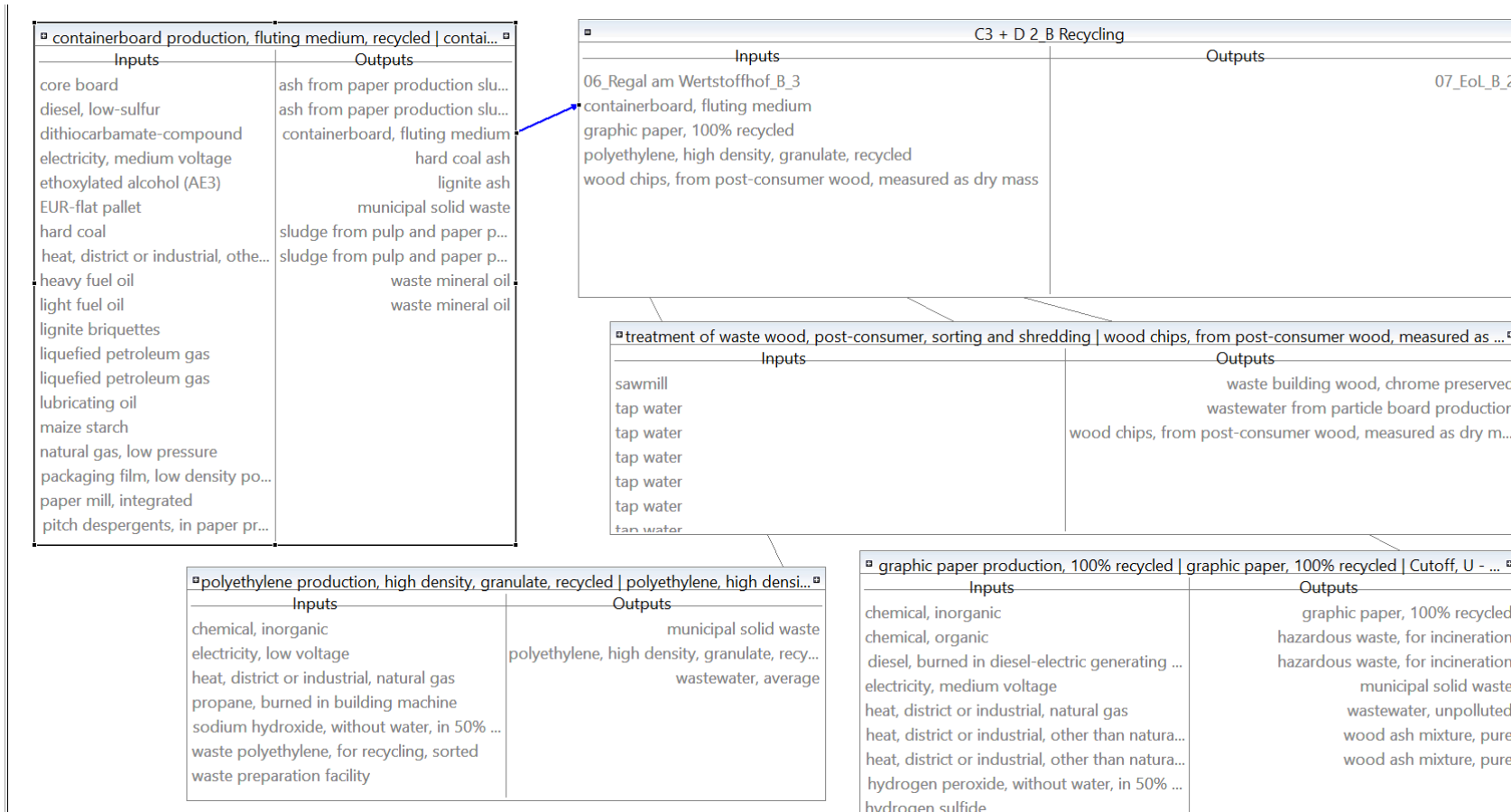


Abbildung 44: Modellgraph Möbelkonzern 2 End-of-Life Recycling

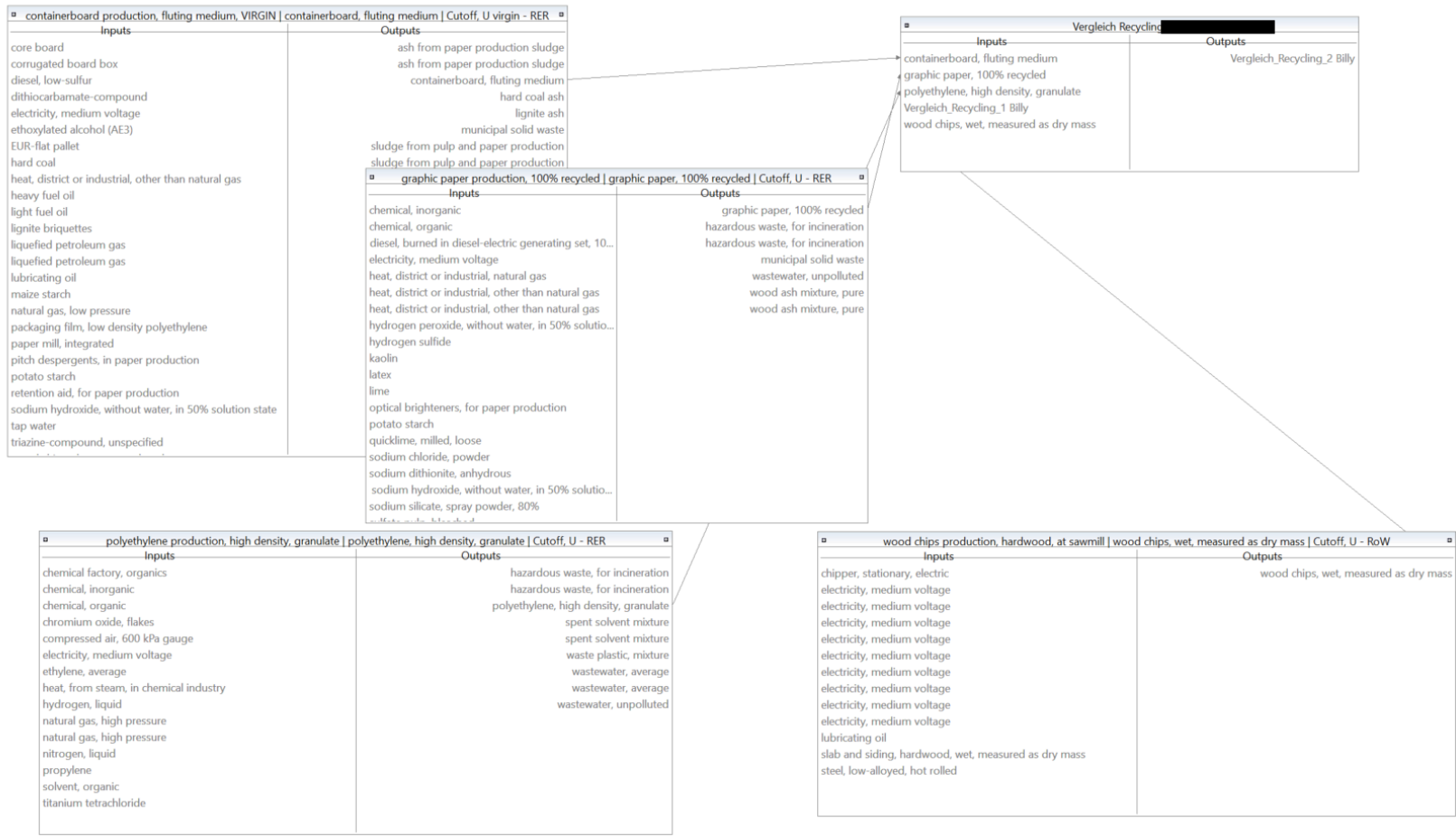


Abbildung 45: Modellgraph Vergleichswert für Recycling Möbelkonzern 2

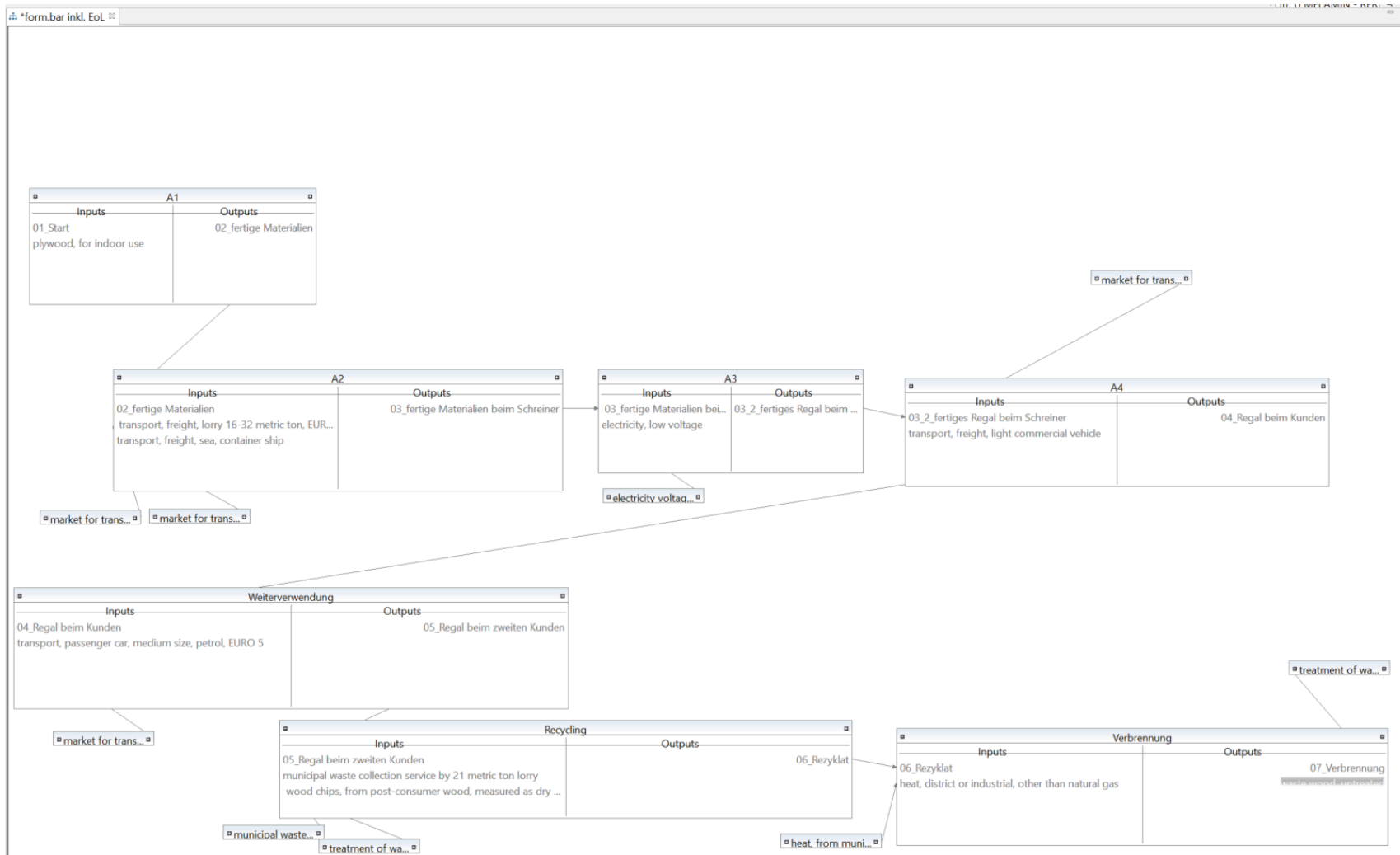


Abbildung 46: Modellgraph form.bar cradle-to-cradle über 40 Jahre

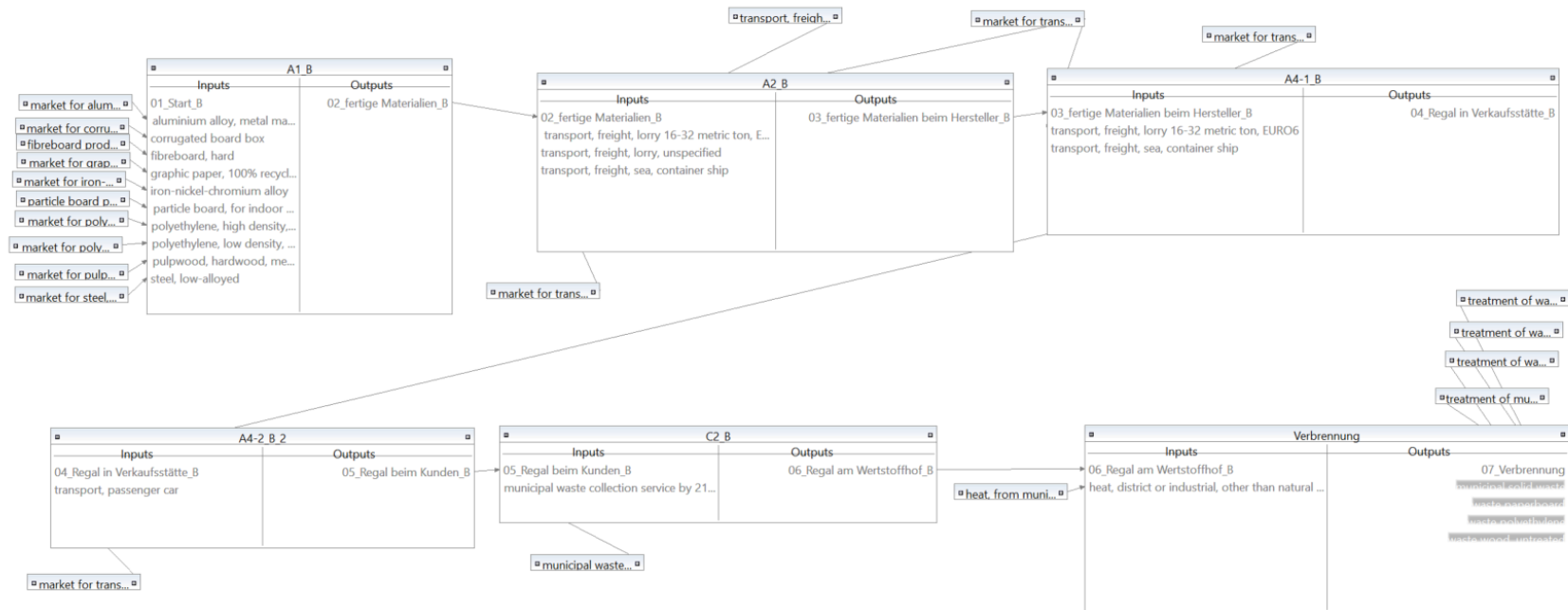


Abbildung 47: Modellgraph Möbelkonzern 2 cradle-to-cradle über 40 Jahre Hinweis: Bilanziert sind alle Prozessmodule doppelt (siehe Input-Tabelle, Tabelle 51)

## 2 Input-Tabellen

Hinweis: Die Input-Tabellen der Szenarien 2 bis 5 stellen jeweils nur die Änderungen gegenüber dem Basisszenario dar.

Tabelle 33: Input-Tabelle form.bar Basisszenario

