

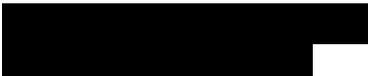
Fakultät Bauingenieurwesen

Kreislaufwirtschaft bei WeberHaus
Einführung der Rückverfolgung von Materialien mit
Fokus auf die Dokumentation durch Materialpässe

Masterthesis in der Vertiefungsrichtung Baubetrieb und Baumanagement

Von

Frederik Schölch

Studiengang:	Master Bauingenieurwesen
Semester:	4
Anschrift:	
E-Mail-Adresse:	
Betreuer Firma:	Dipl.-Ing. Eckehard Erndwein WeberHaus, Rheinau-Linx
Betreuer Hochschule:	Prof. Dr.-Ing. Michael Bühler HTWG Konstanz
Bearbeitungszeitraum:	März 2022 – August 2022

Kurzfassung

Ein Wandel weg von der linearen und hin zu einer Kreislaufwirtschaft, wie man ihn bereits in verschiedenen Bereichen erkennen kann, hat positive Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt. Die Baubranche könnte durch ihre hohe Ressourcen- und Energieintensität ein wichtiger Beitrag zur Klima- und Umweltschonung durch Kreislaufpraktiken leisten. Im Fokus sollte nicht mehr nur eine effiziente Gebäudehülle stehen, sondern eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung.

Aufgrund mangelnden Bewusstseins, fehlender rechtlicher Rahmenbedingungen, Organisationen, Softwaretools und fehlender Anreize durch Förderungen oder Geschäftsmodelle kann und wird eine ganzheitliche Kreislaufwirtschaft derzeit noch nicht in der Baubranche umgesetzt. Ein weiterer bedeutsamer Grund sind fehlende Materialpässe und deren Umsetzungsmöglichkeiten in der Praxis.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Lücke zwischen den Anforderungen an Materialpässe und deren Umsetzung in der Praxis, speziell für WeberHaus und somit den Holz-Fertighausbau, frühzeitig zu schließen. Durch Experteninterviews werden der Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses beschrieben und gleichzeitig die Themen Kreislaufwirtschaft, Rückverfolgung und Materialpässe mit den Mitarbeitern diskutiert und nähergebracht. Aus dem Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses werden Möglichkeiten einer Umsetzung in Form von zwei Varianten für Materialpässe geliefert, welche die zuvor festgelegten Anforderungen erfüllen.

Zur Beschreibung des Materialflusses hat es sich als sinnvoll erwiesen, eine Einteilung des gesamten Unternehmens auf Gebäude- und Elementebene vorzunehmen. Der Informationsfluss wird für den Materialpass hauptsächlich durch die vorhandenen Softwaresysteme Bentley, Dietrich's, SAP und WeKo bestimmt. Um die Anforderungen, die an die Materialpässe gestellt werden, bestmöglich und mit geringem Aufwand erfüllen zu können, stellt sich BIM in Kombination mit der Plattform Madaster als sinnvolles Instrument heraus. Hierzu sind jedoch aufwendige Fachmodelle oder ein Koordinationsmodell nötig, welche von WeberHaus noch nicht vollständig realisiert werden. Als Übergangslösung bietet sich ein Materialpass auf Elementebene an, der durch diese Betrachtung standardisiert und ergänzt werden kann. Eine Ergänzung dieser Variante durch QR-Codes bietet zusätzlich eine direkte Verknüpfung von Informationen mit Bauteilen.

Abstract

A shift away from a linear and towards a circular economy, as can already be seen in various sectors, has positive effects on the climate and the environment. Due to its high resource and energy intensity, the construction industry could make an important contribution to climate and environmental protection through circular practices. The focus should no longer be on an efficient building envelope alone, but on a holistic approach to sustainability.

Due to a lack of awareness, legal frameworks, organizations, software tools and incentives through subsidies or business models, a holistic circular economy cannot and is not yet implemented in the construction industry. Another significant reason is the lack of material passports and their implementation possibilities in practice.

The aim of this work is to close the gap between the requirements for material passes and their implementation in practice, especially for WeberHaus and thus the timber prefabricated house construction, at an early stage. Through expert interviews, the actual state of the material and information flow is described and at the same time the topics of circular economy, traceability and material passports are discussed with the employees and brought closer. From the actual state of the material and information flow, possibilities for implementation are provided in the form of two variants for material passes that fulfill the previously defined requirements.

To describe the material flow, it has proven useful to divide the entire company into building and element levels. The information flow for the material passport is mainly determined by the existing software systems Bentley, Dietrich's, SAP and WeKo. In order to be able to fulfill the requirements placed on the material passports in the best possible way and with little effort, BIM in combination with the Madaster platform turns out to be a sensible instrument. However, this requires complex specialist models or a coordination model, which are not yet fully implemented by WeberHaus. As a transitional solution, a material passport on element level is offered, which can be standardized and supplemented by this consideration. Supplementing this variant with QR codes also offers a direct link between information and components.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1 Einführung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung und Ziel der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau und Abgrenzung der Arbeit.....	5
1.4 Verwendete Methodik	6
2 Allgemeine Grundlagen.....	8
2.1 Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft.....	8
2.1.1 Nachhaltigkeit im Allgemeinen.....	8
2.1.2 Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen	8
2.1.2.1 Lebenszyklus und Schichten eines Gebäudes	10
2.1.2.2 Urban Mining.....	11
2.1.2.3 Materialpass und digitaler Gebäuderessourcenpass	13
2.1.2.4 Produkte als Dienstleistungen.....	14
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen, Zertifizierungen und Förderungen	14
2.2.1 Internationale Gesetzgebungen.....	14
2.2.2 Nationale Gesetzgebungen und Zertifizierungen	16
2.3 Rückverfolgung und Dokumentation von Materialien	19
2.3.1 BIM	19
2.3.2 Dokumentations- und Handelsplattformen	24
2.3.3 Best Practice Beispiele	29
2.3.3.1 Baubranche.....	29
2.3.3.2 Elektrotechnische Industrie am Beispiel von Apple	31
2.3.3.3 Lebensmittelbranche.....	32
3 WeberHaus und der Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses..	34
3.1 Fertighausbau allgemein und bei WeberHaus.....	34
3.2 Das Unternehmen und seine Produkte	36
3.3 Die Liefer- und Wertschöpfungskette	40
3.4 Abriss, Rückbau und Entsorgung	48
3.5 Informationsfluss	49
3.5.1 Software und Datenformate.....	49
3.5.2 BIM bei WeberHaus.....	55
3.6 Materialfluss	57
3.6.1 Beschreibung und Darstellung für gesamt WeberHaus.....	57
3.6.2 Beschreibung und Darstellung auf Gebäudeebene am Beispiel des BV 84207	60

3.6.3	Beschreibung und Darstellung auf Elementebene	64
4	Einführungsvorschläge für die Rückverfolgung und Dokumentation bei WeberHaus	67
4.1	Ergebnisse der Interviews zur Kreislaufwirtschaft	67
4.2	Ergebnisse der Interviews zur Rückverfolgung	70
4.3	Anforderungen an die Rückverfolgung und Materialpässe.....	71
4.4	Entwicklung von Rückverfolgungsvarianten	77
4.4.1	Variante 1 – Hausinterne Tools	77
4.4.2	Variante 2 – Madaster und BIM	81
5	Implementierung	84
5.1	Implementierung der Variante 1.....	84
5.2	Implementierung der Variante 2.....	92
5.3	Vergleich der Varianten bezüglich Anforderungserfüllung, Aufwand und Kosten	95
5.4	Zeitliche Umsetzung der Variante 2.1 und nötige Anpassungen	97
6	Fazit und Ausblick	100
	Literaturverzeichnis	IX
	Anhang	XXI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts	1
Abbildung 2: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts	1
Abbildung 3: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts	2
Abbildung 4: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts	2
Abbildung 5: Biotischer und technischer Verwertungskreislauf	10
Abbildung 6: Einteilung der Lebenszyklusabschnitte	10
Abbildung 7: Schichtenmodell nach Brand.....	11
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Konzepts von Madaster	26
Abbildung 9: Detaillierungsgrad des Gebäudepasses in 3 Ebenen	27
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Konzepts von Concular.....	29
Abbildung 11: Forschungs- und Innovationsgebäude NEST	29
Abbildung 12: Lebenszyklusphasen im Vergleich	35
Abbildung 13: Organigramm WeberHaus.....	36
Abbildung 14: Charakteristische Elemente der Holzrahmenbauweise.....	37
Abbildung 15: Detaillierter Wandaufbau der „ÖvoNatur Therm“	38
Abbildung 16: Produktlinien: Individual, Baureihen, Objektbau.....	38
Abbildung 17: Verteilung der gebauten Gebäude auf Länder und Produktlinien.....	39
Abbildung 18: Verteilung der gebauten Gebäude auf die Baureihen	40
Abbildung 19: Die Lieferkette von WeberHaus.....	40
Abbildung 20: Wertschöpfungskette mit den dazugehörigen Prozessen	41
Abbildung 21: Das Magazin und das Lager für Langholz, Kurzholz und Plattenware.....	43
Abbildung 22: Produktionsbilder	44
Abbildung 23: Automatische Abbund- und Montageanlage in der Produktion.....	46
Abbildung 24: Montage des Erdgeschosses des Bauvorhabens 84207	47
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen der Wertschöpfungskette und der Software	49
Abbildung 26: Schematischer Zusammenhang zwischen den Softwaresystemen	50
Abbildung 27: Ausschnitt des Dietrich´s-Modells und des Excelexportes	54
Abbildung 28: Das Dietrich´s-Modell hin zum vollständigen Gebäudemodell	57
Abbildung 29: Materialfluss auf Unternehmensebene.....	59
Abbildung 30: Auszug der Excelliste vom Aufmaß des BV 84207.....	62
Abbildung 31: Darstellung des Materialflusses auf Gebäudeebene.....	63
Abbildung 32: Darstellung der Konstruktion einer Außenwand mit Aufmaß	64
Abbildung 33: Schichtenaufbau eines Wandelements von WeberHaus.....	66
Abbildung 34: Deutschlandweite Verteilung der gebauten Häuser durch WeberHaus	69
Abbildung 35: Schematische Darstellung des Ablaufs für die Variante 1.1	78

Abbildung 36: Schematische Darstellung der Variante 1.2	79
Abbildung 37: Schematische Darstellung der Variante 1.3	80
Abbildung 38: Schematische Darstellung der Variante 2.1	82
Abbildung 39: Schematische Darstellung der Variante 2.2	83
Abbildung 40: Beschreibung der Schichtengrenzen und Trennbarkeitshinweise.....	85
Abbildung 41: Beispielhafte Zusammenfassung eines Materialpasses.....	86
Abbildung 42: Ausschnitt einer Ökobilanzierung eines Gebäudes mit dem Tool eLCA.....	89
Abbildung 43: QR-Code mit hinterlegtem Materialpass auf Elementenebene	90
Abbildung 44: Roadmap WeberHaus zur Umsetzung.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Interviewpartner der durchgeführten Interviews.....	7
Tabelle 2: Hinweise zu einem erfolgreichen Urban-Mining-Design	12
Tabelle 3: Level of Development (LoD) 300 und 400	21
Tabelle 4: Strategien zur Anwendung von BIM zur Umsetzung von Materialpässen	23
Tabelle 5: Plattformen für die Dokumentation und den Handel von Materialien.....	25
Tabelle 6: Anzahl der gebauten Produktlinien	40
Tabelle 7: Materialkategorisierung und -nummerierung bei WeberHaus in SAP.....	51
Tabelle 8: Materialart mit Zuordnung der Herkunft und Ziel	58
Tabelle 9: Angaben zu Materialien/Vorprodukten eines Fensters in einer EPD	65
Tabelle 10: Informationsanforderungen an einen Produktpass	71
Tabelle 11: Informationsanforderung an einen Materialpass	72
Tabelle 12: Definition eines Rückverfolgungsgrads.....	76
Tabelle 13: Vergleich der drei Varianten auf die Anforderungen.....	96
Tabelle 14: Mögliche messbare Indikatoren für die Umsetzung	98

1 Einführung

„Was für ein Ende soll die Ausbeutung der Erde in all den Jahrhunderten noch finden? Bis wohin soll unsere Habgier noch vordringen?“

Gaius Plinius Secundus Maior, römischer Gelehrter, 79 n. Chr.

1.1 Ausgangssituation

Der Rohstoffverbrauch und die CO₂ Belastung steigen an, die Naturkatastrophen häufen sich und die Biodiversität sinkt. Im Jahr 2021 befanden sich 15.772 gefährdete Tierarten auf der Roten Liste der International Union for



Abbildung 2: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts (eigene Darstellung)

Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), die Anzahl hat sich somit seit dem Jahr 2000 mehr als verdoppelt [1]. Die weltweiten Versicherungsschäden durch Naturkatastrophen betragen vom Jahr 1970 bis ins Jahr 2020 mehr als das 23-fache. So lag die Summe 1970 noch bei 3,42 Mrd. US-Dollar und stieg bis 2020 auf 80,64 Mrd. US-Dollar [2]. Seit dem Beginn der Messung war das wärmste Jahr 2016, das fast ein Grad Celsius über dem weltweiten Durchschnitt lag. Die 10 wärmsten Jahre sind in den letzten 16 Jahren gewesen [3]. Eine Folge ist das Schmelzen der Arktis-Eisfläche, die seit 1980 insgesamt um die Hälfte zurückging (Sommer-Eisfläche) [4].

Durch den immer größer werdenden Wohlstand, die steigende Bevölkerung und die Industrialisierung werden immer mehr Ressourcen verbraucht. Das lässt sich anhand vom Erdüberlastungstag verdeutlichen. Der Erdüberlastungstag gibt an, an welchem Tag im Jahr die Menschen mehr Ressourcen verbrauchen als regenerativ nachwachsen kann. Dieser befand sich im Jahr 1970 am 29.



Abbildung 1: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts (eigene Darstellung)

Dezember und im Jahr 2021 am 29. Juli, Tendenz immer weiter sinkend. Im Jahr 2020 lag der Erdüberlastungstag aufgrund der Covid-19 Pandemie, z.B. durch Rückgang des Flugverkehrs, am 22. August [5]. Bis 2050 könnte so das Äquivalent von fast drei Erden erforderlich sein, um die natürlichen Ressourcen für die Aufrechterhaltung des jetzigen Lebensstils zu gewährleisten [6]. Durch den erheblichen Ressourcenverbrauch steigt auch das Abfallaufkommen immer weiter an. Zu dem hohen Ressourcenverbrauch kommen aktuell enorme Preissteigerungen und Lieferengpässe, verursacht durch die Pandemie und den Ukraine-Krieg, die nicht nur die Baubranche betreffen.

Die Verantwortung liegt nun bei der Bevölkerung, bei Unternehmen und den Regierungen, die Klimakrise zu beenden. Durch viele Institutionen wurden deshalb in der Vergangenheit und werden auch in der Zukunft immer häufiger Ziele, Gesetze und Rahmenbedingungen festgelegt. Aus dem 1987 veröffentlichten Brundland-Bericht entstanden 2015 die von der UN herausgegebenen

„Sustainable Development Goals“ (SDGs), die mit 17 Zielen die nachhaltige Entwicklung bis 2030 vorantreiben sollen. Im selben Jahr wurde das Pariser-Abkommen geschlossen, worauf Aktionspläne, das europäische Kreislaufwirtschaftspaket und 2019 der Green Deal der EU veröffentlicht wurden. Ziel der EU ist es, bis 2050 klimaneutral zu werden, ohne das Wirtschaftswachstum zu gefährden [7]. Seitdem werden in der „Decade of Action“ [8], dem Zeitraum von 2020 bis 2030 für die Umsetzung der 17 SDGs der UN, Berichte und Lösungen veröffentlicht. Die Bundes- und Landesgesetze werden dabei den EU-Richtlinien angeglichen. Die Bundesregierung hat sich mit der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) an den Zielen der UN (SDGs) orientiert und angepasst, was unter anderem eine Klimaneutralität bis 2045 bedeutet [9]. Viele Unternehmen springen auf den Zug auf und geben als Ziel an, dass Sie bis 2030 klimaneutral werden wollen [10]. Auf Bundesebene entstand aus dem 1972 geschaffenen Abfallbeseitigungsgesetz 2012 das Gesetz zur „Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen“ [11], das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Dieses wird durch Regelungen des jeweiligen Landes und der Kommunen ergänzt und konkretisiert. Unter Kreislaufwirtschaft wird eine Wirtschaft verstanden, die nicht wie heutzutage üblich linear, als Wegwerfwirtschaft, sondern zirkulär funktioniert [12]. Erreicht wird dies durch eine Reduzierung des Abfalls und der Verschmutzung, durch Wiedereinbringen von Produkten und Materialien und durch die Regeneration der Natur. Ziel ist die Bekämpfung der Klimakrise, des Biodiversitätsverlustes, des hohen Abfallaufkommens und der Verschmutzung.

Schlagzeilen über die Baubranche zu Kostenexplosionen, Mindestentlohnung, Mietpreisentwicklung, Wohnungsbedarf lassen oft den Megatrend Nachhaltigkeit in den Hintergrund rücken [13]. Im Moment ist jedoch die Nachhaltigkeit in der Branche durch die Situation der KfW-Förderung in aller Munde. Förderungen im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) blie-

ben seit Januar teilweise aus und wurden im April zwar wieder aufgenommen, das Budget war aber innerhalb kürzester Zeit aufgebraucht. Bis zum Jahresende werden nur noch



Abbildung 3: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts (eigene Darstellung)



Abbildung 4: Grafische Zusammenfassung des Abschnitts (eigene Darstellung)

Förderungen für Gebäude mit der „Nachhaltigkeits-Klasse“ (NH-Klasse) und dem „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) vergeben [14], [15]. Diese werden nur bei der Einhaltung strenger ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien vergeben. Diese Entwicklungen weisen darauf hin, dass der Fokus weg von effizienten Gebäudehüllen hin zur ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung geht, unter anderem hin zur Optimierung des Ressourcenbedarfs. Das bedeutet weg von einer linearen und hin zu einer Kreislaufwirtschaft.

Die Baubranche ist mit einem Anteil am Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 11,6% im Jahr 2020 in Deutschland ein bedeutender Sektor [16]. Jährlich werden in Deutschland rund eine Milliarde Tonnen Primärrohstoffe abgebaut und weitere 250 Millionen Tonnen Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren importiert [17]. Die Baubranche gehört zu den ressourcenintensivsten Sektoren. Im Jahr 2019 entstanden in Deutschland Abfälle in Höhe von 417 Millionen Tonnen, wovon der größte Teil mit 55 % durch die Bauindustrie durch Bau- und Abbruchabfälle entstand, wovon 87% „echt“ recycelt oder downgecycelt wurden [18]. Somit wird durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen von z.B. Mindestverwertungsquoten schon einiges für die Entsorgung durch Recycling und Sortierung des Bauschutts erreicht, eine Wiederverwendung mit Qualitätserhalt oder -steigerung ist jedoch noch selten der Fall.

Das hohe BIP, die hohe Ressourcenintensität, der große CO₂-Fußabdruck und die hohen Abfälle veranschaulichen das große Potenzial der Baubranche für Kreislaufpraktiken. Die vorhandenen Strukturen, die Logistik und die Planung sind jedoch noch nicht auf eine wirtschaftliche Umsetzung von Kreislaufpraktiken ausgelegt [19, p. 10].

1.2 Problemstellung und Ziel der Arbeit

Problemstellung

Es gibt inzwischen viele Studien und Forschungsberichte zum Thema Recycling, Bestandserhaltung und immer mehr Studien und Forschungsberichte zum Thema Wiederverwendung, Demontierbarkeit, also der Kreislauffähigkeit, der „Circular Economy“ [19]. Für die Kreislauffähigkeit ist es wichtig zu wissen, was in den Bauteilen enthalten ist, weshalb eine Rückverfolgung der Materialien in gewissen Maßen vorhanden sein muss. Es mangelt jedoch aktuell noch an Lösungen zur Einbindung solcher Rückverfolgungs- und Dokumentationsmethoden in die Praxis. Aus den Recherchen und den Interviews im Unternehmen „WeberHaus“ ergeben sich bis jetzt folgende Thesen zu Hemmnissen, die in der Grafik unter A.2.1 im Anhang nochmals zusammengefasst dargestellt werden.

Mangel an Bewusstsein und Dringlichkeit in der Praxis

Gebäude sind langlebige Produkte, die im Wohnungsbau als Traumerfüllung von einem Bauherrn erstellt werden. Der Gedanke an den Abriss und die Wiedereinbringung von Materialien fällt vielen Beteiligten schwer und liegt deshalb bei vielen nicht an erster Stelle [20]. Da es von Kunden nicht verlangt wird, sehen sich Unternehmen nicht in der Pflicht, einer Kreislaufwirtschaft gerecht zu werden. Der Kunde nimmt deshalb eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung ein.

Mangel an rechtlichen Rahmenbedingungen und Leitfäden für die Praxis

Gesetze und Richtlinien sind für Veränderungen zur Kreislaufwirtschaft unerlässlich. Oft bestehen Widersprüche zwischen Praxis und der Politik im Hinblick auf Kommunikation und Wissen, wodurch eine Umsetzung von Gesetzen erschwert wird. Der Bund könnte unter anderem durch sein Beschaffungsvolumen eine Vorreiterrolle einnehmen [21]. Der Staat kann somit die Praxis beeinflussen, was natürlich auch umgekehrt möglich ist. Es müssten außerdem andere Vertragsmodelle entstehen, die die Kooperation zwischen Bauunternehmen, Bauherr und Abriss und Wiedereinbringung erleichtern [22].

Mangel an Kommunikation, Organisation und Software

Um eine bessere Kommunikation und Wissenstransfer herstellen zu können, benötigt es künftig mehr geregelte Netzwerke, Plattformen, Leitfäden und Organisationsstrukturen. Diese sind wichtig, um die Materialien rückverfolgen, einbauen und nach dem Abriss wieder ausbauen und wiederverwenden zu können [19, p. 12]. Häufig gibt es in der Praxis nur vereinzelte Unternehmen mit individuellen Projekten, durch die das Thema aufgegriffen und behandelt wird [23, p. 20]. Die Planung, Beschaffung, Logistik und die Montage bzw. Demontage sind außerdem nicht auf eine Kreislaufwirtschaft ausgelegt. Zudem erschwert eine fehlende Digitalisierung die Transparenz und somit die Rückverfolgung und Wiedereinbringung. Es mangelt an Softwaretools, was durch das steigende Interesse und Wissen über Kreislaufpraktiken jedoch in Zukunft behoben werden könnte [23, pp. 21-22]. Außerdem ist es im Fall eines Materialpasses schwierig, die nötigen Daten über die komplette Lebensphase hinweg verfügbar, lesbar und bearbeitbar zu halten.

Mangel an finanziellen Anreizen

Eine Umsetzung solcher Kreislaufpraktiken scheitert häufig an finanziellen Anreizen [19, p. 13]. Wirtschaftliche Lösungen sind im Moment noch selten und müssten daher gefördert werden. Die konservative Haltung der Branche im Bereich Innovationen zur Digitalisierung oder Nachhaltigkeit könnte hierdurch verändert werden. Außerdem schrecken die erhöhten Kosten für Material, Bauweise und für Anschaffungen viele Kunden, Unternehmen und

Investoren ab. Solange also keine wirtschaftlichen Lösungen gefunden, Anreize geschaffen und der Fokus auf die Gewinnmaximierung gesetzt werden, fällt die Umsetzung im Unternehmen schwer [22].

Ziel

Auf Basis der gesetzlichen Anforderungen und der Anforderungen von WeberHaus an eine Kreislaufwirtschaft und Materialpässe sollen Möglichkeiten gefunden werden, um einen Materialpass bei WeberHaus einzuführen. Die Rückverfolgung von Materialien und Produkten soll hierdurch transparenter gestaltet werden. Durch frühzeitige Auseinandersetzung mit dem Thema können die Wettbewerbsfähigkeit und die Ressourceneffizienz durch Wiedereinbringung von Materialien gesteigert und der ökologische Fußabdruck des Unternehmens verbessert werden. Außerdem soll hiermit das Thema der Kreislaufwirtschaft und der Materialpässe den Mitarbeitern nähergebracht und das Bewusstsein hierfür gestärkt werden.

1.3 Aufbau und Abgrenzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel untergliedert. Das erste Kapitel führt durch das Aufzeigen der Ausgangssituation in das Thema der Nachhaltigkeit und die Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen und in der Baubranche ein. Hier werden außerdem die Probleme, Ziele und die Methodik der Arbeit geklärt. Im Kapitel 2 werden allgemeine Grundlagen zur Nachhaltigkeit, der Kreislaufwirtschaft und der rechtlichen Situation auf internationaler und nationaler Ebene beschrieben. Zusätzlich werden die Grundlagen zum eigentlichen Thema der Rückverfolgung und Dokumentation geliefert. Das dritte Kapitel beschreibt den Fertighausbau und das Unternehmen WeberHaus. Hier wird der Ist-Zustand im Unternehmen beschrieben, um anschließend den Informationsfluss und Materialfluss bestmöglich darstellen und beschreiben zu können. Der Informationsfluss wird mithilfe der vorhandenen Softwaresysteme WeKo, SAP, DocuWare, Bentley und Dietrichs beschrieben. Der Materialfluss wird auf drei verschiedenen Ebenen, der Unternehmensebene, Gebäudeebene und auf Elementebene dargestellt. Diese Aufteilung ist nötig, um im nächsten Kapitel 4 die verschiedenen Rückverfolgungsvarianten vorzustellen. In diesem Kapitel werden am Anfang die Experteninterviews zum Thema Kreislaufwirtschaft und Rückverfolgung ausgewertet und Anforderungen an die Rückverfolgung durch Materialpässe definiert. Anschließend werden im Kapitel 5 Möglichkeiten zur Umsetzung der Varianten aufgezeigt, die Varianten verglichen und eine Empfehlung ausgesprochen. Die Ergebnisse werden durch das Fazit diskutiert und mit einem Ausblick der Arbeit abgeschlossen.

Die Themenidee entstand aus einem Forschungsprojekt meines Betreuers, Herrn Prof. Bühler. Die Idee war es einen ganzheitlichen Überblick über die Rückverfolgung vom

Materialfluss in Verbindung mit der Digitalisierung zu schaffen. Durch die nötige Eingrenzung konzentriert sich die Arbeit nun auf mögliche Strategien zur Materialpasserstellung die Digitalisierung steht dabei nicht im Fokus, ist aber Mittel zum Zweck. Eine ganzheitliche Rückverfolgung der Materialien wird hierdurch nicht erzielt. Es wird ein Überblick zu den Anforderungen und Möglichkeiten geliefert, die technische Umsetzung wird zwar betrachtet, spielt aber in der vorliegenden Arbeit ebenso eine untergeordnete Rolle.

Das Unternehmen WeberHaus erstellt Neubauten und schließt damit die Leistung meistens ab, wodurch diese Arbeit sich auf Materialpasserstellung für Neubauten und nicht im Bestand kümmert. Außerdem wird die Veröffentlichung in einem Materialkataster nur angeschnitten. Materialpässe im Bestand und Materialkataster sind jedoch Punkte, die für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft sehr wichtig sind. Hierzu wäre ein Upload der empfohlenen Quelldatei bei Madaster hilfreich gewesen, um die Vorteile der Plattform und eines öffentlichen Katasters vollständig aufzeigen zu können. Dies war jedoch aus Gründen des Umfangs der Arbeit nicht möglich. Durch den hohen Individualisierungsgrad von Objektbauten und Individualbauten bei WeberHaus eignen sich die vorgeschlagenen Varianten unterschiedlich gut für die verschiedenen Bauten. Des Weiteren knüpft die Arbeit an eine Bachelorarbeit bei WeberHaus an, die die Kreislaufwirtschaft im Holz-Fertighausbau im Allgemeinen betrachtete. Auch zum Thema BIM, das bereits oft bei WeberHaus behandelt wurde, werden manche Punkte aus bisherigen Abschlussarbeiten aufgegriffen.

1.4 Verwendete Methodik

Die Forschungsarbeit wird in drei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt werden Experteninterviews durchgeführt, aufgenommen, transkribiert und ausgewertet. Für die Transkription wird die Software f4Transkript und für die Analyse die Software f4Analyse verwendet. Die Interviewpartner sind breit über das Unternehmen gestreut, um möglichst viele und unterschiedliche Meinungen und Expertisen zu erhalten. Die Interviews sollen einen ersten Überblick über das Unternehmen liefern. Dies wird für die Abbildung des Materialflusses und Informationsflusses benötigt. Außerdem wird hierbei das Thema Kreislaufwirtschaft mit den Mitarbeitern diskutiert, um Potenziale und Hemmnisse bei WeberHaus herauszufinden und das Bewusstsein zu stärken.

Im nächsten Schritt werden mit Hilfe der ausgewerteten Interviews der Materialfluss und Informationsfluss dargestellt. Erste Skizzen hierzu werden mit den Experten durchgesprochen und korrigiert, um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten.

Im letzten Schritt werden die in der Arbeit entwickelten Rückverfolgungsvarianten mit den vorher festgelegten Anforderungen an die Materialpässe abgeglichen und Empfehlungen ausgesprochen.

Folgende Interviewpartner bzw. Gesprächspartner wurden im Laufe der Forschungsarbeit interviewt, die Transkripte und der Interviewleitfaden sind im Anhang zu finden:

Tabelle 1: Interviewpartner der durchgeführten Interviews

Person	Datum	Position/Abteilung	Thema
Til Hagendorn	01.04.2022	Business Development Madaster	Madaster Plattform, Geschäftsmodell, Materialpässe
[REDACTED]	07.04.2022	Leiter Materialwirtschaft und Einkauf	Rückverfolgung, Materialfluss, Informati- onsfluss
[REDACTED]	13.04.2022	WeberHaus Service	Demontage Ausstellungshäuser
[REDACTED]	21.04.2022	Technischer Produktionsleiter	Materialfluss, Informationsfluss
[REDACTED]	22.04.2022	Leitung Bauplanung	BIM, Informationsfluss
[REDACTED]	25.04.2022	Bautechnik	Standards, WeberNorm, Implementie- rung Prozesse
[REDACTED]	27.04.2022	Logistik und Entsorgung	Entsorgung, Lager
[REDACTED]	28.04.2022	Bautechnik/Bauplanung	Nachhaltigkeit bei WeberHaus
[REDACTED]	28.04.2022	Energieberater und Tragwerks- planer für WeberHaus	KfW Förderung, Nachhaltigkeit
[REDACTED]	02.05.2022	Leitung Montage	Montage/Demontage
[REDACTED]	05.05.2022	Leitung Technischer Service	Digitale Hausakte, Digitalisierung
[REDACTED]	12.05.2022 31.05.2022	Leitung Materialwirtschaft	Materialfluss, Informationsfluss, Einfüh- rung SAP
[REDACTED]	16.05.2022	Abteilungsleiter Arbeitsvorberei- tung Produktion Wand	Rückverfolgung Produktion und Einfüh- rung Dietrichs
[REDACTED]	23.05.2022	Leitung Kalkulation	Einführung WeKo, Materialfluss, Infor- mationsfluss
[REDACTED]	21.06.2022	Materialwirtschaft	Einführung in Transaktionen SAP, Mate- rialfluss WeberHaus und im Gebäude
[REDACTED]	22.06.2022	Arbeitsvorbereitung Produktion Dach	Gespräch zur Dokumentation über Diet- richs des Daches. Verknüpfung von Diet- rich mit WeKo

2 Allgemeine Grundlagen

„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe / weiln es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse [Wesen, Dasein] nicht bleiben mag.“

Carl von Carlowitz, Sylvicultura Oeconomica, 1713

Aus der jetzigen Situation der Baubranche und der Problemstellung geht hervor, dass eine Kreislaufwirtschaft im Moment nicht umgesetzt werden kann. Das nächste Kapitel beschreibt deshalb die Grundlagen, um in den späteren Kapiteln Vorschläge der Umsetzung von Materialpässen liefern zu können. Nachfolgend werden allgemeine Themen zur Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft beschrieben und anschließend der Fokus auf die Rückverfolgung und Materialpässe gelegt.

2.1 Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft

2.1.1 Nachhaltigkeit im Allgemeinen

Der Begriff Nachhaltigkeit wurde vor allem von Hans Carl von Carlowitz durch das Buch „Sylvicultura oeconomica“ über die Forstwirtschaft im Jahr 1713 geprägt [24, p. 3]. Definiert wird der Begriff von Carlowitz durch eine Forstwirtschaft, bei der nur so viele Bäume gefällt werden dürfen, wie auch nachwachsen können. Diese Definition deckt sich auch mit dem „Brundtland-Bericht“ im Jahr 1987 durch die Weltkommission, bei der die Nachhaltigkeit durch ein Handeln definiert wurde, das die Wahl- und Gestaltungsmöglichkeiten zukünftiger Generationen nicht beeinträchtigt [24, p. 3]. Bei der UN-Konferenz im Jahr 1992 entwickelte sich eine bis heute übliche Gliederung der Nachhaltigkeit in drei Dimensionen: Ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte. Auf den Bau bezogen wurde dies 2001 durch die bis heute fortlaufenden Veröffentlichungen des „Leitfaden für Nachhaltiges Bauen“. Hinzu kamen im Laufe der Zeit immer mehr Gesetze, Zertifizierungen oder förderrechtliche Vorgaben mit unterschiedlichen Anforderungen an die Gebäude. Hierzu ist unter Kapitel 2.2 Genauerer beschrieben.

2.1.2 Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen

In den letzten zehn Jahren hat sich die Kreislaufwirtschaft als bevorzugte Strategie für nachhaltige Produktion und Konsum entwickelt [23, p. 2]. Laut dem Europäischen Parlament ist die Kreislaufwirtschaft „ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich geteilt, geleast, wiederverwendet, repariert,

aufgearbeitet und recycelt werden. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus der Produkte verlängert.“ [25]. Das bedeutet, dass Abfälle reduziert werden sollen und die Materialien und Produkte so lang wie möglich in der Wirtschaft bleiben sollen, um wertschöpfend zu bleiben. Das Gegenteil ist das heute verbreitete lineare Wirtschaftsmodell, bei dem nach dem Lebenszyklus die Materialien und Produkte entsorgt werden. Durch eine Kreislaufwirtschaft sollen endliche Ressourcen geschont, Abfallentsorgungswege entlastet, die Nachfrage nach Rohmaterialien bei wachsender Bevölkerung minimiert und somit Geld und Treibhausgasemissionen gespart werden [25]. Der Fokus soll dabei auf ressourcenintensiven Branchen liegen, wozu auch die Baubranche zählt. Eine solche ganzheitliche Kreislaufwirtschaft wird auch Cradle-to-Cradle genannt, also eine Ressourcennutzung vom Ursprung zum Ursprung.

Unter einer echten Kreislaufwirtschaft, also Ressourcenschonung und Abfallvermeidung, kann zwischen vier Strategien unterschieden werden, die etwas ausführlicher auch in den Abfallrahmenrichtlinien als Abfallhierarchie umgesetzt werden. Die Wirkung nimmt dabei in der Reihenfolge ab [13, p. 59]:

- Verzicht
- Wiederverwendung
- Wiederverwertung
- eingeschränkte Weiterverwendung und Weiterverwertung

Unter Wieder- und Weiterverwendung versteht man, ein bereits bestehendes Produkt in seiner selben Produktgestalt wieder einzusetzen, was z.B. durch Bauteilbörsen bereits gemacht wird (mehr hierzu in Kapitel 2.3.2). Wird das Produkt mit demselben Zweck wieder genutzt, handelt es sich um eine Wiederverwendung (Re-Use) [13, p. 59]. Ist der Zweck ein anderer, spricht man von einer Weiterverwendung (Further Use).

Unterschieden werden kann zur Wieder- und Weiterverwertung zwischen einem technischen und einem biologischen Kreislauf (Abbildung 5). Eine Wiederverwertung findet statt, wenn die bisherige Produktgestalt aufgelöst (Aufbereitungsprozess) wird und ein neues Produkt derselben Qualitätsstufe entsteht. Entsteht dabei ein Qualitätsverlust, spricht man von einer Weiterverwertung (Downcycling). Unter biologischem Kreislauf versteht man nach der Demontage eine Rückführung in die Natur durch z.B. Verrottung. Dieser Kreislauf ist meistens nahezu geschlossen. Unter einem technischen Kreislauf versteht man nach der Demontage und der Aufbereitung eine Rückführung in technische Rohstoffe. Hierbei wird Energie benötigt und sofern die Qualität des neuen Rohstoffs nicht die gleiche ist oder ein

Massenverlust erfolgt, entstehen hierbei auch Abfälle. Voraussetzung für die Verwertung mit Qualitätserhalt ist die Möglichkeit einer sortenreinen Demontage [13, p. 60].

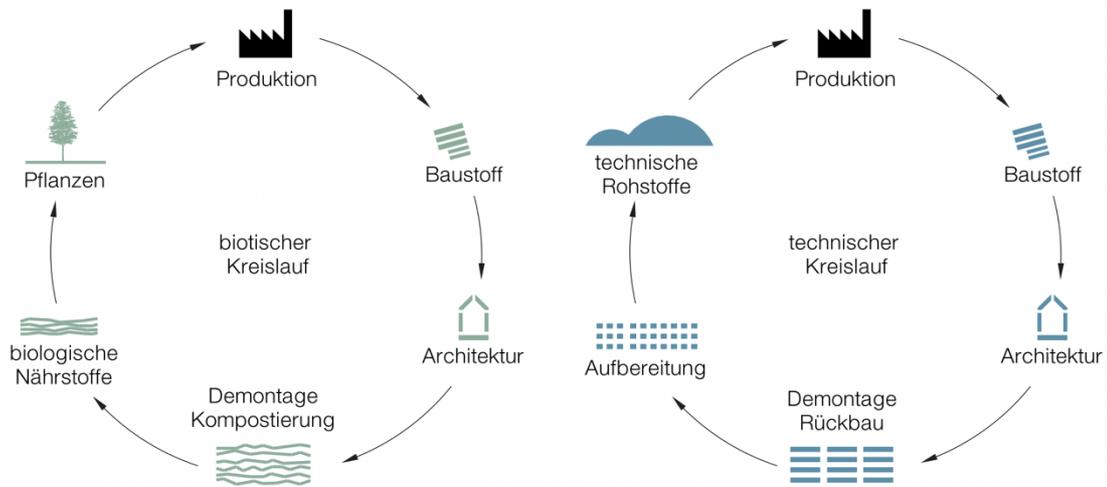


Abbildung 5: Biotischer und technischer Verwertungskreislauf [13, p. 60]

2.1.2.1 Lebenszyklus und Schichten eines Gebäudes

Durch die immer steigenden Bevölkerungszahlen und die steigenden Anforderungen an Komfort und Technik werden immer mehr Häuser gebaut oder alte Häuser in kürzerem Abstand erneuert. Aber auch der Bodenpreisdruck unterstützt dies, indem dieser eine immer größere Ausnutzung der Grundstücke erzwingt, [13, p. 58].

Der Lebenszyklus eines Gebäudes lässt sich in verschiedene Phasen einteilen. Im nachhaltigen Bauen bzw. zur Bewertung der Nachhaltigkeit ist es üblich, eine Einteilung nach der DIN EN 15804 und der DIN EN 15978 vorzunehmen. Die Lebenszyklusabschnitte werden hier in Fertigstellung (Modul A), Nutzungsphase (Modul B), Entsorgungsphase (Modul

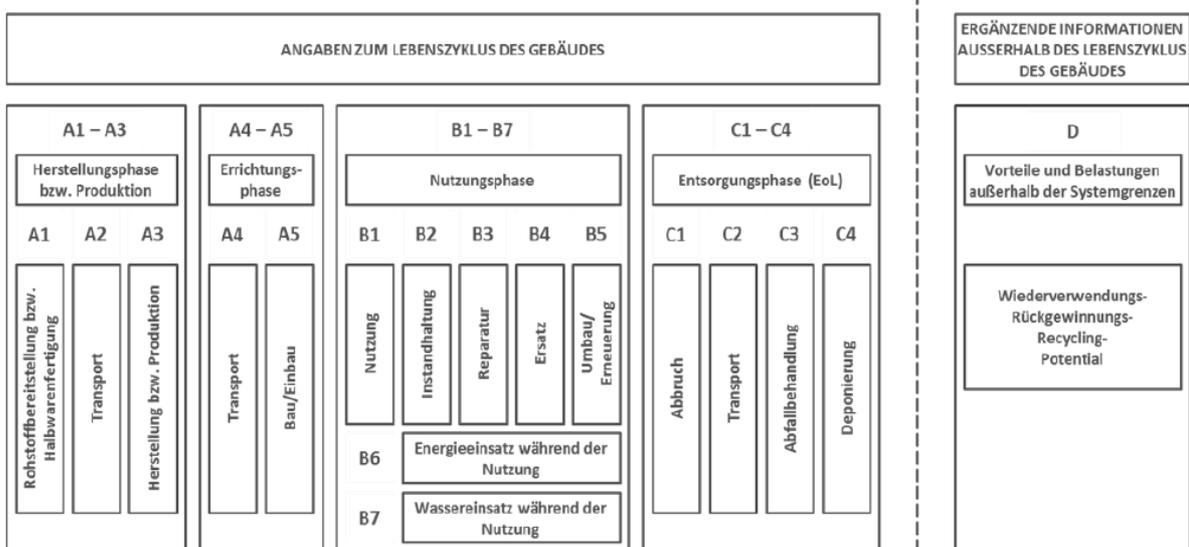


Abbildung 6: Einteilung der Lebenszyklusabschnitte [26, p. 2]

C) und Wiederverwendungsphase (Modul D) eingeteilt (siehe Abbildung 6). Durch eine solche Einteilung können den Lebensphasen direkte Umweltauswirkungen von Baustoffen aber auch dem ganzen Gebäude zugeschrieben werden [26, p. 2].

Gebäude sind Produkte, die aus verschiedenen Schichten bestehen, die unterschiedliche Funktionen und Lebensdauer haben und veränderbar sind. Stewart Brand (Autor) etablierte hierzu ein Schichtenmodell in der Baubranche, in welchem folgende Schichten unterschieden werden (vgl. Abbildung 7) [27, p. 5]:

Stuff („Sachen“): Möbel, Aufbewahrung, Pflanzen, etc.

Space Plan („Raumaufteilung“): Türen, Innenwände, Böden, etc.

Services („Haustechnik“): Leitungen, Lüftung, Lift, Schächte, etc.

Structure („Tragwerk“): Alle tragenden Elemente, welche die Grundform des Gebäudes festlegen

Skin („Außenhülle“): Fassade, Fenster, Dämmung, etc.

Site („Standort“): Unmittelbare Umgebung des Gebäudes

Social („Sozialer Kontext“): Art der Nutzung, Umgang der Bewohner mit dem Gebäude

Das Schichtenmodell soll aufzeigen, dass die Schichten mit unterschiedlichen Funktionen und Lebensdauern voneinander trennbar und zugänglich sein müssen, damit ein langlebiges Gebäude entstehen kann.

2.1.2.2 Urban Mining

Unter Urban Mining versteht man eine Strategie, bei der die urbanen Materiallager, also die bestehenden Bauwerke, „bewahrt und rezykliert“ [28, p. 10] werden. Die Gebäude werden als Rohstofflager betrachtet, die Wertstoffe und keine Abfälle enthalten. Nötig ist dies, da viele Rohstoffe nicht mehr am Ort ihres natürlichen Vorkommens zu finden sind, sondern immer häufiger in urbanen Materiallagern [13, p. 10]. Im Vergleich zu einem klassischen Bergbau sind beim Urban Mining die Transportwege kürzer und der Wertstoffgehalt höher,

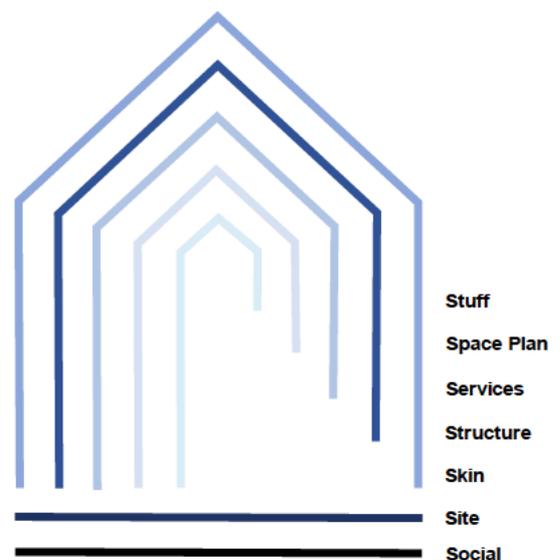


Abbildung 7: Schichtenmodell nach Brand [27, p. 6]

jedoch ist der Aufbereitungsaufwand höher und die Nachfrage niedriger. Der Verbrauch der Baustoffe zum Bau eines Bauwerks und das Abfallaufkommen am Ende der Lebensphase eines Bauwerks sollen hierdurch verringert werden, wodurch Boden, Luft und Wasser geschützt werden. Hierzu ist es nötig, die Planung eines Gebäudes auf die Kreislaufwirtschaft auszurichten, die Lebenszykluskosten und die Umweltwirkungen zu betrachten. Annette Hillebrandt (Professorin und Architektin) nennt dies Urban-Mining-Design. Um die Materialien außerdem wiederverwenden oder recyceln zu können ist es nötig, den Bestand der Materialien zu kennen. Folgende Punkte sollten beim Urban-Mining-Design beachtet werden, wovon in dieser Arbeit hauptsächlich die Fügung, Materialien und digitale Daten eine Rolle spielen [13, pp. 11-14]:

Tabelle 2: Hinweise zu einem erfolgreichen Urban-Mining-Design [13, pp. 11-14]

Städtebau	<ul style="list-style-type: none"> • Urbane Räume verdichten mit Rücksicht auf das örtliche Klima oder die Versickerung. • Brachflächen und Bestandsbauten sollten durch Revitalisierung, Umnutzung oder Kernsanierung nachgenutzt werden. Schadstoffe sollten kein eindeutiges Abrisskriterium darstellen, da die Schadstoffe auch beim Abriss entsorgt werden müssen.
Gebäudekubatur	<ul style="list-style-type: none"> • Die Bauform sollte ein gutes Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis (A/V-Verhältnis) haben und die Konstruktion sollte energiesparend, reparatur- und wartungsfreundlich sein. • Bei noch unbebautem Gelände sollte auf Grund der Bodenschonung auf eine Unterkellerung verzichtet werden.
Gebäudestruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Die Grundrisse sollten z.B. durch wenig tragende Wände und mehr Stützen und Träger wie beim Skelettbau flexibel gestaltet sein, wodurch eine Umnutzung erleichtert wird. Hierzu sind die Technikschrägen, das Tragwerk und die Geschosshöhen ausreichend zu dimensionieren. • Die Fassaden sollten flexibel an die Anforderungen der verschiedenen Nutzer einer Umnutzung anpassbar sein. Hierzu sind eine Demontierbarkeit und Austauschfreundlichkeit vorausgesetzt. • Dachflächen sollten nicht nur als Dachflächen genutzt werden (Gründächer, PV-Anlagen).
Haustechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcen durch ein Wassermanagement (Regenwassernutzung und Trinkwassereinsparung) und Energiemanagement (regenerative Energien, Energieeffizienz) schonen.
Fügung und Material	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbaufreundlichkeit der Konstruktion und Recyclingfähigkeit der Materialien. Lösbare Verbindungen, Einstoffliche Bauweisen, Materialien mit geschlossenen Stoffkreisläufen und nicht konservierte Baustoffe sind hierzu nötig. • Modulare Aufbauten verbessern die Chancen einer Wieder- oder Weiterverwendung einzelner Bauteile. Hemmnisse sind hierbei das Prüfen, Kauf und Lagerung der Bauteile im Voraus abgeklärt werden und der Stand der Technik gewährleistet sein muss. • Herstellerrücknahmen, Vermietung und Pfandsysteme sind Möglichkeiten für eine hochwertige Nachnutzung von Bauteilen (vgl. Kapitel 2.1.2.4). • Demontage- und Recyclingfähigkeit müssen standardisiert messbar gemacht werden.
Digitale Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Ein elektronischer Materialpass für Gebäude ist nötig, um die Wiedereinbringung nach der Lebensphase zu erleichtern. Rückbauplanungen sind als neue Planungsphase einzuführen. Vorteile bieten hier ein virtueller Zwilling oder BIM-Modelle.

Kosten

- Lebenszykluskosten sind ganzheitlich zu beachten. Entsorgungskosten werden in Zukunft steigen und Nachnutzungsmöglichkeiten können gewinnbringen werden. Kurzlebige und schadstoffbelastete Materialien sind zu vermeiden.
-

2.1.2.3 Materialpass und digitaler Gebäuderessourcenpass

Die Idee eines digitalen Produktpasses wurde international von der Europäischen Kommission, aber auch national vom Bundesumweltministerium (BMU), als wesentliches Instrument für eine klimaschonende und ressourceneffiziente Wirtschaft genannt [29, pp. 40-46]. Es gibt noch kein einheitliches Format und inhaltliche Bestimmungen, diese werden aber immer häufiger von verschiedenen Akteuren formuliert, da das Interesse an einem Produktpass wächst [29, p. 98].

Die Daten sollen zur Optimierung von Design, Herstellung, Nutzung und Entsorgung dienen. Dies soll durch Informationen zu Reparierbarkeit, Ersatzteilen, Entsorgung und Zusammensetzung eines Produktes aus allen Lebenszyklusphasen erfolgen. Diese Art der Dokumentation wird in verschiedenen Branchen unterschiedlich genannt und die Schwerpunkte unterschiedlich gesetzt. Der Fokus liegt hierbei bei Branchen, die besonders ressourcen- und energieintensiv sind. In der Automobilindustrie fordert der Sachverständigenrat für Umweltfragen z.B. einen „Kreislaufpass“, in dem Informationen zu den Rohstoffen, Demontagepläne und eine Verwertungsplanung enthalten sind. Im Kontext von Gebäuden wird dieser häufig Materialpass oder digitaler Gebäuderessourcenpass (vgl. Koalitionsvertrag [30, p. 71]) genannt, in dem alle relevanten Informationen zu den Materialien und zur Wiederverwendung enthalten sind, um das Urban Mining bzw. die Kreislaufwirtschaft bei Sanierungen, Um- und Rückbau effizienter zu gestalten. [31, pp. 19-22], [24, p. 16].

Produktpass, Gebäuderessourcenpass und Materialpass werden häufig als Synonym verwendet, wobei sich Gebäuderessourcenpässe und Materialpässe auf den Gebäudesektor und somit auf die verwendeten Materialien und Produkte in Gebäuden konzentrieren. Außerdem wird häufig eine Unterscheidung des Begriffes durch die Funktion gemacht, wodurch sich z.B. Gebäude-, Bauteil-, Bauprodukt- und Materialpass unterscheiden lassen.

Die Materialpässe können ein Teilaspekt der lebenszyklusbegleitenden Objektdokumentationen, der sogenannten Hausakte sein. Hierzu wird in Kapitel 2.3.3.1 Näheres erläutert. Ein Materialpass bezieht sich außerdem auf ein einzelnes Gebäude, die Summe aus mehreren Materialpässen und somit Gebäuden wird Materialkataster genannt [29, p. 47]. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Erstellung von Materialpässen, weshalb die Kataster nur nebensächlich erwähnt werden. Die Umsetzung von Materialpässen ist ab Kapitel 4.4 beschrieben. Je nach Akteur werden verschiedene Ziele, Anforderungen und

Vorstellungen zu den Pässen formuliert. Manche legen Wert auf die Vorbereitung für einen Rückbau, andere auf den Gebäudezustand bei Hausübergabe oder der Rückverfolgung des Materialflusses. Genaue Anforderungen von verschiedenen Organisationen oder Akteuren an den Produkt- bzw. Materialpass sind in Kapitel 4.3 zusammengefasst [29, pp. 47-48].

