

DIPLOMARBEIT

Zukunft Kreislauf- Entwurf einer Kindertagesstätte nach den Prinzipien des ressourcenschonenden und zirkulären Bauens

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer / eines
Diplom-Ingenieurin (Dipl.-Ing. oder DI) / Diplom-Ingenieurs (Dipl. Ing oder DI)
unter der Leitung von

Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. Alireza Fadaei

E259-02 Institut für Architekturwissenschaften
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Johanna KLEINSCHROTH

Mat.Nr.: 11914267

J. Kleinschroth

KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Potenzial der kreislaufgerechten Bauweise eine zukunftsfähige Alternative zum konventionellen Bauen darzustellen. Dabei werden aktuelle Möglichkeiten zur Umsetzung, die Qualität dieser sowie mögliche Einschränkungen oder Nachteile untersucht. Dies erfolgt durch die grundlegende Analyse der Thematik des zirkulären Bauens in Form einer Literaturlarbeit und der anschließenden praktischen Umsetzung in einem Entwurf einer Kindertagesstätte. Die Diplomarbeit gibt Aufschluss darüber, in welchem Maß sich Bauvorhaben bereits heute in dieser Form umsetzen lassen, welche unterschiedlichen Aspekte beachtet werden müssen und inwieweit diese den räumlichen Anforderungen in Ästhetik und Funktion gerecht werden können. Die Umsetzung des Entwurfs zeigt das Potenzial und die Grenzen der Planung eines kreislaufgerechten Gebäudes unter der Beachtung wichtiger Aspekte wie der genauen Abstimmung von Grundrissgestaltung, Baumaterialien und Fügungstechniken sowie der Rückbaubarkeit. Die Arbeit zeigt auf den Ebenen der Gebäudestruktur und der Grundrissgestaltung das hohe Potenzial eines kreislaufgerechten Gebäudes, welches durch seine Flexibilität an veränderte Raumanforderungen reagieren kann und einen Mehrwert für zukünftige Generationen

bietet. Im Umgang mit Materialien, Bauteilen und deren Fügungen nach den Prinzipien der zirkulären Bauweise zeigt der Entwurf in unterschiedlichen Weisen beispielsweise durch einstoffliche Aufbauten und lösliche Verbindungen zwischen mehrschichtigen Bauteilen und die Verwendung unkonventioneller Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen neue Wege des Bauens auf, die unlösliche Verbindungen und den Einsatz von Materialien mit geringem Kreislaufpotenzial verhindern können. Durch konstruktive und technische Anforderungen an das Gebäude stößt die kreislaufgerechte Planung in einigen Punkten an ihre Grenzen und kann nicht vollkommen umgesetzt werden. Auch die Rückbaubarkeit des Gebäudes bietet eine Grundlage für die Zukunft, jedoch sind hierbei Verluste von Baumassen einzuplanen. Zudem muss mit veränderten Anforderungen an Bauteile in Zukunft gerechnet werden, die deren Wiedereinsatz erschweren. Gesamtheitlich betrachtet bietet die kreislaufgerechte Planung trotz allem die Grundlage für den Erhalt von Ressourcen in Gebäudekreisläufen für zukünftige Generationen und damit eine zwingend notwendige Alternative zur konventionellen linearen Bauweise, da diese langfristig zur Ausschöpfung der natürlich vorhandenen Ressourcen führt.

ABSTRACT

This paper deals with the potential of circular construction as a sustainable alternative to conventional construction. Current possibilities for implementation, the quality of these as well as possible limitations or disadvantages are examined. This is done through a fundamental analysis of the topic of circular construction in the form of a literature study and the subsequent practical implementation in a design of a day-care centre for children. The thesis provides information on the extent to which building projects can already be implemented in this form today, which different aspects need to be taken into account and to what extent they can meet the spatial requirements in terms of aesthetics and function. The implementation of the design shows the potential and the limits of planning a circular building while taking into account important aspects such as the precise coordination of floor plan design, building materials and joining techniques as well as deconstructability. On the levels of building structure and floor plan design, the work shows the high potential of a circular building, which can react to changing space requirements through its flexibility and offers added value for future generations. In dealing with materials, components and their joints according to the principles of circular construction, the design shows new ways of building in different ways, for example through single-material structures and soluble