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1</b>				
Inputs				
01_Start	1	Item	-	
Plywood, for indoor use	0,051	m <sup>3</sup>	Plywood production, for indoor use   plywood, for indoor use   Cutoff, U MELAMIN - RER	
Outputs				
02_fertige Materialien	1	Item		
<b>A2</b>				
Inputs				
02_fertige Materialien	1	Item		
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	31,99 * S_1	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER	S_1 = 2047
Transport, freight, sea, container ship	31,99 * S_2	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO	S_2 = 228,6
Outputs				
03_fertige Materialien beim Schreiner	1	Item		
<b>A3</b>				
Inputs				
03_fertige Materialien beim Schreiner	1	Item		
Electricity, low voltage	6,1	kWh	Electricity voltage transformation from medium to low voltage   electricity, low voltage   Cutoff, U - DE	
Outputs				
03_2_fertiges Regal beim Schreiner	1	Item		
<b>A4</b>				

Inputs			
03_2_fertiges Regal beim Schreiner	1	Item	
Transport, freight, light commercial vehicle	31,99 * S_3	kg * km	Market for transport, freight, light commercial vehicle   transport, freight, light commercial vehicle   Cutoff, U – S_3 = 35 Europe without Switzerland
Outputs			
04_Regal beim Kunden	1	Item	
C2			
Inputs			
04_Regal beim Kunden	1	Item	
Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	31,99 * S_4	kg * km	Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   Cutoff, U - RoW S_4 = 15,1
Outputs			
05_Regal am Wertstoffhof	1	Item	