2.1.2.4 Produkte als Dienstleistungen

Unter „Produkte als Dienstleistungen“ versteht man Herstellerrücknahmen, Vermietungen oder Pfandsysteme von Produkten [13, p. 14]. Dies spielt vor allem eine Rolle bei komplexen, mehrschichtigen Baustoffen, um eine hochwertige Nachnutzung dieser Materialien zu ermöglichen. Der Hersteller dieser Produkte wäre durch eine Rücknahme oder Vermietung seines Produktes verantwortlich für ein nachhaltiges Produktdesign und die -qualität über die gesamte Lebensphase. Verkauft würden somit nicht die Häuser direkt, sondern die Wohnfläche und das Wohlfühl, also eine Dienstleistung [27, p. 25]. Der Anreiz für die Unternehmen ist somit eine effiziente, wartungsarme und lange Bereitstellung der Leistung. Z.B. verkauft der Aufzughersteller Mitsubishi den Service der vertikalen Mobilität, die in der bereitgestellten Transportleistung abgerechnet wird. Die Firma Hilti vermietet ihre langlebigen Geräte, wodurch der Nutzer Investitionskosten spart und ihm gleichzeitig der Zugang zu hochwertigem Werkzeug ermöglicht wird. Hilti generiert durch die Vermietung Einnahmen über die gesamte Lebensphase des Produktes. Je nach Lebensdauer oder Nutzung wird das Produkt über den Hersteller durch ein aufbereitetes oder aus Altmaterial hergestelltes Produkt ausgetauscht [13, p. 14]. Die Rücknahme sollte vertraglich geregelt und für den Nutzer kostengünstig sein, der Hersteller muss dabei über eine entsprechende Sammellogistik verfügen.

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen, Zertifizierungen und Förderungen

Meistens entwickeln sich aus internationalen Gesetzgebungen speziell auf das Land abgestimmte nationale Gesetzgebungen. Nachfolgend sind internationale und nationale Gesetzgebungen, die die Kreislaufwirtschaft bzw. die Ressourcenschonung und die Materialpasserstellung betreffen näher beschrieben.

2.2.1 Internationale Gesetzgebungen

Die internationalen Nachhaltigkeitsziele werden hauptsächlich durch die SDGs der UN formuliert (Agenda 2030). Die Ressourcenschonung betreffend ist das vor allem das Teilziel 12.2, ein nachhaltiges Management und die effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen. Gleichzeitig wird durch das Teilziel 12.5 die Verringerung der Abfallentstehung angeregt.

Das Ziel 11 von nachhaltigen Städten und Zielen beinhaltet die Notwendigkeit ressourceneffizienter Gebäude mit Nutzung lokaler Materialien. Die Ressourcenschonung wurde im Hinblick auf den Klimaschutz als kleineres Problem wahrgenommen, was sich nun aber immer mehr durch politische Zielsetzungen ändert [29, p. 43].

Die Europäische Kommission veröffentlichte 2019 den Green Deal. Das Konzept zielt darauf ab, bis 2050 einen klimaneutralen europäischen Kontinent zu ermöglichen [32]. Vor allem die Bereiche Forschung, Mobilität, Energie, Biodiversität, Agrar-, Handel und Außenpolitik sollen neu ausgerichtet werden und somit das Wirtschaftswachstum mit dem Klimaschutz vereint werden. Darunter fallen auch die Bereiche Verkehr sowie Bau- und Sanierungsgewerbe. Innerhalb des Green Deals wurden bereits verschiedene Aktionspläne, Gesetze und Richtlinien entwickelt und veröffentlicht, die die Ziele der EU zum Thema Klimaschutz umsetzen sollen.

Im Zuge dessen wurde 2020 ein Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft veröffentlicht [33]. Dort werden für die Bauwirtschaft und Gebäude, als rohstoffintensive Branche, eine höhere Ressourceneffizienz angestrebt. Dies soll vor allem durch eine Erneuerung der Bauproduktenverordnung (z.B. Anteil Rezyklat), Entwicklung eines digitalen Gebäude-Logbuchs, eine höhere stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen und Renovierungsmaßnahmen erfolgen [33, p. 13].

2009 wurde von der Europäischen Kommission erstmals eine Verordnung über Ökodesign für nachhaltige Produkte veröffentlicht, die die Umweltauswirkungen energieintensive Produkte verringern soll [34]. Ziel ist es durch Anforderungen an umweltgerechtes Design, Energie zu sparen und die Reparaturfreundlichkeit und Langlebigkeit von Produkten zu stärken. Die Ökodesign-Verordnung soll außerdem zur Stärkung von kreislauforientierten Geschäftsmodellen wie Produkte als Dienstleistungen, Rückführungslogistik, Wiederverwendung und Reparatur beitragen. Auch in der Ökodesign-Verordnung wird explizit von einem digitalen Produktpass gesprochen. Dieser soll zur Norm werden, sodass „Produkte gekennzeichnet, identifiziert und mit Daten verknüpft werden können, die für ihre Kreislauffähigkeit und Nachhaltigkeit relevant sind.“ [34, p. 6]. Die Ökodesign-Verordnung beinhaltet auch Nachhaltigkeitsanforderungen an Bauprodukte. Nachhaltigkeitsaspekte von Bauprodukten sollen aber durch die Überarbeitung der Bauproduktenverordnung in Zukunft hauptsächlich dort berücksichtigt werden. Die Verordnungen ergänzen sich [34, p. 9].

In der europäischen Bauproduktenverordnung (EU 2011) werden unter anderem Grundanforderungen an Bauwerke definiert, die den Umweltschutz, die Gesundheit und Nachhaltigkeit beinhalten [29, p. 98]. Die Grundanforderung Nr. 3 beinhaltet die Hygiene, Gesundheit

und den Umweltschutz und fordert eine Sicherung für Arbeitnehmer, Bewohner und Anwohnern über die gesamte Lebensphase des Gebäudes. Vor allem die Schadstoffminimierung im und ums Gebäude werden hier erwähnt. In der Grundanforderung Nr. 7 wird eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen durch Wiederverwendung, Recycling und Langlebigkeit gefordert. Die Verordnung soll überarbeitet und präzisiert werden.

Im Rahmen der EU Taxonomy (Veröffentlichung 2020) werden zur Stärkung der Nachhaltigkeit Projektfinanzierungsanforderungen gestellt. Diese betreffen auch Bauwerke, die in Zukunft vergünstigte Finanzierungsbedingungen erhalten sollen. Hierunter sind Nachweise zur Recyclingfähigkeit, zu Gefahr- und Schadstoffen, Treibhausgaswirkungen und der Material-/Produktherkunft zu liefern. Ein Materialpass kann hierzu Basis oder Nebenprodukt einer Ökobilanz sein.

Die Europäische Vorgabe zur Erfassung von Bau- und Rückbauabfällen der EU-Kommission liefert Gesetzgebungsvorschläge zum Thema Abfall und Kreislaufwirtschaft. Zur Dokumentation von Materialien in der Baubranche werden vor allem „die Erfassung und Erzeugung von Daten im gesamten Verfahren der Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen“ erwähnt. Hier wird explizit auf eine nötige Ortung und Verfolgung von Bau- und Abbruchabfällen hingewiesen, um Daten erzeugen und vergleichen zu können [29, p. 106].

2.2.2 Nationale Gesetzgebungen und Zertifizierungen

2002 entwickelte Deutschland eine Nachhaltigkeitsstrategie (DNS), die alle 4 Jahre überarbeitet wird und sich seit 2016 an den SDGs der UN orientiert. [35, p. 10]. Dort werden unter dem Begriff „Transformationsbereiche“ Bereiche genannt, die zur Umsetzung der DNS und somit der Agenda 2030 besonders relevant sind. Zum Bereich nachhaltiges Bauen und Verkehrswende werden zur Kreislaufwirtschaft die Ressourcenschonung und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und nachhaltige Beschaffung von Produkten und Dienstleistungen erwähnt [35, p. 12]. Zur Prüfung und Entwicklung von Maßnahmen wurde ein Nachhaltigkeitsmanagementkonzept erstellt, das hierzu folgendes hervorhebt: „zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen [...] Stoffkreisläufe so schnell wie möglich geschlossen bzw. in Einklang mit ökosystemischen Prozessen und Funktionen gebracht werden. Hierfür [...] sind nicht-erneuerbare Naturgüter (wie z. B. mineralische Rohstoffe oder fossile Energieträger) so sparsam wie möglich zu nutzen.“ [35, p. 21]. Weitere nationale Anforderungen und Ziele an die Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung werden z.B. im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) und dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen formuliert [29, p. 46].

Das Lieferkettengesetz, das 2024 für alle Unternehmen mit Sitz in Deutschland und mit mehr als 1.000 Mitarbeiter in Kraft tritt, beinhaltet Anforderungen an ein verantwortliches Management von Lieferketten [36, p. 9]. Dies soll zur Verbesserung der Menschenrechtslage beitragen und die Zwickmühle aus Kostenvorteilen zu Lasten von Wertvorstellungen beheben und somit den Pfeiler Soziales der Nachhaltigkeit stärken. Unter den Sorgfaltspflichten ist unter anderem eine Dokumentation und Berichterstattung gefordert, die an die Anforderungen bezüglich der Materialpässe anschließen könnte. Zur Umsetzung ist eine Infrastruktur aus passendem Personal, Organisation und unterstützender IT nötig [36, pp. 16-17]. Lösungen hierzu bietet eine Beschaffungs-IT wie SAP oder sogar Spezialsoftware mit Blockchain Technologie.

Im Koalitionsvertrag der aktuellen Regierung wird zum Bauen und Wohnen in dem Unterkapitel Klimaschutz im Gebäudebereich explizit ein digitaler Gebäuderessourcenpass erwähnt: „Wir werden die Grundlagen schaffen, den Einsatz grauer Energie sowie die Lebenszykluskosten verstärkt betrachten zu können. Dazu führen wir u. a. einen digitalen Gebäuderessourcenpass ein. So wollen wir auch im Gebäudebereich zu einer Kreislaufwirtschaft kommen. Außerdem werden wir eine nationale Holzbau-, Leichtbau- und Rohstoffsicherungsstrategie auflegen. Innovativen Materialien, Technologien und Start-ups wollen wir den Markteintritt und Zulassungen erleichtern.“ (vgl. Koalitionsvertrag [30, p. 71]). Dieser Gebäuderessourcenpass soll, wie in Kapitel 2.1.2.3 beschrieben, alle relevanten Informationen zu den Materialien und zur Wiederverwendung enthalten. [31, pp. 19-22], [24, p. 16].

Durch die immer anspruchsvolleren Anforderungen durch gesetzliche Bestimmungen oder Kundennachfragen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Allgemeinen entstanden gesetzliche Vorschriften und dadurch verschiedene Zertifizierungssysteme. Z.B. wurde 2014 für Neu- und Bestandsgebäude der Energieausweis eingeführt, der nun bei Neubauten durch ganzheitliche Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien erweitert wurde. Gesetzliche Vorgaben, Zertifizierungen und Förderprogramme können somit einen großen Beitrag zum Anheben der Standards leisten [22]. Durch das GEG (Gebäude-Energie-Gesetz) lag der Fokus hierbei vorwiegend auf den energetischen Anforderungen, die durch die Zertifizierungen, Förderungen und der Überarbeitung des GEG ganzheitlicher gestaltet werden sollen [24, p. 5]. Für WeberHaus relevante Zertifizierungen werden nachfolgend genauer beschrieben. Verbreitete Zertifikate für Nachhaltigkeit, die jedoch bei WeberHaus nicht angewendet und deshalb nicht genauer beschrieben werden, sind z.B. DGNB, BNB, LEED, BREAM und WELL. Diese unterscheiden sich hauptsächlich in der Gewichtung zwischen den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit: Ökologie, Soziales und Ökonomie.

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Das QNG Siegel ist ein gebäudebezogener Nachweis, der ökologische, soziokulturelle und ökonomische Anforderungen an die Qualität eines Gebäudes stellt. Das Zertifikat wird vom Bund seit dem 1. Juli 2021 im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) gefördert, und die Zuschüsse/Kredite von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) vergeben [37].

Ein QNG Siegel ist zwar freiwillig, wird aber verpflichtend für alle die eine KfW Förderung für ihren Neubau anstreben. Möglich ist das seit dem 21. April 2022 nur noch für den Standard EH 40 mit NH-Klasse [22].

Die BEG gibt dabei als Richtlinie den Rahmen der Förderungen vor. Das Siegel kann auf dem Plus- und Premium-Niveau erreicht werden, wobei auf dem Premium-Niveau erhöhte Anforderungen gelten. Zertifiziert wird das Siegel durch akkreditierte Zertifizierungsstellen, was bei WeberHaus das Bau-Institut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen GmbH (BiRN) übernimmt. Zwischengeschaltet ist bei WeberHaus das Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnbau (BNK), das als Bewertungssystem des QNG Siegels 2021 anerkannt wurde [38]. Das BNK beschränkt sich bis jetzt auf die Bewertung von Ein- bis Fünffamilienhäusern. Die Anforderungen des BNK entsprechen den Anforderungen für das QNG Siegel. Auf der Webseite des BiRN werden die Kriterien des BNK im Detail aufgelistet und in Tabelle 11 in Kapitel 4.3 in Bezug auf die Anforderungen des Materialpasses konkretisiert [38].

Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertigungsbau (QDF) – Gütesiegel

Alle Mitglieder des Bundesverbands Deutscher Fertigungsbau e.V. haben sich seit 1989 zur Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertigungsbau (QDF) zusammengeschlossen [39]. Die Qualitätsgemeinschaft formuliert Anforderungen an die Gebäude, die durch ein ganzheitliches Nachhaltigkeitsverständnis die Gesamtqualität, die Prozessqualität, die ökonomische Qualität, die ökologische Qualität, soziokulturelle und funktionale Qualität berücksichtigen. Sind diese Punkte erfüllt, wird jährlich eine Urkunde verliehen. Kontrolliert wird dies durch Eigenüberwachungen und unabhängige Sachverständige sowie durch stichprobenartige Werks- und Baustellenüberwachungen. Es werden Qualitätsansprüche an den Prozess, die Ökonomie, Ökologie, Soziokulturelles, die Funktionalität, Technik und an das Qualitätssystem gestellt. Diese werden in Tabelle 11 in Kapitel 4.3 bezüglich der Anforderungen des Materialpasses konkretisiert.

TÜV Rheinland- und Sentinel-Zertifizierung

TÜV Rheinland- und die Sentinel-Zertifizierung ähneln sich mit den Absichten und den Anforderungen sehr, weswegen diese zusammen betrachtet werden. Bei den Zertifizierungen werden die Gebäude auf bestimmte Anforderungen schadstoffgeprüft. Die Erfüllung der Anforderungen werden jährlich überprüft und das Zertifikat jährlich vergeben. Durch die regelmäßigen Untersuchungen soll ein gesünderes Bauen möglich sein, wodurch gesundheitliche Risiken für die Nutzer minimiert werden. Die erforderlichen Daten, Dokumente, Nachweise und Anforderungen werden in einem Kriterienkatalog definiert, die in Tabelle 11 in Kapitel 4.3 hinsichtlich der Anforderungen des Materialpasses konkretisiert werden [40], [41]:

2.3 Rückverfolgung und Dokumentation von Materialien

Unter Rückverfolgung wird in der Produktionswirtschaft das Vorliegen von Informationen zu einem Produkt oder Material verstanden, die ermöglichen festzustellen wann, wo und durch wen die Ware gewonnen, hergestellt, verarbeitet, gelagert, transportiert oder entsorgt wurde. Dabei unterscheidet man zwischen einem Downstream Tracing (abwärtsgerichtete Verfolgung – vom Erzeuger zum Verbraucher) und einem Upstream Tracing (aufwärtsgerichtete Verfolgung – vom Verbraucher zum Erzeuger) [42].

In dieser Arbeit soll eine Rückverfolgung durch Materialpässe den Materialfluss innerhalb des Unternehmens und auf Gebäudeebene transparenter gestalten. Langfristig für eine ganzheitliche Rückverfolgung sind auch alle Dritten, die an der Leistung von WeberHaus beteiligt sind, mit einzubeziehen. Technische Hilfsmittel und Softwaresysteme gibt es für eine Rückverfolgung viele, hierunter fallen z.B. Markierungen wie QR-Codes oder RFID Chips.

Unter einer Dokumentation sind in dieser Arbeit die „Zusammenstellung und die Nutzbarmachung“ [43] von Informationen in Form eines Materialpasses gemeint. Dokumentiert werden hierdurch vorwiegend Materialien, die durch zusätzliche Informationen ergänzt werden (näheres hierzu in Kapitel 2.1.2.3). Die Dokumentation ist nötig um eine Rückverfolgung umsetzen zu können.

2.3.1 BIM

Bei der Digitalisierung im Baugewerbe wird häufig von Building Information Modelling (BIM) gesprochen. Die Methode „Building Information Modeling bedeutet: Die Integration und Vernetzung aller relevanten Daten eines Bauwerks in einem virtuellen Datenmodell während des gesamten Lebenszyklus, also von der Konzeption, Planung und Realisierung bis zur

Nutzung und zum Rückbau.“ [44, p. 25], wobei je nach Fachbereich und Interessen die Schwerpunkte anders gesetzt werden. BIM bietet durch die offenen Austausch-, Verknüpfungs-, Darstellungs-, Dokumentations- und Bewertungsmöglichkeiten optimale Voraussetzungen zur Nutzung für die Nachhaltigkeitsbetrachtung. Lösungsansätze zur Erstellung von Ökobilanzen, Materialpässen, Lebenszykluskosten und Simulation mithilfe von BIM gibt es bereits und diese ermöglichen so eine Erleichterung für das nachhaltige Planen, Bauen, Betreiben, Sanieren und Rückbauen. [24, p. 2]

In dieser Arbeit werden nur die Grundlagen von BIM und die speziellen Anforderungen an BIM im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit und Materialpässe erklärt. [REDACTED]

Open BIM, Closed BIM, Little BIM und Big BIM

Grundlegend werden bei BIM durch bestimmte Technologien verschiedene Gebäudemodelle miteinander verbunden, sodass ein Austausch zwischen den Akteuren stattfinden kann. Die einzelnen Gebäudemodelle werden Fachmodelle genannt, von den einzelnen Fachbereichen erstellt und in einem Koordinationsmodell, in dem alle relevanten Lebenszyklus-Daten vorhanden sind, regelmäßig zusammengeführt [24, p. 22]. Hierbei werden verschiedene Formen der Zusammenarbeit unterschieden, die sich durch den Datenaustausch oder Anbindungsmöglichkeiten an andere Softwaresysteme unterscheiden und miteinander kombiniert werden können [45, pp. 12,13]:

- Open BIM: Datenaustausch zwischen verschiedenen Software-Herstellern in verschiedenen Formaten ist möglich.
- Closed BIM: Softwareprodukte stammen nur von einem Hersteller, wodurch ein Datenaustausch mit anderen Herstellern und Formaten nicht möglich ist.
- Little BIM: Hierbei gibt es spezifische BIM Software, einen Planer und disziplinspezifische Aufgaben. Ein digitales Bauwerksmodell wird zwar erzeugt, aber nicht durch verschiedene Softwareprodukte und Beteiligte weitergenutzt.
- Big BIM: Eine einheitliche, fachübergreifende, über den ganzen Lebenszyklus hinweg modellbasierte Kommunikation, Planung und Nutzung.

IFC-Format, Schichten, Objekte und Attribute

Um einen Austausch oder Export zwischen Software oder von Daten zu ermöglichen, wurde das standardisierte und herstellerneutrale Industry Foundation Classes (IFC) Format entwickelt. In einer IFC werden Attribute und Beziehungen zu Elementen definiert. Die IFC ist

dabei in funktionale Schichten aufgebaut, sodass Attribute/Eigenschaften auf untergeordnete Schichten übertragen werden können. Als Attribut werden Eigenschaften bzw. Zustandsmerkmale von Objekten bezeichnet (z.B. Informationen zu Breite, Position, Öffnungen, ...). Die Schichten beinhalten Informationen zum Anwendungsfall (z.B. Architektur oder Tragwerk), zu den Elementen, Datentyp und Ressourcen. Die dargestellten Objekte beinhalten also mehr Informationen als nur Abmessungen und Positionen. Als Objekt wird ein digitales Abbild eines realen Bauteils im Modell verstanden (z.B. Wände, Stütze, ...). Hinzukommen können zeitliche, ökonomische und z.B. Nachhaltigkeitsdaten [24, p. 24], [45, pp. 57,92].

LOD, BIM Dokumente und Informationsanforderungen

Um BIM mit verschiedenen Akteuren und in verschiedenen Projekten anwenden zu können, sind Standards nötig, die den Umgang mit BIM, mit den Beteiligten und den Daten und Informationen regeln. Um eine Aussage über das 3D-Modell und dessen Detaillierungsgrad und den Informationsinhalt treffen zu können, gibt es sogenannte Level of Development (LoD). Diese sind von LoD100 bis LoD600 abgestuft und beinhalten mit zunehmender Zahl ein immer größer werdender Detaillierungs- und Informationsgrad [46, p. 16]. Die LoD 300 und 400 sind in untenstehender Tabelle näher beschrieben.

Tabelle 3: Level of Development (LoD) 300 und 400 [47, p. 14]

Detailgrad	Beschreibung
LoD300	Das Modellelement wird mit seiner genauen Position und Geometrie für die Ausführungsplanung oder Werkplanung angegeben. Auf Basis dieses Modellelements kann die eigentliche Arbeitsvorbereitung erfolgen. In der Regel wird dieser Ausarbeitungsgrad auch für die Ermittlung der Mengen und das Aufstellen von Leistungsverzeichnissen verwendet
LoD400	Das Modellelement enthält alle geometrischen und alphanumerischen Informationen, die für die Erstellung oder den Umbau des Elements erforderlich sind. Hierzu gehören auch Montageanweisungen und die im Rahmen der Arbeitsvorbereitung spezifizierten Bauverfahren

Standardisiert sind durch die internationale Richtlinie ISO 19650 und die nationale Richtlinie VDI 2552 außerdem die BIM-Dokumente bzw. die Informationsanforderungen, die die Umsetzung und die Anforderungen von BIM definieren. Diese sollen helfen, die Anforderungen transparent zu gestalten und die Ziele zu erreichen. Unterschieden wird zwischen den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), dem BIM-Abwicklungsplan (BAP), den Organisations-Informationsanforderungen (OIR), dem Projektinformationsanforderungen (PIR), den Asset-Informationsanforderungen (AIR), den Informationsaustauschanforderungen oder Exchange Information Requirements (EIR), dem Asset-Informationsmodell (AIM) und

dem Projekt-Informationsmodell (PIM). Die wichtigsten sind nachfolgend beschrieben [45, p. 293]:

- **AIA:** Die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) beinhalten alle inhaltlichen, technischen und organisatorischen Anforderungen und sind meistens Vertragsbestandteil. Die AIA kommen einem Lastenheft gleich, in dem die Randbedingungen für eine BIM-Umsetzung des Projektes vom Auftraggeber formuliert sind.
- **BAP:** Der BIM-Abwicklungsplan beschreibt, wie die Meilensteine und Ziele der AIA erreicht werden und gibt den Rahmen hierfür vor. Der BAP kommt also einem Pflichtenheft gleich, in dem die AIA projektbezogen umgesetzt bzw. beantwortet werden. Die AIA und der BAP beziehen sich aufeinander.
- **EIR:** Die Informationsaustauschanforderungen oder Exchange Information Requirements (EIR) werden vom Auftraggeber für den Informationsaustausch formuliert und definieren wer, welche Daten, wann, in welchem Umfang und Format an wen übermittelt.

BIM Rollenverteilung

Um eine Umsetzung durch BIM zu gewährleisten, müssen nicht nur die Informationsanforderungen und das Informationsformat definiert sein, sondern auch die Verantwortlichkeiten klar verteilt sein. Hierzu wurden Rollen für die einzelnen Projektbeteiligten definiert, die in der AIA oder dem BAP für das Projekt benannt sind [46, p. 24]. Unterschieden wird zwischen den Rollen BIM-Manager, BIM-Koordinator, BIM-Autor und BIM-Nutzer. Die genauen Aufgaben werden nicht weiter beschrieben.

BIM und Nachhaltigkeit

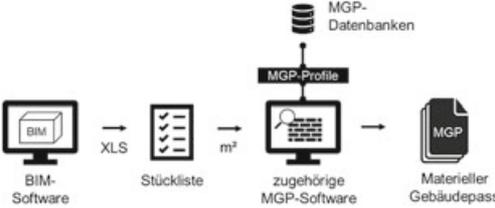
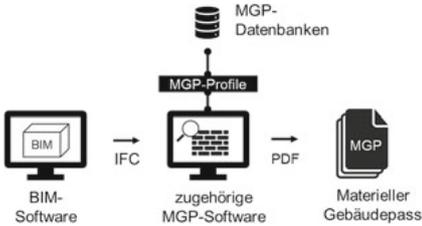
Mithilfe der oben beschriebenen AIA können nicht nur Anforderungen für den Betrieb, sondern auch Nachhaltigkeitsziele und deren Datengrundlagen und Anforderungen an das BIM-Modell definiert werden. Um später Automatisierungspotenziale in der Umsetzung von Nachhaltigkeitsbewertungen oder -bearbeitung zu generieren, sollten folgende Punkte dort festgehalten werden, die projektspezifisch angepasst werden können [24, p. 32]:

- Verpflichtung zur kooperativen Zusammenarbeit
- Vollständige Ableitung der 2D Dokumentation
- Variantenvergleich von Planungsvarianten, Kollisionsprüfung und Datenabgleich
- Modelbasierte Kommunikation und Entscheidungsfindung
- Einbindung von Nutzern und Betreibern
- Lebenszyklusübergreifende Datenerfassung und Datenaustausch in einem Modell

- Strukturierte Planungs-, Ausführungs- und betriebliche Prozesse
- Informationslieferungs- und -übergabezeitpunkte durch frühes Definieren von EIRs und Festhalten in den AIAs

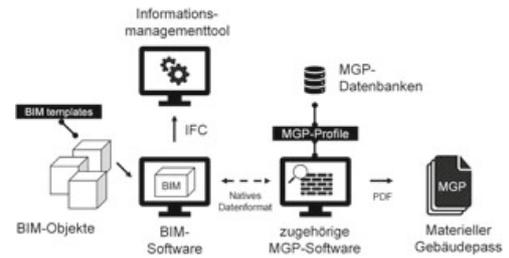
BIM ist für viele Anwendungsfälle geeignet, die i.d.R. in der AIA definiert werden und vor allem die Planungs- und Ausführungsphase unterstützen. Z.B. können Aufwände der Leistungen kalkuliert werden, Bestand kann erfasst werden, Baufortschrittskontrollen, Bauwerksdokumentation oder das Mängelmanagement können damit durchgeführt werden [24, p. 37]. So auch Nachhaltigkeitsthemen wie Ökobilanzen, Gebäudepässe, Lebenszykluskosten und Simulationen. Studien zeigen, dass durch BIM ein hohes Potenzial an Automatisierung besteht, um Daten für Zertifizierungen und Nachhaltigkeitsaspekte zu generieren. Dies trifft auch immer mehr bei Materialpässen und der Bewertung für Zirkularität zu, wobei es hierfür noch keine BIM-Plugin Lösungen auf dem deutschen Markt gibt. Softwarelösungen und Forschungen zu Materialpässen sind weniger vorhanden als z.B. für eine Gebäudeökobilanzierung. Bartels et al. nennt folgende Strategien zur Erstellung von materiellen Gebäudepässen durch BIM [24, p. 41]:

Tabelle 4: Strategien zur Anwendung von BIM zur Umsetzung von Materialpässen [24, pp. 41-42]

Nr.	Beschreibung	Schema
1	<p>Massen und Mengen Export</p> <p>In diesem Workflow können die Informationen zu Mengen und Massen sowie Materialinformationen aus einem BIM Modell exportiert und anschließend in die MGP Software importiert werden. Die MGP Software nimmt basierend auf den importierten Informationen eine Zuordnung mit hinterlegten bzw. verlinkten Datenbanken vor, um die Zirkularität und weitere Aussagen, z. B. zum finanziellen Wert bei Wiederverwendung oder Recycling, berechnen zu können.</p>	 <pre> graph LR BIM[BIM-Software] -- XLS --> SL[Stückliste] SL -- m² --> MGP[MGP-Software] MGP --- DB[(MGP-Datenbanken)] MGP --- MP[MGP-Profile] MGP --> MBP[Materieller Gebäudepass] </pre>
2	<p>Geometrischer IFC Import</p> <p>Bei dem zweiten Workflow wird ein IFC-Import in die zugehörige MGP Software getätigt. Bei der Modellierung gilt es bestimmte Anforderungen zu beachten. Beispielsweise in puncto Klassifizierungsmethode gemäß DIN 276, damit eine Verortung der Materialien durchgeführt werden kann. Weiterhin ist es essenziell Materialinformationen zu integrieren, damit weitestgehend automatisierte Materialverknüpfungen zu Datensätzen der Zirkularität mit den BIM Objekten durchgeführt werden können.</p>	 <pre> graph LR BIM[BIM-Software] -- IFC --> MGP[MGP-Software] MGP --- DB[(MGP-Datenbanken)] MGP --- MP[MGP-Profile] MGP --> MBP[Materieller Gebäudepass] </pre>

3 BIM-Werkzeuge zur Verknüpfung der MGP Datensätze

Dieser Workflow sieht vor, dass während der Modellierung in der BIM Software, Informationen bzw. Links aus einer vorgefertigten Bibliothek genutzt werden. Über einen Datenaustausch, z. B. per IFC, kann optional in einem Informationsmanagementtool geprüft werden, ob beispielsweise alle Informationen aus der vorgefertigten Bibliothek korrekt verwendet wurden. Danach wird ein Datenaustausch mit der zugehörigen MGP Software durchgeführt. Diese erkennt neben den Mengen und Massen auch Informationen aus den vorgefertigten BIM Objekten, z. B. über einen Globally Unique Identifier, und gleicht diese mit hinterlegten MGP-Datenbank ab, um Bewertungen hinsichtlich Zirkularität durchzuführen. Anschließend können Ergebnisse des MGP im Modell visualisiert und/oder als PDF-Datei bereitgestellt werden.



Vorteile für BIM-basierte Materialpässe sind z.B. [24, p. 41]:

- Digitale Material- oder Bauproduktpässe können von Bauproduktherstellern bereitgestellt und referenziert werden
- Optimierungen für alle Beteiligten können früh umgesetzt werden
- Eine frühe und umfangreiche Dokumentation, die durch Nachhaltigkeitszertifizierungen oder der EU-Taxonomie immer wichtiger wird
- Bauproduktenrückverfolgbarkeit wird effizienter und transparenter
- Leasing-Modelle werden durch BIM vereinfacht
- Sanierungen, Rückbauten oder Wiedereinbringungen von Materialien können besser geplant werden und die Informationen können besser an Bauteilbörsen oder andere Plattformen weitergegeben werden

2.3.2 Dokumentations- und Handelsplattformen

Um eingebaute Materialien zu dokumentieren, z.B. in Form eines Materialpasses, und diese später wieder einbringen zu können, gibt es verschiedene Anbieter von Plattformen. Manche haben sich auf die Dokumentation spezialisiert (Madaster, Concular), andere haben sich auf den Handel mit Baumaterialien spezialisiert (Bauteilbörsen, Bauteilnetz, Restado, ...), wieder andere setzen Materialien instand, um diese wieder einbringen zu können. Nachfolgend sind diese Plattformen zusammen mit deren Funktion und dem Link zur Webseite dargestellt [19, p. 29]. Steckbriefe zu einzelnen, repräsentativen Plattformen und Bauteilbörsen in Deutschland sind im Anhang zu finden. Interessant für WeberHaus und diese Arbeit sind vorerst die Dokumentationsplattformen für Neubauten, die für Madaster und Concular näher beschrieben werden. Für bisherige Kunden von WeberHaus können auch

jetzt schon Dokumentationsplattformen für den Bestand interessant sein. Nach der Lebensphase zur Wiedereinbringung der Materialien kommen die Bauteilbörsen ins Spiel.

Tabelle 5: Plattformen für die Dokumentation und den Handel von Materialien (inhaltlich übernommen [19, p. 29])

	Plattformen und Bauteilbörsen					Link
	Beratung	Instand- setzung	Bauteil- börse	Dok. Neu- bau	Dok. Be- stand	
Bauteilnetz (D)			X			http://www.bauteilnetz.de www.bauteilboerse-berlin-brandenburg.de www.bauteilboerse-bremen.de www.bauteilboerse-hannover.de www.bauteilboerse-gronau.de www.bauteilboerse-herzogenrath.de
Möwe GmbH (D)		X				www.moewe-osnabrueck.de
Restado (D)			X			https://restado.de/
UHB (D)		X				https://www.historische-baustoffe.de/
Concular (D)	X		X	X	X	https://concular.de/de/
Madaster (CH, D)				X	X	https://madaster.de/
Bauteilclick (CH)			X			https://www.bauteilclick.ch/
SALZA (CH)	X		X			https://www.salza.ch/de
Materialnomaden (AUT)	X		X			https://www.materialnomaden.at/
Harvest Map (NL)			X			http://www.oogstkaart.nl/
Opalis (EU)	X		X			https://opalis.eu/en
Ebay (D, EU, weltweit)			X			https://www.ebay.de/



Madaster ist eine unabhängige Organisation, die 2017 von Thomas Rau in den Niederlanden gegründet wurde [48]. Aktiv ist die Organisation bis jetzt in den Niederlanden, Norwegen, Schweiz, Belgien und seit 2021 auch in Deutschland. Die Organisation ist aufgeteilt in eine Stiftung, die Madaster-Foundation, die sich um eine unabhängige Aufsicht über die Ziele von Madaster kümmert und die Dienstleistungsorganisation Madaster-Services, die die Madaster-Plattform entwickelt, vermarktet und verwaltet [49]. Die Madaster-Services und somit die Plattform werden durch die Gesellschafter, durch einen Zuschuss der Europäischen Kommission und eine Crowdfunding-Campagne, der „Kennedys“ finanziert. Die „Kennedys“ sind größere Unternehmen, die das Projekt mitfinanzieren und dafür bei der Entwicklung ein

Mitspracherecht haben. Verkauft werden verschiedene Jahreslizenzen der Plattform, die sich anhand des Betrags, der Anzahl der Nutzer und der Portfoliogröße unterscheiden [50]: Hersteller-, Madaster Innovation Partner (MIP), Eigentümer-, Partner- und Bildungslizenzen.

Ziel der Plattform, ist es Materialien in Gebäuden zu dokumentieren, zu registrieren und somit für die Kreisläufe verfügbar zu machen [51]. Das Material erhält eine transparente Identität durch Menge, Format und Lage und wird nicht einfach als Abfall bewertet, wodurch die spätere Wiedereinbringung nach dem Abriss leichter fallen soll. Aus den Daten werden dann Aussagen zur Materialmenge, dem CO₂-Fußabdruck, dem (Rest-)Materialwert und der Zirkularität geliefert. Diese Informationen könnten zukünftig in die Gesamtbewertung der Immobilie mit einfließen. Die Plattform und somit die Informationen über die Stoffströme sind für alle Privatpersonen, Unternehmen, Regierungen und wissenschaftliche Gemeinschaften in dem Materialkataster verfügbar. Die Ressourcenknappheit soll durch die Dokumentation, die Transparenz und den ökologischen Informationen in Form eines Materialpasses verringert werden. Das Madasterkonzept, Materialdaten hauptsächlich von Neubauten zu sammeln und für Dritte zur Verfügung zu stellen, ist in der Abbildung 8 zu sehen.

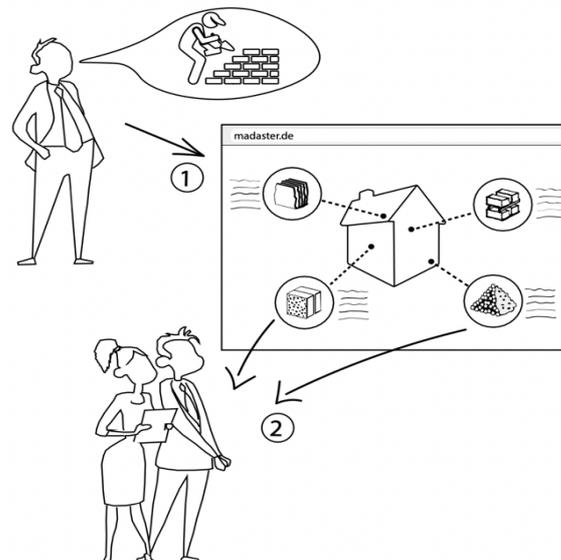


Abbildung 8: Schematische Darstellung des Konzepts von Madaster [19]

Der Prozess hin zum Materialpass läuft generell in folgenden Schritten ab [52]:

1. Bestimmung des Detaillierungsgrads des zu erstellenden Gebäudepasses.

Je nach Verwendungszweck sollte der Detaillierungsgrad des Gebäudepasses unterschiedlich sein. Madaster unterscheidet hierbei in 3 Ebenen: Die 1. Ebene liefert nur Informationen über die Menge, Lage und den finanziellen Wert der Materialien. In der 2. Ebene

werden zusätzlich Informationen zu den eingebauten Produkten (einschließlich ihrer Materialzusammensetzung) und deren Lage im Gebäude (Gebäudeschicht) geliefert. Unterschieden wird dabei in Volumen-, Oberflächen-, Längen- und Stückprodukte. Dies sorgt für eine potenzielle höhere Wiederverwendbarkeit. In der 3. Ebene können zusätzlich Aussagen durch Kreislaufdaten der Materialien und Produkte über die Zirkularität geliefert werden. Dies ist die detaillierteste Version des Gebäudepasses.

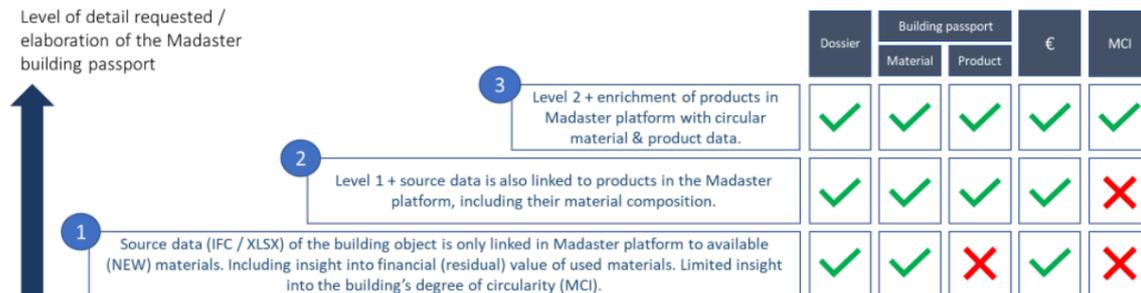


Abbildung 9: Detaillierungsgrad des Gebäudepasses in 3 Ebenen [52, p. 5]

Die Materialien und Produkte werden auf der Plattform den Gebäudeschichten nach Stewart Brand und der DIN 276 kategorisiert und somit ihre Lage und Funktion im Gebäude beschrieben. Der Detaillierungsgrad der Modellierung wird im Standard „Level of Detail“ (LOD) ausgedrückt. Madaster empfiehlt für aussagekräftige Informationen im Materialpass Konstruktionsmodelle auf mindestens LOD 300 Niveau (vgl. Kapitel 2.3.1).

2. Sammlung und Aufbereitung der erforderlichen Gebäudeinformationen (Quelldaten).

Als Quelldaten kommen für die Plattform zwei Formate in Frage. Eine IFC-Datei, die auf einem 3D-Modell oder BIM-Modell basiert und Excellisten, sobald kein 3D-Modell oder BIM-Modell vorhanden ist. Die Plattform bewertet diese nach dem Hochladen direkt auf Vollständigkeit der Materialbeschreibung, den Klassifizierungscode und die geometrischen Daten. Je nach Detaillierungsgrad der vorhandenen Informationen muss unterschiedlich bei der Aufbereitung auf der Plattform vorgegangen werden.

3. Hochladen der Quelldaten in die Madaster Plattform.
4. Prüfen und Anreichern der Quelldaten in der Madaster Plattform.

Die hochgeladenen Dateien werden auf Vollständigkeit geprüft und mit der Datenbank von Madaster verknüpft. Verknüpfte Datenbanken sind z.B. EPEA, Herstellerdatenbanken und andere externe Datenbanken, um Klimadaten zu den Materialien und Produkten oder Restwerte zu erhalten. Für eine automatische Zuordnung müssen in den Quelldaten passende

Materialbeschreibungen hinterlegt werden. Auf der Plattform kann dies später auch noch manuell gemacht werden oder die IFC muss geändert werden.

5. Vollständiges Baudossier (inkl. Gebäudepass) in der Madaster Plattform.

In diesem Schritt kann zusätzlich zu den Quelldateien, die Informationen zu den Materialien und Produkten liefern, auch ein gesamtes Gebäudedossier hinzugefügt werden. Hierzu zählen z.B. Zeichnungen, Zertifikate, Verträge, Fotos, usw. Aus diesen beiden Datensätzen kann nun die Plattform einen Gebäudepass generieren und ablegen.

6. Übertragung der Gebäudedatei an den Grundstückseigentümer in der Madaster Plattform (Enterprise-Lizenznehmer).

Der archivierte Gebäudepass kann nun durch den Lizenzinhaber auf das Madaster-Konto des Bauherrn übertragen werden.

Concular Concular GmbH wurde 2020 von Dominik Campanella, Marc Haines und Julius Schäufele gegründet [53]. Ziel der Plattform ist es hauptsächlich Bestandsgebäude, die abgerissen werden sollen, mittels Materialpässen zu erfassen, die dann bei einem Rückbau auf der Materialdatenbank zur Verfügung gestellt werden. Die Plattform richtet sich hauptsächlich an professionelle Akteure wie Unternehmen oder Planer. Concular verbindet somit die Dokumentation von Bestandsgebäuden mit dem Handel der freiwerdenden Materialien und Produkte. Der Handel wird durch das Zusammenbringen von Angebot und Nachfrage auf der Plattform realisiert. Aber auch die Organisation und Vermittlung von lokalen Lieferketten, Ökobilanzierungen und Kosteneinsparungen werden dabei berechnet und Beratungen getätigt. Concular ist die Weiterentwicklung der reinen Bauteilbörse „Restado“, die 2014 gegründet wurde. Restado ist die größte Bauteilbörse Deutschlands und richtet sich an gewerbliche und private Nutzer.

Die Erstellung eines solchen Materialpasses ist nachfolgend beschrieben [54], [53]:

Ungefähr ein Jahr vor dem Abriss werden die Materialien und Produkte aus dem Gebäude digital in einem Materialpass erfasst. Erfasst werden diese Bauteile mit Zustand und Menge. Diese werden anschließend dem Planer zur Verfügung gestellt oder auf die Plattform geladen, um das Angebot mit einer Nachfrage zu ergänzen. Somit ist gewährleistet, dass die freiwerdenden Materialien frühzeitig in das nächste Bauvorhaben eingeplant werden können. Concular koordiniert dabei das Angebot und die Nachfrage und legt mit dem Abriss-/Rückbauunternehmen fest, welche Materialien und Bauteile rückgebaut werden und was abgerissen wird. Das Konzept einer Datensammlung mit anschließender Freigabe der

Informationen an Dritte (links) oder Schaffung einer Verbindung zwischen Abbruch und Neubau wird schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

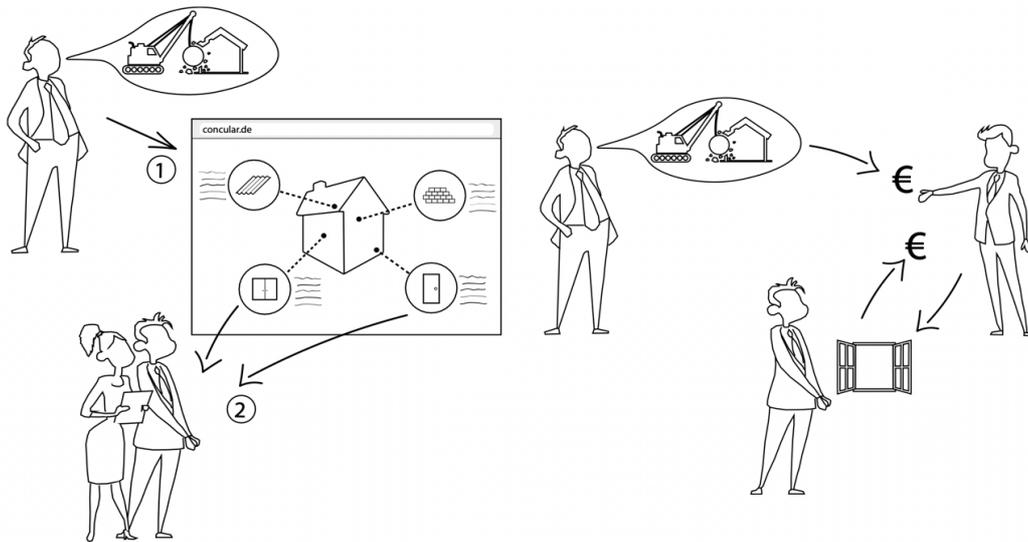


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Konzepts von Concular [19, p. 36]

Concular übernimmt dabei die Kosten für den Rückbau, Transport und die Gewährleistung. Materialien und Bauteile mit zu erwartenden Schadstoffbelastungen werden ebenfalls durch Concular überprüft [19, p. 36]. Die Nutzung der Plattform kostet monatlich einen Festpreis und bei einem Verkauf von Materialien oder Bauteilen erhält Concular eine Provision, wodurch die Plattform kostendeckend ist. Finanziert wird das Projekt außerdem durch einen norwegischen Investor und Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg.

2.3.3 Best Practice Beispiele

2.3.3.1 Baubranche

NEST

„Next Evolution in Sustainable Building Technologies“ (NEST) ist ein „modulares Forschungs- und Innovationsgebäude“ [55] der Forschungsinstitute Empa und Eawag in der Schweiz. In diesem Gebäude werden Innovationen zu modularem Bauen, Digitalisierung, Re-Use und weiteren Innovationen entwickelt und erprobt, um die Lücke zwischen dem Labor und der Praxis zu schließen und die Hemmschwelle zur Umsetzung für nachhaltige Lösungen in der Praxis zu senken [55].



Abbildung 11: Forschungs- und Innovationsgebäude NEST [57, 62]

Zum Beispiel wird im Bereich Urban Mining and Recycling (UMAR) eine konkrete Umsetzung unter anderem von Wiederverwendung, Wiederverwertung, Recycling, Materialrücknahme, Modularisierung, Vorfertigung und sortenreines Trennen erforscht. In diesem Zuge wurde auch ein Materialpass mit Madaster erstellt. In einer Fallstudie wurden die Materialdaten und Produktdaten mit Bezeichnung, Menge, Lieferant, Lebensdauer, Herkunft und Verwendungsmöglichkeit in Excel erhoben und auf die Plattform Madaster hochgeladen. Anschließend wurden Strategien für Verwendungszwecke am Beispiel von biologischer und technischer Verwertung von Materialien und Produkten beschrieben. Genauer ist im Paper aus der Zeitschrift „Journal of Cleaner Production“ oder auf der Webseite des NEST beschrieben [56], [57].

Projekt Stoffpass Gebäude

Das Umweltbundesamt nennt im Abschlussbericht zum Thema Urban-Mining zahlreiche Beispiele bisheriger Konzepte für Materialpässe. Nachfolgend wird eines davon beschrieben.

Das Projekt „Stoffpass Gebäude“ wurde unter anderem von der TU München 2015 durchgeführt und von der Deutschen Bundestiftung Umwelt (DBU) gefördert. Ziel war es ein Instrument für „Stoffpässe“ zu entwickeln, um bei der Projektentwicklung und der Nachhaltigkeitsbewertung durch das Aufzeigen der stofflichen Zusammensetzung von Gebäuden zu unterstützen. Hierdurch sollen eine effizientere Verwendung von Materialien möglich sein und die Hürden für den Rückbau und die Trennung abgebaut werden. Inhaltlich besteht der Stoffpass aus einer Dokumentation der Materialmengen und einer möglichen Erweiterung der Eigenschaften durch Informationen aus Datenbanken. Es werden Möglichkeiten der Darstellung und Verknüpfung vorgeschlagen. Die verbauten Produkte werden erfasst, ohne eine Unterscheidung zwischen Materialarten, Stoffen, Produkten und Funktionen vorzunehmen. Informationen zu den Verbindungen der Schichten werden ebenfalls nicht dokumentiert. Genauer ist im Abschlussbericht des Projektes zu lesen oder im Bericht des Umweltbundesamtes [58], [29, p. 87].

Digitale Hausakte

Eine Hausakte wird als lebenszyklusbegleitende Objektdokumentation verstanden und sollte jegliche Informationen zur Planungs-, Bau- und Nutzungsphase über ein Gebäude beinhalten [29, p. 92]. Empfohlen wird eine Hausakte vor allem für Wohnungs-Neubauten. Eine mögliche Gliederung wird vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) empfohlen [59].

Bei der digitalen Hausakte des Bundesverbands Deutscher Fertigung e.V. (BDF) handelt es sich um eine digitale Version der häufig in Papierform vorhandenen Hausakte. Die digitale Hausakte wird nach der Planung für jedes Gebäude erstellt und beinhaltet alle wichtigen Daten zum Bauvorhaben für den Bauherrn und stellt somit eine „lebenszyklusbegleitende Gebäudedokumentation“ [60] dar. Darunter fallen die Ausstattungsbeschreibung, die Revisionsunterlagen, Pläne, Details, die Statik und sonstige Nachweise. Die QDF gibt zwar nötige Inhalte vor, jedoch kein einheitliches Format. Die Inhalte können von den Mitgliedern erweitert werden. Durch die Bau- und Leistungsbeschreibung lassen sich schon grobe Rückschlüsse auf verbaute Materialien ziehen [29, p. 94].

Der BDF will hierfür eine Bauherren-Plattform entwickeln, bei der sich der Bauherr anmelden kann und alle Informationen gebündelt und digital an einem Ort hat und diese z.B. bei Sanierung ergänzen kann. Außerdem soll dies zum Werterhalt beitragen, indem alle Instandhaltungen und Modernisierungen dokumentiert werden können und somit für einen Nachweis einer „scheckheftgepflegten Immobilie“ sorgt. Verpflichtend ist eine solche Hausakte für das „Qualitätssiegel Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertigung“ (vgl. Kapitel 2.2.2).

Die Hausakte verfolgt teilweise ähnliche Anliegen wie ein Gebäudepass. Ein Gebäudepass beinhaltet im Vergleich zur Hausakte alle Informationen über ein Gebäude zum Zeitpunkt der Fertigstellung und ist für Gebäude aller Art. Eine Hausakte beinhaltet zusätzliche Informationen aus der Planung und Errichtung, Informationen zur Nutzungsphase und ist für kleinere Wohnbauten gedacht [29, p. 92].

2.3.3.2 Elektrotechnische Industrie am Beispiel von Apple

Beschrieben wird ein Beispiel einer geregelten und funktionierenden Material-Dokumentation in der elektrotechnischen Industrie. Die Norm DIN EN IEC 62474 definiert die Anforderungen, den Inhalt und die Form des Datenaustauschs für die Materialdeklarationen von elektronischen Produkten [29, p. 96]. Hierdurch sollen gesetzliche Verpflichtungen nachgewiesen und das umweltbewusste Design gestärkt werden. Inhalt der Materialdeklarationen müssen Masse, eine Bezeichnung, die Zusammensetzung und eine eindeutige Klassifizierung der Materialklassen und -arten der Produkte sein.

Unabhängig der europäischen Norm DIN EN IEC 62474 soll ein weiteres Beispiel zur Kreislaufwirtschaft in der elektrotechnischen Industrie am Beispiel des Unternehmens Apple Inc. vorgestellt werden. Apple wirbt auf ihrer Webseite mit Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft und bietet Informationsmaterial für Presse, Kunden, Partner und Recyclingfirmen an [61].

Demontage Roboter: Der Demontage Roboter ist ein Forschungsprojekt von Apple und soll autonom einzelne Komponenten trennen, um diese dem Recyclingprozess bzw. dem Wiedereinbau rückführen zu können [62]. Der Roboter ist auf das iPhone 6 spezialisiert und kann 1,2 Millionen Geräte pro Jahr zerlegen. Im Vergleich zu herkömmlichen Materialrückgewinnungsmethoden aus der Branche, bei der Geräte geschreddert und somit Materialien durchmischt werden und anschließend sortiert werden müssen, ist eine bessere Qualität und Reinheit der zurückgewonnenen Materialien gegeben. Der Roboter demontiert durch integrierte und externe Werkzeuge wie Bohrer und Saugnapf die wichtigsten Komponenten, mit denen ein Kompromiss zwischen dem Zerlegungsgrad und der Effizienz der Zerlegung eingegangen wurde.

