

## Architektonische Details als Schlüssel für das kreislaufgerechte Konstruieren: Analyse von Darstellungs- und Informationsgehalten zeichnerischer Details

*Daniela Schneider, Dirk E. Hebel*

(Dipl.-Ing. (FH), M. Sc. Daniela Schneider, Karlsruher Institut für Technologie, Institut Entwerfen und Bautechnik, Fakultät Architektur, Fachbereich Nachhaltiges Bauen, Englerstr. 11, D-76131 Karlsruhe, daniela.schneider@partner.kit.edu)  
(Prof. Dirk E. Hebel, Karlsruher Institut für Technologie, Institut Entwerfen und Bautechnik, Fakultät Architektur, Fachbereich Nachhaltiges Bauen, Englerstr. 11, D-76131 Karlsruhe, dirk.hebel@kit.edu)

### 1 ABSTRACT

Kreislauffähige Konstruktionen bieten erhebliche Vorteile im Hinblick auf den Klima- und Ressourcenschutz. Sie zeichnen sich durch eine hohe Ökoeffektivität<sup>1</sup> und Langlebigkeit aus und leisten einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, der Minimierung des Ressourcenverbrauchs und der Reduktion von Abfällen.<sup>2</sup> Der Schwerpunkt des kreislauffähigen Bauens liegt auf der Auswahl sortenreiner Materialien<sup>3</sup>, die nach ihrem Gebrauch entweder erneut verwendet oder in geschlossene technische oder biologische Stoffkreisläufe überführt werden können.<sup>4</sup> Um eine sortenreine Trennung der eingesetzten Materialien zu ermöglichen, sind geeignete Füge-technologien erforderlich, um die Demontage, Wiederverwendung und die materialgerechte Wiederverwertung von Bauteilen im Sinne der Kreislaufwirtschaft sicherzustellen.<sup>5</sup> Angesichts der globalen Notwendigkeit von Ressourcen- und Klimaschutz müssen die relevanten methodischen Konzepte des kreislauffähigen Bauens systematisch als auch informativ bis hin zur Detailzeichnung in den Planungsprozess integriert werden.

Das zeichnerische Detail ist ein zentraler Bestandteil des iterativen Entwurfsprozesses in der Architektur und dient vor allem als Medium für den Wissens- und Informationstransfer zwischen allen am Planungsprozess beteiligten Akteurinnen und Akteuren. Eine Möglichkeit, kreislauffähige Bauweisen zu fördern, ist das Hinterfragen der etablierten zeichnerischen Entwurfsgrundlagen und der Prüfung des Informationsgehalts der Detailzeichnungen auf ihre Eignung für das kreislauffähige Konstruieren. Für die folgende Ausarbeitung wurden siebzig ausgewählte zeichnerische Details von architektonischen Bauteilen mittels einer Analyse hinsichtlich ihres Darstellungs- und Informationsgehalts im Kontext der Kreislauffähigkeit evaluiert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Identifikation und Auswertung von Angaben zu verwendeten Materialien, Füge-technologien sowie der potenziellen Wiederverwendbarkeit der Bauteile.

Ziel war es, zu ermitteln, inwieweit die Detailzeichnungen relevante Informationen für eine kreislaufgerechte Nachnutzung der Bauteile vermitteln und wie diese den Anforderungen der Kreislaufwirtschaft entsprechen. Durch die Untersuchung veröffentlichter Details aus Fachliteratur und Konstruktionskatalogen aus verschiedenen Zeiträumen zwischen 1965 und 2023 wurden die Darstellungen von Materialeigenschaften und Füge-technologien sowie den Anforderungen für das kreislaufgerechte Bauen systematisch verglichen. Der Vergleich historischer und aktueller Zeichnungen liefert dabei Erkenntnisse über die Entwicklung und Potenziale zeichnerischer Details im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Allerdings zeigt die Evaluierung auch, dass der Informationsgehalt aktueller Zeichnungen derzeit noch nicht ausreichend ist. Für die Festlegung des Informationsgehalts ist vorrangig ein methodisches Konzept erforderlich, das die relevanten Kriterien systematisch erfasst und definiert. Um eine umfassende Beurteilung zukünftiger Bauteile zu ermöglichen, ist es erforderlich, die Detailzeichnung um eine zusätzliche Schicht für die Füge-techniken zu erweitern. Zudem ist eine Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven erforderlich, insbesondere im Hinblick auf die potenzielle Beschädigung der Materialschichten durch den Aufschluss der Füge-technik. Durch eine geänderte Sichtweise auf das Detail kann die Verfügbarkeit von Ressourcen sowie die Wiederverwendbarkeit der Bauteile in der Entwurfsphase fundierter eingeschätzt werden.

<sup>1</sup> Braungart, M.; McDonough, W.: Einfach intelligent produzieren. Cradle to Cradle: Die Natur zeigt, wie wir Dinge besser machen können. Berlin, 2010. S. 100 ff.

<sup>2</sup> Hebel, D.; Heisel, F.: Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Die Stadt als Rohstofflager. Stuttgart, 2021. S. 10-11

<sup>3</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S. 21-22

<sup>4</sup> Braungart, M.; McDonough, W.: Einfach intelligent produzieren. Cradle to Cradle: Die Natur zeigt, wie wir Dinge besser machen können. Berlin, 2010. S. 124

<sup>5</sup> Schneider, D.: Reversible Füge- und Verbindungsmethoden. In: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.104-109

Keywords: Informations- und Darstellungsgehalt, Planung, Architektonische Details, Kreislaufgerechtes Konstruieren, Kreislaufschließung

## 2 ANALYSE ZEICHNERISCHER DETAILS IM KONTEXT DER KREISLAUFFÄHIGKEIT

Das zeichnerische Detail hat sich über Jahrzehnte als bewährte Methodik in der Architekturplanung etabliert, um einfache als auch komplexe Konstruktionen und deren spezifische Merkmale zu dokumentieren.<sup>6</sup> Besonders bei der Planung von Bauteilkonstruktionen ist das zeichnerische Detail nicht nur ein Mittel der visuellen Darstellung, sondern auch ein zentraler Faktor, der die ökonomischen, ökologischen und gestalterischen Dimensionen eines Bauprojekts maßgeblich beeinflusst. Die Betrachtung von Detailzeichnungen unter Berücksichtigung normativer und projektspezifischer Anforderungen spielt eine entscheidende Rolle im Entwurfsprozess.

Im Kontext der Kreislaufwirtschaft gewinnt die Analyse solcher zeichnerischen Details an Bedeutung, da sie einen wichtigen Beitrag zur Integration von Kreislaufprinzipien in die Entwurfsphase leisten kann. Eine präzise Untersuchung in der Entwurfsphase zeichnerischer Darstellungen ermöglicht es, Planungs- und Optimierungspotenziale für das kreislauffähige Konstruieren zu identifizieren. Dabei können sowohl die effiziente Ressourcennutzung als auch die spätere Wiederverwendbarkeit der Bauteile gezielt verbessert werden. Die wesentlichen Aspekte sind dabei die Auswahl geeigneter Materialien und Füge Technologien, die in der Entwurfsphase in einer Detailzeichnung festgehalten werden. Die vorliegende Untersuchung widmet sich der Analyse von Detailzeichnungen, die sowohl aus historischen, traditionellen als auch aus kreislauffähigen Bauprojekten stammen. Ziel ist es, neue Erkenntnisse zur Weiterentwicklung zeichnerischer Darstellungen im Hinblick auf die Anforderungen einer nachhaltigen Bauweise zu gewinnen.