Tabelle 34: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Basisszenario

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
A1_B				
Inputs				
01_Start	1	Item	-	
Aluminium alloy, metal matrix composite	0,058	kg	Market for aluminium alloy, metal matrix composite   aluminium alloy, metal matrix composite   Cutoff, U - GLO	
Corrugated board box	1,238	kg	Market for corrugated board box   corrugated board box   Cutoff, U - RER	
Fibreboard, hard	0,003	m <sup>3</sup>	Fibreboard production, hard   fibreboard, hard   Cutoff, U - RER	
Graphic paper, 100% recycled	0,032	kg	Market for graphic paper, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - GLO	
Iron-nickel-chromium alloy	0,043	kg	Market for iron-nickel-chromium alloy   iron-nickel-chromium alloy   Cutoff, U - GLO	
Particle board, for indoor use	0,051	m <sup>3</sup>	Particle board production, for indoor use   particle board, for indoor use   Cutoff, U - RER	

Polyethylene, high density, granulate	0,021	kg	Market for polyethylene, high density, granulate   polyethylene, high density, granulate   Cutoff, U - GLO
Polyethylene, low density, granulate	0,004	kg	Market for polyethylene, low density, granulate   polyethylene, low density, granulate   Cutoff, U - GLO
Pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark	0,000012	m <sup>3</sup>	Market for pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   Cutoff, U – Europe without Switzerland
Steel, low-alloyed	0,016	kg	Market for steel, low-alloyed   steel, low-alloyed   Cutoff, U - GLO
Outputs			
02_fertige Materialien_B	1	Item	
A2_B			
Inputs			
02_fertige Materialien_B	1	Item	
Transport, freight lorry, unspecified	33,44 * S_5	kg * km	Market for transport, freight lorry unspecified   transport, freight lorry, unspecified   Cutoff, U - RER S_5 = 1572
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	33,44 * S_6	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER S_6 = 373
Transport, freight, sea, container ship	33,44 * S_7	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO S_7 = 184
Outputs			
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item	
A3_B			
Inputs			
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item	
Electricity, medium voltage	21,26784	MJ	Electricity voltage transformation from high to medium voltage   electricity, low voltage   Cutoff, U - SE
Heat, district or industrial, other than natural gas	2,80896	MJ	Heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1 MW   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U – Europe without Switzerland
Outputs			
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item	

A4-1_B				
Inputs				
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item		
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	34,87 * S_8	kg * km	Market for transport, freight, light commercial vehicle   transport, freight, light commercial vehicle   Cutoff, U – Europe without Switzerland	S_8 = 1398
Transport, freight, sea, container ship	34,87 * S_9	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO	S_9 = 21,6
Outputs				
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item		
A4-2_B				
Inputs				
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item		
Transport, passenger car	170	km	Market for transport, passenger car   transport, passenger car   Cutoff, U - RER	
Outputs				
05_Regal beim Kunden_B	1	Item		
C2_B				
Inputs				
05_Regal beim Kunden_B	1	Item		
Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	34,87 * S_11	kg * km	Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   Cutoff, U - RoW	S_11 = 15,1
Outputs				
06_Regal am Wertstoffhof_B	1	Item		

Tabelle 35: Input-Tabelle form.bar Szenario 2

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
A4_2				
Inputs				
03_fertige Materialien beim Schreiner	1	Item		

Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5	S_3	km	Market for transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   Cutoff, U - GLO	S_3 = 70
---	-----	----	--	----------

Outputs

04_Regal beim Kunden	1	Item
----------------------	---	------

Tabelle 36: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 2

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
-------	-------	---------	--------------------------------------	-----------

A4\_2\_B\_2

Inputs

04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item
------------------------------	---	------

Transport, freight, light commercial vehicle	34,87 * S_10	kg * km	Market for transport, freight, light commercial vehicle   transport, freight, light commercial vehicle   Cutoff, U – Europe without Switzerland	S_10 = 85
--	--------------	---------	---	-----------

Outputs

04_Regal beim Kunden	1	Item
----------------------	---	------

Tabelle 37: Input-Tabelle form.bar Szenario 3 Koskisen

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
-------	-------	---------	--------------------------------------	-----------

A1

Inputs

01_Start	1	Item
----------	---	------

Plywood, for indoor use	0,051	m <sup>3</sup>	Plywood production, for indoor use   plywood, for indoor use   Cutoff, U_angepasst Melamin - RER
-------------------------	-------	----------------	--

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6	31,99 * 100	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER
---	-------------	---------	--

Outputs

02_fertige Materialien	1	Item
------------------------	---	------

Tabelle 38: Input-Tabelle form.bar Szenario 3 Europlac

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1_Europlac</b>				
Inputs				
01_Start	1	Item		
Plywood, for indoor use	0,051	m <sup>3</sup>	Plywood production, for indoor use   plywood, for indoor use   Cutoff, U Melamin - RER	
Transport, freight, lorry, unspecified	31,99 * 3086	kg * km	Market for transport, freight lorry, unspecified   transport, freight lorry, unspecified   Cutoff, U - RER	
Outputs				
02_fertige Materialien_Europlac	1	Item		
<b>A2_Europlac</b>				
Inputs				
02_fertige Materialien_Europlac	1	Item		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6	31,99 * 841	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER	
Outputs				
03_fertige Materialien beim Schreiner_Europlac				

Tabelle 39: Input-Tabelle form.bar Szenario 4

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1</b>				
Inputs				
01_Start	1	Item		
Residual wood, dry	0,051	m <sup>3</sup>	Plywood production, for indoor use   residual wood, dry   Cutoff, U - RER	
Outputs				