connections between multi-layered components and the use of unconventional building materials made from renewable raw materials, which can prevent insoluble connections and the use of materials with low recycling potential. Due to constructive and technical demands on the building, the circular design reaches its limits in some points and cannot be implemented completely. The deconstructability of the building also offers a basis for the future, but losses of building mass must be planned for. In addition, changes in the requirements for building components must be expected in the future, which will make their reuse more difficult. Viewed as a whole, cycle-oriented planning nevertheless provides the basis for preserving resources in building cycles for future generations and is thus an urgently needed alternative to conventional linear construction, as this leads to the exhaustion of naturally available resources in the long term.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Wien, 26.10.2021

J. Kersch

INHALT

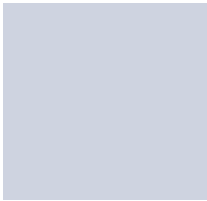
KURZFASSUNG.....	2
ABSTRACT.....	3
INHALT	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
01. EINLEITUNG.....	12
02. KREISLAUFGERECHTES BAUEN	18
2.1. ABFALLAUFKOMMEN.....	18
2.1.1. KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ.....	19
2.2. KREISLAUFWIRTSCHAFT	20
2.3. URBAN MINING	25
2.3.1. RESSOURCEN AM BAUPLATZ.....	28
2.4. EINFLÜSSE AUF DIE LEBENS- UND NUTZUNGSDAUER VON GEBÄUDEN.....	29
2.5. RÜCKBAUPHASE	31
2.5.1. RÜCKBAUBARKEIT.....	31
2.6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN DES KREISLAUFGERECHTEN BAUENS	34
2.7. KREISLAUFPOTENZIAL UND REZYKLIERBARKEIT VON BAUSTOFFEN	36
2.7.1.1. HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE.....	39
2.7.1. BIOTISCHE BAUSTOFFE	39
2.7.1.2. HOLZWERKSTOFFPLATTEN	40
2.7.1.2.1. OSB-PLATTEN	41
2.7.1.2.2. SPANPLATTEN	41
2.7.1.2.2. HOLZFASERPLATTEN	41
2.7.1.2.3. STROHBAUPLATTEN.....	42
2.7.1.2. BODENBELÄGE	42
2.7.1.2.1. MASSIVHOLZ UND HOLZWERKSTOFFE	42
2.7.1.2.2. LINOLEUM	42
2.7.1.3. DÄMMSTOFFE	43
2.7.1.3.1. HOLZFASERDÄMMPLATTEN	43
2.7.1.3.2. HOLZSPÄNE	44
2.7.1.3.3. KORK	44
2.7.1.3.4. ZELLULOSEFLOCKEN	44
2.7.1.3.5. HANF.....	45
2.7.1.3.6. JUTE	45
2.7.1.3.7. SCHILFROHR	46
2.7.1.3.8. SEEGRAS.....	46
2.7.1.3.9. SCHAFWOLLE	46
2.7.1.4. TRENNLAGEN	47
2.7.1.4.1. GRAUPAPPE.....	47
2.7.1.4.2. KRAFTPAPIER.....	47
2.7.1.4.3. WINDDICHTUNG AUS SCHAFSCHURWOLLE AUF KRAFTPAPIER	47
2.7.1.4.4. DACHABDICHTUNG AUF PFLANZENBASIS.....	47
2.7.2. ABIOTISCHE BAUSTOFFE	48
2.7.2.1. METALLISCHE MATERIALIEN.....	48
2.7.2.1.1. STAHL	49
2.7.2.1.2. ALUMINIUM	49
2.7.2.1.3. KUPFER.....	50
2.7.2.1.4. ZINK.....	50
2.7.2.2. FOSSILE MATERIALIEN.....	50
2.7.2.2.1. KUNSTSTOFF	50
2.7.2.2.2. GUSSASPHALTESTRICH	50
2.7.2.2.3. XPS UND EPS DÄMMUNGEN	51
2.7.2.2.4. TRENNSCHICHTEN	51