Informationen für Recyclingunternehmen: Apple veröffentlicht für viele Produkte einen Recycler-Leitfaden, in dem für das bestimmte Produkt Hinweise zur Identifikation des Modells, den Komponenten, Sicherheitshinweise bei der Demontage, empfohlene Werkzeuge, eine Demontageanleitung mit Bildern und eine Materialkategorisierung der auseinander gebauten Bauteile gegeben werden [63]. Bei der Materialkategorisierung werden die Bauteile den beinhalteten Materialien zugeordnet, um die Entsorgung und Weiterverarbeitung zu erleichtern. Das Dokument soll das Recyceln oder Reparieren eines Gerätes erleichtern und die europäische Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (EEAG) und die Abfallrahmenrichtlinie erfüllen.

Rücknahmesystem: Bei Apple kann man sein gebrauchtes Gerät einschicken und bekommt im Gegenzug Geld überwiesen bzw. eine Gutschrift beim Kauf eines neuen Gerätes. Die alten Geräte werden bei gutem Zustand überarbeitet und weiterverkauft und bei schlechtem Zustand an Recycling-Partner geschickt oder durch Roboter demontiert [64].

Informationen zu Rohstoffauswirkungen: Apple liefert mit diesem Dokument Hinweise zu den verwendeten Materialien und nennt Auswirkungen auf die Umwelt, Soziales und die Versorgung [65]. Das Unternehmen hat sich zum Ziel gesetzt, energieeffizient, ressourcenschonend zu handeln und ausschließlich sichere, recycelte und erneuerbare Materialien zu verwenden. Hierzu ist eine Zusammenarbeit zwischen Apple, Recyclingunternehmen und den Lieferanten nötig. Die verbauten Materialien werden hierzu anhand verschiedener Indikatoren auf die Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und sozialen Auswirkungen bewertet und priorisiert.

2.3.3.3 Lebensmittelbranche

Ein Beispiel einer lückenlosen Rückverfolgung ist die Lebensmittelbranche. Hier muss im Rahmen der seit 2002 geltenden Verordnung zur Lebensmittelsicherheit (Nr. 178/2002) von

der Produktion bis zum Vertrieb jeder Akteur in der Lebensmittelkette mindestens vom unmittelbaren Vorlieferanten und dem unmittelbaren Abnehmer wissen, von wo die Lebensmittel bzw. Zutaten kommen und wo diese genau hinfließen [66, p. 4]. Dies soll dafür sorgen, dass ausschließlich sichere Lebensmittel in den Handel gelangen, um gezielte Rücknahmen zu ermöglichen und Verbraucher oder Behörden zu informieren.

Das Überwachungssystem muss dabei Informationen zu den Lieferanten, den Produkten mit Mengen, den Kunden, dem zeitlichen Ablauf und eine Chargennummer bereitstellen können [66, p. 9]. Die Umsetzung erfolgt durch den Lebensmittelunternehmer, die Form bleibt dabei dem Unternehmer selbst überlassen, es wird lediglich bei Bedarf eine strukturierte und zeitnahe Bereitstellung der Informationen erwartet [66, p. 12]. Die Umsetzung erfolgt je nach Unternehmensgröße in Papierform oder durch ein EDV-System.

In der Praxis wird z.B. die Charge elektronisch erfasst und mit einem Stempel oder Nummern gekennzeichnet [67, p. 15]. Somit ist z.B. das Blut in einem Schlachthof auf das Schwein und das Tier durch die Tätowierung und den Stempel auf den Landwirt rückverfolgbar. Bei der Wurstverarbeitung werden z.B. die eingehende Ware mit dem Lieferschein abgeglichen, die Lieferscheinnummer in das System eingegeben und Chargenetikette auf die Ware aufgebracht [67, p. 19]. Eine gute Rückverfolgbarkeit erfüllt in erster Linie die Gesetzgebung, kann aber dem Unternehmen auch die Produktionsplanung und das Controlling erleichtern. So können Mengenabweichungen erkannt, Prozesse können verbessert und Reklamationen und Fehler identifiziert werden [67, p. 20].

3 WeberHaus und der Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses

„Wir bauen jedes Haus, als wäre es unser eigenes.“

Leitspruch WeberHaus

Durch die zuvor beschriebenen Grundlagen zur Nachhaltigkeit, Gesetzen und der Rückverfolgung wurde das Verständnis für wichtige Themen zur Kreislaufwirtschaft geschärft. In diesem Kapitel wird das Unternehmen WeberHaus und dessen Material- und Informationsfluss dargestellt. Dies ist nötig, um die Vorschläge für eine Einführung eines Materialpasses im Kapitel 4 zu ermöglichen und diese zu verstehen. Hierzu wird der Materialfluss für das gesamte Unternehmen, auf Gebäudeebene und auf Elementebene untersucht. Diese Gliederung wird durch die vorgeschlagenen Varianten in Kapitel 4 aufgegriffen. Der Informationsfluss wird anhand der vorhandenen Softwaresysteme beschrieben, die ebenfalls in den vorgeschlagenen Varianten aufgegriffen werden.

3.1 Fertighausbau allgemein und bei WeberHaus

Das Bauwesen ist mit dem Tiefbau, Ingenieurbau und Hochbau und den dazugehörigen technischen Herstellungsprozessen sehr vielseitig. Im Bauwesen wird grundsätzlich zwischen einer Werksfertigung und den Arbeiten auf der Baustelle unterschieden. Im Hochbau werden die Bauweisen nach den eingesetzten Materialien, dem Konstruktionsprinzip, des Gewichts oder der Art der Herstellung unterschieden. Beispiele wären die Skelettbauweise, der Holzrahmenbau, Massiv- und Leichtbauweise, die Nass- und Trockenbauweise oder die Modul- bzw. Systembauweise [68, p. 16]. Ausgeführt werden die meisten Bauwerke aus Materialien wie Holz, Beton, Stahl oder aus mehreren verschiedenen Materialien, wie bei der Hybridbauweise.

Der Fertighausbau wird der Systembauweise zugeordnet, bei der Elemente in der Produktion vorgefertigt werden und auf der Baustelle zu einem Gebäude montiert werden. Der Vorfertigungsgrad beschreibt hierbei den Detaillierungsgrad der Vorfertigung. Umso höher dieser ist, desto mehr Leistungen werden in der Produktion verrichtet. Die Montage auf der Baustelle soll hierdurch erleichtert bzw. verkürzt werden. Weitere Vorteile sind die Witterungsunabhängigkeit und die hohe Qualität.

In der Abbildung 12 sind die Lebenszyklusphasen mit den dazugehörigen Prozessen der Holzfertigbauweise im Vergleich zum klassischen Holzbau/Massivbau dargestellt [26, p. 3]. Gegenüber dem klassischen Holzbau/Massivbau sind die Produktionsprozesse (Modul A1 und A3) andere wie bei der Holzfertigbauweise. Bei der klassischen Bauweise endet die

Herstellungsphase mit der Herstellung von Baustoffen, im Holzfertigbau endet diese mit der Herstellung von Bauteilflächen. In der Errichtungsphase werden bei der klassischen Bauweise die Bauteile vor Ort gefertigt, bei der Holzfertigbauweise werden die Bauteilflächen nur noch montiert (Modul A5).

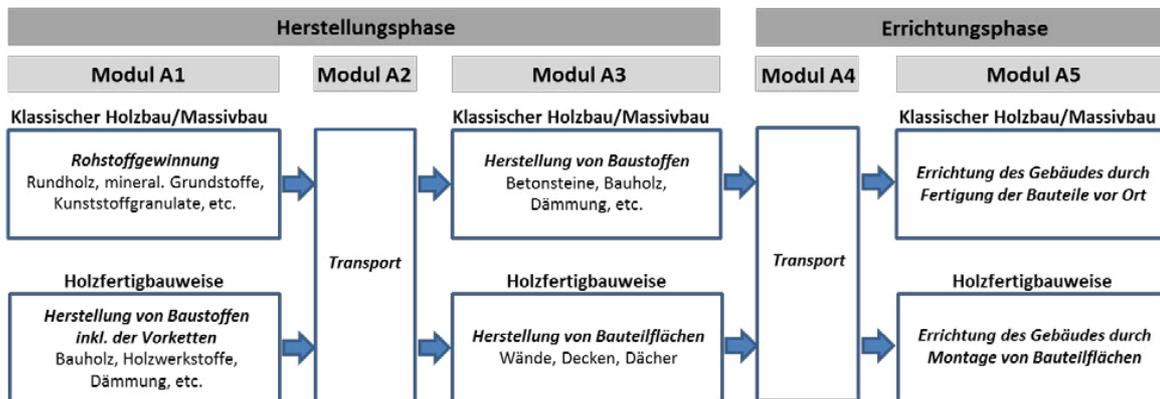


Abbildung 12: Lebenszyklusphasen im Vergleich [26, p. 3]

Die Holzfertigbauweise wird durch die kürzere Bauzeit und Preissicherheit bei den Bauherren immer beliebter. So stieg der Anteil der Baugenehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäusern 2021 auf 23 % (2019 betrug dieser noch 20%). Somit war 2021 fast jedes vierte genehmigte Haus ein Fertighaus. Besonders im Süden Deutschlands ist diese Bauweise, mit einer Fertigbauquote von 39 % in Baden-Württemberg, sehr beliebt [69].

Zu den erfolgreichsten Fertighausunternehmen gehören SchwörerHaus mit einem Umsatz von 320 Mio. € (jährlich) [70] und über 1800 Mitarbeitern, WeberHaus [REDACTED] und über 1200 Mitarbeitern und Haas-Fertighaus mit 228 Mio. € (2020) und ca. 1100 Mitarbeitern [72].

Unterschieden werden Holzbauweisen im Allgemeinen nach Holzskelettbau, Holztafelbau, Holzfachwerkbau, Holzmassivbau, Holz-Beton-Verbundbau und Modulbau [73, p. 22]. Im nachfolgenden Kapitel wird der Holzrahmen- bzw. die Holztafelbauweise, so wie sie auch bei WeberHaus ausgeführt wird, näher beschrieben. Der Holzrahmenbau und Holztafelbau sind in der Konstruktionsweise identisch und unterscheiden sich nur in der Begriffsentstehung [73, p. 27]. Der Holzrahmenbau ist heutzutage die übliche Konstruktionsweise für Holzhäuser.

3.2 Das Unternehmen und seine Produkte

WeberHaus wurde 1960 vom damals 23-jährigen Zimmereimeister Hans Weber in Rheinau-Linx gegründet [74]. Ziel war es, vorgefertigte Holzhäuser zu bauen, wovon mittlerweile schon mehr als 38.000 Stück entstanden sind. WeberHaus kann vor allem mit Innovationen im Bereich energieeffizientes Bauen, gesundes Bauen, Umweltfreundlichkeit und Bemusterung glänzen. Das Unternehmen wird zur Zeit von Hans Weber, Christa Weber, Heidi Weber-Mühleck als Gesellschafter und Gerd Maßhardt, Andreas Bayer, Stephan Jager und Wolfgang Weber als Geschäftsführer geführt [75]. Wobei sich der Firmengründer Hans Weber und seine Frau Christel Weber immer mehr aus dem strategischen Geschäft zurückziehen und dieses an Heidi Weber-Mühleck übergeben.



Abbildung 13: Organigramm WeberHaus (eigene Darstellung) [86]

WeberHaus hat es sich zur Aufgabe gemacht Häuser CO₂-neutral zu produzieren. Ein Schritt, der hierfür unternommen wurde, sind die Photovoltaik-Anlagen auf den Produktionshallen, die einen Ertrag von 947.000 kWh liefern.

Nicht nur die Produktion, sondern auch die Häuser sollen effizient sein. Hierfür waren die Einführungen der Standards 1996 die Null-Heizenergie-Häuser, 2006 die PlusEnergie-Konzept Häuser und ab 2019 durch die ökologische Gebäudehülle „ÖvoNatur Therm“ die kW-Effizienzhäuser 40 plus ausschlaggebend. Der Energiebedarf bei einem kW-Effizienzhaus 40 plus muss somit mindestens 60% weniger als bei einem Neubau-Standard betragen und zusätzlich muss Strom durch erneuerbare Energien erzeugt und gespeichert werden können [76].

Bei WeberHaus werden tragende, nichttragende Außenwände, Innenwände, Dachelemente und Decken im Holzrahmenbau gefertigt. Diese werden teilweise gedämmt, verputzt, Fenster und Fensterbänke verbaut, Leitungskanäle für Heizung, Lüftung, Strom und Wasser verlegt. Der Rähm, die Ständer und die Schwellen der Holztafeln werden aus

Konstruktionsvollholz gefertigt. Beplankt werden die Tafeln mit Oriented Strand Board (OSB) Platten. Die Rippen werden normalerweise durch einachsige Biegung und Normalkraft beansprucht, die Beplankung wird durch Lasten aus Verkehrslasten, Schnee, Wind, Erdbeben und Schiefstellungen beansprucht. Die Beplankung wird durch Klammern an den Rippen mechanisch verbunden und beidseitig angebracht. Die Zwischenräume werden mit Dämmung und Leerrohren ausgefüllt [77]. Der Aufbau einer Wand in Holzrahmenbauweise und deren Elemente sind in der Abbildung 14 zu erkennen.

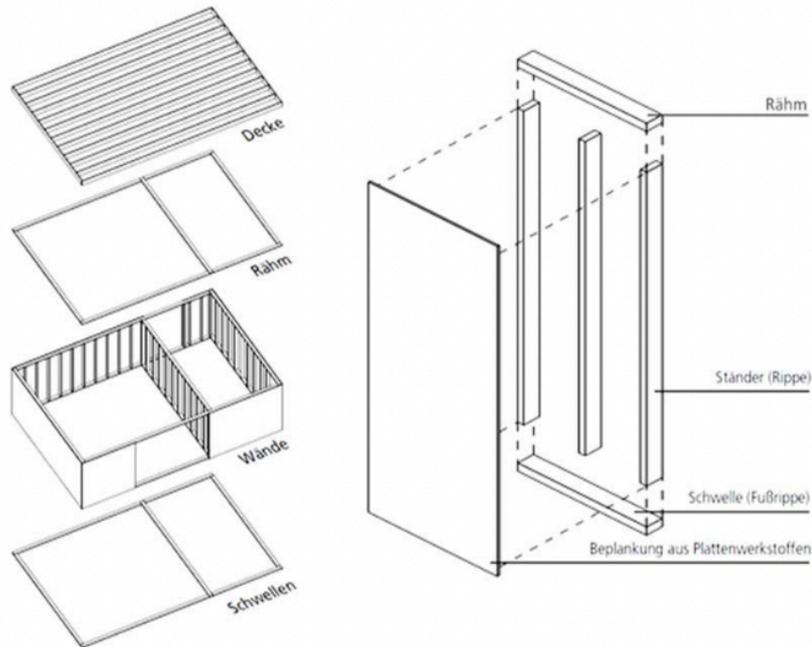
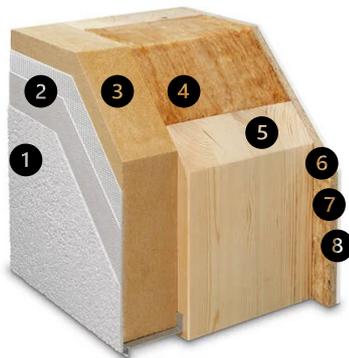


Abbildung 14: Charakteristische Elemente der Holzrahmenbauweise [26, p. 7]

Der aus dem Holzrahmenbau resultierende und in Abbildung 15 dargestellte Wandaufbau sorgt für besonders gute Raumluftqualität und Dämmwerte. Ermöglicht wird dies durch die Eigenschaften des Wandaufbaus [78, pp. 200-201]:

- **Wandstärke:** 39,5 cm
- **Holzfaser-Dämmplattstärke:** 100 mm
- **Wärmeschutz:** $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($0,10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ im Gefach)
- **Brandschutz:** REI 90 von außen, REI von innen
- **Schallschutz:** $\geq 51 \text{ dB}$



- ① Edelputz, fugenfrei aufgebracht
- ② Armierungsspachtel mit Gewebe
- ③ Ökologische Holzfaserdämmplatte
- ④ Mineralische Vollwärmedämmung
- ⑤ Massive Holzfachwerkkonstruktion
- ⑥ ÖvoNatur-Holzwerkstoffplatte
- ⑦ Dampfbremsvlies
- ⑧ Gipskarton + Wandbelag

Abbildung 15: Detaillierter Wandaufbau der „ÖvoNatur Therm“ (eigene Darstellung) [78, p. 200]

Bei WeberHaus werden verschiedene Produktlinien mit verschiedenen Ausbaustufen angeboten:

Individual: Bei den freigeplanten Architektenhäusern handelt sich um Individualbauten, die zusammen mit dem Bauherrn geplant und anschließend von WeberHaus umgesetzt werden [74].

Baureihen: Die Standardbaureihen, die von WeberHaus geplant und vom Bauherrn ausgestattet werden können, sind „generation 5.5“, „sunshine“, „CityLife“, „Balance“ und „myLife“ (siehe Abbildung 16). Die Baureihen unterscheiden sich im Design und in den Funktionen. So eignet sich das „sunshine“ für kleine Grundstücke. „generation 5.5“, das zu den meistgebauten Häusern gehört, eignet sich besonders gut durch die Form und Ausstattung zur effizienten Nutzung von Solarenergie. Alle Baureihen werden in verschiedenen Größen angeboten und können durch Balkone, Pergolen oder Gauben ergänzt werden [74].

Objektbau: Der Geschäftszweig für Objektbauten ist

der kleinste. Umgesetzt werden hier individuell geplante Lösungen für Büros, Hotelzimmer, Ferienwohnungen, Siedlungen oder Schulungszentren bis zur Gebäudeklasse vier mit bis zu fünf Geschossen [74].



Abbildung 16: Produktlinien: Individual, Baureihen, Objektbau

Der Vorfertigungsgrad der verschiedenen Gebäude variiert bei WeberHaus und ist abhängig von der gewählten Ausbaustufe und der damit verbundenen Eigenleistung des Bauherrn. Der Bauherr kann zwischen fünf Ausbaustufen wählen [79]:

- **Ausbaustufe 1:** Mehrwert
- **Ausbaustufe 2:** Technik komplett
- **Ausbaustufe 3:** Bad komplett
- **Ausbaustufe 4:** Malerfertig
- **Ausbaustufe 5:** Schlüsselfertig

WeberHaus besitzt zwei Standorte mit jeweils einer Produktion, Verwaltungs- und Büroeinrichtungen. Der erste Standort befindet sich in Rheinau-Linx (BW), der zweite befindet sich in Wenden-Hünsborn (NRW). Gebaut werden im Schnitt [REDACTED] (beide Standorte), wovon der größte Teil aus Ein- und Zweifamilienhäusern und der kleinere Teil aus Objektbauten besteht [78]. Der größte Absatzmarkt ist Deutschland, der zweitgrößte die Schweiz und der drittgrößte Luxemburg (siehe Abbildung 17). Die Zahlen in der Abbildung beziehen sich auf beide Standorte und auf die Einführung der Baureihen ab 2014. Die Zahl in der Mitte gibt die gebauten Gebäude an, außen im Kreis sind die prozentualen Verteilungen der Baureihen dargestellt.

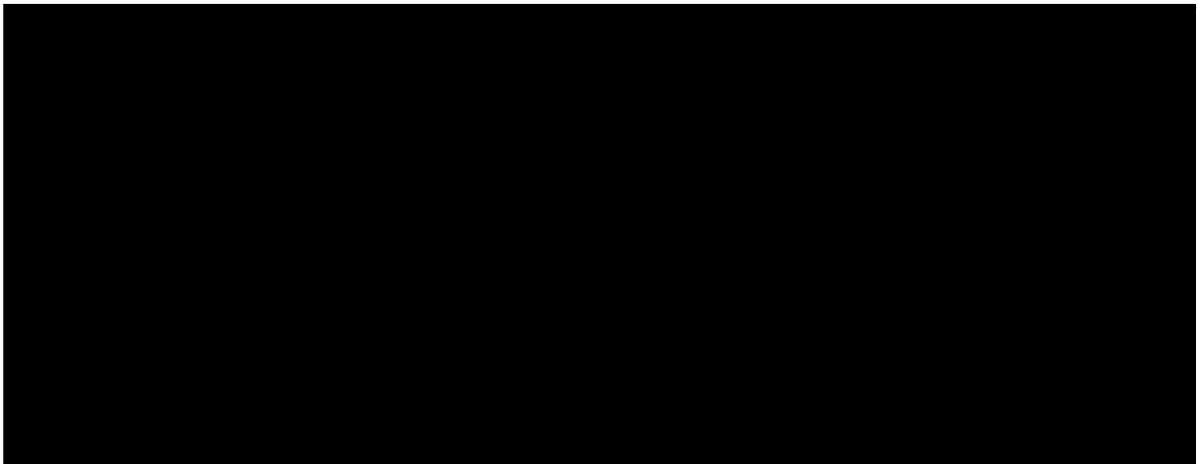


Abbildung 17: Verteilung der gebauten Gebäude auf Länder und Produktlinien (eigene Darstellung) [95]

In untenstehender Tabelle und dem Diagramm (Tabelle 6 und Abbildung 18) werden die Anzahl und die Verteilung der jeweiligen Produktgruppen verdeutlicht (aller gebauten Gebäude in allen Ländern).

Tabelle 6: Anzahl der gebauten Produktlinien

3.3 Die Liefer- und Wertschöpfungskette

Die gesamte Lieferkette lässt sich allgemein vom Zulieferer bis hin zum Kunden darstellen (Abbildung 19). Innerhalb der Lieferkette sind verschiedene Prozesse vorhanden und mehrere Akteure beteiligt, zwischen denen Waren, Werte und Informationen zu-, aber auch abfließen. Die Rückverfolgbarkeit dieser Flüsse ist oft durch die Anzahl der Beteiligten, mehrere Softwaresysteme und die internen Prozesse nicht einfach durchschaubar, spielt aber eine wichtige Rolle, um Prozesse transparent und den erschaffenen Wert darzustellen. Die hellgrauen Felder sind interne Prozesse eines Unternehmens, die in Abbildung 20 speziell auf WeberHaus bezogen und aufgeschlüsselt dargestellt sind.

**Abbildung 19:** Die Lieferkette von WeberHaus [112, p. 45]

Die internen Prozesse der Planung, Durchführung und Kundenbetreuung bei WeberHaus lassen sich in verschiedene Teilprozesse aufteilen. Die Prozesskette beginnt beim Marketing mit der Erstkontaktaufnahme und endet im Kundendienst bzw. mit dem „WeberHaus-Service“. Die Hauptprozesse werden untenstehend näher beschrieben und in der Abbildung 20 dargestellt. Die verwendeten Softwaresysteme werden unter Kapitel 3.5.1 näher beschrieben [80].

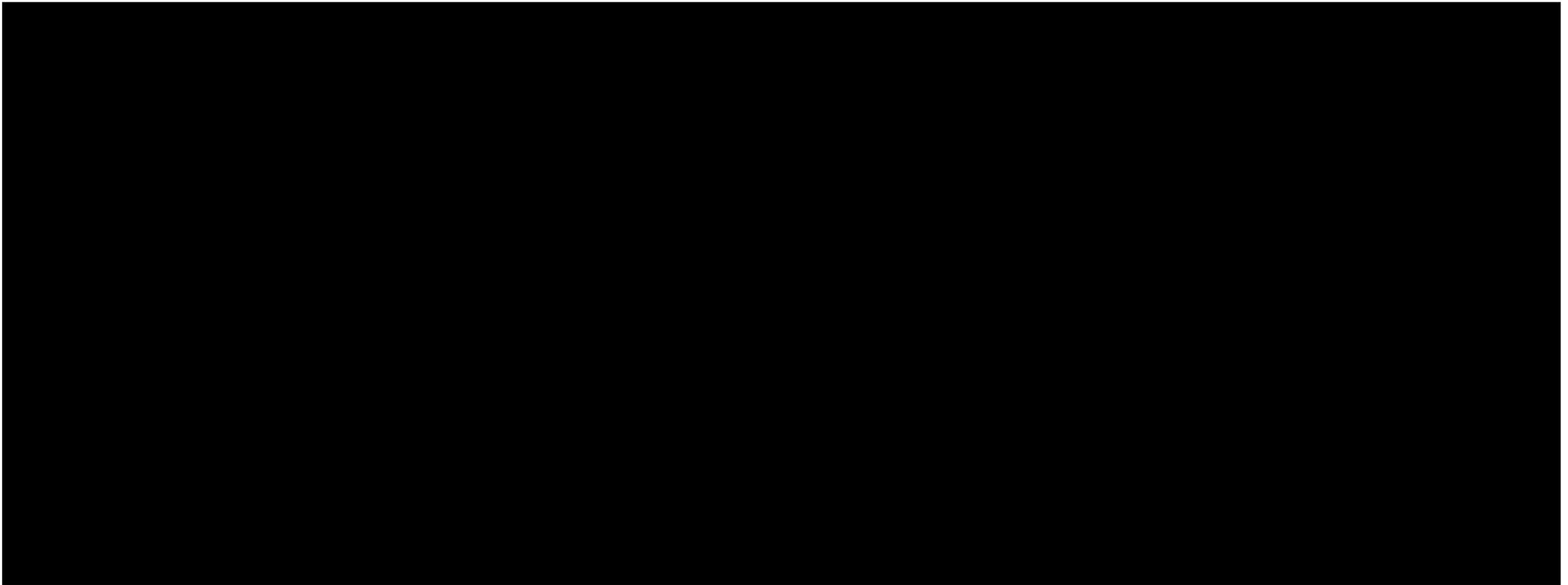


Abbildung 20: Wertschöpfungskette mit den dazugehörigen Prozessen [80, p. 30]

Auftragszentrum

Nach der Vertragsangebotserstellung vom Vertrieb werden im Auftragszentrum die Verträge erfasst und geprüft, in der Bauplanung 1 wird anschließend die Geometrie durch Pläne zur Ausstattung und ein Geometriemodell festgelegt [80]. Daraufhin folgt die mehrtägige Ausstattungsberatung, bei der der Bauherr die Bemusterung des Gebäudes festlegt. In der Bauplanung 2 werden Pläne für die Elektrik erstellt und die Vorgabezeiten bestimmt. In der Bauplanung 3 werden die Bereiche Sanitär, Lüftung und Heizung geplant. In der Bauplanung werden generell Pläne für das Gebäude oder die Technik erstellt, Massen ermittelt und Vorgabezeiten festgelegt. Bei WeberHaus gibt es in der Planung verschiedene Planstadien. Der Entwurf wird durch den Architekten mithilfe der standardisierten WeberNorm und den Kundenwünschen im Entwurfsplan (E-Plan) festgehalten [81]. Dieser wird anschließend überarbeitet, hier werden zusätzlich noch Details geplant und eingezeichnet. Zum Schluss wird der Plan mit dem fertigen Gebäude vom Kunden freigegeben. Im IFC-Format wird dieses fertige Geometriemodell an die Arbeitsvorbereitung der Produktion (AV-Produktion) übermittelt.

Benutzt werden hierzu die Softwaresysteme des [REDACTED]

[REDACTED] Der Zusammenhang der Software-Systeme wird im Kapitel 3.5.1 näher beschrieben.

Einkauf und Materialwirtschaft (EK/MaWi)

Durch die Ausstattungsberatung ist die Leistung nun weitestgehend definiert. Mit den Bestellfreigaben über WeKo und SAP, den Massenermittlungen und Erstellung der Bestellungen der einzelnen Planungen beginnt im Einkauf und der Materialwirtschaft die Bestellabwicklung und die Kommissionierung. Zwischen der Ausstattungsberatung und der Montage können [REDACTED] Die Bestellfreigaben werden überprüft und durchgeführt, Leistungen werden abgerufen. Manche Bestellungen und Bestellungen werden automatisch generiert und getätigt, manche wie z.B. für Schallschutzwände müssen händisch gemacht werden [83]. Nicht lagerbeständige Materialien, also Kommissionsware, wie bestimmte Pfetten oder Sparren, werden vor Produktionsstart auf das Bauvorhaben bestellt. Die Stücklisten müssen spätestens zur Planung der Produktion fertiggestellt werden. Außerdem werden hier der Bestand der Hilfs- und Betriebsstoffe, Eigenfertigungsteile und Lagerware mit dem Bedarf der nächsten Wochen [82] (Wochenverbrauch/Anzahl Häuser der nächsten Woche) abgeglichen und falls nötig wird wöchentlich beschafft. Die Hilfs-, Betriebsstoffe und die Lagerware werden jedoch nicht einem speziellen Bauvorhaben

zugeordnet. Alle 4 Wochen im Voraus wird von der Projektleitung und Montageleitung festgelegt, wie viele Häuser wann gebaut werden können [81]. Die Kosten hierfür werden zurzeit wöchentlich gewichtet auf die Bauvorhaben verteilt. In Zukunft sollen die Kosten über [REDACTED] auf das Bauvorhaben gebucht werden. [82]. WeberHaus hat für die meisten Materialien und Bauteile langjährige Verträge, wodurch Preise meistens nur jährlich verhandelt und eingepflegt werden. Software-Systeme [REDACTED]

WeberHaus besitzt mehrere Lager, die für unterschiedliche Materialien vorgesehen sind. Das Langholz für die Dächer und Decken wird in einem anderen Lager wie die Kurzhölzer und Platten für die Rahmenkonstruktion, Verkleidung und Dämmung gelagert. Außerdem werden im Magazin Verbrauchsgegenstände, Hilfs- und Betriebsstoffe und Werkzeuge gelagert [84]. Hier werden vor Montagebeginn die Einbaumaterialien für ein Bauvorhaben vom Lageristen mithilfe der Material-/Produktlisten in Gitterboxen gesammelt und für den Transport vorbereitet. Bilder hierzu sind in der Abbildung 21 zu sehen.

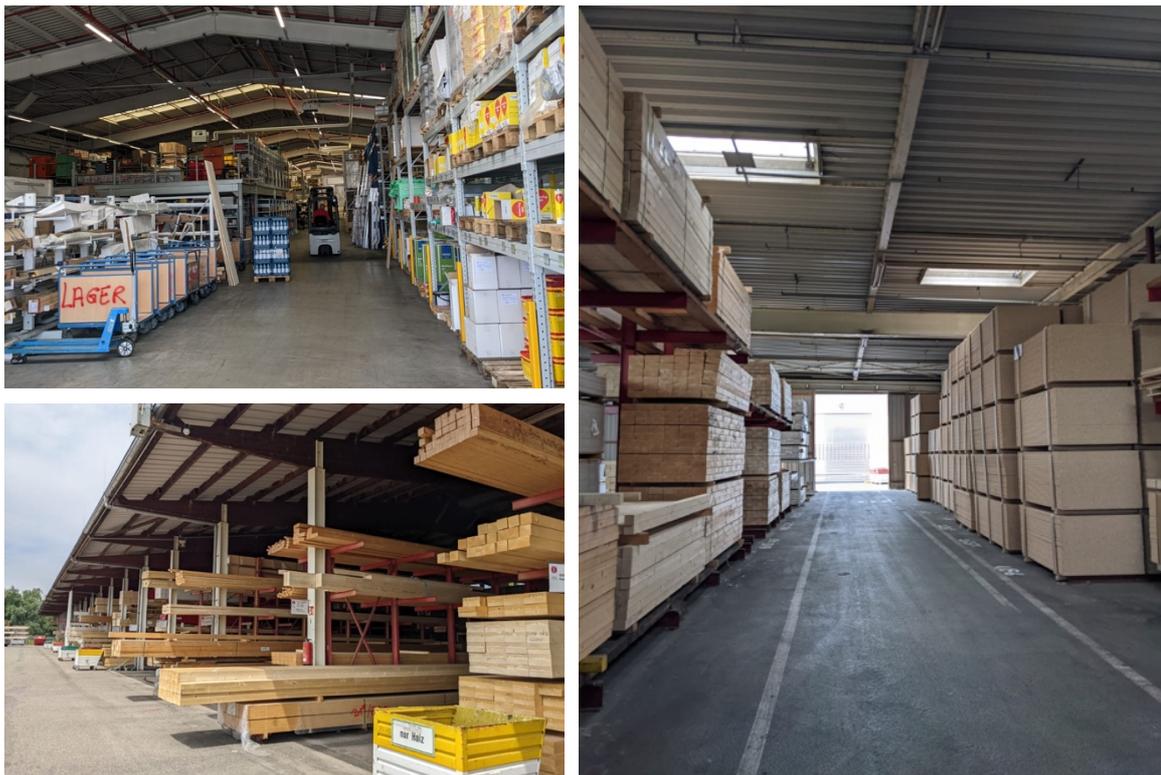


Abbildung 21: Das Magazin und das Lager für Langholz, Kurzholz und Plattenware (eigene Aufnahmen)

Für die Grundkonstruktion sind die Lieferanten bei den meisten Bauvorhaben ähnlich. Die meisten Lieferanten sowie die Materialien stammen aus Deutschland oder dem europäischen Ausland [83]. Baustoffe, die aus unterschiedlichen Rohstoffen hergestellt, be- oder weiterverarbeitet wurden, können aus dem weltweiten Bereich stammen, werden durch

WeberHaus jedoch nicht genau rückverfolgt. WeberHaus gibt aber zu diesen Materialien klare Vorgaben an seine Lieferanten. Die verwendeten Baustoffe müssen über eine Leistungserklärung, DoP (declaration of performance) verfügen, in der die Eigenschaften, wie beispielsweise die chemische Zusammensetzung, festgelegt sind. Diese Leistungserklärung stützt sich auf die für das jeweilige Bauprodukt geltende EN/DIN. Beispielsweise muss der Leim in einer OSB-Platte, die ein global-gehandeltes Produkt darstellt, per DoP vermerkt sein (vgl. Bauproduktenverordnung) [85]. Explizite Materialdeklarationen oder Zuliefererklärungen gibt es jedoch noch nicht (vgl. Lieferkettengesetz) [83]. Die Informationen zu den Lieferanten sind in SAP hinterlegt.

Produktion

Im vorderen Bereich der Produktion werden die Konstruktionsvollhölzer für das Riegelwerk auf Paletten vom Lageristen angeliefert und zwischengelagert. Diese werden automatisiert zum Abbund gefördert und quer zur automatisierten Montage durch Wellennägel und Klammern befördert. Währenddessen werden nicht maßhaltige Balken und Stiele von der Maschine aussortiert und gesondert gelagert. Anschließend werden automatisiert OSB-Platten durch Klammern auf dem Riegelwerk befestigt. Die Produktionslinie teilt sich nun auf in Wände, Spezialwände, Decken und Dächer. Bilder aus der Produktion sind in der Abbildung 22 zu sehen.



Abbildung 22: Produktionsbilder von der Fräs- und Abbundmaschine, der Wandlinie und der automatisierten Nagelmaschine (von oben links beginnend)

Die Materialien (Lagerware wie HWF-Platten, OSB-Platten und Einbauteile wie Fenster, Rollläden) werden bei Bedarf vom Lageristen an die entsprechende Maschine oder Linie gefahren. Die Einbauteile werden auf Abruf des Mitarbeitenden an der Linie vom Lageristen

angefordert. Die Pläne und Stücklisten, die zur Produktion des jeweiligen Bauvorhabens erforderlich sind, werden im Voraus an der Linie verteilt. Die Bauteile werden passend zugeschnitten, gefräst und gebohrt an die Linie gebracht und montiert. Durch eine Nummer sind die Bauteile genau mit dem Montageplan verknüpft, was eine falsche Montage fast unmöglich macht [81]. Produziert werden im Zwei-Schichtbetrieb pro Woche [REDACTED] (am Standort Rheinau-Linx). Um den Produktionsfluss zu optimieren, werden in eine Mehrfachwand nur Wände geplant, die für die Montage gegenseitig relevant sind. Um den Verschnitt der HWF- und OSB-Platten zu reduzieren, werden diese jedoch nicht strikt Gebäude nach Gebäude produziert.

Wände [77, pp. 45-48]: Bei den Wänden wird zwischen Innen- und Außenwänden unterschieden. Außenwände haben im Regelfall eine Stärke von 39,5 cm und eine Höhe von 2,707 m, um eine lichte Raumhöhe von 2,51 m zu erreichen. Beide werden nach dem Aufbringen der OSB-Platten, dem Dampfbremsvlies und der Gipskartonplatten mithilfe von zwei Wendetischen gedreht. Dies ist nötig, um die andere Seite der Wand mit den Elektroerohre, der Mineralwolle, den OSB-Platten, den HWF-Platten und dem Armierungsputz anbringen zu können. Außenwände im EG erhalten zusätzlich einen Sockelabschluss zur Verhinderung der aufsteigenden Feuchtigkeit. Die Laibungen der Fenster werden nun noch mit einem Styroporkeil und einer Folie zur Vermeidung Wärmebrücken und Feuchtigkeits eindringung beklebt. Bis hierher wurden die Wände liegend als Mehrfachwand hergestellt. Mehrfachwände sind mehrere Wände, die zu einer Länge von 11-12m zusammengefasst wurden, um das Aufstellen zu erleichtern. Erst am Ende der Produktion werden diese auseinander gesägt. Stehend werden nun auf der Innenseite der Wand, die Gipskartonplatten vorgespachtelt und Dampfbremsen verklebt. Nun werden jeweils Fenster, Fensterbänke und Türen eingebaut und luftdicht abgedichtet.

Die Innenwände werden je nach statischer Anforderung oder Anforderungen an die Wandinstallationen in 13,2 (Standard), 17,2 oder 23,2 cm produziert. Diese unterscheiden sich zur Außenwand nur durch die fehlende Dampfbremse und die fehlenden HWF-Platten. Außerdem werden beidseitig OSB- und Gipskartonplatten montiert.

Decken [77, pp. 48-49]: Die Decke wird je nach statischer Anforderung in einer Dicke von 29,9 cm (Standard mit 24 cm Balken) oder 31,9 cm (mit 26 cm Balken) produziert. Gefertigt wird nach dem Deckenplan, in dem die Abstände und Längen definiert sind. Zuerst werden die Balken mit einer Traglattung versehen, auf die bauseits die Gipskartonplatten befestigt werden. Das Element wird wieder auf zwei Wendetischen gedreht, damit die andere Seite mit Elektroerohren, Mineralwolle befüllt und anschließend mit OSB-Platten beplankt werden kann.

Dächer [77, pp. 49-50]: WeberHaus bietet Dächer in verschiedenen Formen wie Walmdächer, Satteldächer und Flachdächer mit individuellen Ergänzungen wie Dachgauben und Dachvorsprüngen an. Bei einem Satteldach der Stärke 41,8 cm werden Sparren passend abgebunden, die die tragende Funktion übernehmen, und mit Latten als Abstandhalter und der Sichtschalung beplankt, wodurch der Abstand zwischen den Sparren gewährleistet wird. Die Sichtschalung und die Sparren werden in gewünschter Farbe gestrichen. Anschließend wird auf die Sparren eine HWF-Aufsparrendämmung geklammert, die mit einer Unterspannfolie als Wasserschutz verkleidet wird. Auf diese Unterspannfolie wird eine Konterlattung und Ziegellattung befestigt, auf die später die Dachsteine gelegt werden. Anschließend werden das Dachelement gedreht, die Mineralwolle eingelegt und die Elektroerohre im Gefach befestigt. Darüber wird ein Dampfbremsvlies befestigt. Auf der Baustelle werden nach dem Aufrichten des Dachelements innen auf die Pfetten Latten angebracht, an der die Gipskartonplatten befestigt werden.

Die AV Produktion konstruiert mit der Konstruktionssoftware Dietrichs die Wände, Decken und das Dach im Detail. Was genau durch Dietrichs dargestellt wird, ist in Kapitel 3.5.1 beschrieben. Dietrichs kann dann für die einzelnen Maschinen Daten erzeugen, die zum Zuschneiden, Fräsen, Bohren, Abbinden von HWF-, OSB-Platten und Balken, Stielen benötigt werden [81]. Für die Vorgabezeiten kommt Excel zum Einsatz.



Abbildung 23: Automatische Abbund- und Montageanlage in der Produktion [118]

Die Produktion wird seit 2020 umgebaut, wodurch eine Produktionslinie mit noch höherem Automatisierungsgrad entstehen soll. Der Umbau ist in 5 Bauabschnitte aufgeteilt, wovon z.B. die automatisierte Abbund- und Montageanlage 2020 bereits realisiert wurden (vgl. Abbildung 23) [86]. Auch das Klammern wird teilweise automatisch durch Roboter durchgeführt. Die Verbindungsart resultiert aus zeitlichen, kostenbedingten und

produktionsbedingten Gründen. Verbindungen wie kleben und schrauben haben gegenüber den Klammern Nachteile [81].

Nach jeder Produktionslinie ist die Verladung angesiedelt. Hier werden die fertigen Bauteile eines Gebäudes auf die Verlade-Pritsche geladen. Beladen wird nach dem Beladepan genau entgegengesetzt der Reihenfolge der Entladung auf der Baustelle, um die Montage zu vereinfachen [87]. Benötigt werden im Schnitt zwei Pritschen pro Stockwerk und 7 Fuhren pro Gebäude. Durch den Kapazitätenplan (Kapa-Plan) ist eine auf die Viertelstunde genaue Rückverfolgung einer fertigen Pritsche möglich. Die fertigen Pritschen werden zwischengelagert und nicht direkt auf die Baustelle gefahren, wodurch zwar keine Wartezeiten der LKWs entstehen, aber Mehraufwand in der Planung.

Montage

Mit der Beladung der produzierten Wand, Decken und Dachelemente und Zwischenlagerung der Pritschen kann die Montage des Bauvorhabens beginnen. 1,5 Tage vor der Montage werden auf dem Bereitstellungsplatz die Materialien für die Montage in Gitterboxen gerichtet und transportbereit gemacht [87]. Die Listen der AV wer-



Abbildung 24: Montage des Erdgeschosses des Bauvorhabens 84207 [77]

den von der Materialwirtschaft individuell pro Bauvorhaben abgearbeitet und den Baustellengegebenheiten angepasst (Platzverhältnisse, LKW-Größe, Ausbaustufe, ...). Darunter fällt jegliches Material wie Sanitärbauteile, Elektrobauteile und Fliesen [87]. Außerdem werden Werkzeuge, Hilfsstoffe wie Gerüste und Container und Ersatzmaterialien für kaputte Materialien disponiert. Diese werden vom Lageristen über einen Scanner bei Entnahme aus dem Lager ausgebucht [87].

Die Pritschen werden mit LKWs auf die Baustellen transportiert. Im Voraus wurde die Bodenplatte in Ort beton oder der Keller aus Fertigteilen erstellt. Das Montageteam erhält eine Baumappe mit den Plänen, der Leistungsbeschreibung, einer Wegbeschreibung und Vorgabezeiten [88]. Zurzeit ist die Mappe noch in Papierform, was in Zukunft teilweise digitalisiert werden soll. Nun wird anhand des Montageplans, der im Voraus erstellt wurde, das Gebäude gestellt.

Die eigentliche Montage dauert im Schnitt 2 Tage, die LKWs werden abgeladen und der Kran abgebaut. Nun kann der Ausbau innen und außen beginnen. Die Baustelle wird mehrmals im Verlauf der Montage und des Ausbaus nach einem Fuhrenplan, in verschiedenen

Lieferstadien, angefahren und je nach Fertigstellungsgrad unterschiedliche Materialien vom Lager hergerichtet und transportiert. Teilweise werden Materialien auch direkt vom Hersteller auf die Baustelle geliefert, das ist meistens bei großen Herstellern wie Sto SE & Co. KGaA der Fall [20]. Definiert wird die Bestell- und Transportart für die jeweiligen Materialien vom Einkauf. Das Montageteam besteht in der Regel aus 5 Fachkräften, wovon einer den Kran führt. Überwacht werden die Leistung und die Qualität von einem Bauleiter.

Zur digitalen Unterstützung der Montage wird hauptsächlich der sogenannte „Leitstand“ genutzt [80]. Der Leitstand ist eine App, in der das Montageteam jegliche Pläne abrufen kann und z.B. Arbeitsstunden eintragen kann. Diese App soll in Zukunft für weitere Funktionen weiterentwickelt werden [89].

3.4 Abriss, Rückbau und Entsorgung

WeberHaus hat mit dem Abriss keine Berührungspunkte, da die Leistung im Normalfall nach dem Bau abgeschlossen ist. Dennoch gibt es einen Kundendienst und den WeberHaus-Service, der sich um Themen nach dem Bau wie die Gewährleistung, sonstige Schäden, Modernisierungen oder Aufstockungen kümmert [89]. Die Schichten eines Hauses in der Holzrahmenbauweise haben unterschiedlich lange physikalische zu erwartende Lebensdauern. Z.B. hat eine Hartholz Struktur eine Lebensdauer von ca. 100 Jahren, Putze eine Lebensdauer von ca. 30-40 Jahren und Bodenbeläge aus Hartholz von 60 Jahren [27, p. 24]. Zur Funktionsaufrechterhaltung müssen diese regelmäßig ausgetauscht werden. WeberHaus gibt auf die Grundkonstruktion eine Garantie von 30 Jahren und eine Gewährleistung von 5 Jahren [86]. Das erste WeberHaus wurde ca. 1960 gebaut und ist somit über 60 Jahre alt und ist bei normaler Instandsetzung noch weit weg von einem Abriss. Ein Rückbau kommt somit bis jetzt hauptsächlich bei Aufstockungen, Anbauten oder Modernisierungen, die WeberHaus für Kunden anbietet, vor. Der Rückbau und somit auch die Entsorgung sind dabei oft Bauherrenleistung [87].

Auf der Baustelle findet die Entsorgung für die Montage größtenteils über einen Subunternehmer „Logex“ statt [87]. Meistens werden aus platz- und wirtschaftlichen Gründen nur Mischcontainer auf der Baustelle aufgestellt. Die Container werden von der Montagedisposition bestellt und der Wechsel veranlasst. Am Montagetag können Transportabfälle wie Folien bereits mit den LKWs zurück transportiert und über WeberHaus entsorgt werden. Eine Genehmigung (A-Schild am LKW) zum Abfalltransport ist in diesem Fall nicht nötig. Für die Maler, Fertigmonteur, den Kundendienst und WeberHaus-Service wird eine Entsorgung über WeberHaus angeboten, da die Container für die Montage bereits weg sind.

Die Entsorgung findet im Werk über ein Abfall- und Umweltmanagementsystem mit Containern statt. Abfälle von der Baustelle, die zurück an WeberHaus kommen, werden an einem Rückgabeplatz abgeladen, sortiert und in Containern entsorgt oder ggf. wiederverwendet. Abfälle aus der Produktion werden entweder thermisch entsorgt (HWF, OSB, KVH Reste) oder in kleinen Containern in der Produktion sortiert, gesammelt und vom Entsorger (Weber Container oder Remontis für Schadstoffe) abgeholt [87]. Dabei werden diese differenzierter sortiert als gesetzlich vorgeschrieben, um evtl. in Zukunft Abnehmer zu finden und Geld damit zu verdienen. Passende Abnehmer sind häufig schwierig zu finden, da entweder die Transportwege für die Entsorger/Hersteller zu lang, die Verarbeitbarkeit und Wiederverwendbarkeit noch schwierig oder der Börsenpreis der Abfallbörse zu gering sind. Die Getrennsammlungsquote beträgt bei WeberHaus 92,3%. Das bedeutet 92,3% des Abfalls von WeberHaus muss nicht mehr gesondert sortiert oder aufbereitet werden. Laut Gewerbeabfallverordnung können ab 90% die restlichen 10% thermisch verwertet werden [90]. Außerdem gibt es für Batterien, Leuchtstoffröhren etc. Recyclingsysteme, die über ein gesonderes Rücknahmesystem mit entsprechender Genehmigung abgeholt werden.

Die Kosten, Mengen und die Entsorgungswege der Abfälle gesamt und auf die Bauvorhaben verteilt, werden wie durch die Gewerbeabfallverordnung verlangt, monatlich und jährlich dokumentiert [87].

3.5 Informationsfluss

3.5.1 Software und Datenformate

Im Unternehmen existieren viele IT-Systeme und Programme, um die Prozesse der Planung, des Einkaufs, der Produktion und der Montage zu unterstützen. Die Zusammenhänge der Wertschöpfungskette mit der dabei verwendeten Software ist in Abbildung 25 dargestellt. Viele Prozesse und Software-Systeme sind kulturbedingt mit WeberHaus gewachsen, eine durchgängige Software gibt es somit nicht und die Zusammenhänge sind nur schwer durchschaubar. In der Abbildung 26 sind deshalb die Zusammenhänge zwischen den zentralen Anwendungen WeKo, Bentley, SAP und den unterstützenden Anwendungen

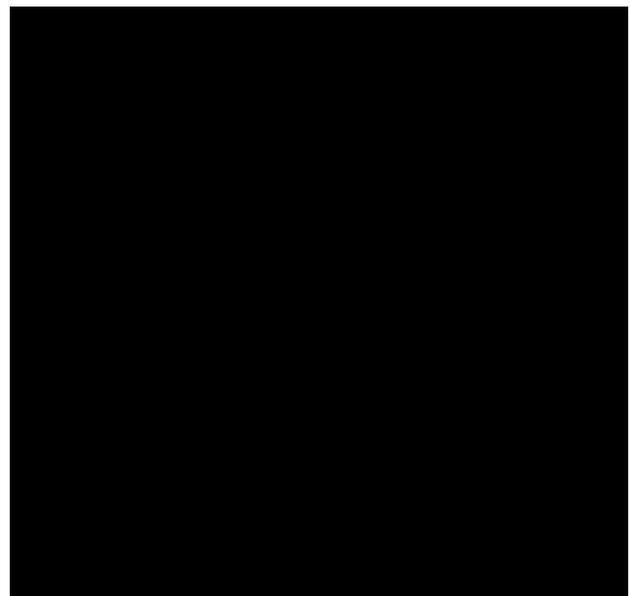


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen der Wertschöpfungskette und der Software (eigene Darstellung)

dargestellt. Nachfolgend werden die Haupt-Systeme, die für die Rückverfolgung eine Rolle spielen, näher beschrieben.