02\_fertige Materialien 1 Item

Tabelle 40: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 4

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1_B</b>				
Inputs				
01_Start_B	1	Item	-	
Aluminium alloy, metal matrix composite	0,058	kg	Market for aluminium alloy, metal matrix composite   aluminium alloy, metal matrix composite   Cutoff, U - GLO	
Corrugated board box	1,238	kg	Market for corrugated board box   corrugated board box   Cutoff, U - RER	
Residual wood, dry	0,003	m <sup>3</sup>	Fibreboard production, hard   residual wood, dry   Cutoff, U - RER	
Graphic paper, 100% recycled	0,032	kg	Market for graphic paper, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - GLO	
Iron-nickel-chromium alloy	0,043	kg	Market for iron-nickel-chromium alloy   iron-nickel-chromium alloy   Cutoff, U - GLO	
Residual wood, dry	0,051	m <sup>3</sup>	Particle board production, uncoated, average glue mix   residual wood, dry   Cutoff, U - RER	
Polyethylene, high density, granulate	0,021	kg	Market for polyethylene, high density, granulate   polyethylene, high density, granulate   Cutoff, U - GLO	
Polyethylene, low density, granulate	0,004	kg	Market for polyethylene, low density, granulate   polyethylene, low density, granulate   Cutoff, U - GLO	
Pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark	0,000012	m <sup>3</sup>	Market for pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   Cutoff, U – Europe without Switzerland	
Steel, low-alloyed	0,016	kg	Market for steel, low-alloyed   steel, low-alloyed   Cutoff, U - GLO	
Outputs				
02_fertige Materialien_B	1	Item		

Tabelle 41: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 Szenario 5

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1_B</b>				
Inputs				
01_Start	1	Item	-	

Aluminium alloy, metal matrix composite	0,058 * 2	kg	Market for aluminium alloy, metal matrix composite   aluminium alloy, metal matrix composite   Cutoff, U - GLO
Corrugated board box	1,238 * 2	kg	Market for corrugated board box   corrugated board box   Cutoff, U - RER
Fibreboard, hard	0,003 * 2	m <sup>3</sup>	Fibreboard production, hard   fibreboard, hard   Cutoff, U - RER
Graphic paper, 100% recycled	0,032 * 2	kg	Market for graphic paper, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - GLO
Iron-nickel-chromium alloy	0,043 * 2	kg	Market for iron-nickel-chromium alloy   iron-nickel-chromium alloy   Cutoff, U - GLO
Particle board, for indoor use	0,051 * 2	m <sup>3</sup>	Particle board production, for indoor use   particle board, for indoor use   Cutoff, U - RER
Polyethylene, high density, granulate	0,021 * 2	kg	Market for polyethylene, high density, granulate   polyethylene, high density, granulate   Cutoff, U - GLO
Polyethylene, low density, granulate	0,004 * 2	kg	Market for polyethylene, low density, granulate   polyethylene, low density, granulate   Cutoff, U - GLO
Pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark	0,000012 * 2	m <sup>3</sup>	Market for pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   Cutoff, U – Europe without Switzerland
Steel, low-alloyed	0,016 * 2	kg	Market for steel, low-alloyed   steel, low-alloyed   Cutoff, U - GLO
Outputs			
02_fertige Materialien_B	1	Item	
A2_B			
Inputs			
02_fertige Materialien_B	1	Item	
Transport, freight lorry, unspecified	33,44 * S_5 * 2	kg * km	Market for transport, freight lorry unspecified   transport, freight lorry, unspecified   Cutoff, U - RER
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	33,44 * S_6 * 2	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER
Transport, freight, sea, container ship	33,44 * S_7 * 2	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO
Outputs			
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item	

A3_B				
Inputs				
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item		
Electricity, medium voltage	21,26784 * 2	MJ	Electricity voltage transformation from high to medium voltage   electricity, low voltage   Cutoff, U - SE	
Heat, district or industrial, other than natural gas	2,80896 * 2	MJ	Heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1 MW   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U – Europe without Switzerland	
Outputs				
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item		
A4-1_B				
Inputs				
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item		
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	34,87 * S_8 * 2	kg * km	Market for transport, freight, light commercial vehicle   transport, freight, light commercial vehicle   Cutoff, U – Europe without Switzerland	S_8 = 1398
Transport, freight, sea, container ship	34,87 * S_9 * 2	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO	S_9 = 21,6
Outputs				
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item		
A4-2_B				
Inputs				
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item		
Transport, passenger car	170 * 2	km	Market for transport, passenger car   transport, passenger car   Cutoof, U - RER	
Outputs				
05_Regal beim Kunden_B	1	Item		
C2_B				
Inputs				
05_Regal beim Kunden_B	1	Item		

Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	34,87 * S_11 * 2	kg * km	Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   Cutoff, U - RoW	S_11 = 15,1
Outputs				
06_Regal am Wertstoffhof_B	1	Item		

Tabelle 42: Input-Tabelle form.bar End-of-Life Verbrennung

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>C3</b>				
Inputs				
05_Regal am Wertstoffhof_2	1	Item	-	
Waste wood, untreated	-31,99	kg	Treatment of waste wood, untreated, municipal incineration   waste wood, untreated   Cutoff, U - RoW	
Outputs				
06_EoL	1	Item		
<b>D</b>				
Inputs				
06_EoL	1	Item		
Heat, district or industrial, other than natural gas	451,23175	MJ	Heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - DE	
Outputs				
07_EoL_Potencial	1	Item		

Tabelle 43: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 End-of-Life Verbrennung

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>C3_B</b>				
Inputs				
06_Regal am Wertstoffhof_B_2	1	Item	-	
Municipal solid waste	-0,117	kg	Treatment of municipal solid waste, incineration   municipal solid waste   Cutoff, U - DE	

Waste paperboard	-1,27	kg	Treatment of waste paperboard, municipal incineration   waste paperboard   Cutoff, U - RoW
Waste polyethylene	-0,025	kg	Treatment of waste polyethylene, municipal incineration   waste polyethylene   Cutoff, U - RoW
Waste wood, untreated	-33,457	kg	Treatment of waste wood, untreated, municipal incineration   waste wood, untreated   Cutoff, U - RoW
Outputs			
07_EoL_B	1	Item	
D_B			
Inputs			
07_EoL_B	1	Item	
Heat, district or industrial, other than natural gas	451,19279	MJ	Heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - DE
Outputs			
07_EoL_Potencial_B	1	Item	