### 2.1 Identifizierung der Schlüsselaspekte für die Analyse

Strategische Entscheidungen zur Entwicklung einer kreislauffähigen Konstruktion und ihrer Materialien sind eng miteinander verknüpft und beeinflussen maßgeblich den Gebäudelebenszyklus sowie die zirkuläre Nachnutzung der gesamten Bauweise. Um die Kreislauffähigkeit anhand einer Detailzeichnung bewerten und Verantwortlichkeiten für deren Umsetzung definieren zu können, müssen wesentliche Schlüsselaspekte berücksichtigt werden.

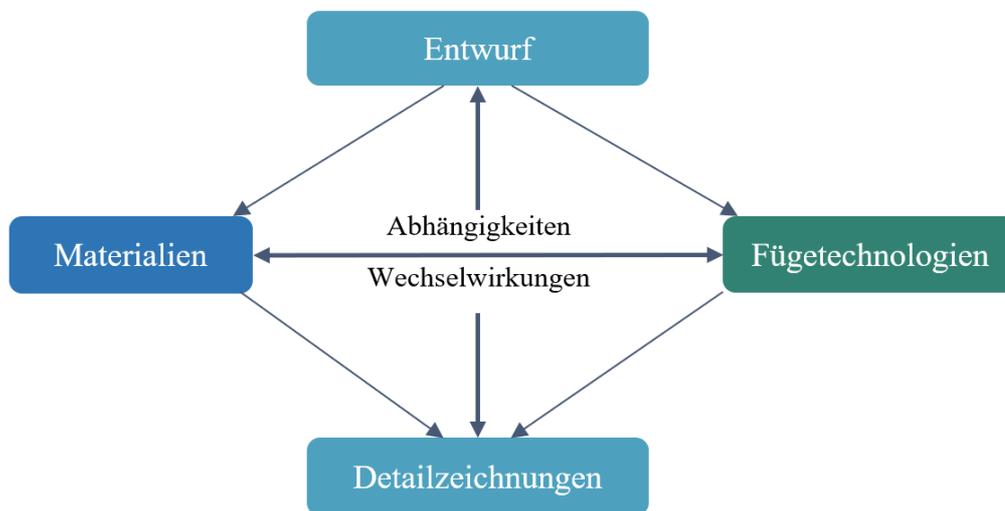


Abbildung 1: Aspekte der zeichnerischen Details im Entwurfsprozess

Abbildung 1 veranschaulicht die wesentlichen Aspekte zur Analyse der zeichnerischen Details im Entwurfsprozess. Die Ableitung und Integration dieser Faktoren sowie ihre Verankerung im zeichnerischen Detail spielen eine wesentliche Rolle bei der Auswahl geeigneter Materialien und reversibler Füge Technologien. Im Folgenden werden diese Aspekte detaillierter erläutert.

Materialien

<sup>6</sup> Schneider, D.: Die Relevanz der Bauteilanalyse. In: Nachhaltig Bauen, Ausgabe 04/2024. Berlin, 2024. S. 42-43

Die Wahl der Materialien legt die Grundlagen für das Konstruieren fest. In der Tabelle werden einzelne Faktoren aufgeschlüsselt, die für die sortenreine Materialwahl maßgeblich sind:

Aspekte	Gestaltung der Materialauswahl in der Entwurfsphase	Möglichkeiten der zeichnerischen Darstellung
Ziel	Auswahl sortenreiner Materialien, um eine Nachnutzung zu maximieren	Präzise Darstellung sortenreiner Materialien in den Zeichnungen
Kriterien	Die Auswahl erfolgt nach Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sortenreinheit,</li> <li>- Zusammensetzung,</li> <li>- Nachwachsende Rohstoffe,</li> <li>- Rezyklat</li> <li>- Umweltwirkungen,</li> <li>- Instandhaltung- und Reparaturanfälligkeit<sup>7</sup></li> <li>- Rücknahmemöglichkeit</li> <li>- Wieder- und Weiterverwendung</li> <li>- Recyclingverfahren</li> </ul>	Die textlichen Beschreibungen ergänzen die dargestellten zeichnerischen Materialeigenschaften
Nachnutzung	Materialien sollen so ausgewählt werden, dass sie nach der Nutzung mit minimalem Aufwand und ohne aufwendige Aufschlussverfahren nachgenutzt werden können. Der Schwerpunkt liegt auf sortenreinen Materialien, die ohne Qualitätseinbußen wiederverwendet oder in den biologischen oder technischen Kreislauf zurückgeführt werden können	In den Detailzeichnungen werden sortenreine Materialien z.B. durch Symbole dargestellt, die den bestimmten Kreislaufansatz sicherstellen.

Tabelle 1: Auswahl und Darstellung von Materialien

Neben den oben genannten Aspekten, trägt die Reduzierung der Bauteilschichten eines Details zur Minimierung der Fügetechniken sowie zur Verringerung des Rückbau- und Demontageaufwandes bei und leistet bei der Reduzierung von Materialien gleichzeitig einen Betrag zur Reduzierung der Ressourcen und des ökologischen Fußabdrucks.

### Fügetechnologien

Die Wahl der Fügetechnik sollte unter Berücksichtigung der in der Tabelle genannten Aspekte erfolgen:

Aspekte	Gestaltung und Wahl der Fügetechnik in der Entwurfsphase	Möglichkeiten der zeichnerischen Darstellung
Ziel	Die Auswahl der Fügetechnik erfolgt unter Berücksichtigung des bestimmten Kreislaufansatzes, die eine einfache Demontage und Wiederverwendbarkeit am Ende der Nutzungsphase ermöglichen	Fügetechniken werden in der zeichnerischen Darstellung durch eine eindeutige Kennzeichnung von reversiblen und demontierbaren Verbindungen dargestellt
Kriterien	Die Auswahl der Fügetechnologien wird durch Faktoren der Reversibilität, Flexibilität sowie durch die Fähigkeit zur materialgerechten Trennung und die Wiederverwendbarkeit der Bauteile bestimmt <sup>8</sup>	Die Verwendung von Symbolen stellt die Reversibilität der Fügetechnik sicher. Die Positionierung der Verbindungselemente wird in der Bemaßung angegeben, die Anzahl der Verbindungsmittel im textlichen Teil

Tabelle 2: Auswahl und Darstellung von Fügetechnologien<sup>9</sup>

Die Darstellung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen von Material, Konstruktion und Flexibilität stellt sich als eine Herausforderung dar, da Materialien und Fügetechnologien in einer wechselseitigen

<sup>7</sup> Schneider, D.: Die Relevanz der Bauteilanalyse. In: Nachhaltig Bauen, Ausgabe 04/2024. Berlin, 2024. S. 42-43.

<sup>8</sup> Schneider, D.: Reversible Füge- und Verbindungsmethoden. In: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.104-109

<sup>9</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.138-139

Beziehung stehen. Ihre Kombination beeinflusst maßgeblich die Wiederverwendung und materielle Wiederverwertung baulicher Komponenten. Eine isolierte Betrachtung dieser Elemente würde potenzielle Synergien und Abhängigkeiten vernachlässigen. In der Entwurfsplanung stellt die Integration der kreislaufspezifischen Aspekte eine Herausforderung dar: das Detail entwickelt sich aus einem gesamtiterativen Prozess der übergeordneten und projektspezifischen Vorgaben an das Bauvorhaben heraus.

## 2.2 Definition und Eingrenzung der Untersuchungsgegenstände

Innerhalb der für das Paper durchgeführten Analyse wurde der Darstellungs- und Informationsgehalt ausgewählter Detailzeichnungen systematisch nach den in den Tabellen genannten Schlüsselkriterien evaluiert. Ziel war es, die enthaltenen Angaben in den Detailzeichnungen zu den vorgesehenen Materialien und Füge-techniken zu untersuchen und deren Relevanz für die Kreislauffähigkeit zu ermitteln.