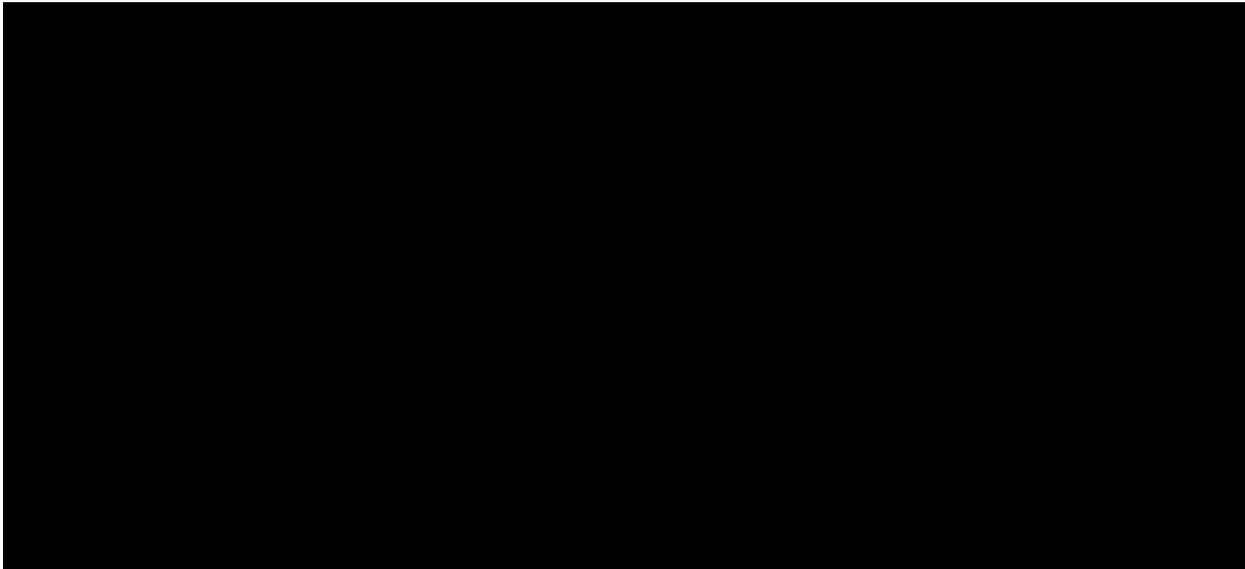
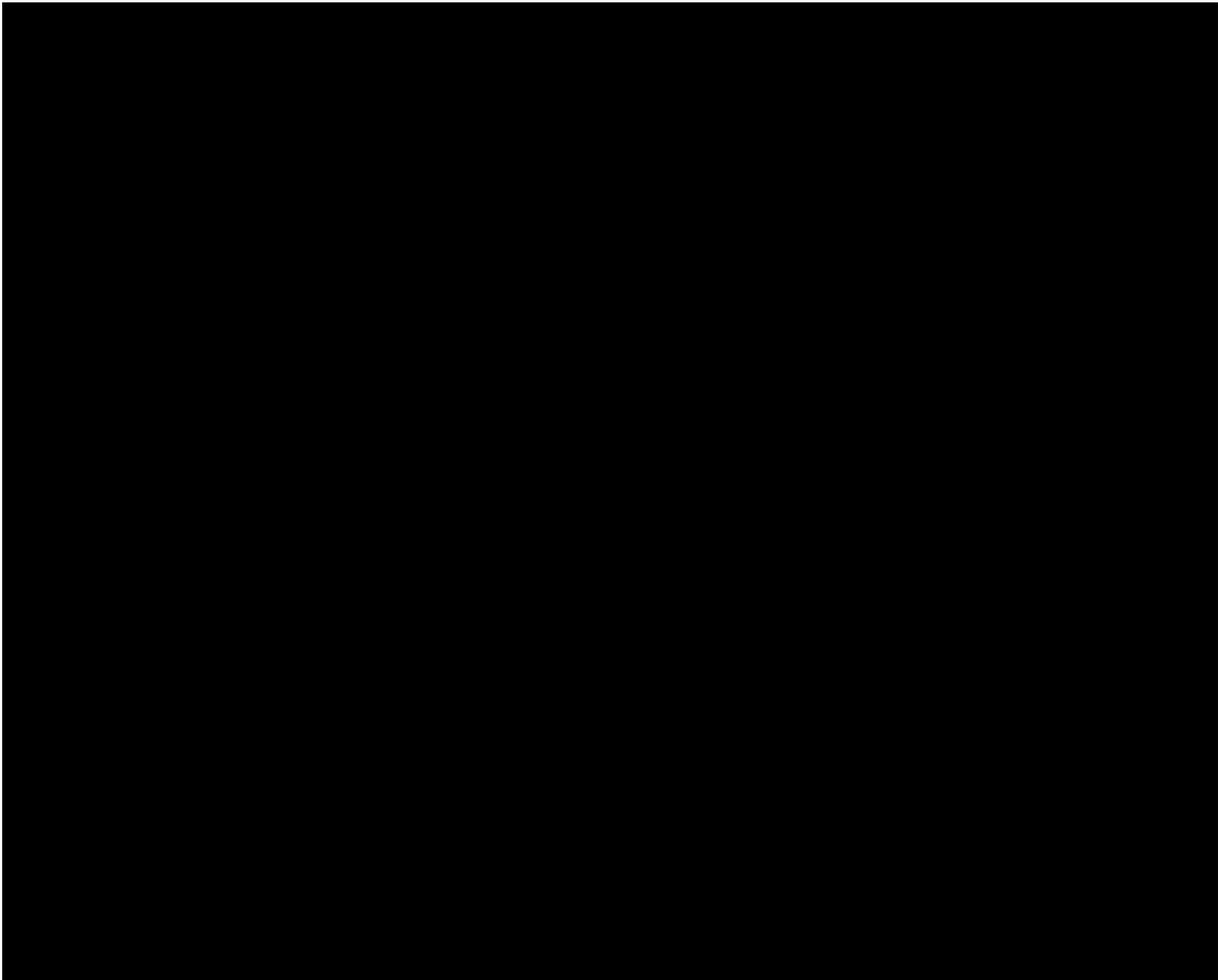


Abbildung 26: Schematischer Zusammenhang zwischen den Softwaresystemen (eigene Darstellung) [113]

SAP-System

Für die Materialpässe und die Rückverfolgung von Materialien im Allgemeinen ist SAP vor allem für den Bereich Einkauf und Materialwirtschaft interessant. Hier wird bei WeberHaus SAP zur Dokumentation und Bestellung von Materialien und Bauteilen über verschiedene Lieferanten genutzt. Die Ressourcen werden hierfür, wie in der Tabelle 7 dargestellt, untergliedert in Hilfs- und Betriebsstoffe, Lagerware, Eigenfertigungsteile, Kommissionsware, Permanent unterschiedliches Material und Dienstleistungen [84]. Jede Materialart, jedes Einbauteil und jede Dienstleistung werden einer bestimmten Nummer-Kategorie (vgl. SAP-Bezeichnung Tabelle 7) zugeordnet, mit der eine mehr oder weniger genaue Identifikation möglich ist. Bei den Eigenfertigungsteilen, den Kommissionswaren und Dienstleistungen ist eine genaue Zuordnung auf das Bauvorhaben im Normalfall möglich. Die Hilfs- und Betriebsstoffe, die Lagerware und die Permanent unterschiedlichen Materialien sind nicht einem genauen Bauvorhaben zugeordnet, sondern fließen direkt in die Produktion oder Montage ein. Die Lagermaterialien werden in SAP elementiert und sind nur über Dietrichs im Detail einem Bauvorhaben zugeordnet. Teilweise werden die Artikelnummern vom Hersteller verwendet, teilweise werden neue Produktnummern generiert. Bei Ankunft im Lager der Materialien werden diese über einen Scanner eingebucht. Bei einer Entnahme von Materialien werden diese ausgebucht. Eine Chargennummer ist dort nicht hinterlegt, kann aber in SAP eingepflegt werden [87], [84].

Tabelle 7: Materialkategorisierung und -nummerierung bei WeberHaus in SAP

Öfter beklagt wurde von den Interviewpartnern die unzureichende Stammdatenpflege in SAP, wodurch es zu falschen Bestellungen, Mehraufwänden oder Missverständnissen bei Änderungen kommt. Ein Automatismus zwischen den Systemen und eine Verknüpfung mit z.B. der Norm oder dem CAD Programm Dietrichs von der Produktion fehlt. So fällt z.B. bei Änderungen der Norm der Bedarf eines bestimmten Materials weg, die Information dazu muss aber manuell weitergeleitet werden [20]. Die Einführung eines neuen Produkts wird in der technischen Besprechung, die alle 6 Wochen stattfindet, festgelegt. Von der Bautechnik werden anschließend die benötigten Mengen definiert und vom Einkauf die Preise kalkuliert. Außerdem legt der Einkauf eine Materialnummer fest und legt die Stammdaten hierfür in SAP an, ab diesem Zeitpunkt kann das Produkt von den verschiedenen Bereichen über SAP oder das vorgelagerte WeKo bestellt werden.

SAP wird außerdem bei WeberHaus als „Kontrolltool“ für bestimmte Aufgaben genutzt. Z.B. wird zur Erstellung der noch in Papierform vorhandenen Hausakte die Vollständigkeit durch SAP kontrolliert. In SAP gibt es eine Checkliste mit benötigten Anforderungen und

Unterlagen, die von jeder Abteilung bei Vollständigkeit abgehakt wird. Die Unterlagen werden zurzeit von einer Person abgelegt und für den Bauherrn ausgedruckt.

Die Verknüpfung zu anderen Systemen ist in der Abbildung 26 dargestellt. Hier wird deutlich, dass fast alle Systemanwendungen von WeberHaus mit SAP kommunizieren, um einen Datenverlust zu vermeiden und Bestellungen zu tätigen. WeKo, das SAP vorgeschaltet ist, tätigt freigegebene Bestellungen automatisch über SAP. Auch manuelle Bestellungen und Ablagen sind in SAP möglich und werden noch häufig genutzt. SAP ist somit die zentrale Software, was Material- oder Produktbestellungen betrifft, und kann zur Dokumentation in den meisten Fällen genutzt werden.

WeKo

WeKo ist ein WeberHaus eigenes Softwareprodukt, das alle Fachbereiche und Prozesse im Unternehmen umfasst, welche für die Produktkonfiguration und -kalkulation benötigt werden. Zusätzlich wird WeKo auftragsneutral zur Grundlagenkalkulation, Vertriebskalkulation, Bauelementpreislisten und Hauspreislisten verwendet und auftragsbezogen für die Angebotserstellung, Auftragserfassung, Ausstattungsberatung, Arbeitsvorbereitung, Auftragscontrolling und zur Bauplanung benutzt [91]. So sollen alle Informationen fachübergreifend kommuniziert werden. Grundsätzlich ist WeKo SAP vorgeschaltet und übergibt für die Materialwirtschaft und den Einkauf freigegebene Bestellungen automatisch über eine Bestellanfragenfreigabe (BANF) an SAP. Betroffen sind hiervon Sanitärinstallationen, Sanitärobjekte, Fenster, Zimmertüren, Haustüren, Beschläge, Beläge/Estrich, Treppengeländer, Elektro, Beton-/Kellerleistungen, Dach-/Deckenbalken, Montageleistungen, Schlosserei, G-Plan Konstruktionsteile, Innenaufträge. Über WeKo werden außerdem alle Materialien eingepflegt, die permanent unterschiedlich (PuMa) sind, wozu Fliesen, Fenster, Sanitärmaterialien und sonstige Einbauteile gehören, die nicht direkt die Produktion betreffen. Die Materialien und Produkte decken dabei nicht das ganze Gebäude ab, da eine BANF nicht immer erzeugt wird und auf Alternativen zur Bestellung zurückgegriffen wird (Excellisten, SAP, ...). Dabei werden Bestelllisten, Lade- und Packlisten, Versandlisten und Gesamtlisten im PDF erstellt. Bei der Kalkulation werden das Leistungsverzeichnis mit WeKo verknüpft und den Produkten Preise und Mengen zugeordnet. Bei der Angebotskalkulation wird zwischen der Kalkulation des Hauses, des Kellers, der Bodenplatte, der Garage und dem Objektbau unterschieden.

Verknüpft ist WeKo mit anderen Softwaresystemen wie SAP, Bentley, DocuWare und Dietrich's. Exporte sind im PDF möglich und vereinzelt können vorgefertigte Auswertungen und

Statistiken zur Anzahl der Heizsystemen, PV Anlagen, Fenster und Türen im Excel-Format erzeugt werden.

Bentley

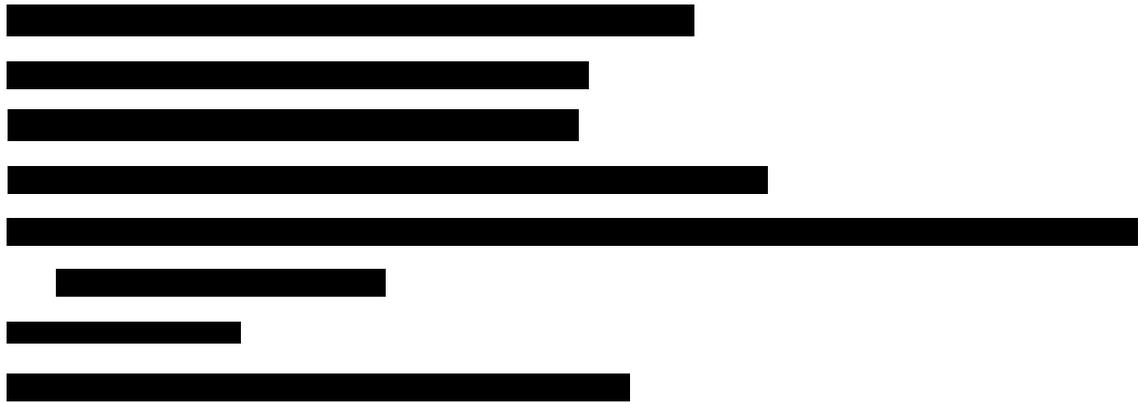
„Bentley“ ist eine amerikanische Softwarefirma, die Konstruktionssoftware entwickelt. WeberHaus benutzt das CAD-Programm bis zur Übergabe an die Produktion zur Planung. Übergeben wird dann per IFC-Datei ein Geometriemodell an das Konstruktionsprogramm Dietrich´s. Aus Dietrich´s können genaue Stücklisten zu den Dächern, Wänden, Decken generiert werden (siehe Abbildung 27). In Bentley werden Massenmengen von den Kellern und Bodenplatten aufgemessen und an das Subunternehmen, das die Leistung ausführt, übermittelt. Dokumentiert werden die Massen wiederum in WeKo.

Automatische Schnittstellen mit Bentley sind zu WeKo, SAP, Dietrich´s und DocuWare vorhanden.

Dietrich´s

„Dietrich´s Technology AG“ ist eine Softwarefirma, die für den Holzbau seit 40 Jahren Konstruktions-Software entwickelt [92]. Bei WeberHaus wird mit der CAD Software von Dietrichs in der Produktion gezeichnet bzw. 3D modelliert. Hierzu wird von der Bauplanung das Geometriemodell an die Produktion übertragen und eine detaillierte Elementplanung der Decken, Dächer und Wände im Konstruktionsmodell für die Produktion durchgeführt. Dietrichs erkennt die Geometrien der Elemente und kann somit bei den Wänden automatisch den Holzrahmen mit Ständern, Schwellen, Rähm und Platten einfügen. Der Konstrukteur muss nun die Elementierung überprüfen und verbessern [82], [93]. Ein Dietrich´s-Modell und eine Exportliste der Elemente aus dem Modell sind in Abbildung 27 zu sehen. Im Export (Excel) war trotz Modellierung (in Dietrich´s) kein BSH vorhanden, was bedeutet, dass nicht nur die IFC-Datei sondern auch die Export-Datei je nachdem auf Vollständigkeit überprüft werden muss. Über das Dietrich´s-Modell sind alle Materialien mit Mengen, Einbauort, Wand- oder Bauteilnummer und Maßen dargestellt, die direkt von den Maschinen bearbeitet werden, wodurch Maschinendaten benötigt werden. Diese werden aus dem Konstruktionsmodell erzeugt und im richtigen Format an die Maschinen überspielt, die dort vom Maschinisten zum passenden Bauvorhaben geöffnet und ausgeführt werden können. Im Detail sind folgende Materialien und Bauteile im Dietrich´s-Modell dargestellt [81], [82]:





Nicht modelliert sind:

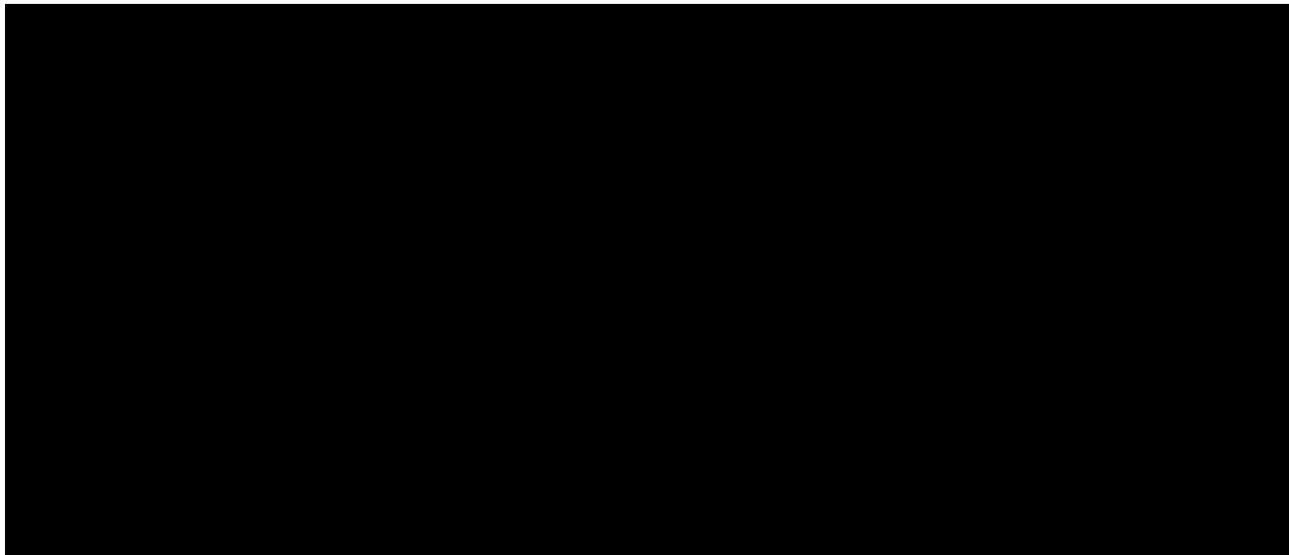
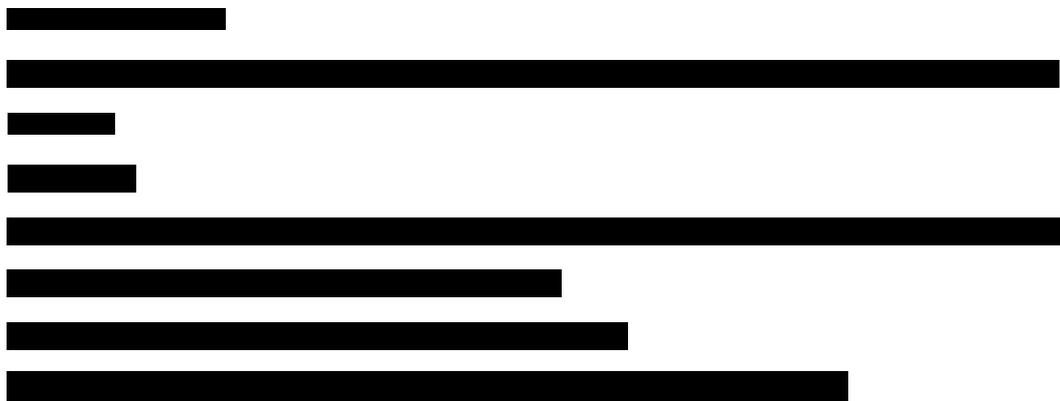


Abbildung 27: Ausschnitt des Dietrich´s-Modells und des Excelexports

DocuWare

DocuWare ist eine Software zum Dokumentenmanagement in Unternehmen. Bei WeberHaus bedeutet das ein automatisches oder manuelles Ablagesystem von Dokumenten wie Protokollen, Bauakten der einzelnen Bauvorhaben und den Normen. Zu den einzelnen

Bauvorhaben sind alle Planstadien des Gebäudes, Bestelllisten, Genehmigungen und sonstige Baustellendokumente hinterlegt. Abgelegt werden bestimmte Bestelllisten automatisch durch Weko oder SAP, sobald diese freigegeben werden, bei anderen Bauteilen werden noch Excellisten erzeugt und manuell hochgeladen. Auch generierte Pläne aus Dietrich´s für die Produktion (Abbundpläne, Decken-/Dach-/Wandpläne, ...), Dateien aus den Programmen Bentley und KIS und erzeugte Statikpläne werden in DocuWare abgespeichert. Diese sind, sobald die Produktion und später die Montage beginnt, auf dem aktuellen Stand und können somit von allen Beteiligten verwendet werden. DocuWare funktioniert also als Sammelplattform für jegliche Informationen im Unternehmen sowie für die einzelnen Bauvorhaben und speichert bzw. sichert diese nach einem bestimmten System. Die Formate der Dateien sind größtenteils Excel-Formate oder PDF.

3.5.2 BIM bei WeberHaus

Aus den Interviews ging hervor, dass BIM von WeberHaus nicht ganzheitlich durchgeführt wird und bis jetzt nur Ansätze davon vorhanden sind [82]. Es wird aber seit mehreren Jahren an Lösungen für Closed-BIM-Möglichkeiten (vgl. Kapitel 2.3.1) bei WeberHaus gearbeitet. Ein Meilenstein hierfür war die Umstellung auf das CAD Programm Bentley, mit dem nun Datenaustausch mit Produktion im BIM-Format möglich sind.

Modelliert wird bei WeberHaus zur Veranschaulichung für den Bauherrn durch den Architekten die Geometrie bei der Ausstattungsberatung. Mit diesem Geometriemodell wird auch die Statik berechnet. Nach Vertragsabschluss werden Details, Designs und Werkpläne in 2D gezeichnet. Das LOD (vgl. Kapitel 2.3.1) beträgt von der Vertragsangebotserstellung bis zur Ausstattungsberatung gerade einmal Level 0 bis 100. Die klassische IFC-Datei bei BIM, um Dateien zu übertragen und zu speichern, wird bei WeberHaus zur Übertragung an die Produktion für Dietrich´s benötigt. Vom Plan nach der Ausstattung bis zur Produktion beträgt das Detaillevel 200 bis 300 [80]. Aus dem fertigen Modell werden anschließend über Dietrich´s Maschinendaten für die Produktion erzeugt.

Man sollte denken, bei einem Fertighausbauer mit standardisierten Baureihen wäre eine Einführung von BIM einfach. Eine Idee hierzu, die auch schon im Gespräch war, ist die Gestaltung einer BIM-fähigen Normung. So könnten detaillierte 3D Modelle der Normung bei der Planung zu einem Gebäude in einem Koordinationsmodell zusammengefügt werden. Je nach Projekt würde das Modell aus unterschiedlichen kleineren Norm-Modellen bestehen. Das Gebäudemodell wäre somit mit einer Datenbank mit den Norm-Modellen verknüpft. Diese Norm-Modelle könnten wieder rum mit SAP verknüpft werden, um Bestellungen der Materialien aus den Normen aufzugeben. Die Normungen müssten in den Norm-Modellen aktuell gehalten werden. Probleme sind dabei jedoch:

- Baureihen sind nicht immer standardisiert, sondern es sind auch sehr individuelle Umsetzungen möglich – eine Norm-Modellierung würde das Problem entschärfen
- Nötiger Detaillierungsgrad von LOD 300 der BIM-Modelle sind sehr aufwendig
- In der Planung wird bei WeberHaus häufig noch gezeichnet und nicht modelliert (Z.B. Normung in 2D und nicht in 3D vorhanden). Was unter anderem an der verwendeten Software liegt.
- Es gibt keine durchgängige Planungssoftware
- Aufwendige Stammdatenpflege der Norm-Modelle und in SAP
- SAP-Materialführungssystem ist für eine Verknüpfung mit einem Modell nicht ausgelegt
- Die Datenpflege in SAP ist teilweise nicht ordentlich durchgeführt
- Vorhandene Skepsis gegenüber BIM und das Festhalten an bestehenden Systemen erschweren den Umstieg

Gewünscht werden aus dem Bereich der Bauplanung und der Bautechnik für die Normung und die zukünftige BIM-Strategie folgende Punkte [86], [20], [80]:

- Die oben erwähnte Modellverknüpfung der Normung und somit auch des Gebäude-modells mit SAP. Eine Änderung des Norm-Modells sorgt automatisch für eine Anpassung der SAP-Daten, falls z.B. durch eine Änderung der Norm ein Material nicht mehr benötigt wird. Hierdurch wäre auch eine bessere Einsicht in den Lagerbestand und den Bedarf der Materialien gegeben. Außerdem wären automatische Bestellungen und eine Verknüpfung mit der Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung und der Kapazitätsplanung denkbar.
- Ein zentrales 3D-Gebäudemodell mit eindeutigen Strukturen
- Eine Konstruktion, die durch Parameter (Dimension: Länge, Breite, Neigung) und Attribute (Eigenschaften: Material, Farbe, Ausführung) modelliert und dadurch variabel einsetzbar ist.
- Eine kooperative Gewerksplanung, die die Planungsinformationen untereinander und zur Produktion nicht nur kopiert, sondern automatisch referenziert.
- Ziel soll ein vollständiges Modell sein, in dem die Konstruktion, Fenster, die Lüftung, die Elektronik etc. eingeplant sind.

- Eine digitale Fertigung und ein digitaler Zwilling der Fertigung, durch den Informationen über den zeitlichen Bauprozess, Kosten zu den Elementen und verbauten Materialien, den Zustand der Maschinen und die Montage von Elementen vorliegen. Die digitale Fertigung wird bereits bei Umbauarbeiten genutzt und wurde bereits durch Roboterzellen bei der Plattenauflage, der Beschickung, Abbundarbeiten und der Produktionsmontage realisiert.

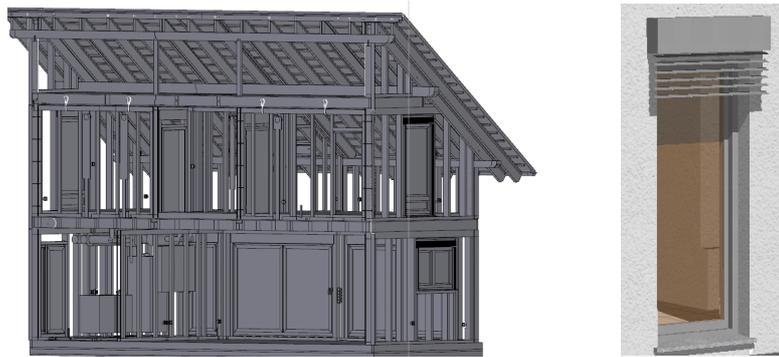
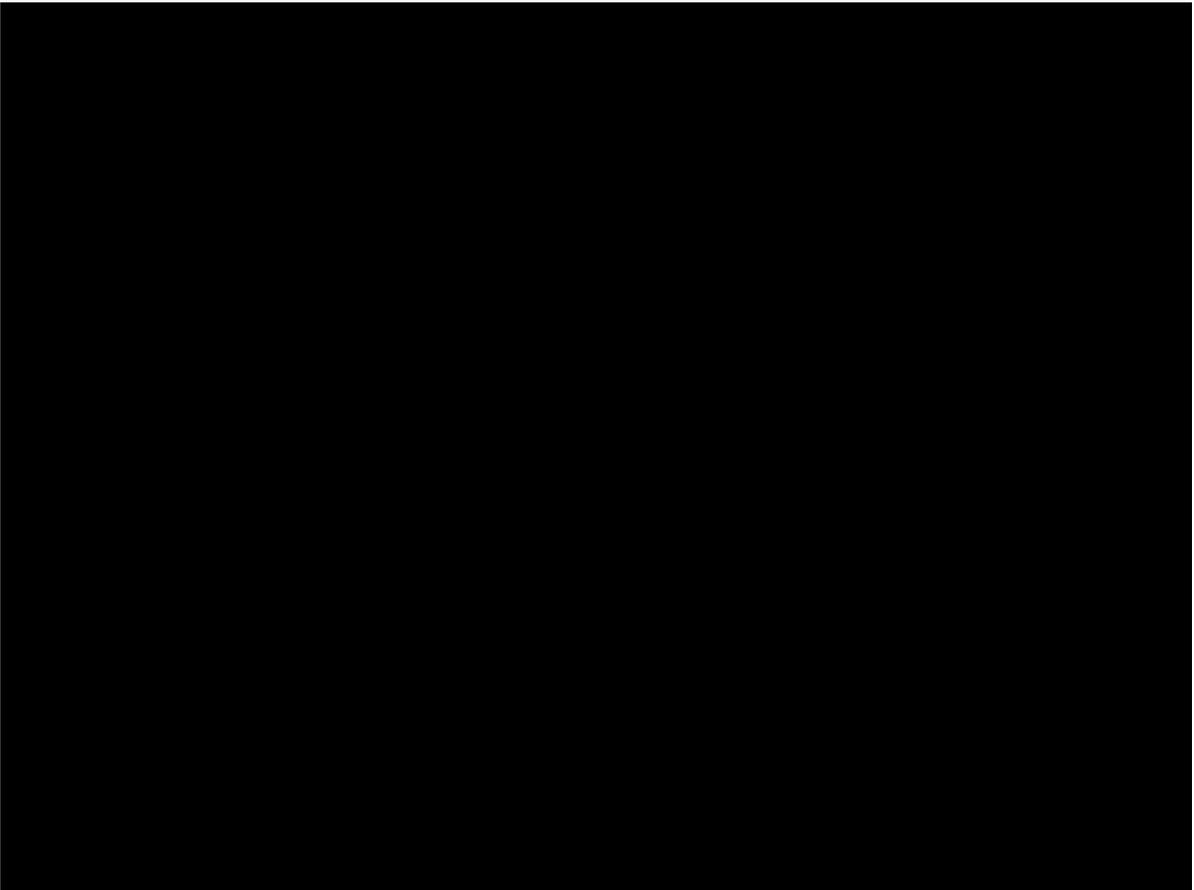


Abbildung 28: Das Dietrich's-Modell (links) hin zum vollständigen Gebäudemodell (rechts) [86]

3.6 Materialfluss

3.6.1 Beschreibung und Darstellung für gesamt WeberHaus

Bei WeberHaus wird bei den Ressourcen grundsätzlich zwischen Hilfs- und Betriebsstoffen, Lagerware, Kommissionsware und Dienstleistungen unterschieden. Diese Unterscheidung deckt sich, wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, mit der Kategorisierung der Materialien in SAP (vgl. Tabelle 8). Die Abbildung 29 soll den Materialfluss der verschiedenen Materialien bei WeberHaus schematisch verdeutlichen, indem die Materialien bzw. die Bauteile (rechteckig) den Standorten (rund) und Prozessen (oval) zugeordnet werden. Neben den Pfeilen, die die Richtung der Ströme angeben, sind beispielhaft Produkte und Materialien in der Grafik eingetragen. Unterschieden wird außerdem zwischen den Logistikarten entlang der Wertschöpfungskette: Beschaffungslogistik/Lieferanten, Produktionslogistik/Lagerung, Transport, Montage/Baustelle und Abfalllogistik. Hierbei finden die Beschaffungslogistik/Lieferanten und die Montage extern statt. Der Transport und die Abfalllogistik finden teilweise extern und die Produktionslogistik/Lagerung intern statt. In der Tabelle sind die Zusammenhänge noch einmal zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 8: Materialart mit Zuordnung der Herkunft und Ziel (vgl. Grafik)

Teilweise findet wieder eine Rückführung (grüne Pfeile) statt. Z.B. geschieht dies, nachdem der Abfall aus dem Werk oder rückgeführter Abfall von der Baustelle sortiert und abgeladen und anschließend z.B. die Folien und Hölzer für den Transport wiederverwendet werden. Außerdem werden nach der Entsorgung aus dem Werk und der Baustelle die Abfälle durch Recycling- bzw. Entsorgungsunternehmen auf einem Recyclinghof verwertet und wieder in den Kreislauf eingebracht. Dasselbe passiert teilweise mit Abfällen aus der Produktion, die direkt an den Hersteller zurück geliefert werden. Genauer zum Ablauf der Entsorgung wurde in Kapitel 3.4 beschrieben.

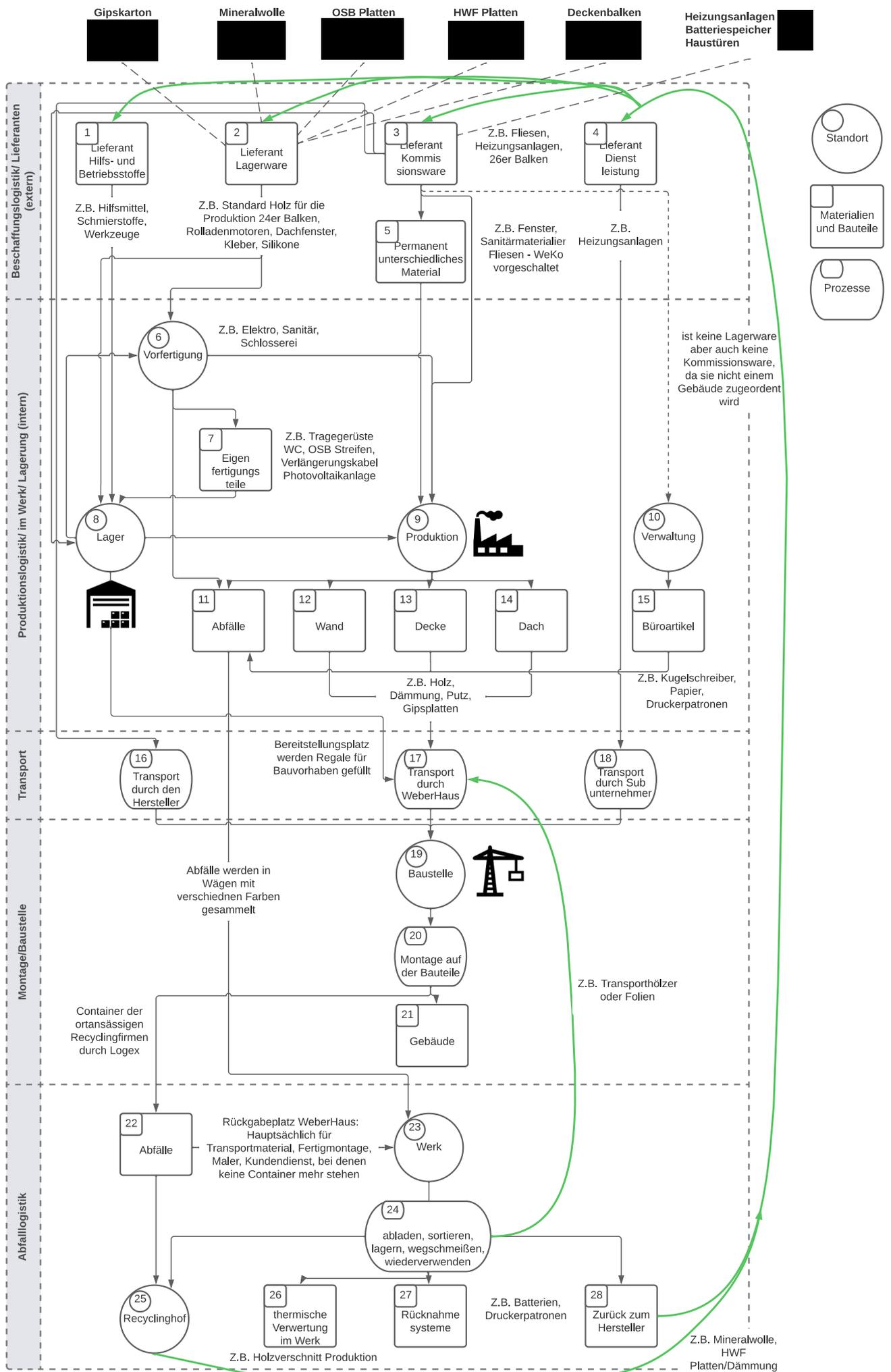


Abbildung 29: Materialfluss auf Unternehmensebene

3.6.2 Beschreibung und Darstellung auf Gebäudeebene am Beispiel des BV [REDACTED]

In diesem Unterkapitel werden die Materialien des Bauvorhabens (BV) mit der Baunummer [REDACTED] im Detail betrachtet. Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um die meistgebaute Baureihe „generation5.5“ von WeberHaus [77, p. 39]. Die Baureihe wird in den vier verschiedenen Größen mit 114 m², mit 128 m², mit 155 m² und 179 m², Wohnfläche angeboten. Dabei können sich die Entwürfe in der Dachform zwischen Sattel-, Walm- oder Flachdächern und bei der Geschossanzahl zwischen 1 ½ und 2 Vollgeschossen unterscheiden. Außerdem kann je nach Entwurf ein Technikanbau vorhanden sein. Die Baureihe kann unterkellert oder mit Bodenplatte geplant werden.

Nachfolgend werden aus Zeit- und Veranschaulichungsgründen nur auf die wichtigsten Materialien mit den größten Massen und dem größten Potenzial für die Rückverfolgung Bezug genommen. Die Materialien sind untergliedert in Holz, Metall, Glas, mineralisch, Kunststoff und unbekannt. Diese sind wie in der Abbildung 31 und der Tabelle unter A.4 im Anhang dargestellt den Kostengruppen 300 und 400 der DIN 276: 2018-12 und den Gebäudeschichten von Brand zugeordnet. Das BV [REDACTED] hat eine Grundfläche von 109,24 m², eine Wohnfläche von 175,68 m², besitzt 1 ½ Vollgeschosse und ein Satteldach mit 32° Neigung [77, p. 41]. Das Gebäude an sich besteht zum größten Teil aus Holz, wovon die tragenden Elemente aus Konstruktionsvollholz (KVH), Furnierschichtholz (FSH) und Brettschichtholz (BSH) bestehen. KVH wird für die Rahmenkonstruktion für die Ständer, Rähm, Schwellen, Deckenbalken und Sparren in den Wänden, Decken und Dächern eingebaut. Das FSH wird hauptsächlich für deckengleiche Träger in der Decke verbaut. Die Pfetten im Dach bestehen aus BSH. Insgesamt befinden sich rund [REDACTED] KVH, FSH und BSH im Gebäude. Als Unterkonstruktion für die Gipskartonplatten und Decken- und Dachelemente kommen [REDACTED] Latten zum Einsatz. Auf dem Dach werden zusätzlich Sichtschalungen und Stellbretter aus Schichtplatten angebracht. Die Wände, Decken und Dächer werden einseitig mit insgesamt [REDACTED] „oriented strand board“ (OSB Platten) aus Holz verklammert, die zur Aussteifung der Wände dienen. Die Wände und das Dach werden außen mit Holzweichfaser Platten (HWF Platten), die aus feinen verharzten Holzfasern bestehen, gedämmt. Weitere aufgenommene Holzbauteile sind die Innentreppe, die Haustür und Innentüren. In Summe ergibt dies eine verbaute Holzmenge von [REDACTED].

Diese Mengendaten wurden aus dem Dietrich´s-Modell in eine csv-Datei (Excel) exportiert.

[REDACTED]

[REDACTED]

Metall wurde hauptsächlich in der Bodenplatte durch Baustahl verbaut. Hier kommt eine Menge von [REDACTED] zustande. Außerdem ist ein [REDACTED] HEB 180 Träger in der Decke im Erdgeschoss verbaut.

Die vorhandene Bodenplatte besteht aus C25/30 Beton und ist mit einer Perimeterdämmung, Randdämmung und einer PE-Folie umgeben und wurde auf einer Sauberkeitsschicht mit Magerbeton bzw. Kies erstellt. Mineralisches Material kommt hierdurch als größter Teil mit [REDACTED] bzw. einem Gewicht von [REDACTED] zustande. Die Sauberkeitsschicht sorgt für [REDACTED] zusätzliches Gewicht und [REDACTED] mehr Volumen. Dies veranschaulicht auch den Massenunterschied zwischen Holz- und Massivbau, da der mineralische Anteil allein durch die Bodenplatte den Holzanteil gewichtsmäßig bei fast halbem Volumen um das Doppelte übertrifft. Hinzu kommt der Nachhaltigkeitsfaktor des nachwachsenden Rohstoffes Holz. Außerdem ist eine sortenreine Trennung zwischen Stahl und Beton in der Bodenplatte schwer. Für das größte Volumen sorgt bei den mineralischen Materialien mit [REDACTED] und [REDACTED] die Glaswolle, die zur Dämmung zwischen den Wand-, Decken- und Dachelementen dient. Auf die Holzwerkstoffplatte werden innenseitig insgesamt [REDACTED] Gipskartonplatten geklammert. Außenseitig auf die Außendämmung wird der Edelputz bauseitig aufgetragen, der Unterputz wird in der Produktion in Form von Armierungsputz mit Armierungsgewebe aufgetragen. Eingebaut wurden außerdem noch ca. [REDACTED] Dachziegel, Estrich und Fliesen [77].

Der Rohstoff Glas wurde in diesem Gebäude nur durch die Fensterscheiben der Außenfenster berücksichtigt. So kommen ungefähr [REDACTED] Glas zusammen.

Bei den Kunststoffen wurden in der Bodenplatte Perimeterdämmung und die Randdämmung aus XPS und eine PE-Folie verbaut. Weitere Kunststoffe sind in der Estrichdämmung, den Außenfenstern, dem Dampfvlies zwischen Gipskartonplatten und OSB-Platten, den Rollläden und Rohrleitungen enthalten.

Als „Unbekannt“ wurden alle Materialien, die nur schwer lösbar sind bzw. aus mehr als zwei Rohstoffen bestehen, eingestuft. Hierunter fallen vor allem technische Gebäudeausstattungen wie die Luft-Luft-Wärmepumpe, der Wasserspeicher, die Photovoltaikanlage oder das Batteriemodul.

Die Materialien sind in der Tabelle im Anhang A.4 genau aufgelistet und werden hier den Bauteilen und den Mengen zugeordnet. In der Abbildung 31 sieht man den genauen Materialfluss in Form eines Sankey-Diagramms, wo diese ins Gebäude im Schichtenmodell nach Brand bzw. der Einteilung nach der DIN 276 fließen. Aus der Grafik wird außerdem deutlich, dass ein WeberHaus zum größten Teil aus Holz (Baukonstruktion) und mineralischen

Materialien (Bodenplatte bzw. Keller) besteht. Die unterschiedlichen Materialarten sind farblich markiert. Auf der rechten Seite wird die Balkenbreite dem entsprechenden Wert zugeordnet.

Die Daten wurden teilweise im Rahmen einer Bachelorarbeit aufgenommen und weiter ergänzt. Die Zusammenfassung des Aufmaßes ist im Anhang zu finden, ein Ausschnitt ist der untenstehenden Abbildung 30 zu sehen.

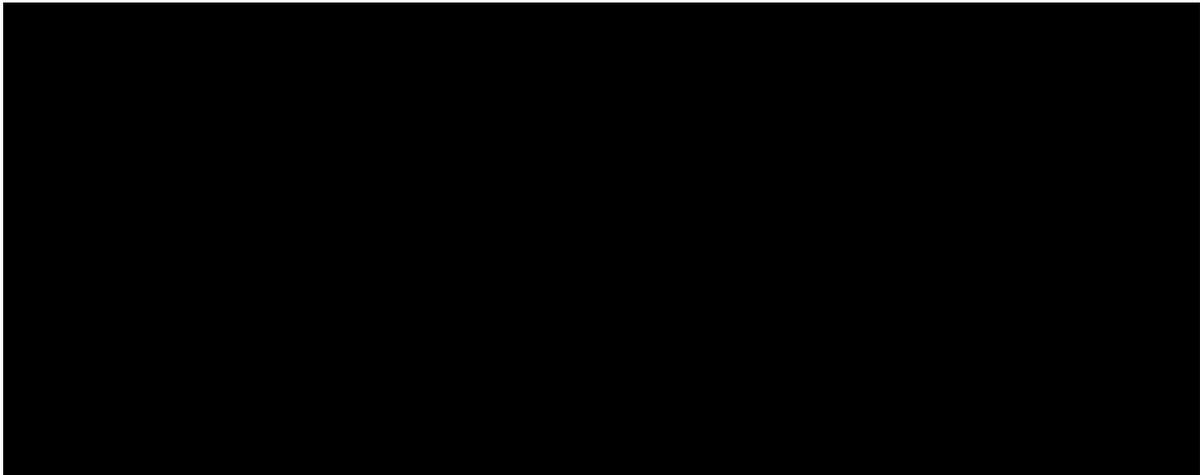


Abbildung 30: Auszug der Excelliste vom Aufmaß des BV [REDACTED]

Für Materialien, die nicht mengenmäßig erfasst werden, wozu z.B. Betriebsstoffe, Kleber, Klammern gehören, könnte für Gesamt-WeberHaus durch die dokumentierten Bestellungen ein Durchschnittsverbrauchswert ermittelt werden und durch die Anzahl der Häuser oder Wohnfläche auf die gebauten Häuser verteilt werden:

$$\textit{Anteil Material pro Gebäude} = \frac{\textit{Wohnfläche Gebäude}}{\textit{Wohnfläche Gesamt}} * \textit{Menge Material Gesamt}$$

- Holz
- Metall
- Glas
- Mineralisch
- Kunststoff
- Unbekannt

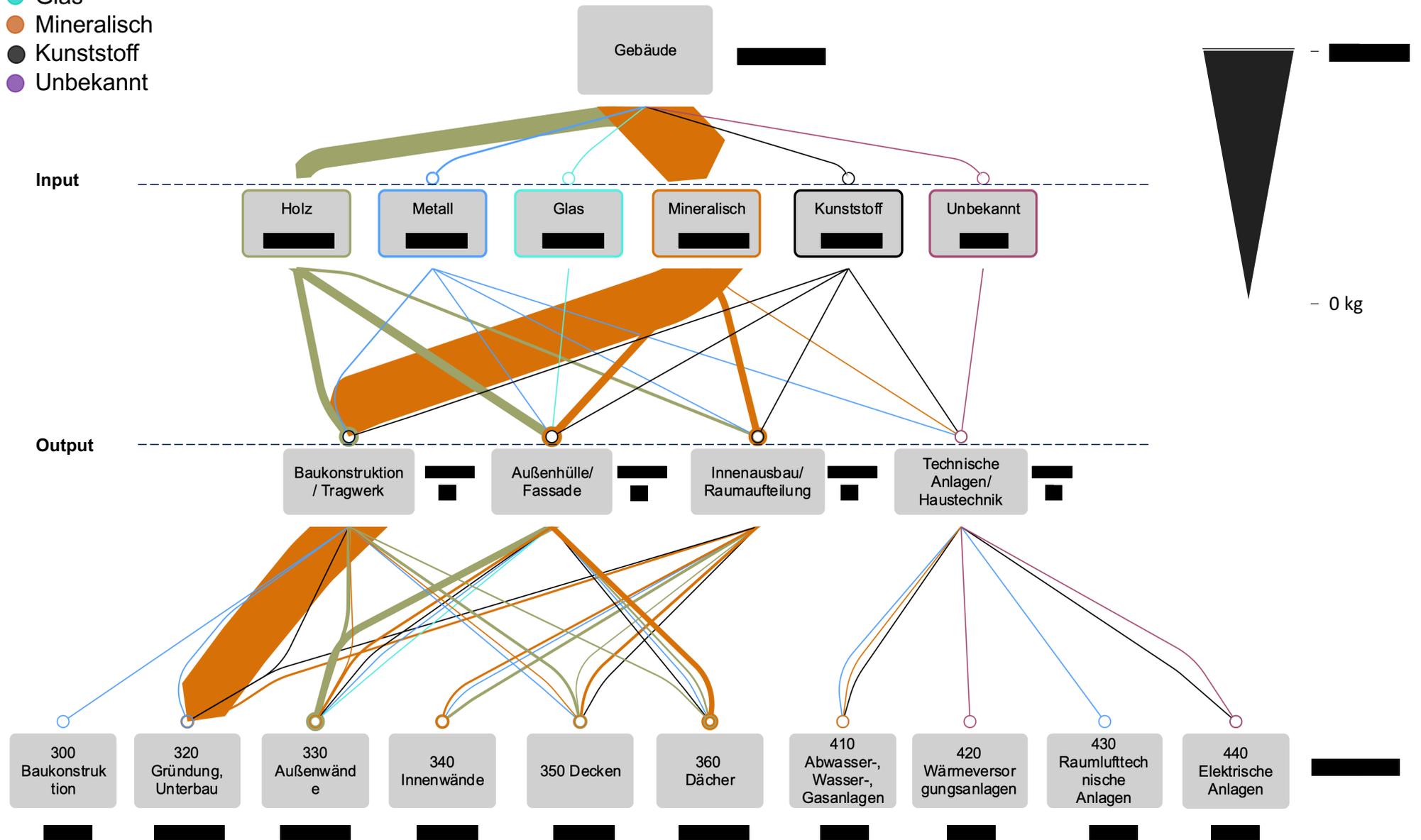
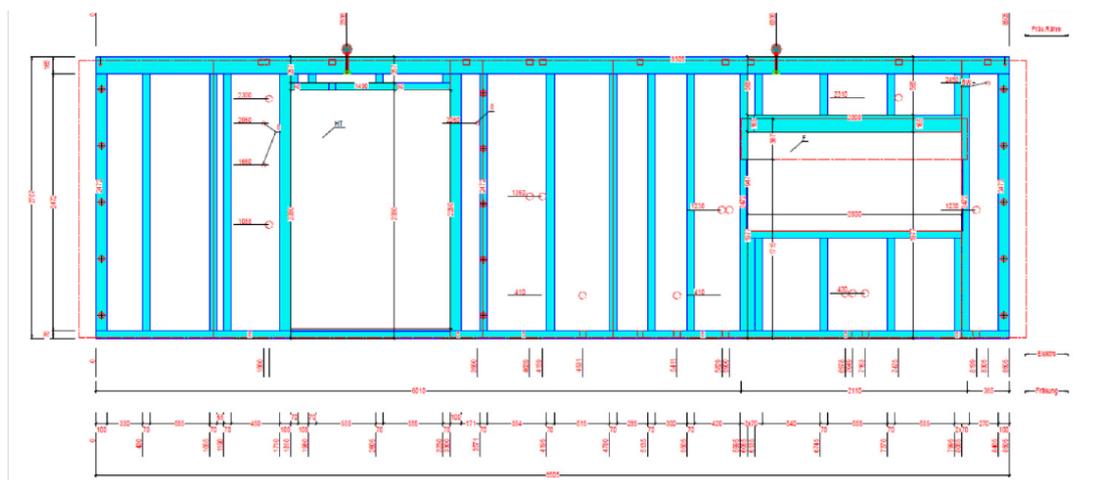


Abbildung 31: Darstellung des Materialflusses auf Gebäudeebene

3.6.3 Beschreibung und Darstellung auf Elementebene

Ein Gebäude lässt sich in verschieden große Elemente aufteilen, bis hin zum kleinsten Element dem rohen Material [29, p. 145]. Beim Materialfluss auf Gebäudeebene wurde eine Untergliederung in Form der DIN 276 unternommen, was bereits auf die Lage im Gebäude schließen lässt. Auf der Elementebene können nun Materialien so zusammengefasst werden, wie sie bei WeberHaus produziert und später montiert werden. Dies bietet den Vorteil, Standardelemente im Vorfeld zu beschreiben und später ggf. nur noch eine Anpassung vorzunehmen. Außerdem wird hierdurch die Lage der Materialien noch genauer beschrieben und die Rückverfolgung somit detaillierter. Beispielhaft sind in Abbildung 32 ein Wandelement (Erdgeschossaußenwand) abgebildet und die darin enthaltenen Materialien und Produkte aufgelistet. Die Flächen der Türen und Fenster sind dort nicht enthalten. In der Mengengliste können noch beliebig weitere Informationen wie z.B. Produktbeschreibungen, Hersteller-/Lieferantenbezeichnungen, erwartete Lebensdauer und Entsorgungsinformationen ergänzt werden [77], [29, p. 149].



Materialien pro Wand (neue AW) (bereinigt (Tür & Fenster ausgerechnet):

Nr.	Schicht	d [mm]	m ²	m ³	kg/m ³
1	Gipskarton	9,50	17,11	0,16	900
2	Dampfbremse	0,40	17,62	0,01	300
3	Holzwerkstoffplatte	16,0	17,62	0,28	590
4	Mineralwolle	260	13,76	3,58	22
5	Konstruktionsholz D	260	direkte m ³ Angabe	10,56	500
6	Weichfaserplatte	100	18,65	1,87	160
7	Grundputz	5,00	18,65	0,09	1400
8	Grundierung	0,09	18,65	0,00	1500
9	Edelputz	3,00	18,65	0,06	1800
10	Anstrich	0,45	18,65	0,01	0,00

Laibungsplatte	4x
Rollladenkasten	1x
Rollladen	1x
Rollladenführungsschienen	2x
Gefällekeil unter Fensterbank	1x
Fensterbank	1x
2. Abdichtebene	1x
Hinterfüllschnur	1x
Anputzleisten	6x
Flüssigkunststoffabdichtung Haustür	1x
Haustür	1x
Fenster (Kunststoff)	1x
Verankerung der AW mit BP	6x
Elektroleerdosen	12x
Elektroleerrohr	8x
Feuchtigkeitssperffolie Schwelle	1x
Verschraubung mit AW links und rechts	10x
Kranhaken	2x

Abbildung 32: Darstellung der Konstruktion einer Außenwand mit Aufmaß [29, p. 146]

Die Auflistung der Produkte kann durch EPDs oder Herstellerinformationen/Datenblätter weiter ergänzt werden. Hierdurch ist eine genauere Materialzusammensetzung möglich.