Tabelle 44: Input-Tabelle Vergleichswert Erdgas für Verbrennung

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
Vergleich Verbrennung				
Inputs				
Vergleich Verbrennung_1	1	Item	-	
Heat, district or industrial, natural gas	451,23175	MJ	Heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - DE	
Outputs				
Vergleich Verbrennung_2	1	Item		

Tabelle 45: Input-Tabelle form.bar End-of-Life Recycling

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
C3 + D 2 Recycling				
Inputs				
05_Regal am Wertstoffhof_2	1	Item	-	

Wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass	31,99	kg	Treatment of waste wood, post-consumer, sorting and shredding   wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass   Cutoff, U - RoW
---	-------	----	---

Outputs

06_EoL_2	1	Item	
----------	---	------	--

Tabelle 46: Input-Tabelle Vergleichswert form.bar Recycling

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>Vergleich Recycling form.bar</b>				
Inputs				
Vergleich_Recycling_1	1	Item	-	
Wood chips, wet, measured as dry mass	31,99	kg	Wood chips production, hardwood, at sawmill   wood chips, wet, measured as dry mass   Cutoff, U - RoW	
Outputs				
Vergleich_Recycling_2	1	Item		

Tabelle 47: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 End-of-Life Recycling

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>C3 + D 2_B Recycling</b>				
Inputs				
06_Regal am Wertstoffhof_B_3	1	Item	-	
Wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass	33,457	kg	Treatment of waste wood, post-consumer, sorting and shredding   wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass   Cutoff, U - RoW	
Containerboard, fluting medium	1,1336	kg	Containerboard production, fluting medium, recycled   containerboard, fluting medium   Cutoff, U - RER	
Graphic paper, 100% recycled	0,03544	kg	Graphic paper production, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - RER	

Polyethylene, high density, granulate, recycled	0,01984	kg	Polyethylene production, high density, granulate, recycled   polyethylene, high density, granulate recycled   Cutoff, U - RER
---	---------	----	---

Outputs

06_EoL_B_2	1	Item
------------	---	------

Tabelle 48: Input-Tabelle Vergleichswert Möbelkonzern 2 Recycling

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
Vergleich Recycling Möbelkonzern 2				
Inputs				
Vergleich_Recycling_1	1	Item	-	
Wood chips, wet, measured as dry mass	33,457	kg	Wood chips production, hardwood, at sawmill   wood chips, wet, measured as dry mass   Cutoff, U - RoW	
Containerboard, fluting medium	1,1336	kg	Containerboard production, fluting medium, VIRGIN   containerboard, fluting medium   Cutoff, U virgin - RER	
Graphic paper, 100% recycled	0,03544	kg	Graphic paper production, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - RER	
Polyethylene, high density, granulate	0,01984	kg	Polyethylene production, high density, granulate   polyethylene, high density, granulate   Cutoff, U - RER	
Outputs				
Vergleich_Recycling_2	1	Item		

Tabelle 49: Input-Tabelle form.bar und Möbelkonzern 2 Weiterverwendung

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
C3 + D 3 Wiederverwendung				
Inputs				
05_Regal am Wertstoffhof_4	1	Item	-	
Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5	S	km	Market for transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   Cutoff, U - GLO	S = 20
Outputs				

06\_EoL\_3

1

Item

Hinweis: nur Änderungen gegenüber Basisszenario dargestellt

Tabelle 50: Input-Tabelle form.bar cradle-to-cradle über 40 Jahre

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
C2	Entfällt/entfernt!			
Weiterverwendung				
Inputs				
04_Regal beim Kunden	1	Item	-	
Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5	S	km	Market for transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5   Cutoff, U - GLO	S = 20
Outputs				
05_Regal beim zweiten Kunden	1	Item		
Recycling				
Inputs				
05_Regal beim zweiten Kunden	1	Item		
Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	31,99 * S_4	kg * km	Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   Cutoff, U - RoW	S_4 = 15,1
Wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass	31,99	kg	Treatment of waste wood, post-consumer, sorting and shredding   wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass   Cutoff, U - RoW	
Outputs				
06_Rezyklat	1	Item		
Verbrennung				
Inputs				
06_Rezyklat	1	Item		
Waste wood, untreated	-31,99	kg	Treatment of waste wood, untreated, municipal incineration   waste wood, untreated   Cutoff, U - RoW	
Heat, district or industrial, other than natural gas	451,23175	MJ	Heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - DE	