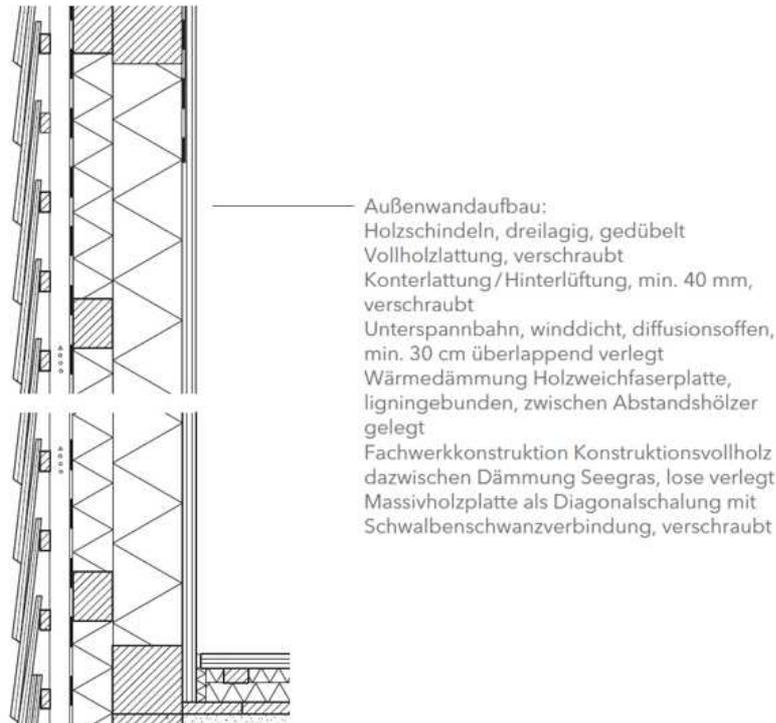


Abbildung 2: Beispiel eines analysierten Vertikalschnitts einer sortenreinen Holzständerbauweise

Die Analyse der Darstellungen zeichnerischer Details bezieht sich auch auf die Untersuchung und Interpretation grafischer Darstellungen, die in der Architekturplanung verwendet werden, um konstruktive und gestalterische Aspekte zu kommunizieren. Insgesamt wurden siebzig publizierte Detailzeichnungen untersucht, die aus historischen, traditionellen oder aktuellen nachhaltigen und kreislauffähigen Projekten entstammen. Der zeitliche Schwerpunkt umfasst Bauprojekte aus dem Jahr 1965 bis 1981 sowie im Zeitraum von 2000 bis 2023. Die untersuchten Details umfassten jeweils Konstruktionen aus der Holz-<sup>10 11 12 13 14</sup>, Massiv-<sup>15 16 17</sup>, Stahl-<sup>18 19 20</sup>, Stahlbetonbauweise<sup>21 22 23</sup>. Die Datengrundlage setzte sich aus einschlägigen

<sup>10</sup> Herzog, T.; Natterer, J. et al.: Holzbau Atlas. Berlin, 2003. S. 297, 301, 311

<sup>11</sup> Kaufmann, H.; Krötsch, S. et. al: Atlas mehrgeschossiger Holzbau. München, 2017. S. 179, 189,197

<sup>12</sup> Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018. S. 167-169

<sup>13</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.134-141; 146-149;

<sup>14</sup> Kolb, J.; Kolb, H. et al: Holzbau mit System. Basel, 2024. S. 137, 141, 155-156, 206-207, 216, 228, 250-251

<sup>15</sup> Achtziger, J.; Pfeifer, G.; et al.: Mauerwerk Atlas. Berlin, 2001. S. 221, 224

<sup>16</sup> Böttger, T.; Knauer, U.: Massives Material – Monolithisch, homogen und zirkulär Bauen. Basel, 2023. S. 30

<sup>17</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.162-165

<sup>18</sup> Bollinger, K.; Grohmann, M. et al.: Atlas moderner Stahlbau: Stahlbau im 21. Jahrhundert. Berlin, 2011. S.183-184; 197; 212

<sup>19</sup> Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018. S. 149-151

<sup>20</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S. 194-201

<sup>21</sup> Kind-Barkauskas, F.; Kauhsen, B.; et al.: Beton Atlas. Berlin, 2002. S. 185; 189; 201; 217

Lehr- und Grundlagenwerken zur Baukonstruktion, Konstruktionskatalogen sowie Fachartikeln zusammen. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Analyse des Schichtaufbaus von Außenwänden in Neu- und Bestandsbauten, wobei die Details auf ihre zeichnerische Tiefe und die Einhaltung der kreislaufspezifischen Schlüsselaspekte geprüft wurden. Der Fokus der Untersuchung lag ausschließlich auf dem Darstellungs- und Informationsgehalt hinsichtlich der verwendeten Materialien, der eingesetzten Materialschichten und Füge-technologien sowie den dazugehörigen textlichen Angaben. Um eine methodisch fundierte Vergleichbarkeit der analysierten Details zu gewährleisten, wurden überwiegend Zeichnungen im Maßstab M 1:20 ausgewählt. Diese Maßstabsverhältnisse entsprechen den üblichen Abmessungen, die in der Entwurfs- und Werkplanung Anwendung finden und gewährleisten eine fundierte Datengrundlage für die Analyse. Der zeichnerische Detaillierungsgrad und -tiefe im gewählten Maßstab M 1:20 basiert auch auf gängigen Normen und Vorgaben, die in der Architekturpraxis und Bauplanung verwendet werden.

### 3 METHODIK

#### 3.1 Beschreibung der Methodik

Im ersten Schritt der Analyse wurden Konstruktionsatlanten unterschiedlicher Jahrgänge verschiedener Materialien ausgewählt, die sowohl im Studium als auch in der praktischen Anwendung der Entwurfsplanung Verwendung finden. Es wurden standardisierte Details aus den materialspezifischen Konstruktionskataloge für Holz<sup>24 25 26</sup>, Stahlbeton<sup>27 28</sup>, Mauerwerk<sup>29 30</sup> und Stahl<sup>31</sup> für die Analyse des Informations- und Darstellungsgehaltes in Bezug zur Kreislauffähigkeit selektiert. Auffallend ist die gestalterische Sprache der Details in den materialspezifischen Konstruktionskatalogen. Sie ist stark auf das Wesentliche reduziert, standardisiert und vereinfacht. In der ersten Betrachtung der zeichnerischen Details wurde festgestellt, dass es stark abweichende Detaillierungsgrade der zeichnerischen Darstellung und der textlichen Beschreibung im Vergleich zu einschlägigen Normen gibt. Die zeichnerische Sprache entspricht typischerweise der gestalterischen Sprache eines Verlags oder einer Autorin oder eines Autors. Die publizierten Details konzentrieren sich hauptsächlich auf die Materialschichten und deren grundlegenden Eigenschaften. Die textliche Beschreibung der Materialangaben sowie die zeichnerische Darstellung von Verbindungsmitteln der einzelnen Materialschichten und Komponenten zeigten Schwachstellen hinsichtlich der Angaben zu den dargestellten Materialien und Füge-technologien auf. Im Allgemeinen werden in den Details keine Aussagen zu kreislaufspezifischen Eigenschaften der Materialien getroffen, da dies nicht das Ziel eines materialspezifischen Konstruktionskataloges ist. Bedingt aussagekräftige Details mit Angaben zu den verwendeten Füge-technologien wurden insoweit publiziert, sofern es sich um ein elementares Gestaltungselement einer Sonderkonstruktion, um eine statische Anforderung oder um die Belange eines spezifischen statischen Elements handelt.