Tabelle 9: Angaben zu Materialien/Vorprodukten eines Fensters in einer EPD [29, p. 147]

Rohmaterial/Vorprodukt	Masse in %
Isolierglasverbund	57,0
Holzprofil	29,6
Aluminiumprofil	6,2
Beschlag	3,8
Dichtung	1,8
Beschichtung	1,6

Für Materialien, die nicht mengenmäßig erfasst werden, wozu z.B. Betriebsstoffe, Kleber, Klammern gehören, könnte für Gesamt-WeberHaus durch dokumentierte Bestellungen ein Durchschnittsverbrauchswert ermittelt werden und durch die Anzahl der Elemente mit einer Gewichtung auf die Elemente verteilt werden:

$$\text{Anteil Material pro Element} = \frac{\text{Fläche Element}}{\text{Fläche Gesamt}} * \text{Menge Material Gesamt} * \text{Faktor}$$

Die beispielhafte Mengenermittlung der Elemente kann nun auch mit Innenwänden, Decken- und Dachelementen gemacht werden, um ein vollständiges Abbild der Baukonstruktion eines Gebäudes zu erhalten.

Um in Kapitel 5 Aussagen über die Trennbarkeit machen zu können, müssen die Elemente zusätzlich im Aufbau genauer betrachtet werden. Bei dem beispielhaften Wandelement (siehe Abbildung 33) wird unterschieden zwischen dem Aufbau im Fachwerk selbst und im Gefach. Zusätzlich müssen Innenwände, Dachelemente und Deckenelemente untersucht werden. Die Mengen der Materialien sind auf 1 m² ungestörte Bauteilfläche normiert, um so eine Anwendung und Skalierung auf alle Wände zu gewährleisten (unterschiedliche Anzahl Fenster, Kabelschächte, Eckverbindungen) [29, p. 148].

für Fachwerk

Nr.	Schicht	Dicke [mm]	Menge [m ³]	Masse [kg]
i	innen			
1	Gipskarton	9,50	0,0095	8,56
2	Dampfbremse	0,40	0,0004	0,12
3	Holzwerkstoffplatte	16,0	0,016	9,44
4	Konstruktionsholz D	260	0,26	130
5	Weichfaserplatte	100	0,1	16
6	Grundputz	5,00	0,005	7
7	Grundierung	0,09	0,00009	0,135
8	Edelputz	3,00	0,003	5,4
9	Anstrich	0,45	0,00045	0,00
a	außen			

für Gefach

Nr.	Schicht	Dicke [mm]	Menge [m ³]	Masse [kg]
i	innen			
1	Gipskarton	9,50	0,0095	8,56
2	Dampfbremse	0,40	0,0004	0,12
3	Holzwerkstoffplatte	16,0	0,016	9,44
4	Mineralwolle	260	0,26	5,7
5	Weichfaserplatte	100	0,1	16
6	Grundputz	5,00	0,005	7
7	Grundierung	0,09	0,00009	0,135
8	Edelputz	3,00	0,003	5,4
9	Anstrich	0,45	0,00045	0,00
a	außen			

Abbildung 33: Schichtenaufbau eines Wandelements von WeberHaus [29, p. 148]

4 Einführungsvorschläge für die Rückverfolgung und Dokumentation bei WeberHaus

Durch das Kennenlernen des Unternehmens und des Ist-Zustandes des Informations- und Materialflusses können nun Varianten zur Einführung eines Materialpasses entwickelt werden. In diesem Kapitel werden hierzu zuerst Potenziale und Hemmnisse aus den Interviews zusammengefasst. Anschließend werden allgemeine Anforderungen und Anforderungen aus Sicht von WeberHaus an den Materialpass formuliert. Aus diesen Anforderungen lassen sich zum Schluss Varianten entwickeln, die diese erfüllen sollen.

4.1 Ergebnisse der Interviews zur Kreislaufwirtschaft

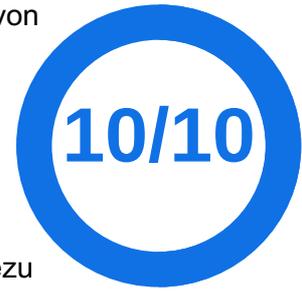
Durch die geführten Experteninterviews, die hauptsächlich genutzt wurden, um das Unternehmen, dessen Prozesse, Software und Meinungen der Mitarbeiter kennenzulernen, konnte zusätzlich ein grober Überblick über das Bewusstsein der Mitarbeiter sowie über mögliche Potenziale hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft bei WeberHaus gewonnen werden. Außerdem kristallisierten sich Hemmnisse und Zweifel heraus. In der Tabelle im Anhang A.2.4 sind explizite Beispiele genannt. An dieser Stelle muss klar sein, dass dies eine qualitative Befragung war. Die Aussagen sind zwar spezifisch, sagen aber nichts über die Meinung bzw. das Bewusstsein des kompletten Unternehmens aus. Speziell für diesen Fall wäre eine quantitative Umfrage hilfreicher gewesen, die aber aus Gründen des Umfangs der Arbeit nicht zusätzlich durchgeführt wurde.

Mit folgenden Fragen wurden das Bewusstsein, die Potenziale und die Hemmnisse der Interviewpartner herausgefunden:

- Was verstehen Sie unter der Kreislaufwirtschaft?
- Werden Kreislaufansätze bei WeberHaus schon umgesetzt oder sehen Sie hierfür Potenziale bei WeberHaus?
- Welche Probleme oder Hemmnisse sehen Sie in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft allgemein und bei WeberHaus?
- Werden von den Kunden eine Kreislaufwirtschaft oder Zertifizierungen hierzu oder zur Nachhaltigkeit allgemein nachgefragt?

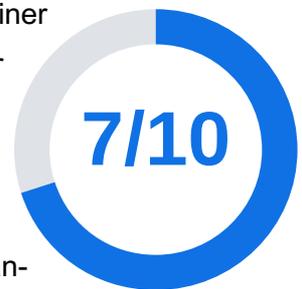
Bewusstsein

Unter der Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen konnten sich alle, von den hierzu 10 befragten Experten, mehr oder weniger vorstellen. Je nach Position und Erfahrung hatten manche genaue Vorstellungen und manche konnten nur sehr mühsam den Begriff erklären oder Beispiele nennen. Dass so viele etwas damit anfangen konnten, hängt vermutlich damit zusammen, dass der Begriff nahezu selbsterklärend ist und dieser zur Zeit in den Medien präsent ist. Auch meine Erklärung zum Thema und Einordnung der Arbeit könnte dazu beigetragen haben. Auffällig war unter anderem, dass Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft oft gleichgesetzt wurden. Ähnlich war es mit den Begriffen Recycling und Re-Use, die häufig verwechselt oder gleichgestellt wurden. Beides sind Begriffe, die durchaus mit der Kreislaufwirtschaft in Zusammenhang stehen. Häufig wurde eine nötige Veränderung anerkannt, jedoch die Dringlichkeit und der zeitliche Rahmen für die Umsetzung noch in weite Ferne gerückt. Von den Kunden wird bis jetzt keine explizite Kreislaufwirtschaft nachgefragt. Häufige Anfragen kamen mit dem Stopp der KfW-Förderungen und den damit verbundenen nötigen Zertifizierungen auf.



Potenziale

Trotz der vielen Zweifel lieferten 7 von 10 Befragte Vorschläge zu einer Umsetzung für die Wiedereinbringung oder nannten Beispiele für solche Ansätze bei WeberHaus. Durch die Interviews wurde deutlich, dass bei WeberHaus kleine Kreislaufansätze (Downcycling) wie die gute Abfallentsorgung, eigene thermische Verwertung, Rückführung von Materialien oder Verschnitt-Optimierungen vorhanden sind.



Insgesamt wurden bereits ungefähr [REDACTED] WeberHäuser gebaut, wovon ungefähr [REDACTED] [REDACTED] erbaut wurden [94]. Seit dem Jahr [REDACTED], der Einführung der Baureihen, wurden in Deutschland [REDACTED] Gebäude gebaut [95]. Innerhalb Deutschlands konzentriert sich der Markt auf den Süden, da dort der Hauptstandort mit der größten Produktion von WeberHaus steht. Die Anzahl der Gebäude zeigt einmal den Erfolg der effizienten und erfolgreichen Fertigbauweise auf, andererseits aber auch den enormen Materialverbrauch. In der Abbildung 34 wird die Verteilung der gebauten WeberHäuser auf Deutschland seit dem Jahr [REDACTED] dargestellt. Dies soll anhand der Anzahl der gebauten Häuser verdeutlichen, welche Materialmengen durch WeberHaus in Deutschland seit [REDACTED] verteilt wurden. Die Anzahl wird prozentual durch eine effizientere und größere Produktion, bei steigender

Nachfrage, immer weiter ansteigen. Diese Materialmengen bieten somit ein großes Potenzial, zukünftig eine Kreislaufwirtschaft bei WeberHaus zu verfolgen. Eine genaue Auflistung der Mengen einer Baureihe der generation 5.5 ist in Kapitel 3.6.2 zu finden.

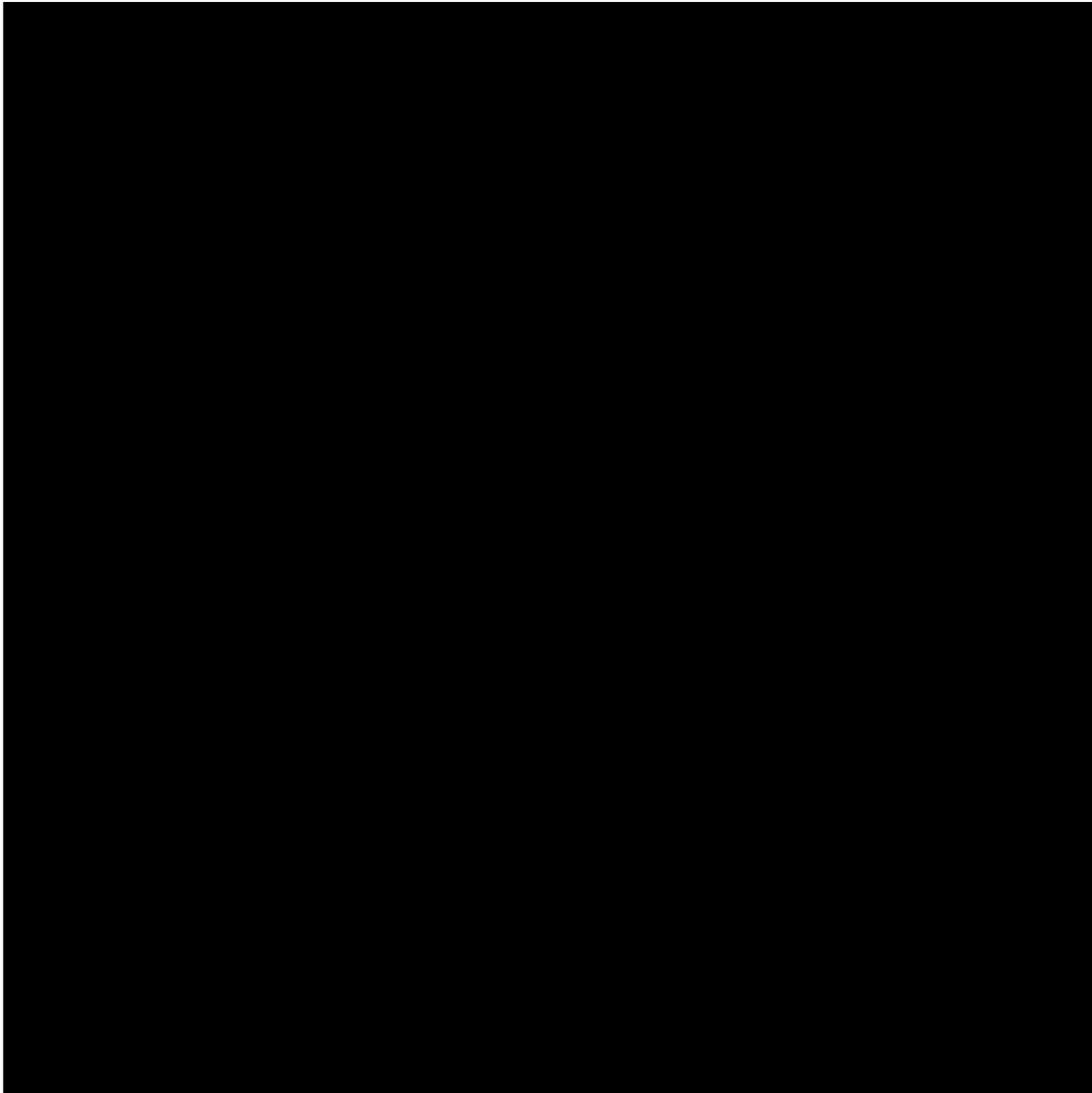
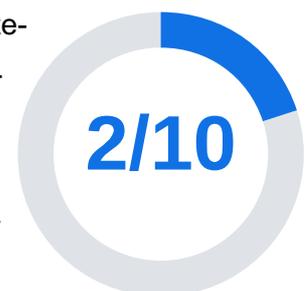


Abbildung 34: Deutschlandweite Verteilung der gebauten Häuser durch WeberHaus (eigene Darstellung) [95]

Hemmnisse/Bedenken

Von den Befragten halten 2 von 10 eine Wiedereinbringung von Materialien generell oder in nächster Zeit für realistisch. Die meisten Zweifel kamen zur wirtschaftlichen und umsetzbaren Wiedereinbringung in der Produktion, zu den geänderten energetischen und stofflichen Anforderungen in vielen Jahren und der fehlenden Akzeptanz der Bauherren.



4.2 Ergebnisse der Interviews zur Rückverfolgung

Im Folgenden wurden die Experteninterviews im Hinblick auf das Bewusstsein, die Potenziale und die Hemmnisse im Unternehmen gegenüber der Rückverfolgung ausgewertet. Explizite Beispiele zum Bewusstsein, den Potenzialen und den Hemmnissen sind im Anhang zu finden.

Mit folgenden Fragen wurden das Bewusstsein, die Hemmnisse und die Potenziale der Interviewpartner herausgefunden:

- Wie wichtig schätzen Sie eine Rückverfolgung für die Kreislaufwirtschaft ein?
- Welche Möglichkeiten und Probleme sehen Sie im Zusammenhang zur Rückverfolgung und Dokumentation von Materialien in Gebäuden allgemein und bei WeberHaus?
- Wie könnte der Prozess der Rückverfolgung bei WeberHaus aussehen? (digitale DNA, RFID, Madaster, ...)

Bewusstsein

Die meisten sahen, spätestens nach einer Erklärung, die Notwendigkeit einer Rückverfolgung z.B. in Form eines Materialpasses ein. Eine genaue Vorstellung darüber hatte jedoch keiner der Befragten; viele kannten aber Methoden aus anderen Branchen oder Firmen und nannten Beispiele. Manche hielten eine Umsetzung der Dokumentation der eingebauten Materialien mit kleinen Veränderungen im Ablauf oder an der Software für sehr einfach umsetzbar, eine detaillierte Rückverfolgung wurde jedoch als schwierig bzw. nicht nötig angesehen.

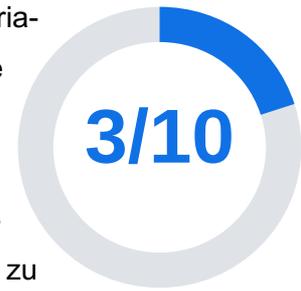
Potenziale

5 von 10 der Befragten lieferten Vorschläge oder Beispiele für eine Umsetzung der Materialrückverfolgung bzw. der Dokumentation der Materialien im Unternehmen. Durch die Interviews wurde deutlich, dass die vorhandenen Tools teilweise eine Rückverfolgung möglich machen, aber Nachhaltigkeitsinformationen dort noch nicht berücksichtigt werden.



Hemmnisse/Bedenken

Von den Befragten halten 3 von 10 eine Rückverfolgung von Materialien teilweise für schwierig umzusetzen oder für nicht relevant. Die meisten Bedenken wurden zur Rückverfolgung der Leistungen der Subunternehmer oder Lieferanten geäußert. Außerdem wird es bei der Dokumentation immer Lücken durch eine Abweichung der Planung mit der tatsächlichen Ausführung geben, die nur schwer zu schließen sind. Zusätzlich sind die Grundvoraussetzungen bei WeberHaus nicht vollständig gegeben (z.B. Trennbarkeit), die eine Rückverfolgung noch sinnvoller machen.



4.3 Anforderungen an die Rückverfolgung und Materialpässe

Aus den Interviews, den Überlegungen zum Materialpass und verschiedenen Quellen kristallisierten sich verschiedene Anforderungen von verschiedenen Akteuren heraus. Allgemein lässt sich sagen, dass der Aufwand und die Kosten für den Nutzer (hier WeberHaus) gering gehalten werden müssen und der Nutzen für diesen größtmöglich sein sollte. Außerdem sollten die Materialpässe einsehbar, veränderbar und verknüpfbar sein, was durch digitale Unterstützung gelingt. Bei WeberHaus kommen hier als Schwierigkeit die vielen Softwareschnittstellen hinzu.

Beispielhaft sind allgemein Anforderungen an den Inhalt eines Produktpasses nachfolgend in der Tabelle 10 zusammengefasst. Anschließend werden in der Tabelle 11 die Anforderungen speziell für den Materialpass formuliert.

Tabelle 10: Informationsanforderungen an einen Produktpass [31, p. 28]

Produktlebensphase	EU Green Deal	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Digitalagenda
Herstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Herkunft • Zusammensetzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Soziale und ökologische Auswirkungen der Herstellung • Enthalten Materialien und Materialkombinationen
Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Keine direkte Angabe 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine direkte Angabe, generell Umwelteigenschaften von Produkten und Dienstleistungen
Reparatur	<ul style="list-style-type: none"> • Reparatur- und Demontagemöglichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Daten zur Reparatur
Lebensende	<ul style="list-style-type: none"> • Handhabung am Ende der Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Sachgerechte Entsorgung

Tabelle 11: Informationsanforderung an einen Materialpass [31, p. 98], [96], [Interviews]

Kriterien Akteure	Inhaltliche Anforderungen	Anforderungen an die Digitalisierung und Umsetzung
WeberHaus	<ul style="list-style-type: none"> • Schadstofffreie Materialien (durch Sentinel oder TÜV Zertifizierung) • Erfassung, Beschreibung, Menge und Dokumentation verbauter Materialien für Ökobilanzierungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Kosten • Einfache Umsetzung • Wirklicher Nutzen für WeberHaus (durch z.B. gesetzliche Verpflichtung) oder wirtschaftlicher Vorteil
Madaster	<ul style="list-style-type: none"> • Alle gebäudespezifischen Daten: Verwaltungsdokumentation, Daten zu Grundstück und Standort, technisch und funktionale Merkmale, ökologische, soziale und finanzielle Leistung, Ökologische Auswirkungen der Produkte und Materialien, CO2-Werte • Anteil Primär- und Sekundärmaterial, Anteil an Wiederverwendung und -verwertung. Energieausweisdaten, Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme, Material- und / oder Renovierungs- und Klimapässen sowie Materiallisten • Lesbares Dokument oder mit dem Gebäudepass verknüpft • Informationen digitaler Gebäuderessourcenpass (Co2 Fußabdruck, Anteil Sekundärmaterial, Anteil zur Wiederverwertung) zur Immobilienwertermittlung verwenden – somit ökonomische Vorteile: Gebäude als Rohstoffbanken und Gebäudeeigentümer zu Materialeigentümer 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamter Lebenszyklus abbildbar • Mehrwert für Baustoffhersteller, Recyclingunternehmen, Abbruch-, Rückbauunternehmen und andere Dritte • Informationen gehören Gebäudeeigentümer, der entscheidet, wo die Informationen hinfließen • Gebäudedaten und -informationen aufzeichnen, verknüpfen, übertragen und gemeinsam nutzen • Unbegrenzter Datenzugriff • Eingabe, Ausgabe und Datenexport ermöglichen • Cloud-basiert • Benutzerfreundlich • Offene Datenstandards (IFC) • Öffentliches Materialkataster und Verknüpfung zu lokalen Katastern / Registern
BNK/QNG	<ul style="list-style-type: none"> • Bauteilkatalog, in dem alle Bauteile/Materialien mit Mengen bzw. Flächenangaben nach DIN 276 Kostengruppen 300 und 400 aufgelistet sind • Bauteilkatalog mit Angaben zu oberflächennahen Bauprodukten (technische Informationen, Sicherheitsdatenblätter, Umweltproduktdeklarationen, Herstellererklärungen, ...) • Treibhauspotenzial und andere Umweltwirkungen (Energiebedarf, regenerative Energien) durch LCA-Tools (Life Cycle Assessment Tool) • Innenraumluftqualitätsmessungen • Bauteilkatalog und Zertifizierungen der Holzprodukte und Holzwerkstoffe • Lebenszykluskosten • Digitale und gedruckte Hausakte für den Bauherrn mit Revisionsunterlagen, Zertifikaten, Objektdokumentation, ggf. Rückbaukonzept 	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen werden über ein Exceltool erfüllt. Hierzu werden die Dokumente hochgeladen, überprüft und anschließend zertifiziert • Umsetzung für die Materialliste ist noch nicht ausgearbeitet

QDF	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherung der Bauausführung bei Energieeffizienzhäusern – die Anforderungen des Fördermittelgebers müssen eingehalten sein (falls dies im Leistungsumfang vereinbart ist). Heißt, die Anforderungen einer QNG Zertifizierung gelten • Eine physische oder digitale lebenszyklusbegleitende Hausakte muss übergeben werden • Pflege-, Wartungs- und Instandhaltungsempfehlungen für Produkte werden gestellt • Legales und nachhaltiges Holz wird nachweislich verwendet • Klimaunbedenkliche Dämmstoffe und Montageschäume werden verwendet • Abfälle und Reststoffe im Werk und auf der Baustelle werden geordnet entsorgt • Die Materialien müssen den bauaufsichtlichen Anforderungen entsprechen, für Holzwerkstoffe gelten strengere Anforderungen in Bezug auf Inhaltsstoffe und Emissionsverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Hausakte soll in Zukunft digital für die Bauherren über eine Plattform zugänglich sein • Über sonstige Umsetzungen ist nichts genaueres bekannt
Sentinel	<ul style="list-style-type: none"> • Innenraumrelevante Baumaterialien und Bauhilfsstoffe werden zur Bewertung eingereicht • Baustoffherstellerangaben werden angefordert • Emissionsprüfung und Angaben zu gefährlichen Inhaltsstoffen • Messung der Raumluftbelastung 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Material-Excelliste der im Innenraum verbauten Materialien und Bauhilfsstoffe wird zur Überprüfung eingereicht
TÜV	<ul style="list-style-type: none"> • Baubeschreibung, Verkaufsprospekt, Sonstige Informationen • Innenraum verwendete Materialien beschreiben mit Anwendungszweck und Menge • Herstellerangaben zu den verwendeten Materialien und Produkten • Sicherheitsdatenblätter • Technische Datenblätter • Prüfberichte und Bewertungen der Materialien und Produkte anderer anerkannter Institute 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Material-Excelliste der im Innenraum verbauten Materialien und Bauhilfsstoffe wird zur Überprüfung eingereicht
Bauproduktenverordnung der EU (EU 2011) – Grundanforderungen an Bauwerke	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung und Beschreibung verbauter Materialien • Wenn möglich eine Rückverfolgung der Materialströme • Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit der Materialien • Primäre natürliche Ressourcen und Sekundärstoffe verwenden • Auswirkungen vom Gebäude (ganze Lebensphase) auf die Umwelt (Mensch, Luft, Wasser, Boden) 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Angaben

Level(s) EU – Bill of Materials	<ul style="list-style-type: none"> • Auflistung in einem Gebäude vorkommender Ressourcen (Rohstoffe, Baugruppen, Komponenten, Teile) und deren Mengen und Zusammensetzung • Ressourcen werden in Nicht-Metallische, Biomasse, Metallisch und Fossile Energiestoffe kategorisiert 	<ul style="list-style-type: none"> • Quelloffene, freizugängliche und öffentliche Nutzung • Kann von Nachhaltigkeitsinstrumenten und Zertifizierungssystemen genutzt werden
Eruopäische Kommission – digital Logbook	<ul style="list-style-type: none"> • Daten, Informationen und Dokumente • Materialart, Einbauort, Volumen, Masse, CO2-Fußabdruck, Feuerwiderstandsklasse, Abfallkategorie, Zertifikate, Deklaration der chemischen Zusammensetzung, internationale Handelsnummer 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamischer Gebäudepass über den gesamten Lebenszyklus für unterschiedliche Akteure • Informationsaustausch möglich • Fortlaufende Tabelle
EU Taxonomy	<ul style="list-style-type: none"> • Primärenergiebedarf, Treibhausgasemissionen • Entsorgungs-, Wiederverwendungs-, Recyclingmöglichkeit • Nachweis für zugelassene und schadstofffreie Baustoffe • Nachweis der Herkunft, eine Recyclingquote oder Nachhaltigkeitszertifizierung der verwendeten Materialien, besonders bei Holzprodukten 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Angaben
Europäische Leitlinien für Abbruch- und Umbauarbeiten an Gebäuden – inventory of materials	<ul style="list-style-type: none"> • Abfallschlüsselnummern des Europäischen Abfallkatalogs (EU Kommission 2014) • Untergliederung in Inerte (nicht verändert, nicht reagiert) und Nicht-Inerte Abfälle (verändert oder reagiert) wie Metalle, Holz (schadstofffrei, schadstoffbehandelt), PVC, Gips, Verpackungsmaterial, gemischter ungefährlicher Abfall, gefährlicher Abfall • Zuordnung des Materials, Abfallschlüssel, Einbauort, Menge, Gesamtmenge, Kommentare 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschlag für die Umsetzung der Beschreibung der Materialien in Form einer Tabelle, die die Anforderungen erfüllt
Europäische Vorgaben zur Erfassung von Bau- und Rückbauabfällen	<ul style="list-style-type: none"> • Recyclings- und Wiederverwendungsmöglichkeiten • Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsinformationen/-nachweise • Erfassung und Erzeugung von Daten zu Bau- und Abbruchabfällen 	<ul style="list-style-type: none"> • Internationale Vergleichbarkeit durch Ortung und Verfolgung der Abfälle • Einheitliche Bezeichnungen für die verschiedenen Abfallfraktionen

Aus den Anforderungen aus der Tabelle wird deutlich, dass verschiedene Akteure verschiedene Anforderungen haben und somit unterschiedliche Informationen im Materialpass nötig sind. Die Frage ist nun, welche Informationen für die Fertighausindustrie und im speziellen für WeberHaus sinnvoll sind. Hierzu wird zuerst die Rolle von WeberHaus genauer betrachtet [31, p. 107], [Interviews]:

WeberHaus als Fertighaushersteller: Der Materialeinkauf erfolgt über viele Lieferanten, die ebenso verpflichtet werden müssen, um die Vollständigkeit der Informationen zu erreichen. Außerdem wird die Leistung mit der Hausübergabe so gut wie abgeschlossen (außer Kundendienst und Service). Je nach Ausbaustufe kann die Leistung für WeberHaus zwar abgeschlossen sein, das Gebäude ist jedoch noch nicht fertiggestellt. Die Frage ist also, wie die Informationen an den Eigentümer übergeben werden, öffentlich oder intern bei WeberHaus genutzt werden und wie diese bei Renovierung oder Instandhaltung für Dritte zugänglich gemacht werden. WeberHaus fungiert als Fertighaushersteller als Erfasser und Bereitsteller der Informationen.

WeberHaus Kundendienst und Service: WeberHaus übernimmt hier die Rolle des Informationsnutzers und -bearbeiters.

WeberHaus als Holz-Verarbeiter: Holz ist ein nachhaltiger Werkstoff, der Hauptbestandteil eines Weber-Hauses ist. Jedoch sind auch Subunternehmen beteiligt, die nicht unbedingt nachhaltige Materialien verbauen. Diese müssen deshalb ebenso in der Pflicht sein, Informationen zu verbauten Materialien zu liefern, da z.B. verbauter Beton in der Bodenplatte oder dem Keller einen großen Teil der Gesamtmenge ausmachen (vgl. Materialfluss Gebäudeebene)

WeberHaus als Rahmenbau-Hersteller: Dach, Wand, Decke werden als Elemente hergestellt, die am Ende zu einem Gebäude montiert werden. Diese spielen somit eine besondere Rolle und können einzeln betrachtet werden.

Aus den Interviews, der Rolle von WeberHaus und weiterer Recherchen erweisen sich nachfolgende Daten für einen Materialpass als sinnvoll. Diese Informationen sind nicht nur für die Rückverfolgung bzw. die Dokumentation nützlich, sondern helfen auch bei verschiedenen Zertifizierungen und somit Förderungen (BNB, QNG, KfW) [31, p. 107], [Interviews]:

- Art der Bauweise, z.B. Stahlbetonskelettbau oder Holzrahmenbau
- Materialart, z.B. Holz, PVC, bestimmte Verbundstoffe (Produktbezeichnungen und Herstellerangaben hilfreich)
- Materialqualität, z.B. Betonklasse, Festigkeiten

- Materialmengen -volumen, z.B. Dichte, m², m³, kg
- Technische Lebensdauer, z.B. technische Lebensdauer oder mittlere Verweildauer
- Art der Verbindung der Schichten/Materialien, z.B. lösbar, nicht lösbar – sinnvoll für die Demontagefreundlichkeit
- Einbauort, z.B. DG, Wand 1 - sinnvoll für die Dauer der Nutzung, Beanspruchung und Reparaturfreundlichkeit
- Einbaulage, z.B. Innen- oder Außenschicht sinnvoll für Umweltauswirkungen
- Schadstoffgehalt, z.B. sinnvoll für Rückschlüsse auf die Gesundheit, Risiken
- Rückbau-, Recyclingfreundlichkeit, z.B. ist eine sortenreine Demontage möglich (abhängig von den Verbindungen), die Materialeigenschaften und Rückbauart beeinflusst
- Recyclingwahrscheinlichkeit, z.B. Rücknahmeverpflichtung und Entsorgungspfade, lassen auf Recyclingpotenzial schließen

Aus den Anforderungen der verschiedenen Akteure und den in Kapitel 2.3.2 erwähnten Detaillierungsgrad-Ebenen von Madaster wird in der untenstehenden Tabelle 12 der Rückverfolgungsgrad definiert. Den Varianten in Kapitel 4.4 kann somit ein Rückverfolgungsgrad zugeordnet werden. Die Rückverfolgung der eingebauten Materialien wird entweder nur sehr grob (Rückverfolgungsgrad 0-2) oder sehr detailliert (Rückverfolgungsgrad 3-4) durchgeführt. Angestrebt wird eine möglichst genaue Abbildung der Materialien und Produkten im Gebäude, dies ist jedoch abhängig von den vorhandenen Informationen und deren Genauigkeit. Die Stufen sind aufeinander aufbauend.

Tabelle 12: Definition eines Rückverfolgungsgrads

Rückverfol- gungsgrad	Beschreibung
0	Keine zusätzlichen Daten erhoben oder zusammengefasst, die für einen Materialpass interessant wären
1	Das Material und die Produkte sind mit Bezeichnung und ggf. Nennung des Herstellers oder des Lieferanten dokumentiert
2	Zusätzlich kommt die genaue Menge der Materialien und Produkte sowie der Einbauort im Gebäude hinzu
3	Informationen zur Nachhaltigkeit (CO ₂ -Fußabdruck, Wiederverwendbarkeit/Demontage/Verbindungen, EPDs, Schadstoffgehalt) werden hinzugefügt
4	Restwerte der Materialien und Produkte kommen hinzu. Die Daten werden auf dieser Stufe zusätzlich veröffentlicht und bieten somit den größten Nutzen für eine Kreislaufwirtschaft.

Um eine Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen, ist es außerdem nötig, die Lage der eingebauten Materialien und Produkte zu kennen. Bei der Lage der Materialien kann zusätzlich zwischen einer genauen Rückverfolgung (z.B. „Wand 1, EG, Schwelle“) oder einer groben Rückverfolgung (z.B. „eingebaut“) unterschieden werden. Das gleiche betrifft die Materialbezeichnung oder sonstige Daten, unterschieden wird hier z.B. zwischen genauen Angaben wie der Materialqualität oder Lebensdauer und z.B. einer einfachen Auflistung.

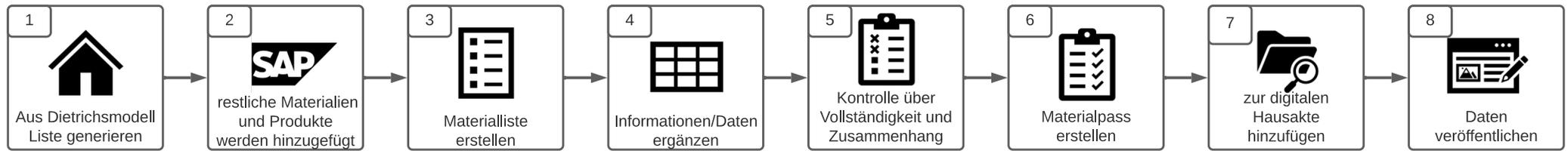
4.4 Entwicklung von Rückverfolgungsvarianten

4.4.1 Variante 1 – Hausinterne Tools

Bei der Variante 1 handelt es sich um eine Variante, bei der eine Rückverfolgung ohne große Veränderungen und Softwareeinführungen im Unternehmen möglich ist. Dies sorgt zwar für geringe Investitionskosten und geringen Aufwand bei der Implementierung, kann aber eventuell gesetzlichen oder internen Anforderungen qualitativ nicht genügen. Die Variante 1 wird weiter in die Varianten 1.1, 1.2 und 1.3 untergliedert. Bei der Variante 1.1 wird versucht, eine vollständige Materialliste auf Gebäudeebene (siehe Kapitel 3.6.2) zu generieren, diese mit weiteren Daten zu ergänzen und daraus anschließend einen Materialpass zu erstellen. Diese Variante ähnelt der in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Strategie 1, da aus dem Dietrich´s-Modell Massen und Mengen entnommen werden. Bei der Variante 1.2 wird versucht, alle Materialien im Gebäude auf Elementebene (siehe Kapitel 3.6.3) zusammenzustellen, diese mit weiteren Daten zu erweitern und anschließend einen Materialpass zu erstellen. Durch die Elementierung kann sofort auf den Einbauort, Lage der Schichten und Art der Beanspruchung geschlossen werden [31, p. 131]. Die Elemente können beliebig durch weitere Daten wie z.B. Abfallschlüssel, Ökobilanz und Wartungs- und Instandsetzungszyklen ergänzt werden.

Durch die Variante 1.3 soll die Rückverfolgung mit QR-Codes realisiert werden. Die Grundlage hierfür bietet die Variante 1.2. Die Elemente sind fertigungsbedingt ideal für eine Rückverfolgung mit QR-Codes geeignet. Einerseits ist der Aufwand nicht so hoch, da nicht jedes Material oder Produkt mit einem Code versehen wird und andererseits bietet dies weitere Vorteile für die Wertschöpfungskette. Das Bauteil wäre durch den QR-Code direkt mit den nötigen Informationen verknüpft und könnte durch die angegebene Position dem Montageteam helfen. Außerdem könnten nicht planmäßige Änderungen an einem Element darüber dokumentiert werden. Bei späteren Sanierungen wären die nötigen Informationen direkt vor Ort für das Bauunternehmen oder den Bauherrn erreichbar. Der QR-Code bietet somit einen „Elementfingerabdruck“, der das Produkt mit Daten aus der Lieferkette verknüpft und somit ein Beitrag zur Erfüllung des Lieferkettengesetz sein kann [36, p. 17] (vgl. Kapitel 2.2.2).

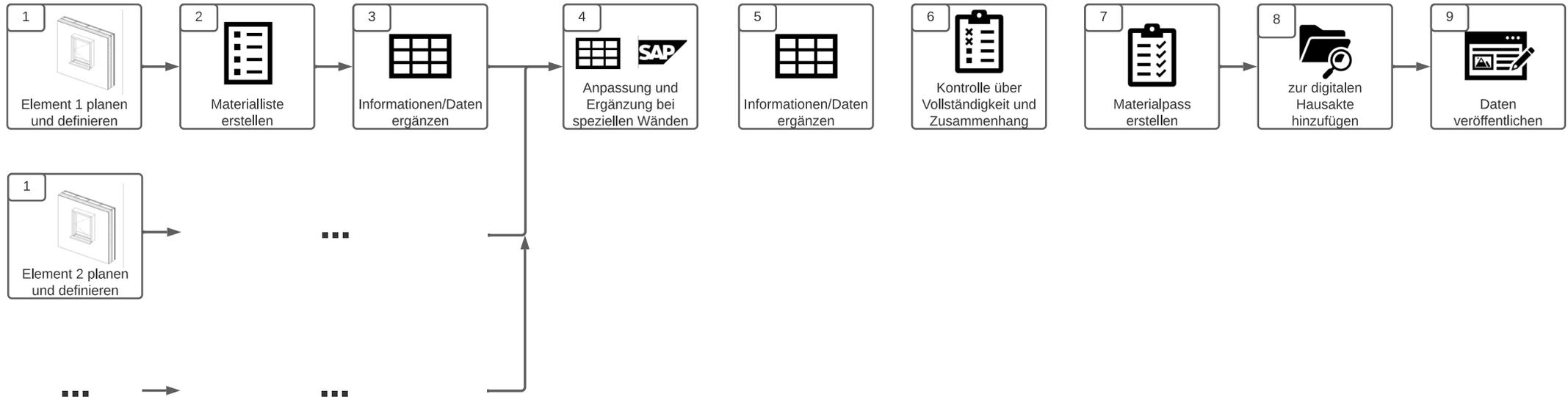
Variante 1.1



<p>Nr.: 1 Aus Dietrichsmodell Liste generieren 1) Materialliste wird aus Dietrichs exportiert (Bezeichnung, Menge) 2) Hilfreich wären eine Ergänzung (evtl. schon im Modell) von Volumen, Rohdichte und Gewicht</p>	<p>Nr.: 2 restliche Materialien und Produkte werden hinzugefügt 1) nicht konstruierte Materialien und Produkte werden nun durch SAP oder ggf. WeKo ergänzt. Verantwortlich sind die einzelnen Abteilungen</p>	<p>Nr.: 3 Die Materialliste wird erstellt 1) Die Listen werden zusammengefügt</p>	<p>Nr.: 4 Informationen/Daten werden ergänzt 1) Zu den Bezeichnungen und Mengen der Materialien und Produkte werden nun noch Nachhaltigkeitsdaten (Sentinel/TÜV), EPDs, Ökobilanzen, Trennbarkeitshinweise (BA Streif) hinzugefügt</p>	<p>Nr.:5 Kontrolle über Vollständigkeit und Zusammenhang 1) hier benötigt es eine Person, die zentral die Vollständigkeit und den richtigen Zusammenhang der ergänzten Daten kontrolliert</p>	<p>Nr.: 6 Materialpass wird erstellt 1) Die erstellte Liste, Nachhaltigkeitsnachweise, EPDs, Ökobilanzen werden zusammengeführt</p>	<p>Nr.: 7 Materialpass wird zur digitalen Hausakte hinzugefügt 1) Die zusammengeführten Dokumente werden auf Vollständigkeit überprüft und in der digitalen Hausakte als Materialpass abgelegt</p>	<p>Nr.:8 Die Daten aus dem Materialpass werden veröffentlicht 1) Die Daten werden, falls vom Eigentümer genehmigt, vollständig oder zu Teilen in einem Materialkataster veröffentlicht</p>
<p>Nr.: 1 IT-Tools 1) Dietrichs 2) Excel</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) SAP 2) ggf. WeKo 3) Excel</p>	<p>Nr.: 3 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) eLCA</p>	<p>Nr.: 5 IT-Tools 1) Excel 2) PDF</p>	<p>Nr.: 6 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) Formatierungstool/-software</p>	<p>Nr.: 7 IT-Tools 1) digitale Hausakte</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) Materialkataster</p>

Abbildung 35: Schematische Darstellung des Ablaufs für die Variante 1.1

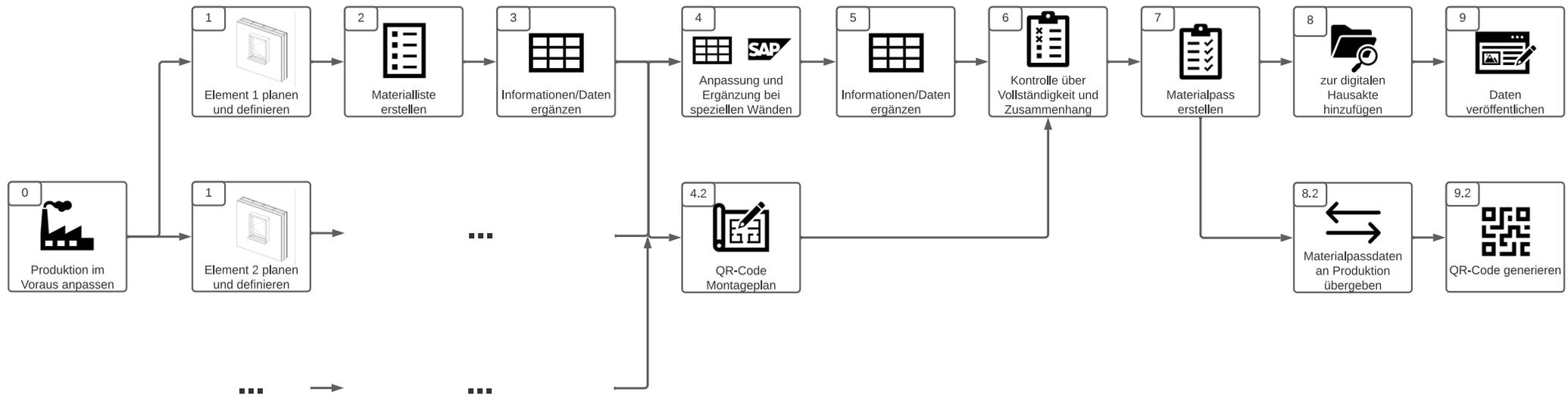
Variante 1.2



<p>Nr.: 1 Elemente werden geplant und definiert 1) Das Gebäude wird in Standard-Elemente aufgeteilt (vgl. Kapitel 3.6.3), definiert und geplant.</p>	<p>Nr.: 2 Eine Materialliste des Elements wird erstellt 1) Von jedem Element werden die Materialien und Produkte aufgelistet (Bezeichnung, Menge, Rohdichte, Volumen, Gewicht)</p>	<p>Nr.: 3 Informationen/Daten werden ergänzt 1) Zu den Bezeichnungen und Mengen der Materialien und Produkte werden nun noch Nachhaltigkeitsdaten (Sentinel/TÜV), EPDs, Ökobilanzen, Trennbarkeitshinweise (BA Streif) hinzugefügt</p>	<p>Nr.: 4 Anpassung und Ergänzung bei speziellen Elementen Ab hier werden die Elemente zu einem Gebäude zusammen gefügt und auf Besonderheiten des jeweiligen Gebäudes eingegangen. Hierzu werden die restlichen Materialien und Produkte von den Abteilungen hinzugefügt.</p>	<p>Nr.: 5 Informationen/Daten werden ergänzt 1) Für die speziellen Elemente werden ebenso Nachhaltigkeitsdaten (Sentinel/TÜV), EPDs, Ökobilanzen, Trennbarkeitshinweise (BA Streif) hinzugefügt</p>	<p>Nr.:6 Kontrolle über Vollständigkeit und Zusammenhang 1) Hier benötigt es eine Person, die zentral die Vollständigkeit und den richtigen Zusammenhang der ergänzten Daten kontrolliert</p>	<p>Nr.: 7 Materialpass wird erstellt 1) Die erstellte Liste, Nachhaltigkeitsnachweise, EPDs, Ökobilanzen werden zusammengeführt</p>	<p>Nr.: 8 Materialpass wird zur digitalen Hausakte hinzugefügt 1) Die zusammengeführten Dokumente werden auf Vollständigkeit überprüft und in der digitalen Hausakte als Materialpass abgelegt</p>	<p>Nr.:9 Die Daten aus dem Materialpass werden veröffentlicht 1) Die Daten werden, falls vom Eigentümer genehmigt, vollständig oder zu Teilen in einem Materialkaster veröffentlicht</p>
<p>Nr.: 1 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) eLCA</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) SAP 2) ggf. WeKo 3) Excel</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) eLCA</p>	<p>Nr.: 5 IT-Tools 1) Excel 2) PDF</p>	<p>Nr.: 6 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) Formatierungstool/-software</p>	<p>Nr.: 7 IT-Tools 1) digitale Hausakte</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) Materialkaster</p>

Abbildung 36: Schematische Darstellung der Variante 1.2

Variante 1.3



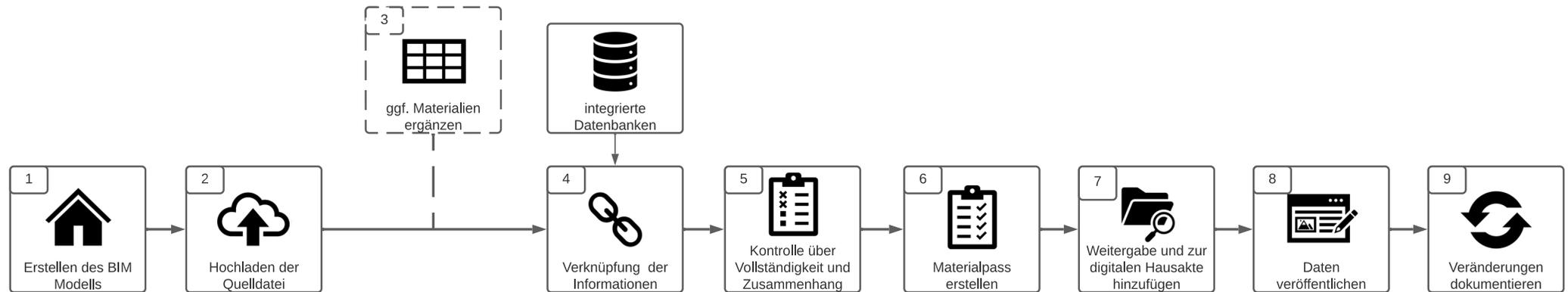
<p>Nr.: 0 Produktion im Voraus anpassen 1) Im Zuge der Umbauten zur Digitalisierung der Produktion wird ein QR-Code für die Elemente eingeführt</p>	<p>Nr.: 1 Elemente werden geplant und definiert 1) Das Gebäude wird in Standard-Elemente aufgeteilt (vgl. Kapitel 3.6.3), definiert und geplant.</p>	<p>Nr.: 2 Eine Materialliste des Elements wird erstellt 1) Von jedem Element werden die Materialien und Produkte aufgelistet (Bezeichnung, Menge, Rohdichte, Volumen, Gewicht)</p>	<p>Nr.: 3 Informationen/Daten werden ergänzt 1) Zu den Bezeichnungen und Mengen der Materialien und Produkte werden nun noch Nachhaltigkeitsdaten (Sentinel/TÜV), EPDs, Ökobilanzen, Trennbarkeitshinweise (BA Streif) hinzugefügt</p>	<p>Nr.: 4 Anpassung und Ergänzung bei speziellen Elementen Ab hier werden die Elemente zu einem Gebäude zusammengefügt und auf Besonderheiten des jeweiligen Gebäudes eingegangen. Hierzu werden die restlichen Materialien und Produkte von den Abteilungen hinzugefügt. Nr.: 4.2 QR-Code Montageplan 1) Den Elementen werden die QR-Codes zugeordnet und in einem Plan der Montageort beschrieben, damit diese später auffindbar sind</p>	<p>Nr.: 5 Informationen/Daten werden ergänzt 1) Für die speziellen Elemente werden ebenso Nachhaltigkeitsdaten (Sentinel/TÜV), EPDs, Ökobilanzen, Trennbarkeitshinweise (BA Streif) hinzugefügt</p>	<p>Nr.:6 Kontrolle über Vollständigkeit und Zusammenhang 1) Hier benötigt es eine Person, die zentral die Vollständigkeit und den richtigen Zusammenhang der ergänzten Daten und des Montageplans kontrolliert</p>	<p>Nr.: 7 Materialpass wird erstellt 1) Die erstellte Liste, Nachhaltigkeitsnachweise, EPDs, Ökobilanzen werden zusammengeführt</p>	<p>Nr.: 8 Materialpass wird zur digitalen Hausakte hinzugefügt 1) Die zusammengeführten Dokumente werden auf Vollständigkeit überprüft und in der digitalen Hausakte als Materialpass abgelegt Nr.: 8.2 Materialpassdaten an Produktion übergeben 1) Daten aus Madaster müssen an Software für QR-Codes an Produktion übertragen werden</p>	<p>Nr.:9 Die Daten aus dem Materialpass werden veröffentlicht 1) Die Daten werden, falls vom Eigentümer genehmigt, vollständig oder zu Teilen in einem Materialkaster veröffentlicht Nr.: 9.2 QR-Code generieren 1) QR-Code wird durch Software an QR-Code Drucker gesendet und ausgedruckt 2) QR-Code an zugängliche und geschützte Stelle am fertigen Element anbringen z.B. (Sicherungskasten, Fensterrahmen, ...)</p>
<p>Nr.: 0 IT-Tools 1) Software Materialpass/digitale Hausakte 2) QR-Code Generator</p>	<p>Nr.: 1 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) eLCA</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) SAP 2) ggf. WeKo 3) Excel</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) eLCA</p>	<p>Nr.: 5 IT-Tools 1) Excel 2) PDF</p>	<p>Nr.: 6 IT-Tools 1) Excel 2) PDF 3) Formatierungstool/-software</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) digitale Hausakte Nr.: 8.2 1) Software Materialpass/digitale Hausakte</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) Materialkaster Nr.: 9.2 1) Software Materialpass/digitale Hausakte 2) QR-Code Generator</p>

Abbildung 37: Schematische Darstellung der Variante 1.3

4.4.2 Variante 2 – Madaster und BIM

Die Variante 2 soll die Rückverfolgung durch Madaster mit BIM oder einer Excelliste bei WeberHaus realisieren. BIM bietet für die Genauigkeit und den Erfolg ein großes Potenzial, da 3D Grafiken mit den benötigten Informationen kombiniert werden können. BIM kommt hier bei der Variante 2.1 zum Einsatz, die der in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Strategie 2 ähnelt. Eine Notlösung bzw. Übergangslösung könnte ebenso als Quelldatei mit einer Excelliste für Madaster realisiert werden, die durch die Variante 2.2 dargestellt wird. Hierzu werden nachfolgend nötige Schritte erklärt und in Kapitel 5 die Umsetzung hierzu näher beschrieben.