Outputs

07\_Verbrennung 1 Item

Tabelle 51: Input-Tabelle Möbelkonzern 2 cradle-to-cradle über 40 Jahre

Fluss	Menge	Einheit	Provider (Prozess aus ecoinvent 3.6)	Parameter
<b>A1_B</b>				
Inputs				
01_Start	1	Item	-	
Aluminium alloy, metal matrix composite	0,058 * 2	kg	Market for aluminium alloy, metal matrix composite   aluminium alloy, metal matrix composite   Cutoff, U - GLO	
Corrugated board box	1,238 * 2	kg	Market for corrugated board box   corrugated board box   Cutoff, U - RER	
Fibreboard, hard	0,003 * 2	m <sup>3</sup>	Fibreboard production, hard   fibreboard, hard   Cutoff, U - RER	
Graphic paper, 100% recycled	0,032 * 2	kg	Market for graphic paper, 100% recycled   graphic paper, 100% recycled   Cutoff, U - GLO	
Iron-nickel-chromium alloy	0,043 * 2	kg	Market for iron-nickel-chromium alloy   iron-nickel-chromium alloy   Cutoff, U - GLO	
Particle board, for indoor use	0,051 * 2	m <sup>3</sup>	Particle board production, for indoor use   particle board, for indoor use   Cutoff, U - RER	
Polyethylene, high density, granulate	0,021 * 2	kg	Market for polyethylene, high density, granulate   polyethylene, high density, granulate   Cutoff, U - GLO	
Polyethylene, low density, granulate	0,004 * 2	kg	Market for polyethylene, low density, granulate   polyethylene, low density, granulate   Cutoff, U - GLO	
Pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark	0,000012 * 2	m <sup>3</sup>	Market for pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   pulpwood, hardwood, measured as solid wood under bark   Cutoff, U - Europe without Switzerland	
Steel, low-alloyed	0,016 * 2	kg	Market for steel, low-alloyed   steel, low-alloyed   Cutoff, U - GLO	
Outputs				
02_fertige Materialien_B	1	Item		
<b>A2_B</b>				
Inputs				
02_fertige Materialien_B	1	Item		

Transport, freight lorry, unspecified	33,44 * S_5 * 2	kg * km	Market for transport, freight lorry unspecified   transport, freight lorry, unspecified   Cutoff, U - RER	S_5 = 1572
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	33,44 * S_6 * 2	kg * km	Market for transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6   Cutoff, U - RER	S_6 = 373
Transport, freight, sea, container ship	33,44 * S_7 * 2	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO	S_7 = 184
Outputs				
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item		
A3_B				
Inputs				
03_fertige Materialien beim Hersteller_B	1	Item		
Electricity, medium voltage	21,26784 * 2	MJ	Electricity voltage transformation from high to medium voltage   electricity, low voltage   Cutoff, U - SE	
Heat, district or industrial, other than natural gas	2,80896 * 2	MJ	Heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1 MW   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U – Europe without Switzerland	
Outputs				
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item		
A4-1_B				
Inputs				
03_2_fertiges Regal beim Hersteller_B	1	Item		
Transport, freight lorry, 16-32 metric ton, EURO 6	34,87 * S_8 * 2	kg * km	Market for transport, freight, light commercial vehicle   transport, freight, light commercial vehicle   Cutoff, U – Europe without Switzerland	S_8 = 1398
Transport, freight, sea, container ship	34,87 * S_9 * 2	kg * km	Market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U - GLO	S_9 = 21,6
Outputs				
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item		
A4-2_B				

Inputs			
04_Regal in Verkaufsstätte_B	1	Item	
Transport, passenger car	170 * 2	km	Market for transport, passenger car   transport, passenger car   Cutoof, U - RER
Outputs			
05_Regal beim Kunden_B	1	Item	
C2_B			
Inputs			
05_Regal beim Kunden_B	1	Item	
Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry	34,87 * S_11 * 2	kg * km	Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   municipal waste collection service by 21 metric ton lorry   Cutoff, U - RoW S_11 = 15,1
Outputs			
06_Regal am Wertstoffhof_B	1	Item	
Verbrennung			
Inputs			
06_Regal am Wertstoffhof_B_2	1	Item	-
Municipal solid waste	-0,117 * 2	kg	Treatment of municipal solid waste, incineration   municipal solid waste   Cutoff, U - DE
Waste paperboard	-1,27 * 2	kg	Treatment of waste paperboard, municipal incineration   waste paperboard   Cutoff, U - RoW
Waste polyethylene	-0,025 * 2	kg	Treatment of waste polyethylene, municipal incineration   waste polyethylene   Cutoff, U - RoW
Waste wood, untreated	-33,457 * 2	kg	Treatment of waste wood, untreated, municipal incineration   waste wood, untreated   Cutoff, U - RoW
Heat, district or industrial, other than natural gas	451,19279 * 2	MJ	Heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - DE
Outputs			
07_Verbrennung	1	Item	