Im zweiten Schritt der Untersuchung wurden auch Details aus der weiterführenden Fachliteratur einzelner nachhaltiger und kreislauffähiger Projekte analysiert. Dazu wurde die Publikation des Aktivhauses „B10“ in Stuttgart von Architekt und Bauingenieur Werner Sobek aus dem Jahr 2015 herangezogen.<sup>32</sup> In seiner Publikation zum Aktivhaus „B10“ finden sich nur wenige konkrete Informationen zum kreislauffähigen Konstruieren; die vorhandenen Inhalte beschränken sich überwiegend auf Fotos und Texte, die eher implizit darauf hinweisen und entsprechend interpretiert werden können. Die zeichnerischen und textlichen Angaben bieten Potenzial zur Verbesserung, insbesondere durch die Ergänzung essenzieller Informationen zu den angewandten Füge-technologien. Es lassen sich Angaben zu sortenrein verwendeten Materialien finden, die den Fokus auf eine kreislauffähige Bauweise betonen. Die textlichen Beschreibungen und Fotografien lassen

<sup>22</sup> Schulz, J.: Sichtbeton-Atlas. Wiesbaden, 2009. S. 196, 294

<sup>23</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S. 182-185

<sup>24</sup> Herzog, T.; Natterer, J. et al.: Holzbau Atlas. Berlin, 2003

<sup>25</sup> Kaufmann, H.; Krötsch, S. et al.: Atlas mehrgeschossiger Holzbau. München, 2017

<sup>26</sup> Kolb, J.; Kolb, H. et al.: Holzbau mit System. Basel, 2024

<sup>27</sup> Kind-Barkauskas, F.; Kauhsen, B.; et al.: Beton Atlas. Berlin, 2002

<sup>28</sup> Schulz, J.: Sichtbeton-Atlas. Wiesbaden, 2009

<sup>29</sup> Achtziger, J.; Pfeifer, G.; et al.: Mauerwerk Atlas. Berlin, 2001

<sup>30</sup> Böttger, T.; Knauer, U.: Massives Material – Monolithisch, homogen und zirkulär Bauen. Basel, 2023

<sup>31</sup> Bollinger, K.; Grohmann, M. et al.: Atlas moderner Stahlbau: Stahlbau im 21. Jahrhundert. Berlin, 2011

<sup>32</sup> Heinlein, F.: Residentials by Werner Sobek. Stuttgart, 2015

dem Betrachtenden einen Spielraum offen, inwieweit eigens die für das Detail entwickelte Füge­technologie nachzuplanen ist. Die Füge­technologie spielt eine zentrale Rolle im kreislauffähigen Bauen, da sie maßgeblich die Demontierbarkeit und das Recyclingpotenzial von Bauteilen beeinflusst. Das Fehlen solcher Informationen schränkt die Anwendbarkeit der dargestellten Konzepte im Sinne einer vollständigen Kreislauffähigkeit ein. In einer weiteren Projektdokumentation der Experimentaleinheit Urban Mining und Recycling (UMAR) in Dübendorf aus dem Jahr 2019 wurden die zeichnerischen Details mit den Erläuterungen auf die von den Autoren zusammengestellten Schlüsselaspekte evaluiert. Die publizierten Details, ergänzt mit Fotografien und textlichen Angaben, konzentrieren sich auf eine vollständig kreislauffähige Konstruktion mit wiederverwertbaren und wiederverwendbaren Materialien.<sup>33</sup> Die Zeichnungen und Fotografien zeigen im Begleittext der Publikation, wie nachhaltige Materialien und eine kreislauffähige Planung zusammenwirken. Die von den Autoren genannten Schlüsselaspekte werden ausschließlich im erläuternden Begleittext dokumentiert und in den Detailzeichnungen nicht explizit dargestellt. Diese Zeichnungen beschränken sich auf die technische Ausführung und visualisieren keine spezifischen Hinweise zur Kreislauffähigkeit oder den zugrunde liegenden Materialstrategien.

Nachfolgend wurden in fachspezifischen Konstruktionskatalogen zum nachhaltigen oder kreislauffähigen Bauen aus den Jahren 2018 bis 2023<sup>34 35</sup> weitere Details auf ihren Darstellungs- und Informationsgehalt auf die von den Autoren erstellten Schlüsselaspekte analysiert. Das nachfolgende Schaubild stellt einen Auszug aus der Analyse eines Vertikalschnitts einer sortenrein geplanten Außenwand in Holz­ständerbauweise dar:

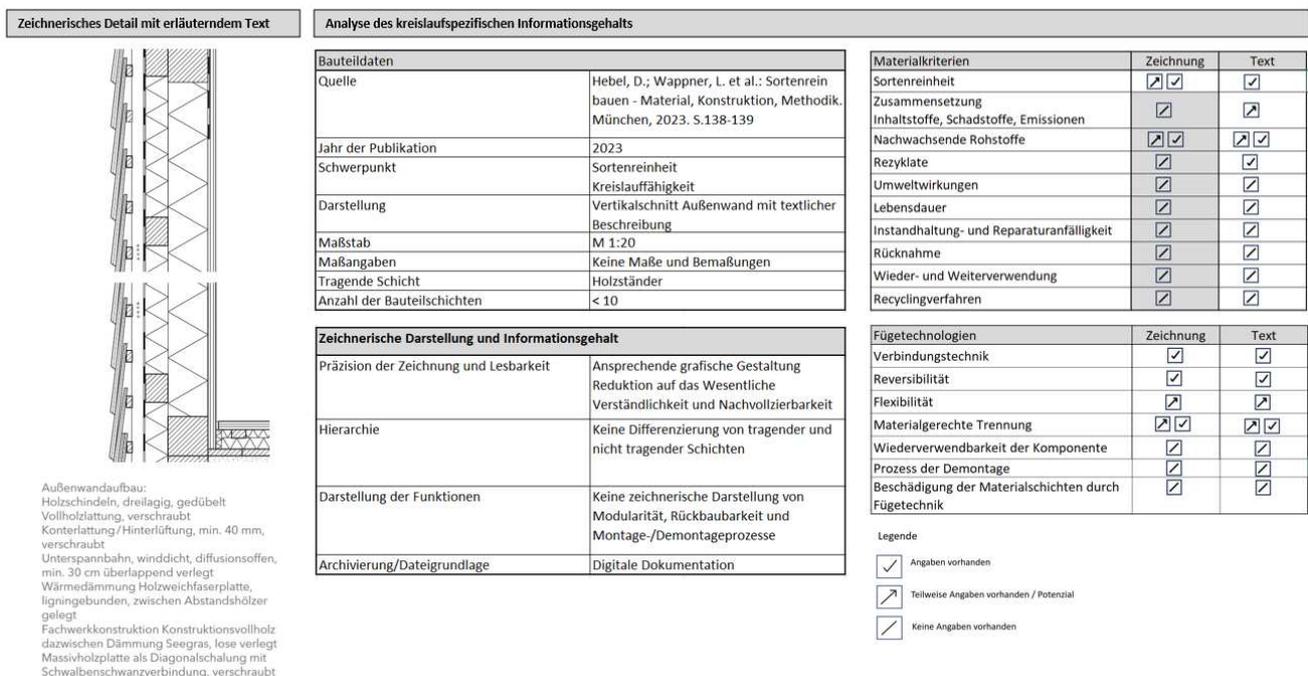


Abbildung 3: Bewertung des Informationsgehalts eines Details hinsichtlich der Kreislauffähigkeit<sup>36</sup>

In den Details wurden Angaben zu den vorgesehenen Materialien und den verwendeten Füge­techniken gemacht. Im dazugehörigen Textteil wurde beschrieben, ob es sich um abbaubare, biologische oder sortenreine Materialien<sup>37 38</sup> handelt. Ebenso liegt die Information vor, wie die Materialien gefügt werden z.B. ob es sich um einen losen Verbund, das Auflegen oder Klemmen handelt<sup>39 40</sup>. Diese Informationen bieten eine wichtige Grundlage, um die Umsetzung kreislaufgerechter Konstruktionsmethoden zu verstehen und die

<sup>33</sup> Heinlein, F.: Recyclable by Werner Sobek. Stuttgart, 2019

<sup>34</sup> Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018

<sup>35</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023

<sup>36</sup> Eigene Darstellung auf Basis von: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.138-139

<sup>37</sup> Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018

<sup>38</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023

<sup>39</sup> Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018

<sup>40</sup> Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023

Eignung der Materialien sowie ihre Verbindungstechniken im Hinblick auf Wiederverwendbarkeit und Demontierbarkeit zu interpretieren.