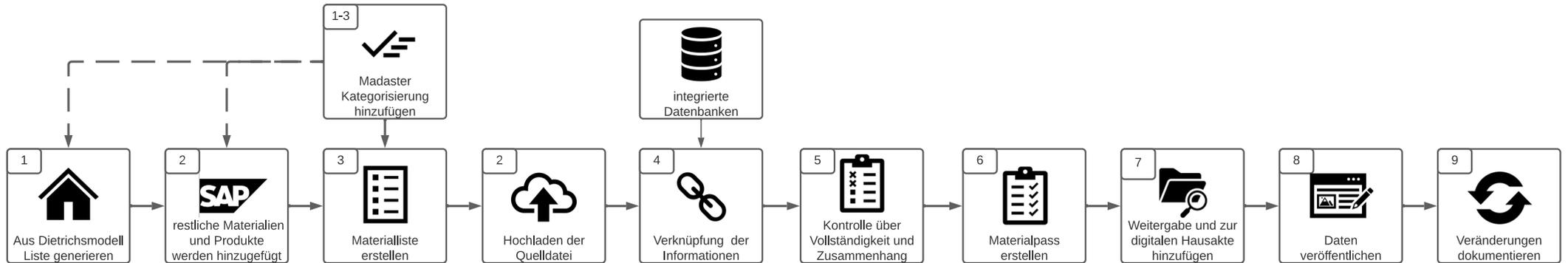
Variante 2.1



<p>Nr.: 1 Erstellen des BIM Modells 1) Erstellen des BIM Modells durch die einzelnen Fachabteilungen und den BIM-Autor 2) Zusammenfügen zu einem Koordinationsmodell durch den BIM-Koordinator 3) BIM Standards und Madaster BIM-Richtlinien einhalten</p>	<p>Nr.: 2 Hochladen der Quelldatei 1) IFC-Datei des Koordinationsmodell erstellen 2) Auf der Plattform hochladen, dabei das Benutzerhandbuch von Madaster beachten</p>	<p>Nr.: 3 Materialien ergänzen 1) Fehlende Materialien müssen entweder durch eine Liste als Quelldatei oder direkt über die Plattform eingefügt werden 2) Hierzu ist das Benutzerhandbuch zu beachten</p>	<p>Nr.: 4 Verknüpfung der Informationen 1) Die Informationen werden automatisch durch die integrierten Datenbanken mit der Quelldatei verknüpft (bei Einhaltung der Standards und Richtlinien)</p>	<p>Nr.:5 Kontrolle über Vollständigkeit und Zusammenhang 1) Die Quelldatei wird automatisch auf Vollständigkeit und Aussagekraft geprüft 2) ggf. müssen hier noch einmal Materialien oder Produkte ergänzt oder verknüpft werden</p>	<p>Nr.: 6 Materialpass wird erstellt 1) Die Informationen sind vollständig und können nun genutzt werden 2) Der Materialpass kann über die Plattform erstellt werden</p>	<p>Nr.: 7 Materialpass wird zur digitalen Hausakte hinzugefügt 1) Der Materialpass kann zusammen mit den anderen Dokumenten (Zertifikate etc.) in der digitalen Hausakte abgelegt werden 2) Alternativ kann dies auch über die Plattform Madaster gemacht werden und der Accountzugang dort abgelegt werden</p>	<p>Nr.:8 Daten veröffentlichen 1) Die Daten können über den Account des Eigentümers mit anderen geteilt werden 2) Die Daten können im Materialkataster veröffentlicht und von anderen genutzt werden</p>	<p>Nr.: 9 Veränderungen dokumentieren 1) Veränderungen durch Sanierungen etc. über die Lebensphase des Gebäudes können dokumentiert werden 2) Der Eigentümer gibt hierzu Berechtigungen frei</p>
<p>Nr.: 1 IT-Tools 1) Dietrichs 2) Autorensoftware aus anderen Fachbereichen</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) Autorensoftware 2) Madaster</p>	<p>Nr.: 3 IT-Tools 1) Excel 2) Madaster</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 5 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 6 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 7 IT-Tools 1) digitale Hausakte 2) Madaster</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 9 IT-Tools 1) Madaster</p>

Abbildung 38: Schematische Darstellung der Variante 2.1

Variante 2.2



<p>Nr.: 1 Aus Dietrichsmodell Liste generieren 1) Materialliste wird aus Dietrichs exportiert (Bezeichnung, Menge) 2) Hilfreich wäre eine Ergänzung (evtl. schon im Modell) von Volumen, Rohdichte und Gewicht</p>	<p>Nr.: 2 restliche Materialien und Produkte werden hinzugefügt 1) nicht konstruierte Materialien und Produkte werden nun durch SAP oder ggf. WeKo ergänzt. Verantwortlich sind die einzelnen Abteilungen</p>	<p>Nr.: 3 Die Materialliste wird erstellt 1) Die Listen werden zusammengefügt 2) Die Kategorisierungen aus den BIM Standards und den Madaster BIM-Richtlinien müssen eingehalten und entweder in SAP, in der Autorenssoftware oder zur Materialliste hinzugefügt werden</p>	<p>Nr.: 2 Hochladen der Quelldatei 1) Excelliste auf der Plattform hochladen, dabei das Benutzerhandbuch von Madaster beachten</p>	<p>Nr.: 4 Verknüpfung der Informationen 1) Die Informationen werden automatisch durch die integrierten Datenbanken mit der Quelldatei verknüpft (bei Einhaltung der Standards und Richtlinien)</p>	<p>Nr.: 5 Kontrolle über Vollständigkeit und Zusammenhang 1) Die Quelldatei wird automatisch auf Vollständigkeit und Aussagekraft geprüft 2) ggf. müssen hier noch einmal Materialien oder Produkte ergänzt oder verknüpft werden</p>	<p>Nr.: 6 Materialpass wird erstellt 1) Die Informationen sind vollständig und können nun genutzt werden 2) Der Materialpass kann über die Plattform erstellt werden</p>	<p>Nr.: 7 Materialpass wird zur digitalen Hausakte hinzugefügt 1) Der Materialpass kann zusammen mit den anderen Dokumenten (Zertifikate etc.) in der digitalen Hausakte abgelegt werden 2) Alternativ kann dies auch über die Plattform Madaster gemacht werden und der Accountzugang dort abgelegt werden</p>	<p>Nr.: 8 Daten veröffentlichen 1) Die Daten können über den Account des Eigentümers mit anderen geteilt werden 2) Die Daten können im Materialkataster veröffentlicht und von anderen genutzt werden</p>	<p>Nr.: 9 Veränderungen dokumentieren 1) Veränderungen durch Sanierungen etc. über die Lebensphase des Gebäudes können dokumentiert werden 2) Der Eigentümer gibt hierzu Berechtigungen frei</p>
<p>Nr.: 1 IT-Tools 1) Dietrichs 2) Excel</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) SAP 2) ggf. WeKo 3) Excel</p>	<p>Nr.: 3 IT-Tools 1) Excel</p>	<p>Nr.: 2 IT-Tools 1) Excel 2) Madaster</p>	<p>Nr.: 4 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 5 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 6 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 7 IT-Tools 1) digitale Hausakte 2) Madaster</p>	<p>Nr.: 8 IT-Tools 1) Madaster</p>	<p>Nr.: 9 IT-Tools 1) Madaster</p>

Abbildung 39: Schematische Darstellung der Variante 2.2

5 Implementierung

„Der Kopf ist rund, damit das Denken die Richtung wechseln kann“

F. Picabia

Für eine funktionierende Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft müssen das Denken der Mitarbeiter die Richtung wechseln und Prioritäten im Unternehmen anders gesetzt werden.

Im folgenden Kapitel werden technische und strukturelle Lösungen für eine Umsetzung zu den zwei Varianten und dessen Untervarianten vorgestellt, wovon eine im Unternehmen und in dessen Prozessen implementiert werden soll. Hierzu werden zuerst Lösungen für die Umsetzungen beschrieben, die für jede Untervariante gelten. Anschließend werden einzelne Punkte vertieft. In Klammern steht die Zugehörigkeit zu den Prozessschritten aus den Abbildungen der Prozessvarianten. Außerdem werden die Varianten verglichen und eine Empfehlung ausgesprochen. Zum Schluss wird eine solche Umsetzung mithilfe einer Roadmap für WeberHaus zusammengefasst.

5.1 Implementierung der Variante 1

Gemeinsame Methoden

Verbindungs- und Trennbarkeitshinweise (Variante 1.1 Nr. 4/6, Variante 1.2/1.3 Nr. 3/5)

Verbindungs- und Trennbarkeitshinweise gehören zu den Nachhaltigkeitsdaten. Unter Nachhaltigkeitsdaten werden alle Daten verstanden, die zur Schadens- und Risikobewertung nötig sind und im Materialpass laut den Anforderungen in Kapitel 4.3 vorhanden sein sollten. Diese werden so weit wie möglich über die bereits existierenden oder zukünftig hinzukommenden Zertifizierungen abgedeckt.

Da eine Verknüpfung der Gesamt-Materialliste aus Variante 1.1 mit Nachhaltigkeitsdaten schwierig ist, bietet sich hier ebenfalls eine separate Betrachtung des Aufbaus an, die der Gesamt-Materialliste beigefügt wird. Die Elemente (Wand, Decke, Dach) wurden bereits in einer Bachelorarbeit bei WeberHaus auf Rückbau, Verwertung und Trennung untersucht [77, p. 53]. Ein Auszug für die Wandelemente ist hiervon im Anhang unter A.2.8 zu finden.

Dem Schichtenaufbau der beispielhaften Außenwand werden in der Abbildung 40 Informationen zur Trennbarkeit hinzugefügt. Die Schichten sind entweder vollständig ohne Schäden, i.d.R. ohne Schäden oder i.d.R. nur mit Schäden lösbar. Außerdem wird zwischen Anhaftungen und keine Anhaftungen unterschieden. Anhaftungen kommen meistens bei

geklebten Verbindungen vor, eine sortenreine Demontage ist in diesen Fällen nicht wirklich möglich.

(Teil-)Bauwerk	0		
Bauwerksteil	Erdgeschossaußenwand WeberHaus		

Schichten	Beschreibung der Schichtgrenze / Verbindung	Code Trennbarkeit	Kommentar
Gipskarton	verklammert auf der OSB Platte	1 a	
Dampfbremse			
Schichten	Beschreibung der Schichtgrenze / Verbindung	Code Trennbarkeit	Kommentar
Holzwerkstoffplatte	verklammert auf Holzrahmenkonstruktion	1 a	Holzkonstruktion ausgefacht mit Mineralwolle (geklemmt)
Konstruktionsholz			
Schichten	Beschreibung der Schichtgrenze / Verbindung	Code Trennbarkeit	Kommentar
Konstruktionsholz	verschraubt und verklammert	1 a	
Weichfaserplatte			
Schichten	Beschreibung der Schichtgrenze / Verbindung	Code Trennbarkeit	Kommentar
Weichfaserplatte	aufgespritzt	2 b	
Grundputz			
Schichten	Beschreibung der Schichtgrenze / Verbindung	Code Trennbarkeit	Kommentar
Grundierung	aufziehen	3 b	auf der Baustelle
Edelputz			

1) ohne Schäden lösbar
 2) i.d.R. ohne Schäden lösbar
 3) i.d.R. nur mit Schädigung oder Zerstörung lösbar
 a) i.d.R. keine Anhaftungen
 b) i.d.R. Anhaftungen

Abbildung 40: Beschreibung der Schichtengrenzen und Trennbarkeitshinweise [31, p. 148]

Diese Informationen helfen Aussagen über die Zirkularität, also die Rückbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit, zu machen. Bewertungssysteme hierfür sind z.B. DGNB TEC 1.6, der Urban Mining Index (UMI) und der ILEK Recycling Graph Editor [24, p. 16].

Materialpass erstellen (Variante 1.1 Nr. 6, Variante 1.2/1.3 Nr. 7)

Bei den Varianten 1.1, 1.2 und 1.3 wird jeweils die Gesamt-Materialliste zusammen mit den Nachhaltigkeitsinformationen, den Datenblättern, allgemeinen und sonstigen Informationen zusammengeführt. Am Anfang sollte eine Zusammenfassung der Informationen ähnlich wie in Abbildung 41 zu sehen, vorliegen [31, p. 136].

1	Objektadresse:	anonymisiert	Baueigner:	anonymisiert
2	Materialien des Objektes	Keller	EG	OG
2.1	Tragende Bauteile:	Beton	Beton	Beton
2.2	Nicht tragende Bauteile:	Mauerwerk	Mauerwerk	Mauerwerk
2.3	Decken:	Stahlbeton	Stahlbeton	Stahlbeton
2.4	Dachkonstruktion:	Flachdach		
2.5	Dacheindeckung:	Bitumenpappe		
2.6	Material der Fensterstöcke/-rahmen:	Nicht bekannt		
3	Gebäudeabmessungen:	3025 x 1570 x 980 [cm]		
3.1	Bruttorauminhalt (m³):	5.678,42 m³ [brutto]	Baujahr:	2013
		Keller	EG	OG
3.2	Anzahl der Geschoße	1	1	2
3.3	Geschoßhöhe (Fußbodenoberkante bis Fußbodenoberkante)	260 cm	260 cm	260 cm
4	Massen der Baumaterialien für das gesamte Gebäude (Tonnen)			
4.1	Glas:	1,1		
4.2	Holz:	2,75		
4.3	Kunststoffe:	3,87		

Abbildung 41: Beispielhafte Zusammenfassung eines Materialpasses [29, p. 95]

Digitale Hausakte (Variante 1.1 Nr. 7, Variante 1.2/1.3 Nr. 8)

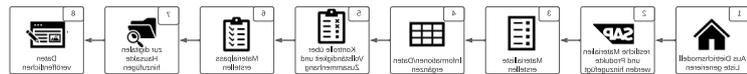
Der zusammengestellte Materialpass wird der digitalen Hausakte hinzugefügt. Der Bauherr muss dabei Zugriff auf diese Informationen haben und sollte diese z.B. bei einer Renovierung anpassen können (vgl. Kapitel 2.3.3.1). Außerdem könnte der Materialpass bei Eigenleistung des Bauherrn (vgl. Ausbaustufen in Kapitel 3.2) durch WeberHaus im Nachhinein oder durch den Bauherrn vervollständigt werden. Die Zuständigkeiten müssten vertraglich geregelt werden.

Veröffentlichung (Variante 1.1 Nr. 8, Variante 1.2/1.3 Nr. 9)

Damit eine größtmögliche Wertschöpfung im Sinne der Kreislaufwirtschaft stattfinden kann, müssten die Informationen veröffentlicht werden. Der Materialpass wird so zu einem Materialkataster. Dies muss vertraglich geregelt und nur mit Einverständnis des Eigentümers möglich sein. Das Format muss einheitlich geregelt und am besten durch Richtlinien festgelegt werden. Hierzu gibt es jedoch noch keine Informationen oder Vorgaben. Überlegungen hierzu wurden vom Umweltbundesamt gemacht, die jedoch für WeberHaus vorerst zweitrangig sind und aus Gründen des Umfangs der Arbeit nicht weiter betrachtet wurden [29, p. 173]. Für die Kreislaufwirtschaft an sich wird dieses Thema jedoch sehr erheblich sein und sollte von WeberHaus in Zukunft verfolgt werden.

Variante 1.1 - Gebäudemethode

Materialliste erstellen (Nr. 3)

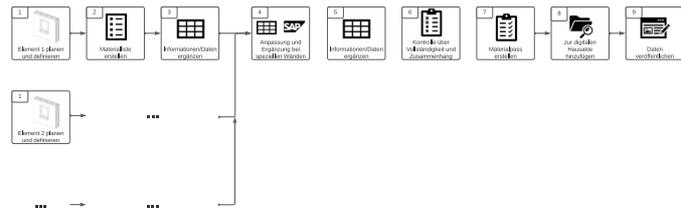


Die Materialien werden hier in einer Liste zusammengeführt. Bevorzugt wird eine Excelliste, da andere Schnittstellen zu SAP bis jetzt nicht möglich sind. Um die Daten aus SAP in eine Excel Tabelle exportieren zu können, muss die Transaktion eine gültige Analyse dafür enthalten. Die muss ggf. nachträglich hinzugefügt werden [97]. Um alle verbauten Materialien in einem Gebäude in SAP einsehen zu können, ist die Transaktion „ME2J“ hilfreich, die durch andere Transaktionen ergänzt werden kann. Hilfreich wäre es eine neue Transaktion zu erstellen, bei der alle Materialien mit den nötigen Informationen gefiltert werden, außer den Materialien, die aus dem Dietrich´s-Modell exportiert werden.

Eine Materialliste für das Gebäude ist für die QNG Zertifizierung über die BNK nötig, eine genaue Lösung für eine komplette Liste gibt es jedoch noch nicht. Wie sich in Kapitel 3.5 (Informationsfluss) und 3.6.2 (Materialfluss auf Gebäudeebene) gezeigt hat, wäre eine Lösung die Baukonstruktion über Dietrich´s für jedes Gebäude in eine Excel Tabelle exportieren zu lassen (die genauen exportierten Elemente sind in Kapitel 3.5.1 aufgezählt). Die restlichen Materialien sollten über SAP hinzugefügt werden, da hier eine größere Genauigkeit und Vollständigkeit als in WeKo vorliegt. Nur Einzelfälle bzw. Lücken, die in SAP nicht genau beschrieben sind, sollten mit WeKo geschlossen werden. Dies sollte ähnlich wie bei der jetzigen Hausakte bei WeberHaus von jeder Fachabteilung gemacht werden und von einer zentralen Person auf Vollständigkeit überprüft werden. Eine weitere Lösung wäre es, die Ausstattung für die zertifizierten Gebäude zu reduzieren und somit eine allgemeine Liste für die Baureihe im Voraus fertigzustellen, die nur noch leicht angepasst werden muss.

Nachhaltigkeitsdaten hinzufügen (Nr. 4)

Eine Möglichkeit, die Nachhaltigkeitsdaten mit der Gesamt-Materialliste zu verbinden, wäre über die Datenbank „Ökobaudat“. Die Datenbank verwendet ähnlich wie Madaster Materialidentifikationsnummern „UUID“, mit denen eine Verknüpfung zur Ökobaudat möglich wäre. Entweder pflegt man diese direkt in SAP und Dietrich´s ein oder fügt diese im Nachhinein der Liste hinzu.

Variante 1.2 - Elementmethode**Elemente planen und definieren****(Nr. 1)**

Für jedes Element, das in der Produktion produziert wird (Außenwand, Innenwand, Dach-, Deckenelemente), müssten die häufigsten Elemente standardisiert werden und bei Planung eines bestimmten Gebäudes nur noch ergänzt werden. Die Materialzusammenstellung könnte, so wie in Kapitel 3.6.3 beschrieben, ausgeführt werden.

Die Haustechnik ist bei jedem Gebäude sehr individuell und deshalb den Standard-Elementen nur schwer zuzuordnen, daher wird hier empfohlen, eine gesamte Liste zu erstellen (Quelle SAP und ggf. WeKo), die unabhängig von den Elementen ist und dadurch keine Aussagen über den Einbauort gemacht werden können [29, p. 148]. Eine Auflistung der Zusammensetzung kann durch EPDs oder sonstige Herstellerangaben/-datenblätter erfolgen.

Materialliste erstellen (Nr. 2)

Die Materialliste wäre eine Zusammenführung der einzelnen vorgefertigten Elementlisten. Diese könnten als PDF vorliegen und zu einem Materialpass zusammengefügt werden. Problem hierbei ist jedoch, dass sie über den Lebenszyklus nicht verändert werden könnte. Eine andere Möglichkeit wäre eine Excelliste, die aus den einzelnen Elementlisten besteht. Hier wäre die Anpassung möglich, die Gefahr besteht jedoch, dass Daten einfach gelöscht oder falsche hinzugefügt werden können. Eine Zwischenspeicherung in einer Cloud wäre somit hilfreich. Durchgeführt werden sollte die Erstellung ebenfalls wie bei Variante 1.1 von den einzelnen Fachabteilungen, die Kontrolle sollte über eine zentrale Person erfolgen.

Nachhaltigkeitsdaten hinzufügen (Nr. 3/5)

Durch die Aufteilung in Elemente können die Nachhaltigkeitsdaten allgemein für die Querschnitte berechnet werden. Bei dem Software Tool eLCA oder Carbon Footprint, das auch bei WeberHaus schon für Berechnungen und Bilanzierungen verwendet wurde, wird ebenfalls der Aufbau im Querschnitt betrachtet (siehe Abbildung 42). Hier kann also eine einfache Verknüpfung zwischen den Elementmateriallisten und den Nachhaltigkeitsdaten stattfinden. Dieser Elementaufbau kann jedoch von Gebäude zu Gebäude verschieden sein und müsste jedes Mal neu berechnet werden. Hier wäre eine Standardisierung denkbar, bei der

Für die einzelnen Baureihen und die einzelnen Elemente wird einmalig ein Montageplan für die QR-Codes definiert. Dieser wird nach der Ergänzung der Informationen der speziellen Wände für das geplante Gebäude auf die Gegebenheiten angepasst. In dem Plan wird der Montageort der einzelnen QR-Codes auf den einzelnen Elementen definiert. Wichtig ist hierbei, dass die Orte geschützt und erreichbar sind. Möglich hierfür wären Fenster, Türen, oder Elektroeinbaukästen/-teile. Bei einer Sanierung oder dem Austausch dieser Elemente müsste der Materialpass angepasst werden, hinzu kommt dann nur noch das erneute Ausdrucken und Aufbringen der QR-Codes.

Materialpassdaten an Produktion übergeben

Die Informationen werden ähnlich wie die Maschinendaten über das interne Netzwerk an die Produktion übergeben. Der Mitarbeiter kann das Projekt öffnen und die QR-Codes für die Elemente ausdrucken.

QR-Code generieren

Der QR-Code wird durch eine Software erzeugt. Die gespeicherten Informationen sind dieselben, die im Materialpass enthalten sind, nur dass die Dokumente für jedes einzelne Element erzeugt werden und nicht ein Gesamtdokument. Die erzeugten QR-Codes werden durch die Software generiert und über den Drucker ausgedruckt. Anschließend werden diese wie im Montageplan definiert am Element angebracht.

Beispielhaft ist in Abbildung 43 ein QR Code abgebildet, der einen Materialpass auf Elementebene enthält. Dieser kann gescannt werden, woraufhin sich ein PDF mit dem Pass öffnet.

Abbildung 43: QR-Code mit hinterlegtem Materialpass auf Elementenebene [117]

Kosten und zeitlicher Aufwand der Variante 1

Bei der Variante 1 entstehen hauptsächlich für die Erstellung der Materiallisten und der Anpassung bzw. Ergänzung dieser, zeitlicher Aufwand. Laufende und einmalige Kosten kommen bei dieser Variante keine auf, es entsteht lediglich ein zeitlicher Aufwand, der bei dieser Variante durch wenig Automatisierung pro Gebäude hoch ist.

Zusätzlich zum zeitlichen Aufwand der Variante 1.2 kommen bei der Variante 1.3 einmalige Kosten für die Arbeitsplätze mit Computer und Drucker auf. Außerdem muss der Montageplan von einem Mitarbeiter erzeugt und angepasst werden, was wiederum zeitlicher Aufwand bedeutet.

Zusammenfassung mit den Vor- und Nachteilen der Version 1

Eine vollständige Material- und Produktliste eines Gebäudes automatisch zu generieren ist nicht leicht, noch schwerer ist, es diese mit Nachhaltigkeitsdaten zu verbinden. Die bestehenden Zertifizierungen verlangen teilweise eine solche Auflistung, an die man einen Materialpass der Version 1 anknüpfen oder ergänzen kann. Das Thema wird auch immer präsenter bei den Herstellern von Nachhaltigkeitssoftware, wodurch in Zukunft ein Materialpass mit der passenden Software erstellt werden könnte. Zukünftig soll es eine neue SAP-Version geben, die intuitiver ist und mehr Möglichkeiten bietet, wodurch eine Schnittstelle bzw. eine Automatisierung evtl. einfacher ist. In Zukunft könnte außerdem künstliche Intelligenz (KI) dieses Problem beheben. Hier könnten die unstrukturierten Daten (Material- und Nachhaltigkeitsdaten aus Datenbanken) der vorgegebenen Geometrie der Bauteile durch ein Anlernen der KI zugeordnet werden.

Die Variante 1.2 ist im Vergleich zur Variante 1.1 beliebig erweiterbar und bietet den Vorteil, im Voraus mit den nötigen Daten standardisiert zu werden. Der Gesamtaufwand der Vorplanung und Anpassung der Elemente bleibt nur gering, wenn später auch eine geringe Anpassung der Elemente nötig ist. Schwierigkeiten könnte das bei den Objekt- und Individualbauten bereiten, hier wäre ggf. wiederum die Version 1.1 sinnvoller. Das Problem der Anpassungsfähigkeit während der Lebensphase haben beide Versionen. Tabellen und Listen, die nicht integriert in eine Software sind, werden deshalb als nicht ausreichend und langfristig nicht praxistauglich eingestuft, weshalb mit der Variante 2 weitere Lösungsvorschläge gemacht werden.

Die Wiedereinbringung von Materialien soll in dieser Arbeit nicht im Vordergrund stehen, dennoch wären nach der Lebensphase eines Gebäudes bzw. des Elements Überlegungen für eine Rücknahmevereinbarung zwischen dem Bauherrn und WeberHaus denkbar (vgl. Kapitel 2.1.2). WeberHaus hätte hierzu das nötige Wissen zu den Elementen, um eine hochwertige Nachnutzung zu ermöglichen, das teilweise durch die Materialpässe an andere weitergegeben und somit auch von Dritten in Zusammenarbeit mit WeberHaus umgesetzt werden könnte. Genaue Überlegungen hierzu werden in dieser Arbeit jedoch nicht unternommen.

Die Variante 1.3 ist eine Ergänzung der Variante 1.2. In dieser Arbeit steht die Umsetzung und die Erstellung von Materialpässen im Vordergrund, weshalb die Variante 1.3 erst nach einer erfolgreichen Umsetzung der Variante 1.2 umgesetzt werden sollte. Die Vorteile einer Rückverfolgung durch QR-Codes wurden bereits in Kapitel 4.4.1 erwähnt.

Die Variante 1.3 könnte ebenso mit einer genaueren Rückverfolgung bis auf Bauteilebene umgesetzt werden. Hierzu wäre es sinnvoll, Informationen zur Anfälligkeit bestimmter Produkte zu sammeln, um eine detaillierte Rückverfolgung dort durchzuführen und somit den Kundendienst und WeberHaus Service zu unterstützen. Durchgeführt werden könnte dies durch Sensorik, Markierungen oder QR-Codes und Chargenrückverfolgung. Die Sensorik könnte z.B. im Element die Feuchtigkeit messen und einen nötigen Austausch alarmieren, sobald die Feuchtigkeit in einem kritischen Bereich ist. Durch die Markierungen wäre eine eindeutige Identifikation der Elemente möglich. Die Chargenrückverfolgung würde vor allem bei Schäden vom Hersteller Vorteile bringen, indem der Hersteller für bestimmte Chargen Hinweise (z.B. Schäden oder Fehler) aussprechen kann. WeberHaus könnte das Element rückverfolgen und den Schaden frühzeitig beheben. Die Chargennummern der Hersteller wären in SAP ergänzbar und könnten den QR-Codes und den Materialpässen hinzugefügt werden.

Die Daten müssten jedoch von WeberHaus für die gesamte Lebensphase des Gebäudes auf einem Server vorgehalten und zur Verfügung gestellt werden. Fraglich ist auch die über die komplette Lebensphase dauerhafte Lesbarkeit und Bearbeitbarkeit der Daten.

In Zukunft könnten die Varianten 1.2 und 1.3 auch durch BIM ergänzt werden, indem die Elemente als BIM-fähige Objekte vorgeplant werden und mithilfe einer Materialpass-Software ausgewertet werden. Diese Variante würde dann der Strategie 3 ähneln, die in Kapitel 2.3.1 beschrieben wurde.

5.2 Implementierung der Variante 2

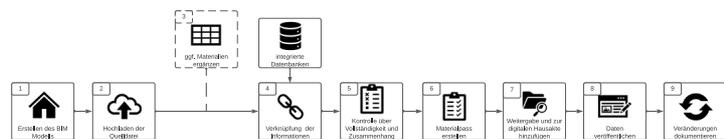
Um die Variante 2 umsetzen zu können, sind ein oder mehrere BIM-Modelle mit dem Detaillierungslevel 300-400 nötig oder eine Excelliste, die alle verbauten Materialien enthält. Nachfolgend werden beide Möglichkeiten und eine mögliche Umsetzung erklärt. Aus Gründen des Umfangs der Arbeit wurde auf ein Hochladen eines angepassten Dietrichmodells und einer Excelliste auf die Plattform Madaster verzichtet.

Gemeinsame Methoden

Madaster gibt für die Kategorisierung der Materialien, der Preise und der Schichten bestimmte Bezeichnungen aus Standards oder Richtlinien vor (vgl. Kapitel 2.3.2). Hiervon sind Ausschnitte im Anhang A.3 enthalten [99]. Diese müssen in den BIM-Modellen oder der Excelliste eingehalten werden, um eine Verknüpfung der Modelle oder der Liste mit Madaster und den integrierten Datenbanken möglich zu machen.

Über die Plattform können die erzeugten Materialpässe mit dem Eigentümer geteilt werden oder der digitalen Hausakte hinzugefügt werden. Falls vom Eigentümer und WeberHaus gewünscht, können die Informationen zu den Materialien auch in einem Materialkataster geteilt werden (Vorteil siehe Variante 1). Die Daten des Gebäudes können über die Plattform bei Sanierungen oder ähnlichem aktuell gehalten werden. Außerdem könnte der Materialpass bei Eigenleistung des Bauherrn (vgl. Ausbaustufen in Kapitel 3.2) durch WeberHaus im Nachhinein oder durch den Bauherrn vervollständigt werden. Die Zuständigkeiten müssten vertraglich geregelt werden.

Variante 2.1 - BIM-Methode



Wie in Kapitel 3.5.2 beschrieben, liegt bei WeberHaus beim Modell in Dietrich´s ein LOD von 300-400 vor und erfüllt so die Anforderungen von Madaster. Dieses beinhaltet jedoch nur die Baukonstruktion. Eine Möglichkeit wäre es nun, diese IFC Datei einzuspielen und die restlichen Materialien und Produkte durch eine Excelliste zu ergänzen. Eine andere Möglichkeit wäre es, Fachmodelle zu erstellen und diese gefiltert einzeln oder als Koordinationsmodell hochzuladen. Die BIM Strategie von WeberHaus ist noch nicht final ausge-reift, sehr wahrscheinlich wird eine Closed-BIM Variante umgesetzt, was den Datenaustausch mit Madaster zwar nicht beeinträchtigt (standardisiertes IFC-Format), jedoch mit Verwendung von anderer Nachhaltigkeitssoftware in Zukunft der Fall sein kann.

BIM Modell erstellen (Nr. 1)

Die Fachmodelle werden von den Fachabteilungen (Bauplanung), den BIM-Autoren, erstellt und dabei von einem BIM-Manager und -Koordinator betreut. Die Modelle sollten nach den Richtlinien der BuildingSmart modelliert werden [100], [101]. Hierzu gehört eine eindeutige Zuordnung von Materialien zu den Elementen und eine Klassifizierung der Elementen nach der DIN 276. Die geometrischen Eigenschaften (Volumen, Fläche, Länge, Breite, Tiefe) und das Gewicht wird die IFC-Datei von Madaster nach bestimmten Bezeichnungen durchsucht (z.B. für die Tiefe „Depth“) [102]. Ähnlich läuft dies mit den Materialien, dort wird zusätzlich, sofern im Modell enthalten, das Material in die einzelnen Schichten aufgeteilt. Je nach Modellierungssoftware (z.B. Dietrich´s) sind die Eigenschaften unterschiedlich den Elementen hinzuzufügen, das Eigenschaftsformat (z.B. Bezeichnung) muss jedoch dasselbe sein.

Die einzelnen BIM-Modelle müssen zwar nicht zu einem Koordinationsmodell zusammengefügt werden, Dopplungen von Materialien oder Produkten müssen vor dem Hochladen jedoch ausgeschlossen werden und die Modelle auf Vollständigkeit überprüft werden. Dies kann z.B. durch die Software BIMcollab Zoom erfolgen.

Hochladen der Quelldatei (Nr. 2)

Hierzu müssen die Fachmodelle oder das Koordinationsmodell zu einer IFC-Datei exportiert werden. Der Export sollte die Formatversionen „IFC 4“ oder „IFC 2x3“ beinhalten [100]. Nach der Vollständigkeitsüberprüfung durch die Software BIMcollab Zoom können die IFC Dateien auf die Plattform hochgeladen werden. Hierzu ist im Detail das Benutzerhandbuch von Madaster zu beachten [51].

Variante 2.2 – Excel-Methode



Um eine Zuordnung zwischen der Excelliste und Madaster zu ermöglichen, müssen ein bestimmtes Format und Bezeichnungen eingehalten werden (vgl. Variante 2.1 „BIM Modell erstellen“). Diese können entweder in Dietrich´s oder SAP direkt oder nachträglich in der Gesamtliste ergänzt werden. Die Liste kann sich an der Variante 1, den Materialien auf Gebäudeebene (vgl. Kapitel 3.6.2), orientieren. Eine Vorlage von Madaster gibt es und sollte genutzt werden, ein Ausschnitt hiervon ist im Anhang zu finden. Ergänzend zu der Liste in Kapitel 3.6.3 werden hier noch die Material UID (Unique identification), Preis ID (identification), die Etage, und Informationen zur Demontierbarkeit hinzugefügt, um Aussagen zur Zusammensetzung, den Schadstoffen und den Restwerten der Materialien treffen zu können.

Geschäftsmodell mit Madaster

Madaster bietet mehrere Möglichkeiten mit dem Umgang der Daten an. Die Daten aus den Materialpässen können mit dem Gebäude mitverkauft werden [103]. Der Eigentümer des Gebäudes wäre somit auch der Eigentümer der Daten aus dem Materialpass. Dieser könnte die Daten bei Verkauf des Gebäudes verkaufen oder selbstständig die Daten im Materialkatalog veröffentlichen und somit für Dritte zugänglich machen. Eine andere Möglichkeit wäre, dass WeberHaus vertraglich ein exklusives Recht auf die Daten des Materialpasses des Gebäudes behält. Die Daten können dann von WeberHaus über das Materialkatalog veröffentlicht werden oder WeberHaus veröffentlicht diese nicht und nutzt die Daten selbst, um die freiwerdenden Materialien, Bauteile und Produkte nutzen zu können. Bei der

Wiedereinbringung muss der Transportweg zu den Produktionsstellen in Rheinau-Linx und Wenden berücksichtigt werden. Die Bauteile könnten von WeberHaus aufbereitet oder auseinandergebaut werden und in neue Bauteile einfließen.

Kosten und zeitlicher Aufwand der Variante 2

Die Lizenzen sind bei Madaster in Eigentümer-, Partner-, Hersteller- und Bildungslizenzen unterteilt. Hier wird unterschieden zwischen Madaster Innovation Partner, Service Partner und Solution Partner. WeberHaus würde als Fertighaushersteller unter die Kategorie Service Partner fallen, solange kein Mitspracherecht als Madaster Innovation Partner infrage kommt. Gebaut wird bei WeberHaus jährlich eine Wohnfläche von ca.

pro Jahr mit einer Fläche von pro Gebäude), wodurch jährlich laufende Kosten in Höhe von anfallen würden. Die verschiedenen Lizenzpreise sind im Anhang unter A.3.1 zu finden. Weitere Kosten und zeitlicher Aufwand kommen für die detaillierte Modellierung eines Mitarbeiters, die Autorensoftware und die Entwicklung einer BIM-Strategie hinzu, die jedoch nicht vollständig der Variante 2 zugeschrieben werden können.

Zusammenfassung mit den Vor- und Nachteilen der Variante 2

Wenn BIM richtig angewendet und umgesetzt wird, bietet BIM bzw. Madaster den größten Funktionsumfang aller Varianten. Nicht nur die Erstellung von Materialpässen sondern auch die Erstellung von Zertifizierungen oder die Nutzung anderer Softwarelösungen profitieren vom BIM-Ansatz (vgl. Kapitel 2.3.1). Die Variante 2.1 bietet hierbei den größten Nutzen, da die Quelldatei, sofern das BIM-Modell die Anforderungen erfüllt, mit geringem Aufwand erstellt und in Madaster hochgeladen werden kann. Die Variante 2.2 sollte, sofern sich für die Plattform Madaster entschieden wird, als Übergangslösung genutzt werden. Hier ist der Aufwand zur Erstellung der Quelldatei wesentlich höher (die Erstellung des BIM-Modells nicht mitbetrachtet) und die Auswertungen der Madasterplattform sind nicht so aussagekräftig.

5.3 Vergleich der Varianten bezüglich Anforderungserfüllung, Aufwand und Kosten

Bei der Variante 2 wird durch die genannten Vorteile durch BIM für die Nachhaltigkeit langfristig die Variante 2.1 empfohlen. Wie in Tabelle 13 zu sehen, bietet Madaster unter allen Varianten den besten Rückverfolgungsgrad und ist durch den automatisierten Ablauf im Aufwand gering (Entwicklung und Umsetzung der BIM-Strategie ausgeschlossen). Die Variante 1.2 bietet für wenig Aufwand (anfänglich etwas höher) einen sehr guten

Erfüllungsgrad und wird somit als Übergangslösung, bis die BIM-Strategie feststeht und gänzlich umgesetzt wird, zur Umsetzung des Materialpasses empfohlen.

Die Tabelle 13 zeigt außerdem, dass die Variante 1.1 am schlechtesten bei der Erfüllung der Anforderungen abschneidet. Die Variante 1.3 bietet zusätzlich Vorteile bei der Rückverfolgung und kann nach erfolgreicher Einführung der Variante 1.2 ergänzt werden. Fokus sollte jedoch auf einem funktionalen Materialpass liegen. Die Variante 2.2 bietet dieselben Vorteile durch Madaster wie bei der Variante 2.1, es ist jedoch durch die Erstellung der Excelliste ein größerer zeitlicher Aufwand pro Gebäude nötig.

Tabelle 13: Vergleich der drei Varianten auf die Anforderungen aus Kapitel 4.2

Nr.	Information	Variante 1			Variante 2	
		Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 2.1	Variante 2.2
1	Kosten	gering	gering	hoch	mittel	mittel
2	Zeitlicher Aufwand für die Einführung	mittel	gering	mittel	gering	mittel
3	Anpassungsfähigkeit (während Lebenszyklus)	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓
4	Rückverfolgungsgrad	2-3	3	3	4	4
5	Art der Bauweise	✓	✓	✓	✓	✓
6	Materialqualität	(✓)	✓	✓	✓	✓
7	Materialmengen	✓	✓	✓	✓	✓
8	Technische Lebensdauer	(✓)	✓	✓	✓	✓
9	Art der Verbindungen	(✓)	✓	✓	(✓)	(✓)
10	Einbauort	✓	✓	✓	✓	✓
11	Einbaulage	(✓)	✓	✓	✓	✓
12	Schadstoffgehalt	(✓)	✓	✓	(✓)	(✓)
13	Rückbau-, Recyclingfreundlichkeit	(✓)	(✓)	✓	✓	✓
14	Recyclingwahrscheinlichkeit	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓

✓ vorhanden oder erfüllt

(✓) Teilweise vorhanden oder teilweise erfüllt

✗ nicht vorhanden oder nicht erfüllt

5.4 Zeitliche Umsetzung der Variante 2.1 und nötige Anpassungen

In der Abbildung 44 ist der zeitliche Ablauf, eine Roadmap, zur Umsetzung der vorgeschlagenen Variante 2.1 und 1.2 dargestellt. Die Punkte werden nachfolgend genauer beschrieben und nötige Anpassungen formuliert.

Eine zeitliche Einordnung der Umsetzung des Vorschlags ist schwer einzuschätzen, da aktuell sowohl auf politischer Ebene als auch in der Baubranche selbst, noch keine allgemeinen Regelungen getroffen oder eine Einigung bezüglich des Materialpasses feststeht. Dennoch lässt sich, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, aus verschiedenen Verordnungen (z.B. Öko-design Verordnung, Bauproduktenverordnung, Lieferkettengesetz) oder Zielsetzungen (Agenda 2030 oder DNS) eine verpflichtende Umsetzung erahnen. WeberHaus kann die Zeit nutzen und eine Vorreiterrolle in diesem Bereich einnehmen und sich somit durch Differenzierung einen Wettbewerbsvorteil erschaffen [104, p. 84]. Hierzu ist es nötig, sich frühzeitig mit der Kreislaufwirtschaft und somit den Materialpässen auseinanderzusetzen.

WeberHaus sollte zuerst eine Nachhaltigkeits- bzw. Kreislaufwirtschafts-Strategie entwickeln. Hierzu wäre es sinnvoll eine Arbeitsgruppe zu bilden, in der verschiedene Experten und Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette integriert sind, um ein möglichst großes Wissen und möglichst viele Bedürfnisse abzudecken [105, p. 14]. Experten und Stakeholder sollten z.B. aus den internen Bereichen der Digitalisierung, Materialwirtschaft/Einkauf, Normung, Zertifizierung, Produktion und Montage und externen Bereichen der Lieferanten, Subunternehmer und Verbänden stammen. Die Mitglieder der Arbeitsgruppe sollten kurz- und langfristige Ziele für WeberHaus definieren, die sich an den SDGs bzw. den Zielen der DNS orientieren [105, p. 19]. Die Ziele werden anschließend in Aktionen umformuliert, priorisiert, Ressourcen zugeteilt und zeitlich geplant. Die Arbeitsgruppe sollte außerdem z.B. durch Offenlegung des CO₂ Ausstoßes von Unternehmen und Produkten und der Herkunft der Materialien zur Transparenz für die Nachhaltigkeit beisteuern. Zusätzlich ist es wichtig, Anreize und das Bewusstsein für Ressourcenschonung zu stärken. Dies wäre z.B. durch Überlegungen zu Geschäftsmodellen, Weiterbildungen, Informationsmaterial und Hilfsmittel möglich [106]. Die Abläufe und Prozesse zur Kreislaufwirtschaft und BIM sollten für alle Beteiligten veranschaulicht werden.

Als nächster Schritt wird empfohlen eine BIM-Strategie zu entwickeln, die vor allem die Nachhaltigkeitsanforderungen berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.3.1 und 4.3). Hierzu ist es nötig, die BIM Rollen zu verteilen, Anforderungen an die BIM Modelle zu formulieren, in den AIA's festzuhalten und in den Fach-Modellen umzusetzen. Dritte (Lieferanten, Subunternehmer) müssen hierfür einbezogen und die Zusammenarbeit vertraglich geregelt werden.

Bis eine solche BIM-Strategie feststeht und tatsächlich umgesetzt wird, soll die Variante 1.2, wie in Kapitel 4.4 und 5.1 beschrieben, umgesetzt werden. Die Variante 1.2 erfüllt die in Tabelle 13 dargestellten Anforderungen übergangsweise. Zuletzt wird die Variante 2.1, wie in Kapitel 4.4 und 5.2 beschrieben, umgesetzt. Hierbei ist wichtig, dass die Variante mit allen Beteiligten diskutiert und ggf. angepasst wird. Die Verantwortlichkeiten und Aufgaben sind dabei klar zu definieren.

Eine Veränderung kann durch Top-Down (EU, Deutschland durch Behörden oder Politik) oder Bottom-Up-Ansätze (lokal durch z.B. Unternehmen) von verschiedenen Stakeholdern beeinflusst werden. Öffentliche Behörden nehmen zwar eine Schlüsselrolle ein, Unternehmen können jedoch z.B. durch Pilotprojekte bei der Umsetzung unterstützen [105, p. 14]. Bei der jetzigen rechtlichen Situation für die Kreislaufwirtschaft und der noch unklaren Form von Materialpässen kann durch Unternehmen eine eigene Strategie entworfen werden, die aber ständig mit den internationalen oder nationalen Strategien abgeglichen werden muss. Die Strategie mit Zielen und einer Umsetzung muss ggf. den neuen Gegebenheiten angepasst werden [105, p. 12].

Damit eine Veränderung gelingt, müssen gewisse Rahmenbedingungen erfüllt sein, wozu eine passende Unternehmenskultur gehört. Außerdem schlägt John P. Kotter (Professor und Autor) eine Umsetzung des Wandels mithilfe eines „Acht-Stufen-Prozesses“ vor. Beide Punkte sind bei der Umsetzung zu beachten [107, pp. 15-17].

Um den Fortschritt und Wirksamkeit der Umsetzungen von Zielen zur Kreislaufwirtschaft oder zur Variante zu messen, bedarf es Indikatoren. Diese müssen definiert, Grenzwerte festgelegt und in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Die Indikatoren sollten so definiert werden, dass diese messbar sind. Wird eine Abweichung vom Ziel festgestellt, sind ggf. Gegenmaßnahmen einzuleiten. Beispielfhaft sind in nachfolgender Tabelle solche Indikatoren festgelegt.

Tabelle 14: Mögliche messbare Indikatoren für die Umsetzung [105]

Indikatoren	Einheit
Menge an eingespartem Material	m ³
Anzahl zertifizierter Gebäude	Stück
Menge der ausgestellten Materialpässe	Stück
Anzahl der Schulungen	Stück

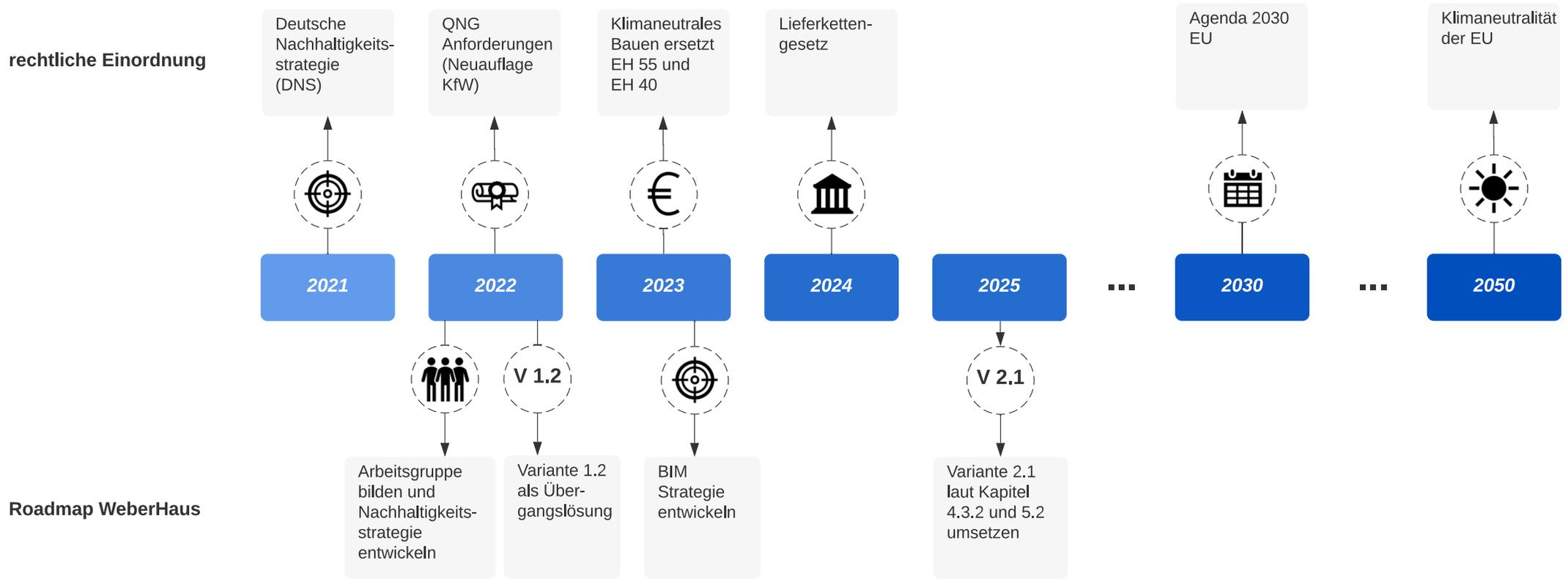


Abbildung 44: Roadmap WeberHaus zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft und der Varianten 1.2 und 2.1 (eigene Darstellung)

6 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Masterarbeit war es, den Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses aufzuzeigen, einen Vorschlag für eine Einführung von Materialpässen bei WeberHaus zu liefern, das Bewusstsein für die Kreislaufwirtschaft zu stärken und die Dringlichkeit zu verdeutlichen. Letzteres wurde durch die geführten Interviews und Gespräche mit den Beteiligten im Unternehmen erreicht. Aus dem aktuellen Forschungsstand, den Interviews und aus dem vorhandenen Informations- und Materialfluss ergaben sich zwei Varianten zur Umsetzung eines Materialpasses bei WeberHaus.

Die Untersuchung der Anforderungen von WeberHaus, der Politik und Zertifizierungsstellen an Materialpässe ergab, dass noch keine einheitliche Form und Inhalt bekannt sind. Der größtmögliche Nutzen für die Kreislaufwirtschaft wird jedoch durch eine Veröffentlichung der Daten erwartet. Der Materialpass sollte außerdem anpassbar und zugänglich sein, wofür bei WeberHaus die digitale Hausakte in Zukunft ein großes Potenzial bietet. Die Untersuchung zeigte auch, dass die Anforderungen an die Nachhaltigkeit immer weiter steigen und somit auch der nötige Aufwand, diese zu erfüllen, zunimmt. BIM in der Kombination mit Madaster hat sich durch die hohe Anforderungserfüllung und den möglichen halbautomatischen Workflow hierfür als zielführend erwiesen. Dabei ist zu beachten, dass BIM allein die Anforderungen (vgl. Kapitel 4.3) nicht erfüllt, sondern die Nachhaltigkeit und Madaster spezielle Umsetzungen erfordern, die für BIM berücksichtigt werden müssen (vgl. Kapitel 2.3.1, 2.3.2 und 5.2). Als nahezu einzige Softwarelösung verbindet Madaster die Modelle automatisch mit Datenbanken und liefert so zusätzliche Informationen wie z.B. Material-Restwerte und Zirkularität. Eine solche Umsetzung wird in der vorliegenden Arbeit durch die Variante 2.1 in Kapitel 4.4.2 beschrieben und empfohlen. Diese Variante erfüllt die in Kapitel 4.3 definierten Anforderungen für einen Materialpass zwar am besten, für eine Umsetzung sind jedoch Fachmodelle oder ein Koordinationsmodell im BIM Sinn nötig. Bis eine solche Umsetzung möglich ist und eine BIM-Strategie entwickelt wird, wird übergangsweise die Variante 1.2 empfohlen, die eine Umsetzung auf Elementebene beschreibt.

Bei der Aufnahme des Ist-Zustandes des Materialflusses hat es sich als sinnvoll erwiesen, eine Unterscheidung der Materialien für das gesamte Unternehmen, auf Gebäudeebene und auf Elementebene zu machen. Der Materialfluss im gesamten Unternehmen lieferte eine grobe Übersicht, die Unterscheidung auf Gebäudeebene und Elementebene lieferten die Grundlage für die Varianten der Umsetzung eines Materialpasses. Vor allem die Elementebene stellte sich als standardisierbar und beliebig erweiterbar heraus. Der Informationsfluss war jedoch durch die vielen kulturbedingten Software-Systeme und die fehlende Durchgängigkeit schwer zu durchschauen. Das Konstruktionsprogramm Dietrich's lieferte

für den Materialfluss eine halbautomatische Möglichkeit die Materialien aufzunehmen, die durch SAP manuell ergänzt wurden. SAP wurde dabei als nahezu vollständig angesehen, wozu WeKo nur vereinzelt bei Ergänzungen zum Einsatz kam. Für eine halbautomatische Erfüllung der Anforderungen an die Nachhaltigkeit und Materialpässe müssten in SAP und in den Konstruktionsmodellen z.B. die Materialidentifikationsnummern oder Bezeichnungen geändert werden. Dies ist nötig, um SAP oder die Konstruktionsmodelle zukünftig an Nachhaltigkeitssoftware oder Datenbanken knüpfen zu können.

In anderen Branchen sind Produktpässe, Rücknahmevereinbarungen oder Demontagehinweise mit Normen, um Ressourcen zu schonen und die Kreislaufwirtschaft zu stärken, schon gängige Praxis. Auch für die Baubranche wird das Thema, vor allem durch Materialpässe immer relevanter, was z.B. das steigende politische Interesse zeigt. Eine zeitliche Umsetzung ist dabei im Moment nur schwer abschätzbar. Für WeberHaus selbst ist das Thema jedoch durch die Umstellung auf die QNG-Zertifizierung schon teilweise relevant. Hier wird eine Art Materialpass jetzt schon verlangt, eine Umsetzung kann mithilfe der vorgeschlagenen Varianten erfolgen. Bei WeberHaus wurde bereits viel zur Umsetzung von BIM geforscht, jedoch nicht in Bezug auf die Nachhaltigkeit. Die Arbeit liefert hierfür Ansätze und sollte bei zukünftigen Forschungen berücksichtigt werden. Um außerdem in Zukunft einen Aufbau auf bereits durchgeführte Arbeiten zu erleichtern und einen möglichst großen Nutzen zu generieren, sollte eine Zusammenführung von bisherigen Forschungen erfolgen. Dies kann z.B. durch eine Auflistung und einem gemeinsamen Ablageort der Dateien umgesetzt werden.