### 3 Fotos der Komponenten von Produkt 2

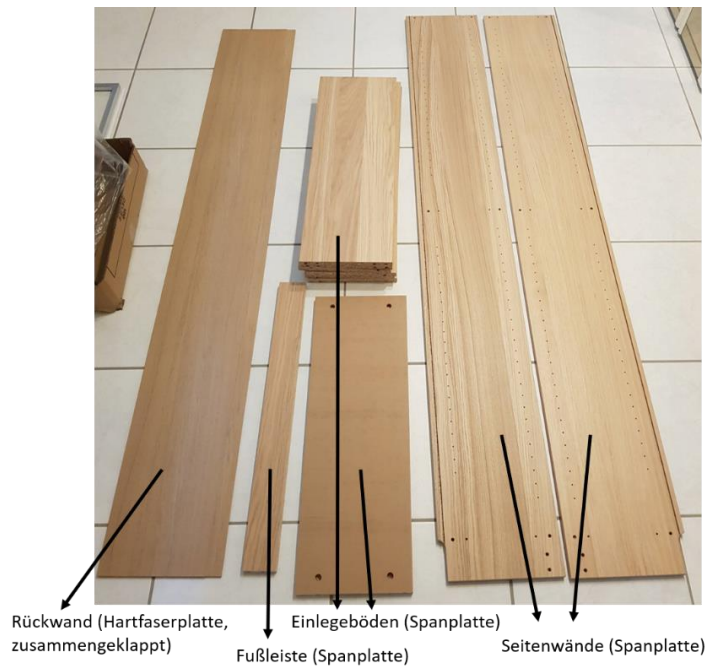


Abbildung 48: Fotos der Komponenten von Produkt 2 – Teil 1

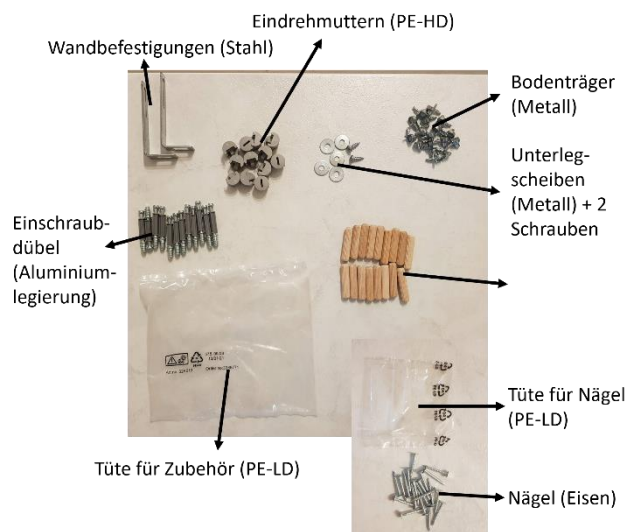


Abbildung 49: Fotos der Komponenten von Produkt 2 – Teil 2



Abbildung 50: Verpackung von Produkt 2

#### 4 Absolute Ergebnisse aller Wirkungskategorien für alle Szenarien

Tabelle 52: Absolute Ergebnisse aller Wirkungskategorien für alle Szenarien

		form.bar Basis	Möbel- konzern 2 Basis	form.bar Szenario 2	Möbel- konzern 2 Szenario 2	form.bar Szenario 3 Koskisen	form.bar Szenario 3 Europlac	form.bar Szenario 4	Möbel- konzern 2 Szenario 4	Möbel- konzern 2 Szenario 5
Feinstaubbildung	kg PM2.5 eq	0,10	0,15	0,12	0,09	0,09	0,11	0,02	0,11	0,17
Verknappung fossiler Ressourcen	kg oil eq	13,86	30,49	20,42	14,71	13,58	16,21	6,08	25,23	29,43
Süßwasser Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	2,12	7,00	4,18	2,13	2,09	2,26	0,75	6,26	4,26
Süßwasser Eutrophierung	kg P eq	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Erderwärmung	kg CO2 eq	41,67	92,95	63,47	41,88	40,80	48,27	18,91	79,14	83,77
Karzinogene Toxizität beim Menschen	kg 1,4-DCB	1,84	4,24	2,88	1,78	1,81	1,98	0,69	3,62	3,57
Nicht karzinogene Toxizität beim Menschen	kg 1,4-DCB	41,54	74,99	57,12	38,44	40,99	45,59	16,34	62,80	76,88
Landnutzung	m2a crop eq	0,51	1,45	0,80	0,78	0,47	0,85	0,39	1,40	1,56
Marine Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	2,88	9,05	5,48	2,92	2,84	3,13	1,06	8,08	5,84
Marine Eutrophierung	kg N eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verknappung mineralischer Ressourcen	kg Cu eq	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04
Ozonbildung (menschliche Gesundheit)	kg NOx eq	0,14	0,27	0,17	0,15	0,14	0,20	0,04	0,22	0,31
Ozonbildung (terrestrische Ökosysteme)	kg NOx eq	0,15	0,28	0,18	0,16	0,14	0,21	0,05	0,22	0,32
Stratosphärischer Ozonabbau	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Terrestrische Versauerung	kg SO2 eq	0,17	0,32	0,22	0,19	0,16	0,20	0,05	0,25	0,37
Terrestrische Ökotoxizität	kg 1,4-DCB	322,45	603,12	423,48	371,74	313,09	430,07	175,66	539,37	743,49
Wasserverbrauch	m3	151,25	274,34	184,32	196,69	149,80	157,44	36,20	217,34	393,39

## 5 Vergleichswerte in allen Wirkungskategorien für Kommunikation

Tabelle 53: Vergleichswerte, alle Wirkungskategorien, für Kommunikation

	form.bar	Möbel- konzern 2	Autofahrt 100 km
Erderwärmung/Treibhausgasemissionen [kg CO <sub>2</sub> äq.]	41,67	92,95	31,96
Wasserverbrauch [m <sup>3</sup> ]	151,25	274,34	50,72
Menschliche Gesundheit (nicht karzinogen) [kg 1,4-DCB]	41,54	74,99	27,31
Süßwasser Ökotoxizität [kg 1,4-DCB]	2,12	7,00	3,19
Ozonbildung, menschliche Gesundheit [kg NO <sub>x</sub> äq.]	0,14	0,27	0,08
Menschliche Gesundheit (karzinogen) [kg 1,4-DCB]	1,84	4,24	1,59
Terrestrische Ökotoxizität [kg 1,4-DCB]	322,45	603,12	156,44
Terrestrische Versauerung [kg SO <sub>2</sub> äq.]	0,17	0,32	0,09
Süßwasser Eutrophierung [kg P äq.]	0,02	0,02	0,005
Feinstaubbildung [kg PM <sub>2,5</sub> äq.]	0,1	0,15	0,0375
Verknappung fossiler Ressourcen [kg Öl äq.]	13,86	30,49	9,93
Marine Ökotoxizität [kg 1,4-DCB]	2,88	9,05	4,04
Verknappung mineralischer Ressourcen [kg Cu äq.]	0,01	0,04	0,01
Ozonbildung, terrestrische Ökosysteme [kg NO <sub>x</sub> äq.]	0,15	0,28	0,08
Landnutzung [m <sup>2</sup> a crop äq.]	0,51	1,45	0,45
Marine Eutrophierung [kg N äq.]	0,002	0,002	0,0005
Stratosphärischer Ozonabbau [kg CFC11 äq.]	0,00004	0,00005	0,00002

Angeben lässt sich im Hintergrund auch der Stromverbrauch (aus Abschnitt 4.5). Als Vergleichswert empfiehlt sich hier der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch an Strom in Deutschland. Dieser lag im Jahr 2018 bei 19,72 kWh (Breitkopf, 2020d).