In einem weiteren Vergleich wurden historische Konstruktionsatlanten aus den Jahren 1960 bis 1981<sup>41 42 43</sup> herangezogen, um die dort angegebenen Materialien und verwendeten Verbindungsmittel in den Details zu analysieren. Auffallend ist die Schlichtheit der Details und auch die bewusste Einfachheit in der Materialwahl, die heute vermehrt in Projekten des „Einfachen Bauens“<sup>44</sup> erneut Anwendung finden. Konstruktionsweisen in Massivbau- als auch Stahlbetonbauweise halten sich in der Anzahl der Bauteilschichten reduziert. Details in Holzbauweise entsprechen dem Grundsatz der heutigen Holzrahmenbauweise. Die Untersuchung der historischen Details ergab, dass in den ausgewählten zeichnerischen Darstellungen die Materialien als auch spezifische Verbindungselemente angegeben wurden. Ein Vergleich der Details zeigt, dass sowohl die Konstruktionsweise als auch die Materialwahl auf einem sehr einheitlichen Ansatz basieren. Es lässt sich davon ausgehen, dass in den 1970er Jahren eine bewusste Sparsamkeit im Umgang mit Verbindungsmitteln herrschte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Verbindungselemente zu dieser Zeit als ebenso wertvoll und ressourcenintensiv, wie die verwendeten Baumaterialien selbst angesehen wurden. Die damalige praxisorientierte Haltung reflektiert ein Verständnis der Bautechnik, das Materialeinsatz und Ressourcenschonung in den Mittelpunkt stellte, was im Kontext der Kreislaufwirtschaft auch heute zunehmend mehr von Bedeutung wird. In den Detailzeichnungen wurden teilweise Verbindungen so gestaltet, dass sie die Wiederverwendbarkeit und Flexibilität der Bauwerke unterstützten, ohne unnötige Materialressourcen zu verschwenden. Diese Herangehensweise unterstreicht die damalige Sensibilität für den sparsameren Umgang mit materiellen Ressourcen und die nachhaltige Nutzung von Materialien. Daraus kann abgeleitet werden, dass ein einfaches und ressourcenschonendes Bauen aufgrund der Knappheit der Ressourcen und der Sparsamkeit in den 1970er Jahren und in den Jahren zuvor erfolgte.

### 3.2 Detailierungsgrad als Herausforderung

Unterschiedliche Detailierungsgrade publizierter Detailzeichnungen in den Konstruktionskatalogen und in der Fachliteratur weisen unterschiedliche Detailierungsgrade von Materialien und Füge-technologien im Maßstab M 1:20 auf. Je kleiner der Maßstab, desto schwerer ist es, eine Aussage über die Kreislauffähigkeit des Details treffen zu können. Für die kreislaufgerechte Planung ist in der Entwurfsphase der Detailierungsgrad als Standard für die Erstellung der Detailzeichnungen sowie dessen Maßgrößen anzupassen. Eine Darstellung der Details im Maßstab M 1:100 oder kleiner kann kaum dazu beitragen, die kreislaufspezifischen Prinzipien zu verorten. Für das kreislaufgerechte Planen sollten Detailzeichnungen im Maßstab M 1:20 oder größer bereits in der frühen Entwurfsphase angefertigt werden, sofern sie in die architektonische Gestaltung einfließen und eine Rolle spielen sollen.

Die Analyse zeigt auch, dass die in den zeichnerischen Details enthaltenen Angaben für die breite Umsetzung in der Entwurfsphase (HOAI-Leistungsphase 3 in Deutschland) für das kreislauffähige Konstruieren von Relevanz sind, jedoch nicht als verbindlicher Planungsstandard gelten. Trotz ihrer Bedeutung für die praktische Umsetzung kreislauffähiger Prinzipien wird der Detailierungsgrad nicht systematisch in den Publikationen angewendet. Dies weist darauf hin, dass die Integration kreislaufspezifischer Anforderungen in den Planungsprozess noch nicht in den Bereichen der Architekturplanung etabliert ist. Insbesondere ist es häufig so, dass solche Details in der frühen Planungsphase nicht zwangsläufig in den Standardprozess aufgenommen werden, was die Umsetzung nachhaltiger Bauprinzipien erschwert. Die fehlende Verbindlichkeit und der unzureichende Standardisierungsgrad dieser Informationen stellen eine Herausforderung für die flächendeckende Implementierung der Schlüsselaspekte dar.

<sup>41</sup> Kemmerich, C.: Graphische Details für Architekten. Stuttgart, 1968

<sup>42</sup> Ahnert, R.; Krause, K.-H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960. Berlin, 2009

<sup>43</sup> Schmitt, H.: Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Baugefüge. Grundlagen des heutigen Bauens. Braunschweig, 1981

<sup>44</sup> Technische Universität München: Einfach Bauen, 2025: <https://www.einfach-bauen.net/>. Online eingesehen am 28.01.2025

## 4 ERGEBNISSE

Der Darstellungs- und Informationsgehalt eines zeichnerischen Details hat direkten Einfluss auf die Kreislauffähigkeit, da diese die Grundlage für deren Präzision und Aussagekraft bildet. Der Abgleich der ausgewählten Details mit den ermittelten Schlüsselaspekten zu Materialeigenschaften und den Fügetechniken zeigten teilweise Defizite in der Darstellung auf. Dies lässt sich auf den entsprechenden Jahrgang als auch den Fokus in der Ausrichtung der Architektur sowie auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen zurückführen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Analyse lassen sich folgende Ergebnisse ableiten, die zugleich als Grundlage für konkrete Handlungsempfehlungen dienen:

### 4.1 Erforderliche Darstellung von Materialeigenschaften und Fügetechniken

Ein zentraler Schritt in der Förderung der Kreislauffähigkeit der Architektur besteht in der präzisen Auswahl sortenreiner Materialien und der durchdachten Definition von Fügetechnologien. Die korrekte und vollständige Angabe von Materialien und Fügetechnologien in den zeichnerischen Details ist dabei von entscheidender Bedeutung. Verbindungsmittel und Fügetechniken müssen im Detail definiert werden und eine gleichwertige Berücksichtigung im Kontext der eingesetzten Materialien erfahren. Fehlen Angaben zu den Fügetechnologien, entstehen Unsicherheiten hinsichtlich der Fügbarkeit und Trennbarkeit der Materialien. Dies stellt die ausführenden Unternehmen als auch die Bauleitung vor Herausforderungen, da sie nicht eindeutig erkennen können, welche Technologien an der entsprechenden Stelle angewandt werden sollen, und behindert so eine konsequente Umsetzung der Kreislaufwirtschaft.