Durch die noch ungewisse Situation in Bezug auf die Materialpässe sollten Anforderungen durch Gesetze etc. an Form und Inhalt im Blick behalten werden. Die Anzahl der Softwarelösungen für Materialpässe könnte in Zukunft von diversen Herstellern erhöht werden. Die Anbindung und der Umgang mit SAP könnte durch die Einführung der neuen Version von SAP vereinfacht und verbessert werden. Erleichtert werden könnte dies ebenso durch künstliche Intelligenz, welche ungeordneten Daten (z.B. Materialmengen von Gebäuden) erforderliche Nachhaltigkeitsinformationen zuordnen könnte. Durch eine ganzheitliche Rückverfolgung wäre eine Chargenverfolgung möglich, die z.B. Fehler aufdecken könnte. Hierzu wäre evtl. eine Statistik sinnvoll, die die Fehleranfälligkeit von Bauteilen, Materialien und Produkten klärt. Dies könnte auch Hinweise auf Wartungsintervalle liefern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Einführung eines Materialpasses durch WeberHaus jetzt schon möglich wäre und Mehrwerte bieten könnte. Nötig ist eine frühzeitige Auseinandersetzung mit dem Thema, wodurch die gesetzlichen Anforderungen schnell

umgesetzt werden können, ein Wettbewerbsvorteil ermöglicht, Ressourceneffizienz gesteigert und langfristig eine ganzheitliche Kreislaufwirtschaft realisiert werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Statista Research Department, „Statista,“ 04. September 2021. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37749/umfrage/artenvielfalt-tiere-auf-der-roten-liste/>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [2] Statista Research Department, „Statista,“ 2021. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/241142/umfrage/versicherungsschaeden-von-naturkatastrophen-weltweit/>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [3] Statista Research Department, „Statista,“ Februar 2021. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157755/umfrage/klimawandel-die-weltweit-waermsten-jahre-seit-1880/>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [4] Statista Research Department, „Statista,“ 09. Mai 2022. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/611134/umfrage/flaeche-der-arktis/>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [5] Statista Research Department, „Statista,“ Juli 2021. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1032598/umfrage/globaler-erdueberlastungstag/>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [6] United Nations, "UN Sustainable Development Goals," [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>. [Accessed 19. Mai 2022].
- [7] Europäisches Parlament, "Communication from the Commission. The European Green Deal," Brüssel, 2019.
- [8] United Nations, „Decade of Action,“ [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/decade-of-action/>. [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [9] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie,“ [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/bregde/themen/nachhaltigkeitspolitik/eine-strategie-begleitet-uns/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie>. [Zugriff am 15. Mai 2022].

- [10] The Climate Choice, „2020 – Das Jahr der Klimatransformation. Über 1500 Unternehmen wollen klimaneutral werden,“ [Online]. Available: <https://theclimatechoice.com/de/tag/co2-bilanz/>. [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [11] Umweltbundesamt, „Abfallrecht,“ 12. April 2022. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>. [Zugriff am 19. Mai 2022].
- [12] The Ellen MacArthur Foundation, „Circular economy introduction,“ [Online]. Available: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. [Zugriff am 15. Mai 2022].
- [13] A. Hillebrandt, P. Liegler-Floors, A. Rosen und J.-K. Seggewies, Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail, 2018.
- [14] Kreditanstalt für Wiederaufbau, „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG),“ [Online]. Available: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude/>. [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [15] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG),“ [Online]. Available: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/>. [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [16] Statista Research Department, „Anteil der Bauinvestitionen an der Verwendung des Bruttoinlandsprodukts* in Deutschland im Jahr 2020,“ 01. April 2022. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151966/umfrage/deutsche-bauwirtschaft-eingeordnet-im-bruttoinlandsprodukt/#:~:text=Die%20Statistik%20zeigt%20den%20Anteil,rund%203%2C37%20Millionen%20Euro..> [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [17] NABU, „Kreislaufwirtschaft in Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/kreislaufwirtschaft/29818.html>. [Zugriff am 14. Mai 2022].
- [18] Statistisches Bundesamt, „Umwelt. Abfallbilanz 2019 (Abfallaufkommen/ -verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen),“ Wiesbaden, 2021.

- [19] V. John und T. Stark, „Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE),“ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, 2021.
- [20] ██████████, Interviewees, *Kreislaufwirtschaft, Rückverfolgung bei WeberHaus*. [Interview]. 25. April 2022.
- [21] Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, „Kreislaufwirtschaft in Deutschland: Mit Recycling gegen Ressourcenknappheit? Interview mit Eric Rehbock,“ 25. August 2021. [Online]. Available: <https://www.bvse.de/recycling/recycling-nachrichten/7578-kreislaufwirtschaft-in-deutschland-mit-recycling-gegen-ressourcenknappheit.html#:~:text=Mit%20einem%20Beschaffungsvolumen%20von%20%C3%BCber,oder%20Geb%C3%A4udebau%20oder%20der%20Verwaltung..> [Zugriff am 10. Mai 2022].
- [22] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ zur Fördersituation und Nachhaltigkeit*. [Interview]. 28. April 2022.
- [23] R. E. Hjaltadóttir und P. Hild, „European Planning Studies. Circular Economy in the building industry. European policy and local practices,“ Informa UK Limited, 2021.
- [24] N. Bartels, J. Höper, S. Theißen und R. Wimmer, *Anwendung der BIM-Methode im nachhaltigen Bauen. Status quo von Einsatzmöglichkeiten in der Praxis*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022.
- [25] Europäisches Parlament, „Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile,“ [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>. [Zugriff am 24. Juli 2022].
- [26] H. Achenbach und S. Rüter, „Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise,“ Thünen-Institut, Braunschweig, 2016.
- [27] TU Wien, „Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens,“ Wien, 2020.
- [28] H. R. O. L. H. G. M. Kovacic, *Prozess-Design für den "Building Information Modeling"(BIM) basierten, materialien Gebäudepass*, Wien: Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie, 2019.
- [29] G. e. a. Schiller, *Kartierung des anthropogenen Lagers 4: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des*

- Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings. Konzept für Materialinventare und -kataster, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2022.
- [30] SPD, Die Grünen, FDP, „Mehr Fortschritt wagen. Koalitionsvertrag 2021-2025,“ Dezember 2021. [Online]. Available: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf. [Zugriff am 15. Juni 2022].
- [31] T. Götz, T. Adisorn und L. Tholen, „Der Digitale Produktpass als Politik-Konzept,“ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, 2021.
- [32] Europäisches Parlament, „EU responses to climate change,“ [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07129/eu-responses-to-climate-change>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [33] Europäische Kommission, „Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa,“ 11 März 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1590755470418&uri=CELEX%3A52020DC0098>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [34] Europäische Kommission, „EU-Kommission: Überarbeitung der Baurproduktenverordnung,“ 30 März 2022. [Online]. Available: https://geg-info.de/geg_news/220412_eu_kommission_faq_ueberarbeitung_eu_bauprodukteverordnung.pdf. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [35] Bundesregierung, „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021 - Kurzfassung,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873556/b84e1a8f091845c8880ffb397d1fe6cb/2021-05-12-dns-2021-kurzfassung-final-barrierefrei-data.pdf?download=1>. [Zugriff am 25. Juli 2022].
- [36] S. Zeisel, Lieferkettengesetz. Sorgfaltspflichten in der Supply Chain verstehen und umsetzen, Wiesbaden: Springer Gabler, 2021.
- [37] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG),“ [Online]. Available: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/>. [Zugriff am 12. Juli 2022].

- [38] BiRN, „Was ist das BNK-System?“, [Online]. Available: <https://www.bau-irn.com/bnk-system-qng/was-ist-das-bnk-system>. [Zugriff am 15. Juli 2022].
- [39] BDF, „Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertigung“, [Online]. Available: <https://www.fertigung.de/bdf/wer-wir-sind/qualitaetsgemeinschaft/#:~:text=Die%20QDF%2DSatzung%202022%20ist,funktionale%20Qualit%C3%A4t%20sowie%20technische%20Qualit%C3%A4t>. [Zugriff am 20. Juli 2022].
- [40] Sentinel Haus Institut, „Kriterienkatalog für die Zertifizierung von Bauunternehmen“, [Online]. Available: https://www.sentinel-haus.de/Sentinel%20Portal/Qualit%C3%A4ten%20%26%20Pr%C3%BCfverfahren/Kriterien_zu_Zertifizierung_von_Bauunternehmen.pdf. [Zugriff am 19. Juli 2022].
- [41] TÜV Rheinland, „Kriterienkatalog "schadstoffgeprüft",“ [Online]. Available: https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/services/products/0213-tuv-rheinland-low-pollutant-construction/tuv-rheinland-de19_i061900722_de_whitepaper_kk_geb%C3%A4udeschadst_a4_web.pdf. [Zugriff am 19. Juli 2022].
- [42] KEYENCE DEUTSCHLAND GmbH, „Rückverfolgbarkeitsleitfaden“, [Online]. Available: https://www.keyence.de/ss/products/marking/traceability/law_basic.jsp#sect_02. [Zugriff am 1. August 2022].
- [43] Cornelsen Verlag GmbH, „Dokumentation“, [Online]. Available: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Dokumentation>. [Zugriff am 9. August 2022].
- [44] M.-B. K. Helmus, „Building Information Modeling und Prozesse. Teil 1: Grundlagenbericht“, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, 2017.
- [45] K. K. B. Borrmann, Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [46] A. Messmer, BIM-Ein Praxisleitfaden für Geodäten und Ingenieure. Grundwissen für Geodäten und Ingenieure, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.
- [47] VDI, „VDI Richtlinie 2552 - Blatt 4: Building Information Modeling - Anforderungen an den Datenaustausch“, Beuth Verlag, Berlin, 2020.

- [48] Madaster Germany GmbH, „Madaster - Das Kataster für Materialien,“ [Online]. Available: <https://madaster.de/>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [49] Madaster Germany GmbH, „Über uns,“ [Online]. Available: <https://madaster.de/governance-struktur/>. [Zugriff am 10. Juli 2022].
- [50] Madaster Germany GmbH, *Lizenzmodelle Germany Präsentation*, Berlin, 2021.
- [51] Madaster Germany GmbH, „Madaster Benutzerhandbuch,“ [Online]. Available: <https://docs.madaster.com/files/de/Madaster%20-%20Benutzerhandbuch.pdf>. [Zugriff am 18. Juli 2022].
- [52] Madaster Germany GmbH, *Madaster Ablaufplan Material Passport*, Berlin, 2021.
- [53] Concular GmbH, „Presse & Mediadaten,“ [Online]. Available: <https://concular.de/de/presse-mediadaten/>. [Zugriff am 13. Juni 2022].
- [54] Concular GmbH, „Feature-Sectionblock,“ [Online]. Available: https://concular.de/de/#feature-sectionblock_6080590e038c4. [Zugriff am 13. Juni 2022].
- [55] Empa, „Das ist NEST,“ [Online]. Available: <https://www.empa.ch/de/web/nest/aboutnest>. [Zugriff am 3. August 2022].
- [56] F. Heisel und S. Rau-Oberhuber, „Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster,“ *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- [57] Empa, „Urban Mining & Recycling,“ [Online]. Available: <https://www.empa.ch/web/nest/urban-mining>. [Zugriff am 3. August 2022].
- [58] DBU und TUM, „Stoffpass Gebäude - Entwicklung eines operativen Stoffstrommanagements für Neubau und Bestand,“ 2015. [Online]. Available: https://www.dbu.de/projekt_31077/01_db_2848.html. [Zugriff am 3. August 2022].
- [59] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, „Hausakte für den Neubau von Einfamilienhäusern,“ [Online]. Available: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/kostengue-nstig-qualitaetsbewusst-bauen/downloads/Hausakte.pdf>. [Zugriff am 26. Juli 2022].

- [60] Bundesverband Deutscher Fertigung e.V., „Fertighäuser: Hausakte dokumentiert Qualität und wichtige Merkmale,“ [Online]. Available: <https://www.fertigung.de/news/1479/fertigh%C3%83%C2%A4user-hausakte-dokumentiert-qualit%C3%83%C2%A4t-und-wichtige-merkmale.html>. [Zugriff am 15. Juni 2022].
- [61] Apple Inc., „Umweltschutz,“ [Online]. Available: <https://www.apple.com/de/environment/>. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [62] Apple Inc., „Liam - An Innovation Story,“ [Online]. Available: https://www.apple.com/environment/pdf/Liam_white_paper_Sept2016.pdf. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [63] Apple Inc., „Apple Recycler Guide,“ [Online]. Available: https://www.apple.com/recycling/recycler-guides/pdf/products/iPhone_13_Pro_iPhone_13_Pro_Max_Recycling_English.pdf. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [64] Apple Inc., „Apple Trade In,“ [Online]. Available: <https://www.apple.com/de/trade-in/>. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [65] Apple Inc., „Material Impact Profiles,“ [Online]. Available: https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Material_Impact_Profiles_April2019.pdf. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [66] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, „Empfehlung zur Umsetzung der Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln,“ 16 Oktober 2018. [Online]. Available: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/Rueckverfolgbarkeit/Leitfaden_Rueckverfolgbarkeit.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 26. Juli 2022].
- [67] Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Praxisstudie: Rückverfolgbarkeit in kleinen und mittleren Lebensmittelbetrieben,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.ipm.berlin/wp-content/uploads/2019/12/rueckverfolgbarkeit-in-kleinen-und-mittleren-lebensmittelbetrieben.pdf>. [Zugriff am 20. Juli 2022].
- [68] J. L. Moro, Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail. Band 1 - Grundlagen. 3. Auflage, Berlin: Springer Vieweg, 2021.
- [69] Bundesverband Deutscher Fertigung e.V. (BDF), „Wirtschaftliche Lage der deutschen Fertigungsindustrie 2021,“ 2021. [Online]. Available:

- <https://www.fertigbau.de/bdf/unsere-branch/index.html#&panel1-1&panel2-1>. [Zugriff am 10. Mai 2022].
- [70] SchwörerHaus GmbH & Co. KG, „SchwörerHaus - Zahlen und Fakten,“ [Online]. Available: <https://www.schworerer-fertigbad.de/de/unternehmen/schworerer-gruppe-schworerer-standorte#:~:text=Schw%C3%B6rerHaus%20%E2%80%93%20Zahlen%20und%20Fakten,320%20Millionen%20Euro..> [Zugriff am 6. Mai 2022].
- [71] WeberHaus GmbH & Co. KG, „Geschäftsjahr 2019: vertriebsstärkstes Jahr in der WeberHaus-Geschichte,“ 27. Mai 2020. [Online]. Available: <https://www.weberhaus.de/presse/artikel/geschaeftsjahr-2019-vertriebsstaerkstes-jahr-in-der-weberhaus-geschichte/>. [Zugriff am 8. Mai 2022].
- [72] Holzkurier, „Erfolgreiches Jahr für Haas Fertigbau,“ März 2021. [Online]. Available: <https://www.holzkurier.com/holzbau/2021/03/erfolgreiches-jahr-fuer-haas-.html#:~:text=Mit%20einem%20Umsatz%20von%20228,Vorjahreswert%20um%20fast%2020%25%20%C3%BCbertroffen..> [Zugriff am 10. Mai 2022].
- [73] S. Winter und M. Peter, Holzbau-Taschenbuch. Grundlagen. 10. Auflage., Berlin: Ernst & Sohn, 2021.
- [74] WeberHaus GmbH & Co. KG, *WeberHaus Magazin*, pp. 9, 19, 25, 60, 139, 149, 191, 194-195, 200-201.
- [75] WeberHaus GmbH & Co. KG, „Gewinnen wir gemeinsam,“ [Online]. Available: <https://www.weberhaus.de/unternehmen/>. [Zugriff am 5. Mai 2022].
- [76] BaustoffWissen, „Was ist ein Effizienzhaus 40 Plus?,“ [Online]. Available: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/energetisches-bauen/effizienzhaus-40-plus-definition-gebaeudestandard-kfw-bank-jahres-primarenergiebedarf-referenzgebaeude/#:~:text=Neuer%20Standard%2040%20Plus&text=F%C3%BCr%20den%20neuen%20Geb%C3%9C>. [Zugriff am 13. Juni 2022].
- [77] ■■■■■, „Bachelorarbeit WeberHaus - Aspekte der Kreislaufwirtschaft im Holz-Fertighausbau,“ Rheinau-Linx, 2022.
- [78] WeberHaus GmbH & Co. KG, „WeberHaus-Magazin 2021,“ Rheinau-Linx, 2021.

- [79] WeberHaus GmbH & Co. KG, „Ausbaustufen: schlüsselfertig oder mit Eigenleistung,“ [Online]. Available: <https://www.weberhaus.de/haeuser/preise-leistungen/>. [Zugriff am 05. Mai 2022].
- [80] ██████████, „Buidling Information Modeling. Reifegrad-Bestimmung bei WeberHaus und Modellierung eines Soll-Konzepts,“ Rheinau-Linx, 2018.
- [81] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ - WeberHaus*. [Interview]. 21. April 2022.
- [82] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ (WeberHaus)*. [Interview]. 22. April 2022.
- [83] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ (WeberHaus)*. [Interview]. 07. April 2022.
- [84] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ (WeberHaus)*. [Interview]. 12. Mai 2022.
- [85] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ - WeberHaus Materialwirtschaft*. [Interview]. 21. Juni 2022.
- [86] ██████████, *Präsentation: WeberHaus - digitaler Zwilling*, Rheinau-Linx, 2019.
- [87] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████* [Interview]. 27. April 2022.
- [88] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ (WeberHaus)*. [Interview]. 2. Mai 2022.
- [89] ██████████, Interviewee, *Interview ██████████ (WeberHaus)*. [Interview]. 5. Mai 2022.
- [90] REMONDIS SE & Co. KG, „Gewerbeabfallverordnung,“ [Online]. Available: <https://www.remondis-gewerbeabfallverordnung.de/startseite/#:~:text=Die%20sogenannte%20Getrenntsammlungsquote%20gibt%20an,und%20dem%20Recycling%20zugef%C3%BChrt%20werden..> [Zugriff am 20. Juli 2022].
- [91] WeberHaus GmbH & Co. KG, „Funktionsübersicht WeKo,“ Rheinau-Linx.
- [92] Dietrichs Technology AG, „Über uns: Holzbau ist unser Programm!,“ [Online]. Available: <https://www.dietrichs.com/de/ueber-uns/>. [Zugriff am 27. Juni 2022].

- [93] ■■■■■, Interviewee, *Interview ■■■■■ (WeberHaus)*. [Interview]. 16. Mai 2022.
- [94] WeberHaus GmbH & Co. KG, „WeberHaus Fertighaus - Qualität und Nachhaltigkeit,“ [Online]. Available: https://www.weberhaus.de/?google_campaign_id=8093de20-4114-11eb-bc67-1866daef50cf&gclid=Cj0KCQjwz96WBhC8ARIsAATR252wavHM2qQM-RVEKfzRTpe17mBPj1kjpLSbJsGZLWtTC9t_ruodlgAaAts_EALw_wcB. [Zugriff am 9. Juni 2022].
- [95] WeberHaus GmbH, „SAP Transaktions-Auswertung des Marketings der Baureihen nach Ländern,“ Rheinau-Linx, 2022.
- [96] Madaster Germany GmbH, „Forderungen an einen digitalen Materialpass,“ [Online]. Available: <https://madaster.de/materialpass/>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [97] SAP Deutschland SE & Co. KG, „Exportieren von Daten nach Excel,“ [Online]. Available: https://help.sap.com/docs/SAP_BUSINESSOBJECTS_ANALYSIS,_EDITION_FOR_OLAP/dd3791e084a34f7db308b13d2e3be960/470f1be06e041014910aba7db0e91070.html?version=4.2.5. [Zugriff am 5. Juli 2022].
- [98] ■■■■■, Interviewee, *Interview ■■■■■*. [Interview]. 28. April 2022.
- [99] Madaster Germany GmbH, „Madaster Documentation,“ [Online]. Available: <https://docs.madaster.com/de/de/>. [Zugriff am 18. Juni 2022].
- [100] Madaster Germany GmbH, „Madaster BIM/IFC-Richtlinien,“ [Online]. Available: <https://docs.madaster.com/files/de/IFC-Richtlinien%20f%C3%BCr%20BIM%20Modelle.pdf>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [101] buildingSMART Deutschland e.V., „BIM Basis ILS,“ [Online]. Available: https://www.bimloket.nl/documents/BIM_basis_ILS_v2_A4_infographic_DE.pdf. [Zugriff am 12. Juli 2022].
- [102] Madaster Germany GmbH, „IFC-Parameter für die Madaster Plattform,“ [Online]. Available: <https://docs.madaster.com/files/de/IFC%20Parameter.pdf>. [Zugriff am 27. Juli 2022].
- [103] T. Hagendorn, Interviewee, *Interview Til Hagendorn*. [Interview]. 1. April 2022.

- [104] M. E. Porter, Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt: Campus, 2014.
- [105] E. Gobbo, „How to build a Roadmap,“ Brussels Environment, 2021.
- [106] The Climate Choice, „Neue Anforderungen an klimakompatible Beschaffung, die heute ganze Lieferketten transformieren,“ [Online]. Available: <https://theclimatechoice.com/de/tag/klimaneutralitaet/>. [Zugriff am 25. Juli 2022].
- [107] F. Schölch, „Optimierung des Bemusterungsprozesses zur Unterstützung der Bauausführung mit Lean und Agilem Management,“ HTWG Konstanz, Konstanz, 2020.
- [108] M. E. Porter, Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt: Campus, 2014.
- [109] Verein Deutscher Ingenieure e.V., *VDI-Richtlinie 2553. Lean Construction*, Berlin: Beuth, 2019.
- [110] J. e. a. Altner, *Lean Construction. Begriffe und Methoden*, Karlsruhe: GLCI e.V., 2019.
- [111] J. P. Kotter, *Leading Chance. Wie Sie Ihr Unternehmen in acht Schritten erfolgreich verändern*, München: Vahlen, 2015.
- [112] H. Arndt, *Supply Chain Management. Optimierung logistischer Prozesse*, Wiesbaden: SpringerGabler, 2021.
- [113] C. Hug, „Darstellung IT gestützter Systeme von WeberHaus,“ Rheinau-Linx, 2021.
- [114] *Einführung in WeKo*. [Film]. Rheinau-Linx: WeberHaus GmbH & Co. KG.
- [115] M. Hofmann, *Prozessoptimierung als ganzheitlicher Ansatz. Mit konkreten Praxisbeispielen für effiziente Arbeitsabläufe*, Wiesbaden: Springer Gabler, 2020.
- [116] Bauverlag BV GmbH, „Bilanzieren mit eLCA – Ökobilanzierung von Gebäuden Teil II,“ [Online]. Available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Bilanzieren_mit_eLCA_oekobilanzierung_von_Gebaeuden_Teil_II_3564383.html. [Zugriff am 22. Juli 2022].

- [117] Me QR, „Deinen dynamischen QR-Code erstellen,“ [Online]. Available: <https://me-qr.com/de/>. [Zugriff am 8. August 2022].
- [118] WeberHaus GmbH & Co., „Nachhaltige Produktion & smarte Robotik,“ [Online]. Available: <https://www.weberhaus.de/bauweise/nachhaltige-produktion/>. [Zugriff am 10. Juni 2022].
- [119] o.V., „Bemusterungen: Leistungsbild kennen und die richtigen Honorare abrechnen,“ *PBP Planungsbüro professionell*, p. 3, April 2016.

Anhang

A.1 Eidesstattliche Erklärung	XXII
A.2 Textanhänge	XXIII
A.2.1 Ergänzung zur Problemstellung (Kapitel 1.2).....	XXIII
A.2.2 Ergänzung zu den Dokumentations- und Handelsplattformen (Kapitel 2.3.2) ...	XXIV
A.2.3 Ergänzung zum Bewusstsein, Potenzialen und den Hemmnissen (Kapitel 4)....	XXV
A.2.3.1 Für die Kreislaufwirtschaft (Kapitel 4.1).....	XXV
A.2.3.2 Für die Rückverfolgung (Kapitel 4.2)	XXVII
A.2.4 Ergänzung zum Informationsfluss (Kapitel 3.5.1).....	XXIX
A.2.5 Darstellung IT gestützter Systeme	XXIX
A.2.6 Funktionsübersicht WEKO	XXIX
A.2.7 Ergänzung zur Implementierung der Varianten 1 und 2 (Kapitel 5)	XXX
A.3 Literaturanhänge	XXXII
A.3.1 Madaster Lizenzpreise (Kapitel 5.2).....	XXXII
A.3.2 Madaster Materialkategorisierung	XXXIII
A.3.3 Madaster Preiskategorisierung.....	XXXIII
A.3.4 Madaster Materialbezeichnung	XXXIII
A.3.5 Madaster Ausschnitt Excel-Vorlage	XXXIV
A.4 Aufmaß für den Materialfluss.....	XXXV
A.5 Interviewleitfaden, Codierungssystem und Transkripte	XXXIX
A.5.1 Interviewleitfaden	XXXIX
A.5.2 Codierungssystem.....	XXXIX
A.5.3 Til Hagendorn	XL
A.5.4 Uwe Manßhardt.....	XLVII
A.5.5 Stefan Schöpke	L
A.5.6 Jürgen Peter	LV
A.5.7 Daniel Eckstein -	LVIII
A.5.8 Dirk Weise und Maximilian Berger	LXII
A.5.9 Ralf Walter.....	LXVII
A.5.10 Antonia Quast.....	LXXI
A.5.11 Markus Gegg.....	LXXII
A.5.12 Florian Pustan	LXXV
A.5.13 Michael Sax.....	LXXVII
A.5.14 Rainer Vogt	LXXXI

A.1 Eidesstattliche Erklärung



Anlage zur Master-Thesis von

Frederik Schölch

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorstehende Master-Thesis selbständig angefertigt und die benutzten Hilfsmittel sowie die befragten Personen und Institutionen vollständig angegeben habe.

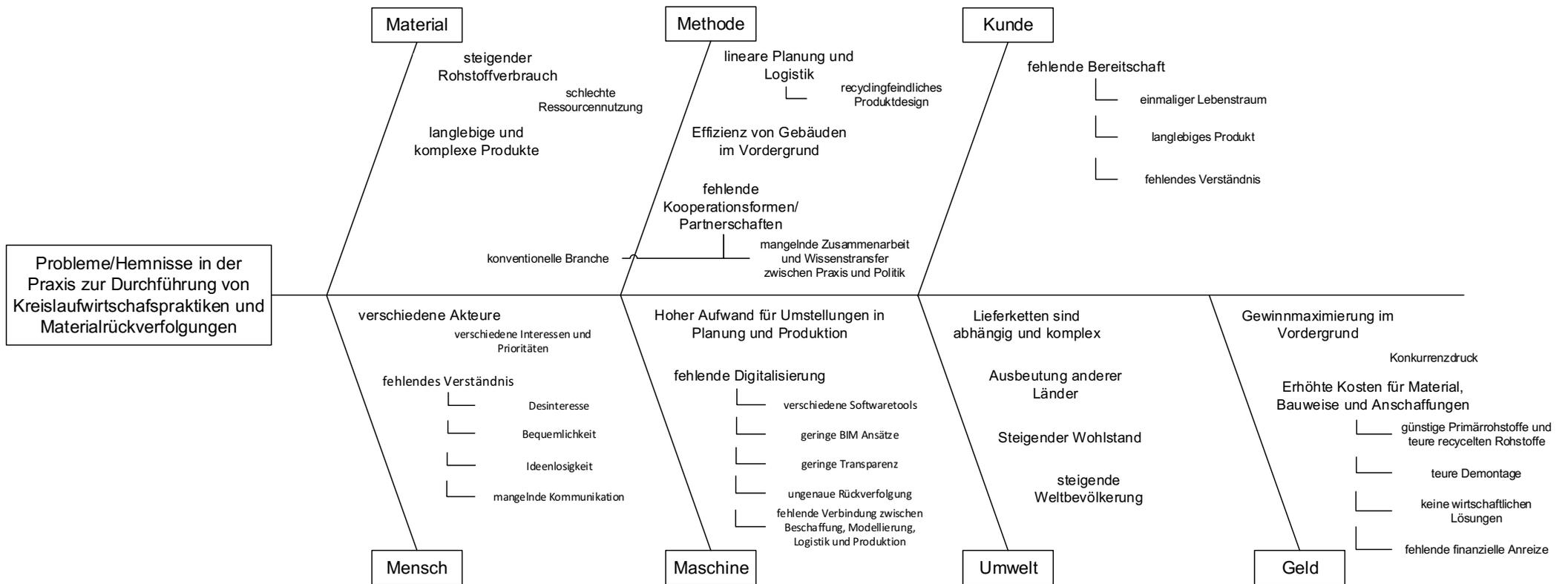
Oberkirch, 30.07.2022

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

A.2 Textanhänge

A.2.1 Ergänzung zur Problemstellung (Kapitel 1.2)



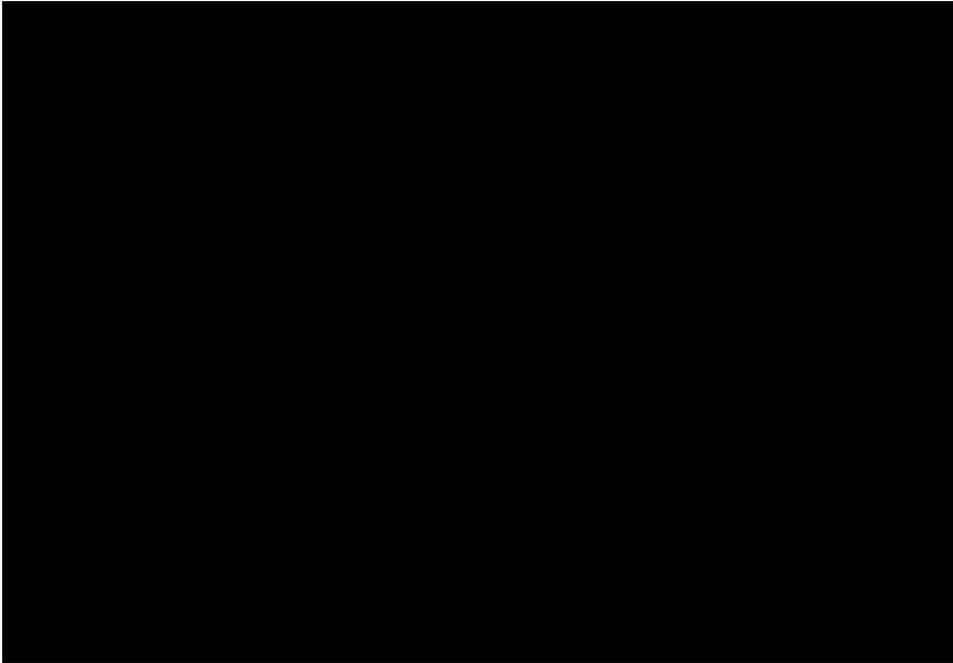
[Redacted text block]

Hemmnisse/Bedenken

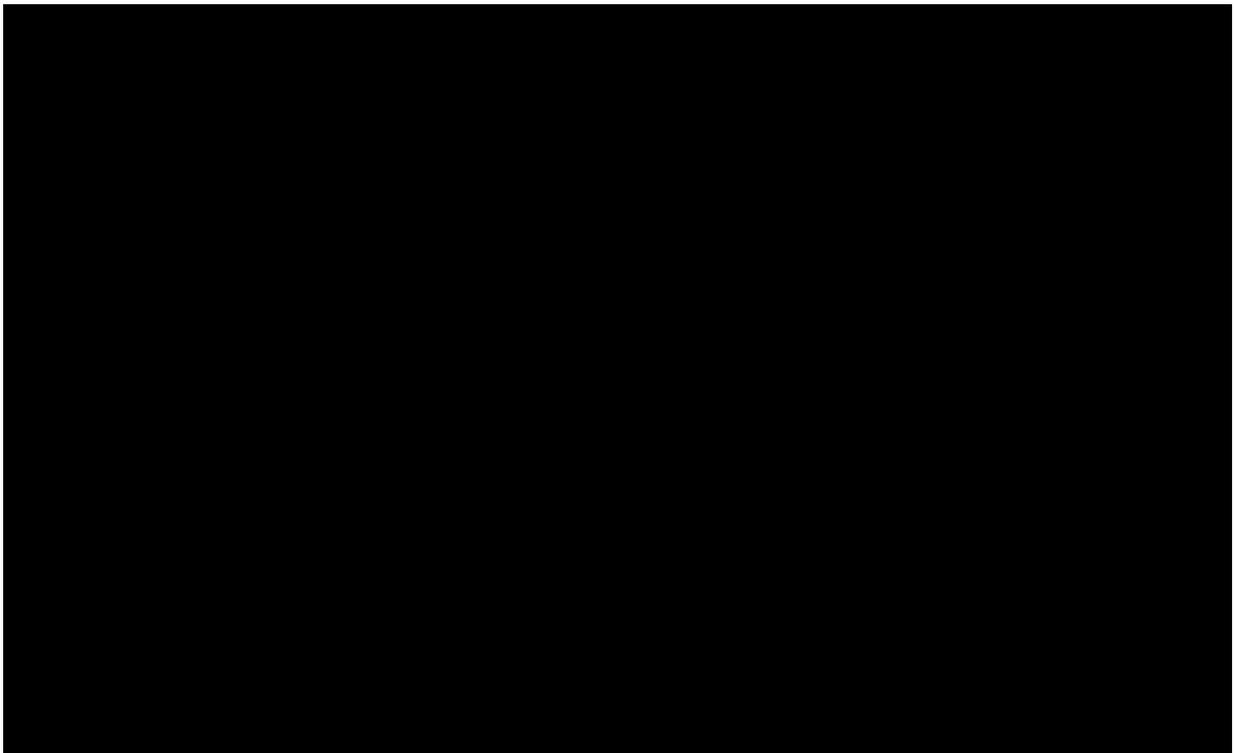
Kategorisierung der Hemmnisse	Hemmnisse/Bedenken
Hemmnisse WeberHaus	[Redacted text block]

A.2.4 Ergänzung zum Informationsfluss (Kapitel 3.5.1)

A.2.5 Darstellung IT gestützter Systeme



A.2.6 Funktionsübersicht WEKO



A.2.7 Ergänzung zur Implementierung der Varianten 1 und 2 (Kapitel 5)

Auszug aus der Bachelorarbeit [REDACTED]: Rückbau, Verwertung, Trennung (Kapitel 5.1/5.2)

Rückbau							
Was wird bewertet:				Punkte Beschreibung			
In der Kategorie "Rückbau" wird der Aufwand der Demontage der einzelnen Elemente bewertet. Betrachtet wird dabei, wie das jeweilige Element mit anderen Bauteilelemente verbunden ist und wie es sich davon lösen lässt. Die jeweilige Eignung wird anhand von Punkten von -2 bis 2 bewertet. Das Ergebnis wird unter Einbezug der Gewichtung (siehe Tabellenblatt "Gewichtung") der einzelnen Bauteile ermittelt.				Bewertung der Eignung	++	2	Der Rückbau ist mit Leichtigkeit zu erreichen.
					+	1	Der Rückbau ist mit leichten Aufwand möglich.
					+/-	0	Der Rückbau ist mit Aufwand möglich.
					-	-1	Der Rückbau ist mit hohem Aufwand möglich.
					-	-2	Der Rückbau ist nur mit sehr hohen Aufwand möglich.
Bauteil	Schichtenaufbau	Verbindungen	Demontageaufwand	Eignung	Punkte	Begründung	
Außenwand	Gipskartonplatte, Dampfbremse, Holzwerkstoffplatte, Holzständer, Mineralwolle, Holzfaserdämmplatte, Armierungsputz mit Gewebe, Edelputz	Schrauben und Winkel	mittel	+	1	Die Außenwände sind mit Schrauben miteinander verbunden. Eine Verbindung zu den Bodenplatte erfolgt mit verschraubten Zug-/Schubankern.	

Trennung								
Was wird bewertet:					Punkte Beschreibung			
In der Kategorie "Trennung" werden die rückgebauten Gebäudeelemente auf ihre Trennbarkeit überprüft. Es wird bewertet, mit welchem Aufwand die jeweiligen Schichten demontiert werden müssen und in welchem Maße diese sortenrein zurückgewonnen werden können. Dabei wird ebenfalls auf den Zustand der Materialien eingegangen. Die jeweilige Eignung wird anhand von Punkten von -2 bis 2 bewertet. Das Ergebnis wird durch das Bilden des Mittelwertes (pro Bauteil) und unter Einbezug der Gewichtung (siehe Tabellenblatt "Gewichtung") ermittelt.					Bewertung der Eignung	++	2	Sortenreine Trennung ist möglich.
						+	1	Sortenreine Trennung ist mit kleinem Aufwand möglich.
						+/-	0	Sortenreine Trennung ist mit Aufwand möglich.
						-	-1	Sortenreine Trennung ist mit sehr hohem Aufwand möglich.
						-	-2	Sortenreine Trennung ist nicht möglich.
Bauteil	Bauteilschicht	sortenreine Trennung	Aufwand	mögliche Rückstände	Zustand des Materials nach Demontage	Eignung	Punkte	Begründung
Außenwand								
	Gipskartonplatte	Nein	hoch	Putz, Tapete, Fliesen, Klammern	Bruchstücke	-	-2	Platten müssen einzeln von Wand entfernt werden. Klammern müssen einzeln entfernt werden. Beschichtung in Form von Tapete, Putz od. Fliesen sind zu entfernen.
	Dampfbremse	Ja	gering	/	Löcher von Befestigung, evtl. zerrissen	++	2	Folie wird von OSB heruntergezogen.
	Holzwerkstoffplatte	Ja	mittel	Klammern	Bruchstücke bis hin zu Platten	+	1	Klammern müssen einzeln entfernt werden. Platten werden herausgestemmt oder zwischen den Ständern herausgesägt.
	Holzfaserdämmplatte	Nein	mittel	Edelputz, Haftvermittler, Armierungsspachtel mit Gewebe, Klammern	Bruchstücke bis hin zu Platten	-	-2	Klammern müssen einzeln entfernt werden. Platten werden herausgestemmt oder zwischen den Ständern herausgesägt Außenputz lässt sich nicht vollständig entfernen.
	Mineralwolle	Ja	gering	/	vollständige Bahnen	++	2	Dämmung liegt lose zwischen den Ständern.
	Holzrahmenkonstruktion	Ja	mittel	Wellennägel	intakte Konstruktionsvollhölzer (KVH)	++	2	Lediglich das Entfernen der Nägel ist notwendig.
	Installationen (Leerrohre)	Ja	gering	/	intakte Leerrohre	++	2	Die Installationen sind lediglich mit Klammern befestigt.
	Abschlussprofil	Ja	mittel	Montageschaum	vollständiges Profil	+/-	0	Profil kann abgezogen werden.
	Feuchteschutz (Folie)	Ja	gering	Klammern	Löcher von Befestigung, evtl. zerrissen	+	1	Folie wird von Holzständer heruntergezogen.
	Fenster u. -türen	Ja-komplettes Element	mittel	Montageschaum	komplette Elemente, evtl. Rahmen zersägt	+/-	0	Fenster sind in Wand verschraubt und mit Montageschaum abgedichtet.
	Gefälledämmkeil	Nein	mittel	EPDM-Folie	Bruchstücke	-	-2	EPDM-Folie wird auf Gefälledämmkeil geklebt.
	EPDM-Folie	Nein	mittel	Gefälledämmkeil	Bruchstücke	-	-2	EPDM-Folie wird auf Gefälledämmkeil geklebt.
	Gima-Leibung	Ja	mittel	Montageschaum	Bruchstücke	+/-	0	
	Gemittelte Punktzahl					+/-	0,15	

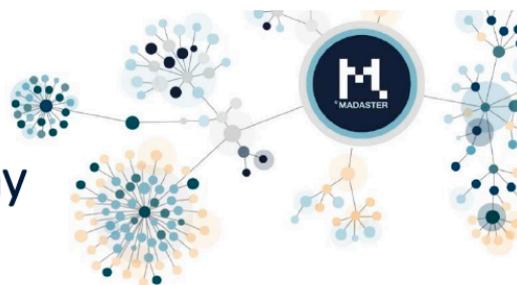
Verwertung																																																																																																																																																																																																															
Was wird bewertet:																																																																																																																																																																																																															
In der Kategorie "Verwertung" wird bewertet, inwiefern die zurückgebauten Materialien wiederverwendet werden können. Dabei werden die aktuell auf dem Markt vorhandenen Verfahren berücksichtigt. Es folgt eine Bewertung nach den einzelnen Elementen Gründung, Außenwand, Innenwand, Decke EG, Decke DG und Dach in Bezug ihrer einzelner Bestandteile. Die jeweilige Eignung wird anhand von Punkten von -2 bis 2 bewertet. Das Ergebnis wird durch das Bilden des Mittelwertes (pro Bauteil) und unter Einbezug der Gewichtung ermittelt.						Bewertung der Eignung	++	2	Material kann hochwertig verwertet werden. --> behält Eigenschaften																																																																																																																																																																																																						
							+/-	0	Material kann unter Aufwand verwertet oder teilweise verwertet werden.																																																																																																																																																																																																						
							-	-1	Material kann unter hohem Ressourcenverbrauch verwertet werden.																																																																																																																																																																																																						
							-	-2	Material kann nicht verwertet werden.																																																																																																																																																																																																						
							<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material</th> <th rowspan="2">Verwendung</th> <th rowspan="2">Bemerkung</th> <th colspan="3">Verwertung</th> <th colspan="2">Beseitigung</th> <th rowspan="2">Eignung</th> <th rowspan="2">Punkte</th> <th rowspan="2">RC-Baustoff</th> </tr> <tr> <th>hochwertig</th> <th>minderwertig</th> <th>energetisch</th> <th>thermisch</th> <th>Deponie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Holzrahmenkonstruktion (KVH)</td> <td>Außenwand, Innenwand, Decke, Dach</td> <td>Altholzklasse AI</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Sparren (KVH)</td> <td>Dach</td> <td>Altholzklasse AI wenn Farbe entfernt</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Pfetten (BSH)</td> <td>Dach</td> <td>Altholzklasse AII</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Quetschfalte (FSH)</td> <td>Decke</td> <td>Altholzklasse AII</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Lattung</td> <td>Decke, Dach</td> <td>Altholzklasse AI</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Konterlattung</td> <td>Dach</td> <td>Altholzklasse AI</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Untersichtschalung</td> <td>Dach</td> <td>Altholzklasse AIII, Wiederverwendung aufgrund Witterungseinflüssen und Beschichtung nicht garantiert</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>Untersichtschalung</td> </tr> <tr> <td>Holzwerkstoffplatte</td> <td>Außenwand, Innenwand, Decke</td> <td>Altholzkategorie AII</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>+</td> <td>1</td> <td>Holzwerkstoffe wie Spanplatten</td> </tr> <tr> <td>Holzfaserdämmplatte</td> <td>Außenwand</td> <td>Verunreinigt durch nicht entfernbaren Außenputz</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>-2</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>Holzfaserdämmplatte</td> <td>Dach</td> <td>Altholzklasse AII</td> <td>x</td> <td></td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td>++</td> <td>2</td> <td>Holzfaserdämmstoff</td> </tr> <tr> <td>Mineralwolle</td> <td>Außenwand, Innenwand, Decke, Dach</td> <td>kann aufbereitet und erneut aufgeschmolzen werden, hoher Energieverbrauch</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>Mineralwolle, Zuschlag in Zieglinindustrie, Zusatzstoff feuerfeste Betone</td> </tr> <tr> <td>Gipskartonplatte</td> <td>Außenwand, Innenwand, Decke, Dach</td> <td>Recyclinanlagen vorhanden, nicht alles kann verwertet werden</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>+/-</td> <td>0</td> <td>Recyclinggips und Recyclingpapier</td> </tr> <tr> <td>Dampfbremse</td> <td>Außenwand, Decke über DG, Dach</td> <td>Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>-</td> <td>-1</td> <td>minderwertige Kunststoffprodukte</td> </tr> <tr> <td>Unterdeckbahn</td> <td>Dach</td> <td>Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>-</td> <td>-1</td> <td>minderwertige Kunststoffprodukte</td> </tr> <tr> <td>Betondachstein</td> <td>Dach</td> <td>Durch Reinigen und Aufbereiten können die Ziegeln wieder verwendet werden</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>Betondachstein, Zuschlagstoff z.B für Sekundärzuschlag im Wege- und Straßenbau, Gesteinskörnung für Betondachsteine</td> </tr> <tr> <td>Fenster u. -türen</td> <td>Außenwand</td> <td>Aufarbeitung durch Demontage, Reinigen, Instanzsetzen</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>+/-</td> <td>0</td> <td>Fenster und -türen, Recyclingglas, Recyclingstahl, Kunststoff</td> </tr> </tbody> </table>										Material	Verwendung	Bemerkung	Verwertung			Beseitigung		Eignung	Punkte	RC-Baustoff	hochwertig	minderwertig	energetisch	thermisch	Deponie	Holzrahmenkonstruktion (KVH)	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Sparren (KVH)	Dach	Altholzklasse AI wenn Farbe entfernt	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Pfetten (BSH)	Dach	Altholzklasse AII	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Quetschfalte (FSH)	Decke	Altholzklasse AII	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Lattung	Decke, Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Konterlattung	Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Untersichtschalung	Dach	Altholzklasse AIII, Wiederverwendung aufgrund Witterungseinflüssen und Beschichtung nicht garantiert	x				x	+	1	Untersichtschalung	Holzwerkstoffplatte	Außenwand, Innenwand, Decke	Altholzkategorie AII		x	x	x		+	1	Holzwerkstoffe wie Spanplatten	Holzfaserdämmplatte	Außenwand	Verunreinigt durch nicht entfernbaren Außenputz					x	x	-2	/	Holzfaserdämmplatte	Dach	Altholzklasse AII	x		x			++	2	Holzfaserdämmstoff	Mineralwolle	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	kann aufbereitet und erneut aufgeschmolzen werden, hoher Energieverbrauch	x	x				x	+	1	Mineralwolle, Zuschlag in Zieglinindustrie, Zusatzstoff feuerfeste Betone	Gipskartonplatte	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	Recyclinanlagen vorhanden, nicht alles kann verwertet werden	x					x	+/-	0	Recyclinggips und Recyclingpapier	Dampfbremse	Außenwand, Decke über DG, Dach	Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch			x	x	x		-	-1	minderwertige Kunststoffprodukte	Unterdeckbahn	Dach	Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch			x	x	x		-	-1	minderwertige Kunststoffprodukte	Betondachstein	Dach	Durch Reinigen und Aufbereiten können die Ziegeln wieder verwendet werden	x	x				x	+	1	Betondachstein, Zuschlagstoff z.B für Sekundärzuschlag im Wege- und Straßenbau, Gesteinskörnung für Betondachsteine	Fenster u. -türen	Außenwand	Aufarbeitung durch Demontage, Reinigen, Instanzsetzen	x	x
Material	Verwendung	Bemerkung	Verwertung			Beseitigung		Eignung	Punkte	RC-Baustoff																																																																																																																																																																																																					
			hochwertig	minderwertig	energetisch	thermisch	Deponie																																																																																																																																																																																																								
Holzrahmenkonstruktion (KVH)	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Sparren (KVH)	Dach	Altholzklasse AI wenn Farbe entfernt	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Pfetten (BSH)	Dach	Altholzklasse AII	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Quetschfalte (FSH)	Decke	Altholzklasse AII	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Lattung	Decke, Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Konterlattung	Dach	Altholzklasse AI	x	x	x	x		++	2	Träger, Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Untersichtschalung	Dach	Altholzklasse AIII, Wiederverwendung aufgrund Witterungseinflüssen und Beschichtung nicht garantiert	x				x	+	1	Untersichtschalung																																																																																																																																																																																																					
Holzwerkstoffplatte	Außenwand, Innenwand, Decke	Altholzkategorie AII		x	x	x		+	1	Holzwerkstoffe wie Spanplatten																																																																																																																																																																																																					
Holzfaserdämmplatte	Außenwand	Verunreinigt durch nicht entfernbaren Außenputz					x	x	-2	/																																																																																																																																																																																																					
Holzfaserdämmplatte	Dach	Altholzklasse AII	x		x			++	2	Holzfaserdämmstoff																																																																																																																																																																																																					
Mineralwolle	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	kann aufbereitet und erneut aufgeschmolzen werden, hoher Energieverbrauch	x	x				x	+	1	Mineralwolle, Zuschlag in Zieglinindustrie, Zusatzstoff feuerfeste Betone																																																																																																																																																																																																				
Gipskartonplatte	Außenwand, Innenwand, Decke, Dach	Recyclinanlagen vorhanden, nicht alles kann verwertet werden	x					x	+/-	0	Recyclinggips und Recyclingpapier																																																																																																																																																																																																				
Dampfbremse	Außenwand, Decke über DG, Dach	Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch			x	x	x		-	-1	minderwertige Kunststoffprodukte																																																																																																																																																																																																				
Unterdeckbahn	Dach	Kunststoff einschmelzen und für die Produktion neuer Dampfbremse verwenden --> hohe Energieverbrauch			x	x	x		-	-1	minderwertige Kunststoffprodukte																																																																																																																																																																																																				
Betondachstein	Dach	Durch Reinigen und Aufbereiten können die Ziegeln wieder verwendet werden	x	x				x	+	1	Betondachstein, Zuschlagstoff z.B für Sekundärzuschlag im Wege- und Straßenbau, Gesteinskörnung für Betondachsteine																																																																																																																																																																																																				
Fenster u. -türen	Außenwand	Aufarbeitung durch Demontage, Reinigen, Instanzsetzen	x	x			x	x	+/-	0	Fenster und -türen, Recyclingglas, Recyclingstahl, Kunststoff																																																																																																																																																																																																				

A.3 Literaturanhänge

A.3.1 Madaster Lizenzpreise (Kapitel 5.2)

15.11.2021

Lizenzen Madaster Germany



Lizenzen	Preise exkl. MwSt.	Laufzeit	m ²	Nutzer	Kunden
Eigentümer					Bestandshalter, Bauherren
Geschäftskunden					
S	300 €	1 Jahr	< 1.000	1	
M	700 €	1 Jahr	< 5.000	2	
L	1.300 €	1 Jahr	< 10.000	3	
XL	2.300 €	1 Jahr	< 20.000	5	
XXL	5.600 €	1 Jahr	< 50.000	5	
Individuell		1 Jahr			
Privatkunden	20 €	1 Jahr		1	Eigenheimbesitzer
Partner					
Madaster Innovation Partner (MIP)	10.000 €	1 Jahr	< 250.000	7	Alle
Service Partner *					Architekten, Planer & Entwickler
S	3.400 €	1 Jahr	< 50.000	1	
M	5.900 €	1 Jahr	< 100.000	3	
L	8.400 €	1 Jahr	< 150.000	5	
Solution Partner	2.500 €	1 Jahr			Dienstleister
Hersteller	2.500 €	1 Jahr		1	Industrie, Hersteller & Recyclingunternehmen
Bildung	200 €	Monatlich		170	Universitäten & Hochschulen

Kontakt



Patrick Bergmann
 Mobil: +49 172 7695009
patrick.bergmann@madaster.com
<https://madaster.de/>

* Inklusive Enterprise-Lizenz (900 €; Zugang zur Plattform, ohne weitere Dienstleistungen)

A.3.2 Madaster Materialkategorisierung

<https://docs.madaster.com/files/ch/de/Madaster%20Materialien.xlsx>

Madaster UID	Name des Materials	Materialklassifizierung	Suchkriterien Deutsch
		(kg/m ³)	Criterion 1
6bcc854c-87e1-42c1-899f-9c4ad2665e77	Gold	19.200	Metall
f308df80-f461-4b20-8c46-befb9dce8ef4	Naturstein	2.650	Mineralisch *Naturstein*
cf462bdd-662e-469b-b603-ec2206d677ea	Beton (C30/35)	2.400	Mineralisch
ccd3a74e-6cb0-4328-8a32-e4d73f17ae25	Trespa	950	Kunststoff
89584904-e8de-4c32-ab47-b85d700d7366	Hanf	30	Organisch *Hanf*
eb9604c7-1a6b-4655-924c-5ab00bbff06c	Verzinkter Stahl	7.800	Metall
2fb54c99-0a59-490f-afcd-97f4e3fafeff	Hybridmörtel	1.750	Mineralisch *Bastardmörser*
6cb5dfde-ea70-4fdd-830c-6beb5d164cb8	Neopren	1.250	Kunststoff
fdb01fd6-f717-46a9-9cd6-2b03dd72856	Sperrholz	700	Holz
df2cacd5-f990-4e47-81f9-0c039fe4bdbd	Kupfer	8.900	Metall *Kupfer*
636ac9b3-a981-44fc-9925-d602f5287778	Sand	1.750	Mineralisch *Sand*
394a9021-99fc-485e-bb93-45b655457660	Gipsblock	1.100	Mineralisch *Gipsblock*
5bcd14d4-0ed1-4205-92ff-d2c1ebebca76	Titan	4.600	Metall
b0c4cbf0-4f4b-4762-a1f3-604069e17558	Glaswolle	17	Glas *Glaswolle*
6daf39bf-cc34-4328-9f74-819210f1fdb3	Verzinkter Stahl	7.400	Metall *Verzinkter Stahl*
f4518464-f40c-4e47-84b9-81ae714bddeb	Komposit-Stein	2.000	Mineralisch
bdea0c9c-7d8e-4af5-9e42-2b6f1ca36a76	Sicherheitsglas	2.500	Glas
1905e0ef-7882-42f2-bfe5-ca6894797769	Acryl	1.050	Kunststoff
14a11e65-ea96-4223-9fd1-d95df13e9392	Baustahl	7.800	Metall *Baustahl*

A.3.3 Madaster Preiskategorisierung

<https://docs.madaster.com/files/ch/de/Madaster%20Materialien.xlsx>

Priceset ID	Name	Beschreibung
PLAT_LPPM	Platin LPPM	Platinpreise vom Londoner Platin- & Palladiummarkt.
ABS-n	ABS natur	ABS natural Primärrohstoff.
BRONZE_CALC	Bronze berechnet	Bronze, berechnet aus den Sets 'Kupfer LME/WB' (80%) und 'Zinn LME/WB' (20%).
STEELSCRAB_CALC	Stahlschrott (beendet am 4. April 2017)	Stahlbarrenpreise vom London Metal Exchange ohne Herstellungskosten.
GLASS_FRED	Flachglas-Index FRED	Erzeugerpreisindex nach Ware für Flachglas aus Federal Reserve Economic Data.
ZI_LME	Zink LME/WB	Zinkpreise von London Metal Exchange (seit 2012) und Weltbank Global Economic Monitor.
FM_LME	Stahlbarren LME (storniert am 4. April 2017)	Preise für Stahlknüppel von der Londoner Metallbörse.
GOLD_LBMA	Gold LBMA	Goldpreise vom Londoner Edelmetallmarktverband (London Bullion Market Association).
PALL_LPPM	Palladium LME/WB	Palladiumpreise vom London Platinum & Palladium Market.
CO_LME	Kobalt LME	Kobaltpreise vom Londoner Metall Exchange
PB_LME	Blei LME/WB	Bleipreise von London Metal Exchange (seit 2012) und Weltbank Global Economic Monitor.
WOOL_IMF	Wolle	Wolle, 23 Mikron, Australian Wool Exchange Spot-Notierung von www.opendataforafrica
NA_LME	NASAAC LME	NASAAC (North American Special Aluminum Alloy Contract) Preise von der London Metal Exchange.
MESSING_CALC	Messing berechnet	Messing, berechnet aus den Sätzen 'Kupfer LME/WB' (60%) und 'Zink LME/WB' (40%).
GLASS_CALC	Flachglas	Erzeugerpreisindex nach Rohstoffen für Flachglas aus Federal Reserve Economic Data mit einem Wert von 0,033 EUR/kg am 1-1-2018.
AA_LME	Aluminiumlegierung LME	Preise für Aluminiumlegierungen von der London Metal Exchange.
SAND_CALC	Sand	Sandindex von FRED mit einem Wert von 0,033 EUR/kg am 1-1-2018.
SILVER_LBMA	Silber LBMA	Silberpreise von der London Bullion Market Association.

A.3.4 Madaster Materialbezeichnung

<https://docs.madaster.com/files/ch/de/Madaster%20Materialien.xlsx>

Madaster ID	Name
glass	Glas
wood	Holz
plastic	Kunststoff
metal	Metall
stone	Mineralisch
organic	Organisch
unknown	Unbekannt

A.4 Aufmaß für den Materialfluss

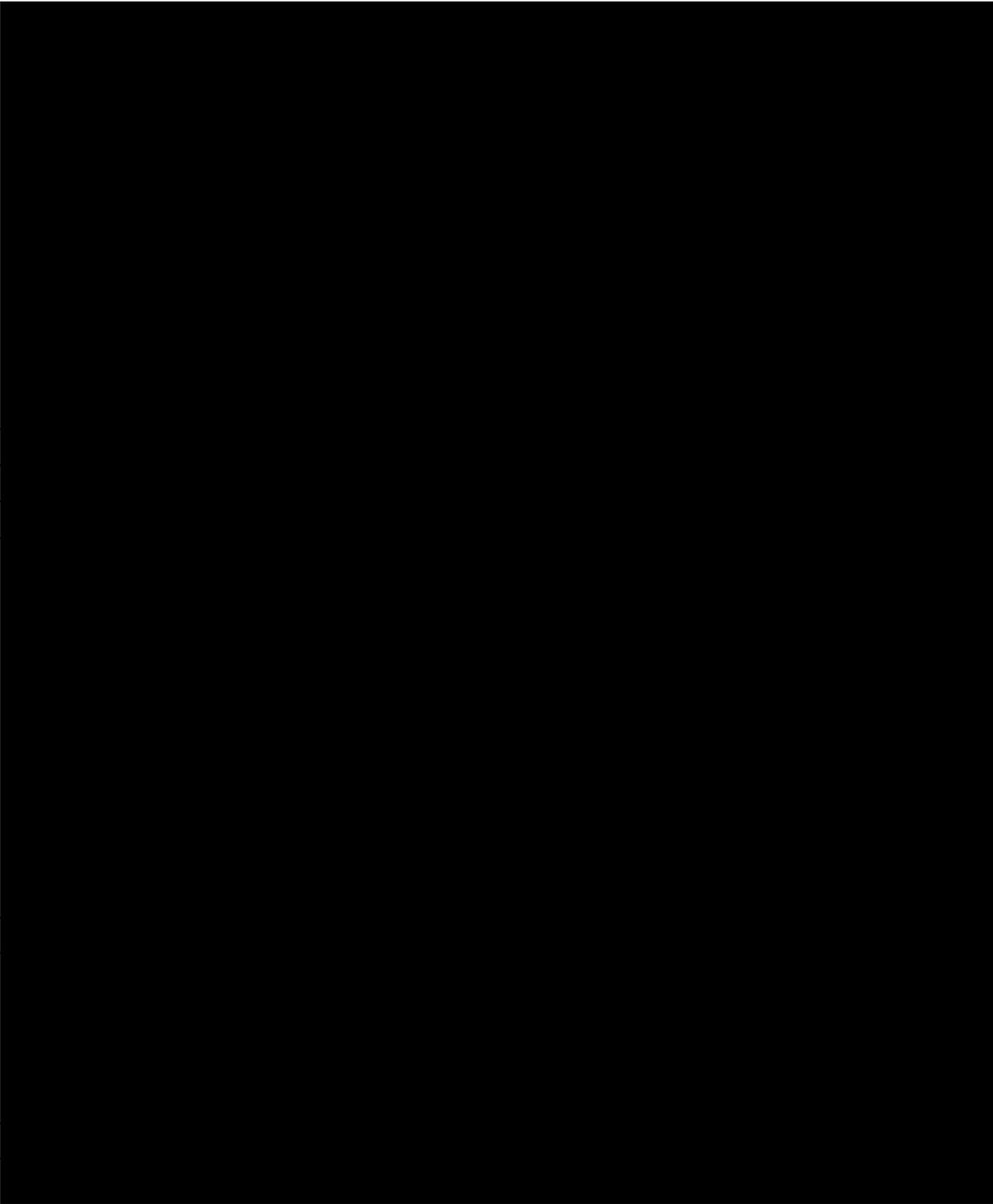
Ergänzung zum Materialfluss auf Gebäudeebene (Kapitel 3.6.2)

Zusammenfassung nach Material



Zusammenfassung nach Material und Bauteile

Material	A large black rectangular redaction box covering the content of the 'Zusammenfassung nach Material und Bauteile' table.
Holz	
Metall	
Mineralisch	

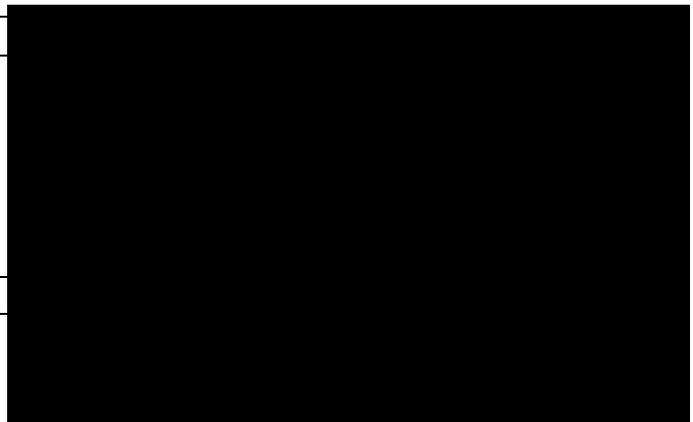
	
Glas	
Kunststoff	
Unbe- kannt	
Summe Gesamt	

Zusammenfassung nach Material und Gebäudeschicht**Gebäudeschicht**

Innenausbau/ Raumaufteilung

Summe

Technische Anlagen/ Haustechnik



Summe	
Baukonstruktion/ Tragwerk	
Summe	
Außenhülle/ Fassade	
Summe	
Summe Gesamt	

Zusammenfassung nach DIN 276 und Gebäudeschicht

Gebäudeschicht	KG	Material		
Baukonstruktion/Tragwerk	300	Baukonstruktionen		Metall
Summe KG 300				
Baukonstruktion/ Tragwerk	320	Gründung, Unterbau		Holz
	320	Gründung, Unterbau		Metall
	320	Gründung, Unterbau		Glas
	320	Gründung, Unterbau		Mineralisch
	320	Gründung, Unterbau		Kunststoff
	320	Gründung, Unterbau		Unbekannt
Summe 320				
Baukonstruktion/ Tragwerk	330	Außenwände		Holz
	330	Außenwände		Mineralisch
Außenhülle/Fassade	330	Außenwände		Holz
	330	Außenwände		Metall
	330	Außenwände		Glas
	330	Außenwände	Mineralisch	

	330	Außenwände	Kunststoff
Summe 330			
Innenausbau/ Raumaufteilung	340	Innenwände	Holz
	340	Innenwände	Metall
	340	Innenwände	Mineralisch
Summe 340			
Baukonstruktion/ Tragwerk	350	Decken	Holz
	350	Decken	Metall
	350	Decken	Mineralisch
Innenausbau/ Raumaufteilung	350	Decken	Holz
	320/350	Gründung, Unterbau, Decken	Mineralisch
	320/350	Gründung, Unterbau, Decken	Kunststoff
Summe 350			
Außenhülle/Fassade	360	Dächer	Holz
	360	Dächer	Metall
	360	Dächer	Mineralisch
	360	Dächer	Kunststoff
Baukonstruktion/ Tragwerk	360	Dächer	Holz
Summe			
Technische Anlagen/ Haustechnik	410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	Metall
	410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	Mineralisch
	410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	Kunststoff
Summe 410			
Technische Anlagen/ Haustechnik	420	Wärmeversorgungsanlagen	Unbekannt
Summe 420			
Technische Anlagen/ Haustechnik	430	Raumluftechnische Anlagen	Metall
Summe 430			
Technische Anlagen/ Haustechnik	440	Elektrische Anlagen	Kunststoff
	440	Elektrische Anlagen	Unbekannt
Summe 440			
Summe Gesamt			

A.5 Interviewleitfaden, Codierungssystem und Transkripte

A.5.1 Interviewleitfaden

- Begrüßung und Einleitung
- Bewusstsein
 - Was verstehen Sie unter Kreislaufwirtschaft?
 - Erkennen Sie Potenziale oder Kreislaufansätze bei WeberHaus? (Vorteil Fertighausbau, Holzbau, Holzreste zur Heizung, Automatisierung)
 - Welche Herausforderungen oder Probleme sehen Sie in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft allgemein und bei WeberHaus?
 - Was wäre nötig, dass sich WeberHaus tiefer mit dem Thema beschäftigt?
 - Bis wann könnte eine solche Kreislaufwirtschaft bei WeberHaus umgesetzt werden?
 - Wird von den Kunden eine Kreislaufwirtschaft nachgefragt? Nachhaltigkeit? Zertifizierungen (z.B. DGNB etc)
- Prozess/Materialkreislauf
 - Prozess des Materialflusses bei Weberhaus? (Schnittstellen, Beteiligte, ...)
 - Weiter Informationen zu Materialfluss, Schnittstellen, Beteiligte Materialmengen, Einkaufsprozess, Datenformat und Datenverarbeitung bzw. wohin welche Daten fließen?
 - Wichtiger Teil der Kreislaufwirtschaft ist die Dokumentation und somit Nachverfolgung der Materialien, um diese wieder einbringen zu können. Welche Möglichkeiten und gleichzeitig Probleme sehen Sie dabei?
 - Wie könnte der Prozess der Rückverfolgung bei WeberHaus aussehen?
 - 1. Möglichkeit z.B. digitale DNA, RFID Chips an Bauteile
 - 2. Möglichkeit z.B. externe Plattform Madaster oder eigene Plattform
 - Wie könnte der Prozess nach Abriss und somit die Wiedereinbringung in den Kreislauf von WeberHaus stattfinden? Wie könnte der Wissensaustausch intern, wie mit Behörden und Abrissunternehmen stattfinden?
 - Wird BIM verfolgt oder schon teilweise umgesetzt? Mit welchen Tools wird gearbeitet? (um Transparenz zu erhöhen und Informationsfluss zu sichern/garantieren)
- Spezielle Fragen zu Fachbereich/Interviewpartner
- Abschluss
 - Zusätzliches Informationsmaterial?
 - Wen könnte das Thema noch interessieren, wer dafür zuständig? Evtl. interessante Interviewpartner?
 - Best Practice Beispiele?
- Kurzer Rückblick und Danksagung

A.5.2 Codierungssystem

- tägliche Aufgaben
- Bewusstsein Kreislaufwirtschaft
- Potenziale Kreislaufwirtschaft
 - Allgemein
 - WeberHaus
 - Wiedereinbringung
- Hemnisse/Kritik

- Prozess Rückverfolgung
 - Materialfluss
 - Informationsfluss
 - BIM
- Best Practice
- Madaster
- Implementierung
- Geschäftsmodell
- Informationsmaterial

A.5.3 Til Hagendorn

Frederik Schölch: Okay, dann zeichne ich es jetzt auf und würde es danach auch transkribieren, wenn das passt und dürfte ich sie namentlich nennen oder die Firma, also Madaster? #00:00:22-7#

Til Hagendorn: Ja das geht. #00:00:30-3#

Frederik Schölch: Also erstmal zu meinem Thema oder meinem Vorhaben: Ich schreibe jetzt meine Masterarbeit bei WeberHaus und im Rahmen von einem Forschungsprojekt von meinem Professor, der sich eben mit der Kreislaufwirtschaft und den EU-Regelungen und wie das eben hier am Besten umgesetzt werden kann und ich versuche das auf WeberHaus zu übertragen und da eine Lösung dafür zu finden und auch die Kreislaufwirtschaft bei WeberHaus ein bisschen ins Gespräch zu bringen und einzuführen. Hierbei ist die Idee entstanden das Ganze mit Madaster zu machen. Die Rückverfolgung und den Materialfluss darüber ein bisschen übersichtlicher und transparenter zu machen und am Schluss eben vielleicht auch ein Gebäude mit Madaster einzuspielen und hierbei Vorteile und Nachteile für WeberHaus herauszufinden. #00:01:55-4#

Til Hagendorn: Wie lautet der Titel der Arbeit? #00:01:58-4#

Frederik Schölch: Also der Titel ist: Rückverfolgung und Digitalisierung vom Materialfluss bei Weberhaus. Wo kommen die Materialien her? Wo werden diese eingebaut und was passiert nach dem Lebenszyklus damit? #00:02:16-8#

Til Hagendorn: Und die Einführung der Plattform die ist jetzt schon bekannt? #00:02:23-7#

Frederik Schölch: Genau, ich habe jetzt eine Demoversion erhalten und auch schon eine Einführung gemacht und auch noch mal ein paar PowerPoint Präsentationen bekommen. Dazu wollte ich aber danach dann auch noch mal fragen, ob es da vielleicht noch mal mehr Informationen gibt? Eine Art Handbuch, wo der Umgang mit der Plattform noch mal detaillierter steht. #00:02:58-3#

Frederik Schölch: Was ist ihre Aufgabe bei Madaster? Seit wann beschäftigen Sie sich mit dem Thema Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen? #00:03:08-1#

Til Hagendorn: Also ich selbst beschäftige mich mit dem Thema Kreislaufwirtschaft seit etwa einem Jahr. Hat angefangen bei mir bei dem Hersteller Knauf, wo ich Evaluierungen für Kreislaufwirtschaftsmodelle durchgeführt habe. In dem Zusammenhang bin ich dann eben auch relativ schnell damals auf Madaster gestoßen, Madaster kommt ja ursprünglich wie schon bekannt aus den Niederlanden aber ist jetzt eben auch in Deutschland seit Beginn 2021. Bin damals in Kontakt getreten, nämlich wie wir jetzt gerade zusammensitzen, um zu erfahren wer ist überhaupt Madaster, welche Kompetenzen weisen die eigentlich auf und wie kann Madaster wirklich zur Kreislaufwirtschaft beitragen? Das Thema hat mich dann so angesteckt, das ichs doch nicht mehr loslassen konnte und ich mich dann dazu entschieden habe weiter dran zu arbeiten, aber eben nicht mehr aus Baustoffherstellersicht, sondern quasi in die Rolle dessen zu gehen, der eine Kreislaufwirtschaft dann möglich macht für die grossen Player im Markt, die schon etabliert sind aber eben auf diese Hilfe angewiesen sind, was zum Beispiel eben die Rückverfolgung angeht von Materialströmen. Seit Anfang des Jahres bin ich bei Madaster, bin da im Business Development tätig. Also das ist ein bisschen breiter gegriffen als vielleicht bei einer corporate. Also bedeutet bei uns vor allen Dingen natürlich auch Kunden Management auch aber Akquise bedeutet ganz normale Strategie, wo wir hin möchten.

Das geht dann also nicht nur über Kunden. Also welche Kunden wir ansprechen, sondern auch eben öffentliche Hand, wie wir das Thema weiter vorantreiben auf Regulierungsseite, generell das Thema der Kooperation innerhalb der Wertschöpfungskette zwischen den verschiedenen Unternehmen, die eben dort mitmachen. Also relativ breit gefächert hat mit dem Produkt jetzt weniger zu tun, bin jetzt nicht derjenige der dran sitzt und das entwickelt, sondern eher derjenige, der dann Vorschläge aufnimmt und sich überlegt was bräuchten wir noch um damit das Bedürfnis von den potenziellen Kunden oder den Kunden, die wir schon haben, tatsächlich auch abgedeckt werden kann und wir wirklich der Vision von dem Materialkader dann näher kommen. #00:05:43-2#

Frederik Schölch: Okay, klingt spannend. Welche Herausforderung siehst du dann in Bezug auf das Thema Kreislaufwirtschaft, Madaster und gerade auch für Bauunternehmen, die sich mit dem Thema näher beschäftigen möchten #00:06:07-0#

Til Hagendorn: Ich glaube es gibt immer mehr Herausforderungen als Lösungen, aber so beginnt das meiste. Wenn man sich das gegenüber stellt auf einer Tabelle und man da schon ein paar Punkte findet, wo man sagt, dafür lohnt sich es oder dafür gibt es einen Ansatz dann gibt es auch einen Weg wie man diesen Herausforderungen entgegen treten kann. Bezogen auf die Kreislaufwirtschaft und Baubranche sehe ich zwei große Probleme: Einmal eben ein kreislauffähiges Design. Wenn wir auf Produktebene besprechen oder Bauteilebene, das eben viele dieser Teile nicht so designt sind, das sie tatsächlich im Sinne einer Kreislaufwirtschaft geführt werden können. Und das zweite Problem mit dem wir uns ja vor allen Dingen auch auseinandersetzen: diese Transparenz darüber, wo sich welche Produkte befinden, welche Bauteile eigentlich verbaut wurden. Also jetzt nicht nur geografisch, sondern das man auch später einsehen kann wo befindet sich eigentlich welches Material, zu welchen Mengen. Das man daraus dementsprechend dann auch, wenn wir über den Kreislauf sprechen, also wenn wir darüber sprechen einen weiteren Lebenszyklus möglich zu machen für dieses Material, da dann auch die Situation zu haben, okay, wie muss ich mein Rückbaukonzept aufsetzen, damit ich tatsächlich an dieses Material herankomme. Wie man dann beispielsweise, wenn wir auf Materialebene reden, wieder einfließen beim Hersteller, der das ganze vielleicht nach dem hochwertigen Recycling als Recyclat einführen kann oder wenn wir auf Bauteilebene sprechen und da vor allen Dingen glaube ich müssen wir eher von den Produkten Weg und eher von der Modulbauweise sprechen, wenn wir von direkter Wiederverwendung reden. Also sagen wir die Wand XY, dieses Modul kann eben direkt bei dem Haus was daneben steht wiederverwendet werden. #00:08:05-8#

Frederik Schölch: Gibt es solche Ansätze in anderen Branchen auch? Weil Madaster bezieht sich ja nur auf die Baubranche oder? #00:08:08-1#

Til Hagendorn: Genau, Madaster bezieht sich nur auf die Baubranche. Es gibt Ansätze des, wir nennen das Ganze derzeit Materialpassport, also da wo eben das ganze abgespeichert ist. Oder jetzt auch im Koalitionsvertrag genannt Digitalergebäuderesourcenpass. Es gibt welche, Produktpässe, die Überlegungen davon gibt es auch in anderen Branchen, also in anderen produzierenden Branchen, worauf sich die Kreislaufwirtschaft bezieht. Mal abgesehen von der Bauwirtschaft, also zum Beispiel auch die textilbranche, da ist eben das Thema auch schon sehr prominent, wie man dort solche Produktpässe erstellen kann? Da kenne ich meines Wissens noch keinen Player, der tatsächlich auf dem Markt gegangen ist, sondern eben nur Forschungsprojekte. Ähnliches gilt eben auch für die Elektroindustrie, für die Hardwareindustrie, da dort ja viele Metalle drinstecken oder Kleinmetalle, die ja heute schon bedroht sind. Ob es da schon eine Lösung für gibt, weiß ich weniger und wie das dort genau funktioniert. Wir haben uns jetzt eben auf die Bauphase eben fokussiert, weil da eben der größte Teil an Ressourcen derzeit noch verschwendet wird und auch damit einhergehend das meiste CO² emittiert wird. Zum Beispiel sind ja bemessen worden, dass 30 Prozent der Ressourcen, die auf dem Abfall landen aus der Bauwirtschaft kommen und bis zu 40 Prozent der CO² Emissionen eben auf die Bauwirtschaft zurückzuschreiben sind. Weltweit. Tatsächlich wenn man noch mal Transportwege miteinbezieht, die eben häufig dem Transport-/Logistiksektor angeordnet werden, dann wäre man sogar über 50 Prozent der CO² Emissionen. Also hat die Bauwirtschaft einen riesen Hebel tatsächlich auch um die Ziele vom European Green Deal und den Klimazielen näher zu kommen. #00:10:23-8#

Frederik Schölch: Was wäre nötig, damit sich mehr mit dem Thema Madaster und Kreislaufwirtschaft beschäftigen? #00:10:37-6#

Til Hagendorn: Ich glaube tatsächlich, also innerhalb der Bauwirtschaft kommt das Thema immer mehr an. Das merke ich auch bei den Gesprächen, die ich mit anderen Unternehmen führe. Ich glaube Außerhalb der Bauwirtschaft ist das Thema garnicht so prominent, gerade in den Medien wird viel über die Automobilindustrie gesprochen, natürlich auch ein wichtiger Faktor, aber längst nicht so ein großer Emittent wie die Bauindustrie. Ich glaube da fehlt es vielleicht auch ein bisschen an öffentlichem Druck und das eben unter anderem geschuldet daran, dass die Medien das Thema auch nicht so aufgegriffen haben wie andere Themen. Der öffentliche Druck wird dann eben auch helfen bei der Regulatorik noch mal das weiter nach vorne zu treiben. Jetzt hat ja auch die EU-Taxonomie die ersten Beschlüsse gehabt. Zum Beispiel Einführung von BIM, verpflichtend für den öffentlichen Sektor. Das sind Verordnungen, das wird auf jeden Fall verpflichtend, es sind keine Leitlinien. Das ist schon mal gut, aber ich glaube auch national nochmal über die EU hinaus ins Detail zu gehen z.B. zu sagen. BIM ist ein guter Anfang für uns um beispielsweise automatisiert Produkt-/Gebäudepässe zu erstellen, das eben sowas auch verpflichtend wird. Dann muss man halt darüber nachdenken wo kann man sowas festsetzen? Kann man sowas in die Regulatorik aufnehmen oder ist es rechtlich nicht möglich? Oder es muss eben fester Bestandteil sein bei Projektausschreibung. Dann nimmt man die Produkte, wo häufig schon viel Innovation einfließt, wo Hersteller sich schon Gedanken machen wie ich denn überhaupt das Ganze kreislauffähig mach. Das diese Arbeit, die da reingeflossen ist auch später genutzt werden kann, das man später weiß wo sich diese Produkte überhaupt befinden, also die Transparenz dann über deren aktuellen Status, damit man diese für den Rückbau nutzen kann. Hier auch nochmal wichtig: Es wurde jetzt auch schon verabschiedet bzw. es soll die Ökodesign Verordnung kommen, auch von der EU. Also die Hersteller die Verantwortung dafür tragen bzw. dafür garantieren müssen, dass ihre Produkte reparierbar sind. Aber dann muss man sich auch überlegen, wenn man ein Haus betrachtet, muss man sich Konzepte überlegen, wie man an die Bauteile herankommt. Bei Heizkörpern ist das einfacher wie Technik, die unter dem Boden liegt, die auch eine kurze Lebensdauer hat und eine Reparatur in dem Lebenszyklus eines Gebäudes durchaus vorkommen kann. Zurzeit muss man dafür evtl. erstmal die Holzdielen aufreißen, die dann wiederrum kaputt sind. Also man muss sich Gedanken machen, wie überhaupt die verschiedenen Produkte innerhalb des Hauses miteinander verbunden und erreichbar sind und wie gut diese demontierbar sind, so dass man dann diesen Vorteil, dass die Produkte theoretisch reparierbar sind, auch wirklich nutzen kann. #00:14:14-2#

Frederik Schölch: Bis wann rechnet ihr bzw. bis wann kann man damit rechnen, dass eine solche Kreislaufwirtschaft funktioniert und etabliert? #00:14:14-2#

Til Hagendorn: Also funktionieren tuts jetzt schon. Also es gibt genügend Beispiele, die über ein Pilotprojekt hinausgehen, das schön zu sehen ist. Bei uns haben wir auf der Plattform über 100 Projekte dokumentiert. 80% Neubau und 20% Bestand, weil der Neubau einfach besser dokumentiert ist und es dann auch einfacher ist, automatisiert den Materialpass zu generieren. Ich glaube was ein Problem von der Bauwirtschaft ist, warum das Thema der Kreislaufwirtschaft gerade da noch nicht so weit ist wie vielleicht in anderen Branchen, sind eben diese langen Lebenszyklen. Also wenn wir von Gebäuden reden, dann wollen die Leute auch ein Proof of Concept haben von dem Ganzen. Aber man wird jetzt nicht ein Gebäude bauen und direkt wieder abbauen. Sondern wir sprechen von einer kurzen Lebensdauer bei einem Logistik Gebäude von 20 Jahren, wodurch man jetzt in der Regel 20 Jahre warten muss, außer z.B. bei Sanierungszyklen, da kann man das schon mal zeigen, aber da kommen nicht die großen Mengen auf, wie beispielsweise beim kompletten Abriss, wo man dann eben wirklich diese Vorteile sehen würde - also diese Ressourceneinsparungen durch die Kreislaufwirtschaft, dass man nicht wieder neue Rohstoffe primär extrahiert. Ich glaube das ist so auch ein bisschen das Problem, mit dem man derzeit noch zu kämpfen hat, das Unternehmen bzw. Personen sagen das bekommen wir gar nicht mehr mit, bis dahin existiert das Unternehmen nicht mehr bzw. man selbst lebt nicht mehr. Jedem ist das Thema mehr oder weniger bewusst. Ich glaube, wenn wir uns den Begriff Kreislaufwirtschaft uns anschauen - Kreislauf ist nicht das Problem, sondern eher die Wirtschaft. Es muss halt immer ökonomisch ein Anreiz dafür geben und der ist in der Bauwirtschaft nicht immer so leicht zu verdeutlichen, wenn wir eben gerade diese langen Lebenszyklen haben. #00:16:40-6#

Frederik Schölch: Ihr glaubt daran, dass die Dokumentation dann eben das Ziel für eine ökonomische Umwandlung von der Kreislaufwirtschaft ist. Wie genau ist ein Ablauf von einem solchen Materialpassport/Dokumentation? Wie ist der Ablauf? #00:17:03-3#

Til Hagendorn: Wir haben im besten Fall ein BIM-Modell des Projekts, das BIM Modell wird zu einem IFC-File, IFC 3 oder IFC 4 File, exportiert und das Format wird dann hochgeladen auf die Plattform. Dann wird das ganze automatisiert ausgelesen. Die Elemente, die sich in den Gebäuden befinden werden verknüpft mit den Daten die wir in unseren Datenbanken haben und daraus generieren wir den Materialpassport. Auf der Plattform sind diese verschiedenen Reiter drin. Einmal eben der Gebäudereiter wo man sieht welche Materialien stecken eigentlich wo und zu welchen Mengen in einem Gebäude drin. Was dann wichtig ist für die Kreislaufwirtschaft, um diese in die Realität umzusetzen, wo wir denken, dass dort der Mehrwert drinsteckt, wie steht es um die Zirkularität und wie steht es um die Demontierbarkeit der verschiedenen Materialien und Bauteile in diesem Gebäude? Wie gut kommt man da dran und dann aus dieser Information resultierend, was denn die theoretischen Rohstoffrestwerte, die man dann in der Hand hält am Ende? Das ist dann finanziell gedacht: Am Ende von diesem Lebenszyklus, was habe ich denn an Wert eigentlich in der Hand als Eigentümer. Ein weiteres Thema, das für Kunden interessant ist, ist die Gebäudefinanzierung von Anfang an. Man muss sicher von Anfang an schon Gedanken machen, wie zirkulär ist mein Gebäude am Anfang und nicht am Ende der Lebenszeit. Wenn es schlecht gebaut wurde, dann ist es schwer bis unmöglich das Material wieder aus dem Gebäude zu gewinnen, damit man diese wiederverwenden kann. Wenn man hier schon weiß wie zirkulär das Gebäude ist und wie viel Sekundärmaterial schon in dem Gebäude drin stecken. Die Materialien waren schon einmal in einem Kreislauf, wodurch Ressourcen geschont wurden, andere wurden jetzt in unserem Gebäude verbaut und können durch die Dokumentation auch für die Finanzierung genutzt werden. Z.B. gibt es bei Banken, in den Niederlanden die ABN AMRO, die nur Baukredite vergibt, wenn ein Rückbaukonzept vorliegt und ein Zirkularitätsindex in einer bestimmten Höhe vorgewiesen werden kann. Das solche Informationen helfen niedrige Zinsen bei Krediten zu erhalten, was bei der Gebäudfinanzierung wichtig ist. Das man diesen ökonomischen Vorteil nicht erst am Ende des Lebenszyklus oder beiminst Sanierungszyklus bzw. der Planung der Sanierung hat, sondern die Informationen frühzeitig vorliegen, wodurch man sich viele Kosten einsparen kann, weil man genau weiß wo was drin liegt und welchen Materialrestwert das Gebäude aufweist. #00:20:29-1#

Frederik Schölch: Ihr verfolgt jetzt die Variante, dass man das BIM-Modell einliest. Gibt es hier auch andere Möglichkeiten zur Rückverfolgung? Es gibt ja RFID Chips, digitale DNA und IOT, wodurch man ganz detailliert Materialien rückverfolgen kann. Ist das auch Thema bei euch? #00:21:00-1#

Til Hagendorn: Also bei uns ist es weniger Thema. Das war z.B. ein Thema, mit dem ich mich beschäftigt habe bei Knauf. Bei Knauf kam raus, dass es zwar schon Chips gibt, die sind auch schon günstiger geworden. Es ist aber viel zu aufwendig, also keiner wird Chips an die Bauprodukte anhängen. Die Chips müssen auch irgendwie die Zeit überleben. Es müssten viel zu viele Bauteile mit Chips bestückt werden. Mit so einer Informationsflut kommt wahrscheinlich keiner zurecht. Also es ist natürlich noch mal eine Stufe detaillierter, weil man in Real Time die Informationen wo welches Produkt wo genau in welchem WeberHaus eingebaut wurde, einsehen kann.

Man braucht das nicht unbedingt, also man kann es sich auch unnötig kompliziert machen. Deswegen beschäftigen wir uns damit das automatisiert zu machen, damit wenig Aufwand entsteht. Mit dem zu arbeiten was schon gemacht wurde, also die Modellierung. Deswegen ist es ja so wichtig, dass dann BIM eben über die öffentliche Hand hinaus, dann auch in der Privatwirtschaft als Ausschreibungstool landet, damit man eben diese Daten nutzen kann, um dann die Informationen zu nutzen. Man weiß ja um welches Haus es sich handelt, dann braucht man keinen Real-Time-Tracking. Das ist eine Immobilie, die wird sich nicht einfach um 100 Kilometer weiterbewegen und von daher arbeiten wir nicht mit IOT, digitale DNA etc. sondern haben uns eben schon bewusst für diesen Weg entschieden. Es ist auch eine Frage des Product-Market-Fit, es gibt immer viele Möglichkeiten, man kann sein Produkt immer sehr fancy machen aber am Ende muss dafür auch eine Nachfrage herrschen oder ob man sich dabei nicht verkünstelt. Und ich glaube es gibt nicht nur in der Baubranche viele digitale Produkte, die sich auch häufig verkünsteln, indem sie aufzeigen, was alles möglich ist. Gibt aber häufig nur Mehrkosten, da die Möglichkeiten auch viel Geld kosten. Ich sehe dort keinen

Mehrnutzen. Lieber mit dem arbeiten, das es schon gibt und da sich auf die wirklich wichtigen Informationen zu konzentrieren und von dem Punkt weiter schauen was sind wichtige Aspekte die wir weiter ausbauen müssen? Zum Beispiel den "Embodied Carbonwert" der auch immer mehr betrachtet wird - dass man in der Übersicht den "Embodied Carbonwert" einsehen kann. Der auf Gebäudeebene auch auf den verschiedenen Gebäudeschichten und nach den verschiedenen Leistungsphasen noch mal zugeordnet wird. Das man solche Werte gesondert auf dem Dashboard hat, wo man Veränderungen und deren Auswirkungen z.B. auf Sanierungszyklen direkt einsehen kann. Informationen noch mal für das Gebäudemanagement selbst, um z.B. bei Banken einen guten Zins oder Bonus zu erhalten und die Auswirkungen direkt auf das Klima einzusehen. #00:24:56-3#

Frederik Schölch: Nehmen wir an das Haus wurde gebaut, es wurde ein Materialpass erstellt, saniert und evtl. auch schon vererbt, die Lebensphase ist also langsam zu Ende. Wie wird dann weiter vorgegangen? #00:25:17-2#

Til Hagendorn: Wenn es ein Eigentümerwechsel gibt und dafür arbeiten wir eben mit der cloudbasierten Technologie, dass man diesen Account der Plattform einfach weitergeben kann. Sei es jetzt durch Tod des Eigentümers und dann die Vererbung oder sei es durch einen Weiterverkauf des Objektes. Wenn wir über andere Geschäftsmodelle reden: Zum Beispiel Product Asset Service. Software Asset Service ist ja schon mittlerweile durchaus bekannt als Geschäftsmodelle. Das man hier die Möglichkeit hat zum Beispiel einen Account übertragen als Eigentümer an den Besitzer. Bedeutet rein rechtlich ich bin immer noch Eigentümer aber der Besitz ist übergegangen und der Account ist beim Besitzer. Je nach Vereinbarung wandert der Account samt Immobilie auch wieder zurück an den Eigentümer und der hat dann die Möglichkeit das wieder als Service das Produkt in dem Fall eben das Gebäude beispielsweise oder Bauteile dem nächsten Kunden anzubieten. #00:26:30-5#

Frederik Schölch: Aber wenn das Gebäude jetzt ganz abgerissen wird und habe den Materialpass vor mir liegen und kommunizier dann mit dem Abrissunternehmen, um das wieder in den Kreislauf einzubringen. Ihr verfolgt ja das Urban Mining, wie ist das urban trading in diesem Prozess eingebunden? Also der Handel der Materialien auf der Plattform selbst oder wie ist die Kommunikation zwischen Bauherrn, Abrissunternehmen, Handelsplattform angedacht? #00:27:15-2#

Til Hagendorn: Wir sind eine reine Dokumentationsplattform, die die Informationen generieren können, die dann in einem Materialpass festgehalten werden können und daraus später das Materialkadastro aufbauen können. Wir sind nicht die Plattform, wo dann der Handel stattfindet, der Markt quasi. Wir sind aber so offen gestaltet, dass wir die Möglichkeit anbieten, dass andere Marktteilnehmer, die sich als Marktplatz etablieren wollen, wo dann solche Sekundärrohstoffe gehandelt werden, dass die sich anschließen können auf der Plattform. Die Nutzerseite hat somit nicht wieder x verschiedene Tools, sondern sieht auf der Plattform/ in dem Materialkadastro werden die Materialien in nächster Zeit frei, draufklickt und auf den Marktplatz für den Handel weitergeleitet wird. Dafür ist es ein sehr komplexes Thema und jeder sollte sich auf seine Expertise, seinen Bereich, konzentrieren und die Plattform ist noch nicht fertig, die bestmögliche Lösung anbieten. Wir wollen nicht nur den Impact durch Skalierung erreichen, also möglichst viele Leute ansprechen, sondern indem wir auch die bestmögliche Lösung anbieten. Damit auch der meiste Wert rausgezogen werden kann, damit auch der Nutzungsgrad, die Effizienz der Materialien, aus den Informationen, die wir generieren können, gesteigert werden kann. Es gibt nun zwei Möglichkeiten, die es gibt: Ich als Eigentümer bin Eigentümer der Daten, also ich entscheide ob ich das Ganze mit anderen Teile oder nicht. Kann es also entweder öffentlich im Materialkadastro teilen, also ähnlich wie bei Google Maps einsehen kann, in dem Bereich werden diese Materialien frei, dann bekommen die Rückbauer Information darüber, wo was frei wird. Können anschließend mit den Herstellern kommunizieren bzw. die Hersteller können selbst über das Materialkadastro einsehen, wo was frei wird, was für Sie interessant ist an Materialien. Interessierte können dann über das Materialkadastro, wenn der Eigentümer dafür die Erlaubnis gegeben hat zu kontaktieren, den Eigentümer kontaktieren. Der Ablauf läuft dann über das Materialkadastro selbst oder über einen Marktplatz. Der Ablauf kann aber auch auf kleinerer Ebene funktionieren. Also das wir zum Beispiel WeberHaus haben. WeberHaus hat ja Fertighäuser?! WeberHaus könnte jetzt ihre Eigentümer vertraglich dazu verpflichten bzw. einen Materialpassport anzubieten und diesen mitverkaufen. Wenn nun etwas frei wird/abgerissen oder saniert wird dann können wir das wieder aufnehmen für ein neues Haus und wir helfen dir dann. Aber auch das zu

reparieren. Vertraglich ist dann vereinbart das WeberHaus dann exklusiven Zugriff auf die Informationen hat. WeberHaus kennt die Module und die Bauteile und will die Informationen nicht mit anderen Teilen und weiß auch wie diese wieder verwendet werden können und hat somit gegenüber denen ein Vorteil, die nicht Modular oder Fertighäuser bauen. #00:31:15-0#

Frederik Schölch: Sie haben vorhin Händlerplattformen erwähnt, können Sie dafür konkrete Beispiele nennen? #00:31:24-2#

Til Hagendorn: Der Markt ist glaube ich noch nicht so weit. Es gab einen Händler, Restado, die ursprünglich sowas gebildet haben, aber dann gemerkt haben die Kreislaufwirtschaft in der Baubranche ist noch nicht so weit. Also das die Materialströme schon existieren, so dass sowas attraktiv werden würde und somit ökonomisch tragbar als Plattform wäre. Wir sind stiftungsbasiert, aber Restado ist klassisch Venture Capital (durch Eigenkapital) finanziert und müssen somit schauen, dass der Prozess auch wirklich profitabel ist, weil sonst die Investoren sagen wo ist mein return on Invest, da hat das Timing noch nicht gestimmt. Seitdem weiß ich von keiner Plattform, zumindest in Deutschland, wo das gegeben ist. Bin mir aber sicher sobald das Thema noch mal weiter rausgetragen wird, wo jetzt die richtigen Zeichen in der Politik gesetzt werden und immer mehr Unternehmen mitmachen und dann die Materialströme kommen, dass dann aus diesem organischen Wachstum der Kreislaufwirtschaft in der Baubranche schnell genug Player hervorkommen werden, die ihre Chance erkannt haben sich als Marktplatz zu etablieren und solche Sekundärrohstoffe dann zu traden. #00:32:43-7#

Frederik Schölch: Nochmal zurück zum Geschäftsmodell. Sie haben vorhin gemeint man könnte die Materialpässe vertraglich verbindlich für die Eigentümer machen. Wie genau sieht euer Geschäftsmodell aus und wie könnte das Geschäftsmodell von Weberhaus aussehen? #00:33:07-1#

Til Hagendorn: Wir bieten das ganze über Lizenzen an, also wir haben eine Herstellerlizenz, für die Hersteller, die insbesondere an dem Trace and Track von ihren Materialien oder von ihren Produkten interessiert sind. Die ihre Produktdatenbank an unsere Plattform heranspielen, so dass wir dann eben direkt matchen können, wenn ein Element irgendwo verbaut wurde und automatisch einsehen können, welche Materialien drinstecken und somit die Aussagekraft immer höher wird. Wir haben eine Eigentümerlizenz, die wir vorhin auch schon besprochen haben und die Servicepartnerlizenz. Die Servicepartnerlizenz ist für alle Player, die davor in der Wertschöpfungskette auftreten, zwischen Hersteller und Eigentümer. Vor allem Architekten, Planer, BIM-Modellierer, Projektentwickler und Bauunternehmen. Die Eigentümerlizenz und auch die Servicepartnerlizenz richten sich nach der Portfoliogröße, die man dokumentieren möchte und nach der Nutzeranzahl. Das Ganze wird dann jährlich abgebucht. Man hat dann eine Lizenz, die kann sich auch verändern, je nachdem welche Größe das Portfolio zur Dokumentation hat. Man zahlt jährlich einen gewissen Beitrag dafür. Zahlt man diesen nicht mehr verliert man den Zugang zur Plattform. Man kann sich dann natürlich die Materialpässe zum damaligen Zeitpunkt mit den Informationen festhalten. Veränderungen über die lange Lebensdauer wie z.B. Sanierungen am Gebäude können dann nicht mehr eingetragen werden. Vielleicht noch ein paar Worte zum Stiftungsgedanken, der eine große Rolle spielt bei uns im Geschäftsmodell. In der Stiftungssatzung ist festgesetzt, dass der Impact immer vor Profit stehen muss. Heißt das wir im Profitdeckend arbeiten, sodass die Lizenzen uns finanzieren, die Kosten die wir haben, also Plattformkosten, Mitarbeiterkosten etc. weil wir eben nicht profitorientiert arbeiten, sondern der Impact im Vordergrund steht und wir möglichst viel erreichen können und die finanzielle Hürde für den Lizenzerwerb nicht die Hürde ist wodurch Unternehmen sagen sie machen deshalb nicht mit. Ziel ist es zu einem bestimmten Zeitpunkt, wenn das Materialkaster mal so groß ist, der Bund die Plattform aufkauft und operativ weiterführt und der Zugang irgendwann öffentlich und kostenlos für alle verfügbar ist und den größtmöglichen Impact hat. Und jetzt können wir über das Geschäftsmodell von WeberHaus kurz reden. Ich kann mir persönlich zwei neue Modelle vorstellen. Einmal bezogen auf dieses PAS, was ich schon angesprochen hatte. Also Product Asset Service. Beispielsweise wir haben unsere Fertighäuser, die wir ganz klassisch verkaufen vereinbaren aber zusätzlich das für jedes dieser Objekte ein Materialpassport angefertigt wird und das WeberHaus am Ende beim Abriss oder bei einer Sanierung, wenn Material oder ein Modul frei wird, dass man dann Zugang zu diesen Daten hat. Die Eigentümer der Häuser müssen diesen Zugang gewähren, dass man somit als WeberHaus das Erstrecht auf die Informationen und die Materialien hat um diese

zu verwenden, beim Bau von anderen Häusern. Das wäre die eine Variante. Das andere geht ein bisschen Richtung PAS, ist aber nochmal ein größerer Schritt weg vom klassischen Modell. Wir haben unser Material in den Häusern und wir vermieten diese an unsere Kunden. Diese sind Besitzer vom ganzen Haus und hat dann gleichzeitig als Kunde die Flexibilität das Gebäude nach der Nutzung mit dem Materialpassport an uns, WeberHaus, wieder als Eigentümer mit allen Veränderungen zu übergeben. WeberHaus kann dann die Materialien mit allen Daten wieder verwenden und evtl. an den nächsten Besitzer weitergeben. Was heute schon gemacht wird, nicht nur auf WeberHaus bezogen, dass man schaut welche Materialien kommen in nächster Zeit auf den Markt, die für ein bestimmtes Projekt verwendet werden können. Diese könnten in der Produktion evtl. günstiger und die Wiederverwendbarkeit verbessert wird. #00:39:39-2#

Frederik Schölch: Die Produktion ist halt hier in Rheinau, also in Baden-Württemberg. Die Lieferung erfolgt aber deutschlandweit, das heisst das müsste dann schon eine öffentliche Handelsplattform geben. Wenn du den internen Kreis schließt, dann hast du ja wieder Transportkosten von Norden zur Produktion in den Süden und das wird sich glaube wahrscheinlich nicht wirklich rechnen!? Also es müsste wahrscheinlich so ein öffentliches Modell für WeberHaus sein? #00:40:06-3#

Til Hagendorn: Das Materialkadastro wird dann auch öffentlich aufgesetzt, so dass man eben auf ganz Deutschland Zugang hat. Aber trotzdem gibt es die Idee, dass man als Eigentümer entscheiden kann, ob man seine Daten einsehen kann und diese im Materialkadastro einsehbar sind oder nicht. Es gibt auch Datenschutzrechtlich unseres Wissens keine andere Möglichkeit, keine Lücke im Gesetz, die man in dem Fall für den guten Zweck nützen könnte. Das nur WeberHaus das exklusive Recht darauf hat ihre Informationen zu den eingebauten Materialien in den Gebäuden erhält und andere Unternehmen, die keine Berechtigung hat, kann die Informationen nicht einsehen. Es gibt dann zwar noch eine öffentliche Übersicht/Karte für alle aber nicht die detaillierten Materialströme, die aus den Häusern von WeberHaus kommen. #00:41:07-0#

Frederik Schölch: Welche Voraussetzungen sind nötig in so einem Unternehmen um Madaster/Dokumentation einzuführen? An die Mitarbeiter an das BIM-Modell? Wie genau muss das Modell sein? An die Häuser generell, die Wiederverwendbarkeit? #00:41:23-7#

Til Hagendorn: Ich habe es schon mal angesprochen. Erster Punkt wäre das Design der Produkte/Bauteile. Wie kann man diese so montieren, dass man sie auch bei einer Sanierung trennen und auch wieder verwenden kann. Dann wenn wir jetzt darüber sprechen zu dokumentieren. Dann müsste das Unternehmen BIM fähig sein. Das heißt Inhaus BIM-Koordinatoren oder das Ganze an BIM-Experten outsourcen. Das ist der Vorteil von WeberHaus mit Fertighäusern, mit den standardisierten Modellen, die sich in der Regel nicht verändern. Das heißt man müsste ein paar BIM Modelle aufsetzen und muss diese aber möglichst genau modellieren, also auch die verschiedene Verbindung zwischen den Bauteilen, um Aussagen zur Demontierbarkeit zu erhalten. Diese detaillierten BIM-Modelle stehen dann repräsentativ für Gebäude Art x und muss nicht für jedes Gebäude einzeln entworfen werden. Der zweite Punkt wäre bei jedem neuen Haustyp nötig, je nach Individualisierungsgrad natürlich. Außerdem wird jemand benötigt, der die Daten, die im Materialpasswort drin sind, nachpflegt oder bei Sanierungszyklen aktualisiert. Der darauf achtet, ob alles modelliert wurde, alles hochgeladen wurde und somit diese ganz normale Pflege des Materialpassports übernimmt. Damit dieser nicht einfach abliegt und am Ende nicht mehr mit neuer Information gefüttert wird. Außerdem könnte von einem Sales Team geschaut werden wo welche Materialien frei wird und wo kann dieses neu eingesetzt werden. #00:43:59-3#

Frederik Schölch: Ich glaube das größte Problem wird das BIM Modell sein. Es gibt Ansätze von BIM, aber das ist alles noch nicht so detailliert. Ein weiteres Problem könnte in dem Zusammenhang der Individualbau sein. Der Bauherr kann außerdem Wünsche in den Standardhäusern z.B. über die Position der Wände äußern. Außerdem baut WeberHaus 12 Häuser die Woche. Das heißt eine manuelle Eingabe ist glaube ich fast nicht machbar für WeberHaus. Das BIM Modell ist wahrscheinlich noch die größte Hürde, um Madaster bei WeberHaus zu etablieren. Noch kurz zum Schluss: Was ist der Vorteil zu anderen Plattformen? Ich habe schon Salsa, Arcades und Concular kennengelernt, wo siehst du den Vorteil von Madaster? #00:45:05-6#

Til Hagendorn: Wir arbeiten automatisiert und alle anderen Player, die es gibt arbeiten auf Beratungsebene. Können genauso gute Aussagen treffen, müssen aber ins Gebäude rein und können nie in so einer hohen Skalierung arbeiten können wie Madaster, weil es bei uns eben automatisch von der Plattform ausgeführt wird. Bei denen geht das Ganz eben nur wenn sie genug Personal haben. Die Idee was sie alles machen ist alles super und greift ja auch den Gedanken der Kreislaufwirtschaft auf, aber wird halt nie reichen, um ein Materialkadastro aufzusetzen, sondern im kleinen Stil. Wo der Hebel, um den Klimazielen näher zu kommen, nicht so groß ist. Außerdem ist eine direkte Beratung dieser Plattformen wahrscheinlich auch teurer als unser automatischer Service. #00:46:16-3#

Frederik Schölch: Ist die Plattform anbindbar? Kann man das BIM-Modell mit der Plattform verbinden, also kann ein Projekt automatisch in Madaster eingepflegt/hochgeladen werden oder muss dies manuell gemacht werden? #00:46:31-4#

Til Hagendorn: Derzeit ist das nicht möglich. Evtl. kommt das noch. Das BIM Modell wird auch nicht hochgeladen. Das BIM Modell wird zu einem IFC exportiert, das kann man sich wie eine 3D PDF vorstellen, die alle Informationen zu der Konstruktion und Materialien enthält. Ein IFC File kann auch nicht so einfach ausgelesen werden. Der File wird dann auf die Plattform hochgeladen. Benötigt also auch nur einen Klick. Man wählt den IFC File aus, wählt die Klassifizierungsmethode aus, also DIN 276, z.B. 2018 Standard und läd die Datei hoch. Speichert die Datei ab und wird dann automatisch ausgeladen. Ist also kein wirklicher Mehraufwand die Datei noch hochzuladen. #00:48:23-8#

Frederik Schölch: Gut. Dann haben wir schon sechs Minuten überzogen, sorry dafür. Hast du noch Informationsmaterial oder interessante Interviewpartner, die sich mit dem Thema beschäftigen, wo du denkst, die können mir weiterhelfen oder sonst irgendwelche Anregungen? #00:48:47-2#

Til Hagendorn: Madaster Docs --> verschiedene Dokumente zur Anwendung der Plattform + How to Madaster --> welche Vorteile und Informationen zu Madaster

Frederik Schölch: Hast du noch Ideen für Veranstaltungen, Vorträge etc.? #00:50:33-3#

Til Hagendorn: Juni --> Greentech Festival in Berlin + Nachhaltigkeitssymposium der deutschen Bauwirtschaft