Zur Vervollständigung der zweidimensionalen Zeichnung sind die Fügetechnologien als eigenständige Schicht hinzuzufügen, analog zur Materialschicht, da ihr Informationsgehalt für die Kreislauffähigkeit von Bedeutung ist.

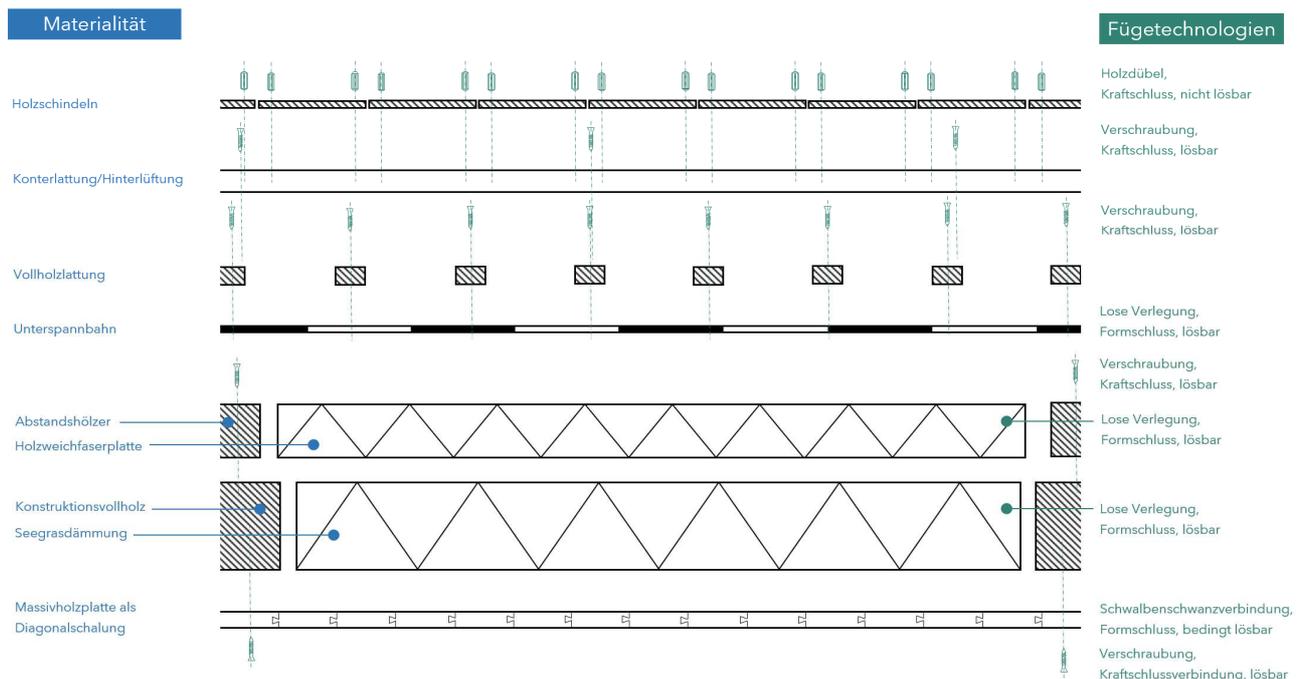


Abbildung 4: Fügetechnologien als eigenständige Informationsebene einer zweidimensionalen Horizontalzeichnung einer Außenwand<sup>45</sup>

Wie die Abbildung 4 zeigt, werden Fügetechnologien als eigenständige Informationsebene in der Detailzeichnung dargestellt, um ihren spezifischen Informationsgehalt in der Konstruktion deutlich hervorzuheben. Der erweiterte Informationsgehalt der Details kann eine spätere Trennung und Rückführung der Bauteile in den Materialkreislauf ermöglichen. Neben der klassischen zweidimensionalen Zeichnung bieten sich auch andere Darstellungsformen an, um die Fügetechnologien zu visualisieren. Beispielsweise kann eine dreidimensionale Zeichnung genutzt werden, um die Verbindungen und Fügetechniken in einer

<sup>45</sup> Eigene Darstellung auf Basis von: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.138-139

räumlichen Perspektive darzustellen, wodurch deren Funktion und Wechselwirkungen noch anschaulicher und greifbarer werden.

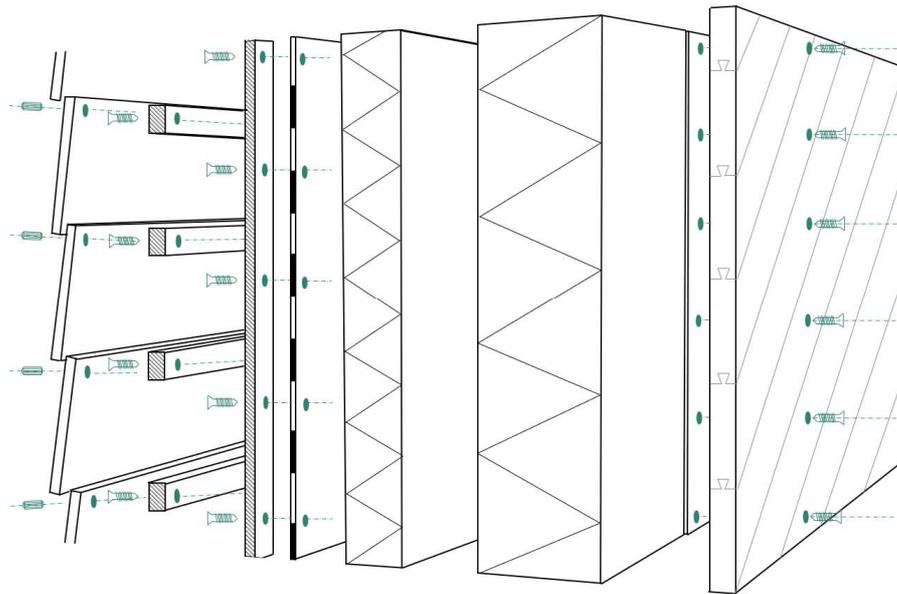


Abbildung 5: Füge- und Verbindungstechnologien als eigenständige Informationsebene einer dreidimensionalen Detailzeichnung (maßstabslos)<sup>46</sup>

Eine Vorderansicht der vorgesehenen Materialschichten ermöglicht, die Schäden an den Materialien durch den potenziellen Aufschluss darzustellen und die Folgen der Demontageprozesse zu verdeutlichen. Des Weiteren verbessert diese Darstellungsweise auch den Informationsgehalt der vorgesehenen Füge- und Verbindungstechniken.

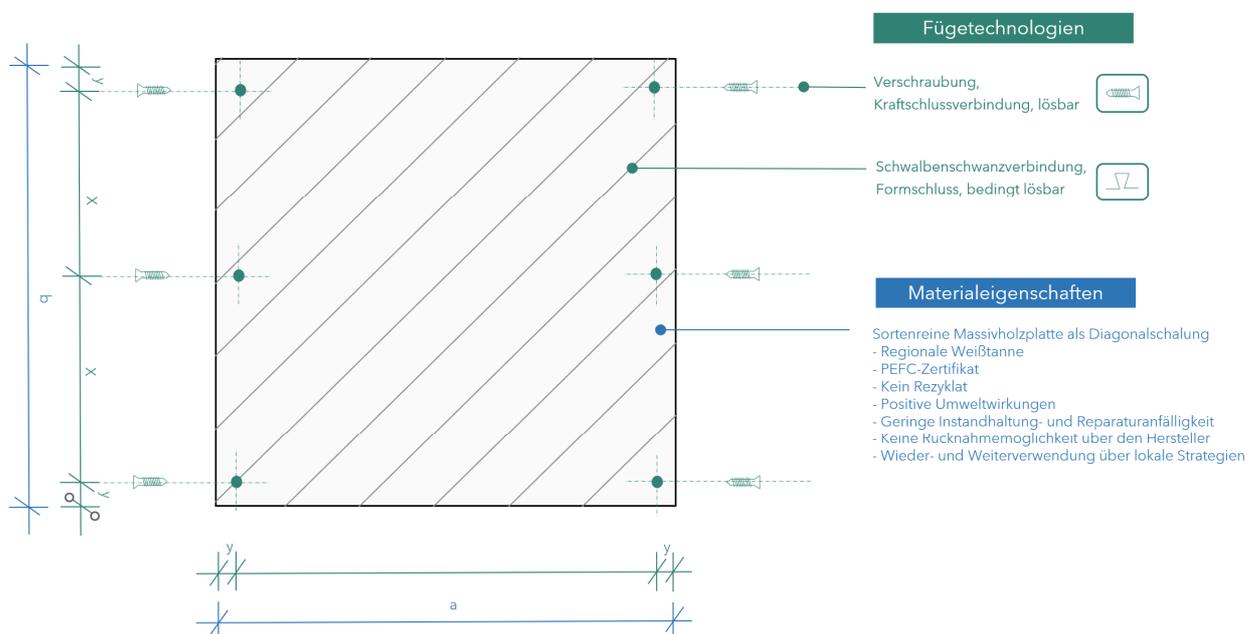


Abbildung 6: Vorderansicht einer sortenreinen Massivholzplatte als Diagonalschalung (maßstabslos)<sup>47</sup>

Um die Auswirkungen der Demontage auf die Wiederverwendbarkeit oder Recyclingfähigkeit der Materialien besser bewerten zu können, sind zusätzliche Perspektiven auf das Detail bereits in der

<sup>46</sup> Eigene Darstellung auf Basis von: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.138-139

<sup>47</sup> Eigene Darstellung auf Basis von: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023. S.138-139

Entwurfsphase erforderlich. Weitere Anregungen zur zeichnerischen Detaillierung sowie der Darstellung des Informationsgehaltes für Materialien und Füge-technologien sind in den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

## 4.2 Integration kreislaufspezifischer Aspekte in die Entwurfsplanung

Um die Kreislauffähigkeit von Materialien sicherzustellen, ist es unerlässlich, spezifische Eigenschaften der Materialien und Füge-technologien bereits in der Entwurfsphase zu berücksichtigen. Diese Phase bietet die größte Flexibilität zur Verankerung kreislauffähiger Prinzipien in architektonischen Details, da in späteren Planungsphasen, insbesondere ab der Werkplanungsphase Änderungen an Konstruktionen oder Materialien nur bedingt umsetzbar sind. Der Grund hierfür liegt im fortgeschrittenen Planungsstand, der wenig Spielraum für grundlegende Anpassungen bietet. Die Verlagerung der konstruktiven Gestaltungselemente, die traditionell in der Werkplanung entwickelt werden, in die Entwurfsphase erfordert eine Umstrukturierung des Planungsprozesses (siehe Abbildung 3). Daher ist es erforderlich, den Anteil der konstruktiven Gestaltung, der üblicherweise in der Werkplanung (HOAI-Leistungsphase 5, Deutschland) erfolgt, in die Entwurfsphase (HOAI-Leistungsphase 3, Deutschland) vorzuverlagern.

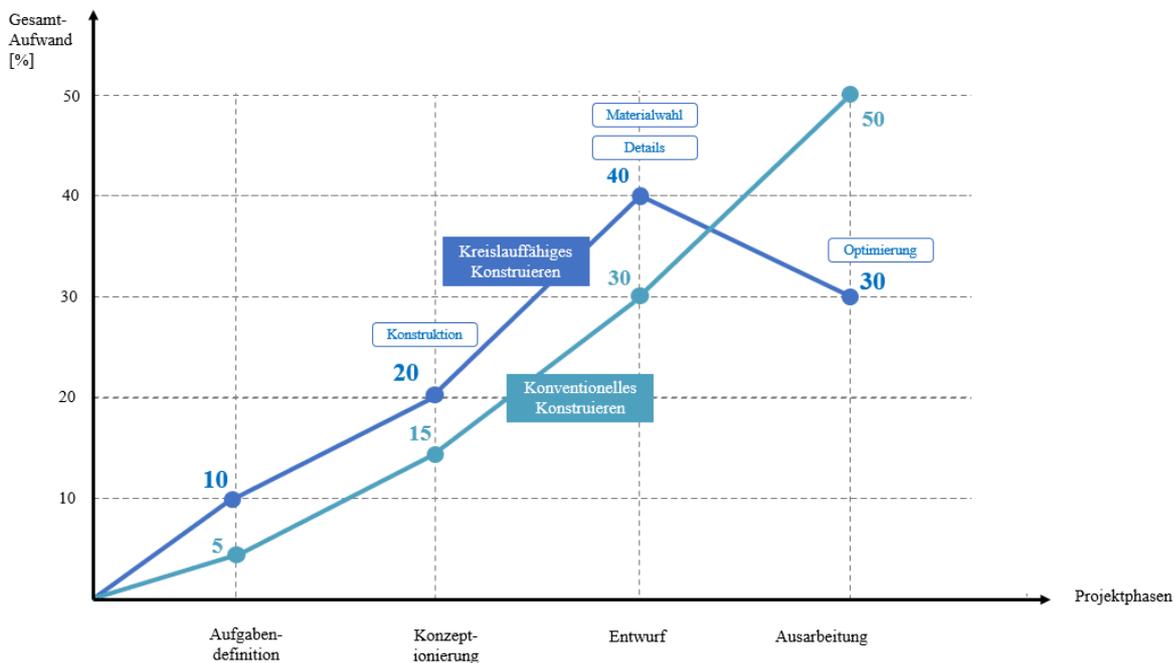


Abbildung 7: Vergleich konventionelles vs. kreislauffähiges iteratives Entwerfen

Dies ermöglicht eine frühzeitige Berücksichtigung und Optimierung von Material- und Konstruktionsentscheidungen im Hinblick auf ihre Kreislauffähigkeit. Die Verlagerung kann jedoch dazu führen, dass die Entwurfsphase verlängert wird, was im Planungsprozess entsprechend berücksichtigt werden sollte. Diese Maßnahme ermöglicht eine frühzeitige Optimierung hinsichtlich der Materialwahl, Füge-technologien und Konstruktionstechniken, um die spätere Demontierbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Bauteile sicherzustellen. Der verlängerte zeitliche Umfang der Entwurfsphase, der durch diese Verschiebung entstehen kann, sollte als strategische Investition in die Qualität und die Nachhaltigkeit des Bauvorhabens betrachtet werden.

## 4.3 Wissens- und Informationstransfer mittels kreislaufgerechter Detailzeichnung

Die Detailzeichnung stellt ein zentrales Kommunikations- und Planungsinstrument für das kreislauffähige Konstruieren dar, das über die rein dokumentarische Funktion hinausgeht. Sie ermöglicht die präzise Visualisierung der Anforderungen an die Kreislauffähigkeit eines Bauwerks und dient der übersichtlichen Darstellung technischer und gestalterischer Vorgaben. Auf diese Weise trägt sie wesentlich dazu bei, dass alle beteiligten Akteurinnen und Akteure ein gemeinsames Verständnis der Planungsziele entwickeln und Verantwortlichkeiten für die Ausführung klar definiert und nachvollziehbar festgelegt werden können. Die Schließung von Materialkreisläufen setzt voraus, dass die relevanten Informationskreisläufe vollständig und systematisch in den Planungsprozess integriert werden. Dazu gehört die Erstellung von Details im Maßstab

M 1:20 während der Entwurfs- und Ausführungsplanung, die alle wesentlichen Angaben zu den verwendeten Materialien und Fügetechniken enthalten. Solche Details dienen nicht nur als Dokumentationsinstrument für eine Revisionsplanung, sondern auch als Grundlage für die spätere Nachverfolgbarkeit und Wiederverwendung von Bauteilen mittels eines Gebäuderessourcenpasses (vgl. DGNB-Ressourcenpass<sup>48</sup>).

Ein hoher Darstellungsgehalt in Zeichnungen mit den wesentlichen Informationen kann eine höhere Aussagekraft als ein schriftlicher Teil haben. Besonders Zeichnungen, die den Beschädigungsgrad der Materialschichten darstellen, sind von entscheidender Relevanz – sowohl für Architekten als auch für die Nutzer und spätere Rückbauunternehmen. Sie ermöglichen eine präzise Einschätzung der verfügbaren Ressourcen und helfen, die Wiederverwendbarkeit und Rezyklierbarkeit von Materialien zu beurteilen, wodurch eine fundierte Planung für zukünftige Umnutzungen oder den Rückbau ermöglicht wird.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Analyse zeigt, dass in allgemein gültigen und materialspezifischen Konstruktionskatalogen die publizierten Bauteile weder kreislauffähig konstruiert noch nach den wesentlichen Schlüsselaspekten der Kreislauffähigkeit dargestellt worden sind. In weiterführender spezifischer Fachliteratur zum kreislauffähigen Bauen zeigt sich im Vergleich zu den Konstruktionskatalogen, eine Entwicklung im Darstellungsgrad von Informationen in der Zeichnung als auch in der textlichen Beschreibung der Details über die laufenden Jahre. Die wünschenswerten und erforderlichen Angaben in den Publikationen zur Kreislauffähigkeit haben Auswirkungen für Studium, Lehre und Praxis. Im digitalen Zeitalter gilt es, die zeichnerische Darstellungen von Materialschichten und Verbindungsmittel darzustellen und die Interaktion im zeichnerischen Entwurfsprozess aufzunehmen.

Es kann die Aussage getroffen werden, dass ein iterativer Entwurfsprozess, der die Sichtweise der Entwerfenden auf die Ansätze des kreislauffähigen Konstruierens einbezieht, ein wesentlicher Schlüssel zur Förderung der Wiederverwendung und zirkulären Nachnutzung von Konstruktionen darstellt. Idealerweise geht dem Entwurfsprozess die Gestaltung eines innovativen kreislauffähigen Konzeptes voraus, dass die Schlüsselaspekte für das kreislaufgerechte Entwerfen, die Darstellung und Dokumentation der Details beschreibt. Ein strategisches innovatives kreislauffähiges Konzept ist eine grundlegende und hilfreiche Unterstützung, dass die Entwicklung von Bauteilen definiert, die später in den jeweiligen Kreislauf für Produkte oder Materialien überführt werden können. Das Konzept umfasst übergeordnete Aspekte, um die Ziele der Kreislaufwirtschaft zu erreichen. Hierbei ist es entscheidend, dass die Materialwahl, die Konstruktionstechniken und die Fügung der Bauteile konzeptionell beschrieben werden, um eine Wiederverwendbarkeit zu fördern. Ein solches Konzept ist in der Vorentwurfsphase zu erstellen und erfordert die frühzeitige Integration in den interaktiven Design- und Entwurfsprozess. Eine erfolgreiche Implementierung eines kreislaufgerechten Konzeptes setzt eine systemische Denkweise voraus, die sowohl ökologische als auch ökonomische Potenziale der Kreislaufwirtschaft nutzt und in den gesamten Planungs- und Bauprozess integriert.

Als Ausblick kann festgehalten werden, dass die Entwicklung kreislauffähiger Bauteile einen Paradigmenwechsel in der Entwurfsplanung der Konstruktion erfordert. Durch die konsequente Berücksichtigung von Demontierbarkeit und Materialtrennung können bereits in der frühen Planungsphase sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile erzielt werden. Eine verstärkte Fokussierung auf die Qualität der Detailplanung bietet die Möglichkeit, den Lebenszyklus von Baumaterialien zu verlängern und gleichzeitig den Ressourcenverbrauch zu minimieren. Die Umsetzung solcher Strategien erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Architektinnen und Architekten, Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie Herstellern sowie eine verstärkte Einbindung von Normen und Richtlinien, die die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft unterstützen. Die konsequente Umsetzung solcher Strategien erfordert nicht nur eine Anpassung bestehender Planungsprozesse, sondern auch eine stärkere Schulung und Sensibilisierung der beteiligten Akteurinnen und Akteure.

<sup>48</sup> Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Gebäuderessourcenpass, 2025: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen/gebaueressourcenpass#c2969>, online eingesehen am 28.01.2025

## 6 HINWEIS

Für sprachliche Übersetzungen wurde der Onlinedienst DEEPL <https://www.deepl.com/> herangezogen. Im Arbeitsprozess wurde für das Auffinden der Forschungslücke als auch nach der Recherche von Fachliteratur auch auf die Unterstützung der künstlichen Intelligenz zurückgegriffen. Dabei wurden die Chatbots CHATGPT <https://chatgpt.com/> und SEMANTICSCHOLAR <https://www.semanticscholar.org/> verwendet.

## 7 REFERENZEN

- Achtziger, J.; Pfeifer, G. et al.: Mauerwerk Atlas. Berlin, 2001
- Ahnert, R.; Krause, K.-H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960. Berlin, 2009
- Bollinger, K.; Grohmann, M. et al.: Atlas moderner Stahlbau: Stahlbau im 21. Jahrhundert. Berlin, 2011
- Böttger, T.; Knauer, U.: Massives Material – Monolithisch, homogen und zirkulär Bauen. Basel, 2023
- Braungart, M.; McDonough, W.: Einfach intelligent produzieren. Cradle to Cradle: Die Natur zeigt, wie wir Dinge besser machen können. Berlin, 2010
- Hebel, D.; Heisel, F.: Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart, 2021
- Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023
- Heinlein, F.: Recyclable by Werner Sobek. Stuttgart, 2019
- Heinlein, F.: Residentials by Werner Sobek. Stuttgart, 2015
- Herzog, T.; Natterer, J. et al.: Holzbau Atlas. Berlin, 2003.
- Kaufmann, H.; Krötsch, S. et al.: Atlas mehrgeschossiger Holzbau. München, 2017
- Kemmerich, C.: Graphische Details für Architekten. Stuttgart, 1968
- Kind-Barkauskas, F.; Kauhnen, B. et al.: Beton Atlas. Berlin, 2002
- Kolb, J.; Kolb, H. et al.: Holzbau mit System. Basel, 2024
- Schneider, D.: Die Relevanz der Bauteilanalyse. In: Nachhaltig Bauen, Ausgabe 04/2024, S. 42-43. Berlin, 2024
- Schneider, D.: Reversible Füge- und Verbindungsmethoden. In: Hebel, D.; Wappner, L. et al.: Sortenrein bauen – Material, Konstruktion, Methodik. München, 2023.
- Schmitt, H.: Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Bauegefüge. Grundlagen des heutigen Bauens. Braunschweig, 1981
- Schulz, J.: Sichtbeton-Atlas. Wiesbaden, 2009
- Seggewies, J.; Riegler-Floors, P. et al.: Atlas Recycling. München, 2018
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Gebäuderessourcenpass, 2025: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen/gebaeuderessourcenpass#c2969> Online eingesehen am 28.01.2025
- Technische Universität München: Einfach Bauen, 2025: <https://www.einfach-bauen.net/> Online eingesehen am 28.01.2025