2.7.2.2.4.1. PE-HD UNTERDECK-, UNTERSPIANN- UND FASSADENBAHN	51
2.7.2.2.4.2. PE-LD DAMPFBREMSE	52
2.7.2.2.4.3. BITUMEN ABDICHTUNGSBAHNEN.....	52
2.7.2.2.4.4. EPDM ABDICHTUNGSBAHNEN	52
2.7.2.3. MINERALISCHE MATERIALIEN	53
2.7.2.3.1. BETON	53
2.7.2.3.2. ZEMENT	54
2.7.2.3.3. CARBONBETON.....	55
2.7.2.3.3. PORENBETON	55
2.7.2.3.4. GEOPOLYMERE	55
2.7.2.3.5. MAUERWERKSSTOFFE.....	56
2.7.2.3.5.1. ZIEGELMAUERWERK	56
2.7.2.3.5.2. KALKSANDSTEIN.....	57
2.7.2.3.5.3. NATURWERKSTEIN.....	57
2.7.2.3.5.7. KALKSTEIN.....	57
2.7.2.3.6. GLASWERKSSTOFFE.....	58
2.7.2.3.7. LEHMBAUPLATTEN	58
2.7.2.3.7. GIPSKARTONPLATTEN	58
2.7.2.3.8. DÄMMMATERIAL	59
2.7.2.3.8.1. MINERALWOLLE.....	59
2.7.2.3.8.2. SCHAUMGLAS DÄMMPLATTEN.....	60
2.7.2.3.8.3. SCHAUMGLAS DÄMMSCHOTTER	61
2.8. BAUTEILBÖRSEN.....	61
2.9. UMSETZUNG IN DER PLANUNG.....	63
2.10. FÜGUNG DER BAUTEILE	65
2.11. AUSBLICK.....	66
03. KINDERTAGESEINRICHTUNGEN.....	70
3.1. PROJEKTANALYSEN.....	70
3.1.1. KINDERGARTEN DORF, BIZAU	70
3.1.2. KINDERTAGESSTÄTTE BAD REICHENHALL.....	73
3.1.3. VERGLEICH	75
3.2. KINDERGÄRTEN, KINDERTAGESSTÄTTEN UND KRIPPEN IM ALLGEMEINEN	76
04. ENTWURF.....	80
4.1. WETTBEWERBSBESCHREIBUNG	80
4.2. VERORTUNG	82
4.3. DIE GEBÄUDEKUBATUR.....	88
4.2.1. STÄDTEBAULICHER KONTEXT	88
4.4. GEBÄUDE- UND DACHFLÄCHENAUSRICHTUNG.....	89
4.5. ENTURFSERLÄUTERUNGEN	108
4.5.1. AUSSENRAUMGESTALTUNG	108
4.5.2. INNENRAUMGESTALTUNG	108
4.5.3. FENSTERÖFFNUNGEN	109
4.5.4. EINGANGSBEREICH.....	116
4.5.5. RÄUMLICHE EBENEN UND	116
SCHUTZRÄUME	116
4.6. HAUSTECHNIK UND KLIMATISCHES KONZEPT	133
4.8. SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ UND BELICHTUNG DURCH TAGESLICHT.....	134
4.8. STATISCHES KONZEPT	138
4.9. BRANDSCHUTZKONZEPT.....	142
4.10. BAUTEILE UND MATERIALIEN	154
4.10.1. GRÜNDUNG, BODEN	155
4.10.1.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	155
4.10.1.2. KREISLAUFPOTENZIAL.....	155

4.10.2. AUSSENWAND	155
4.10.2.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	156
4.10.2.2. KREISLAUFPOTENZIAL	156
4.10.2.3. ABFALLKATEGORIE	157
4.10.3.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	158
4.10.3.2. KREISLAUFPOTENZIAL	158
4.10.3.3. ABFALLKATEGORIE	158
4.10.4. DECKE	159
4.10.4.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	159
4.10.4.2. KREISLAUFPOTENZIAL	159
4.10.5.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	161
4.10.5.2. KREISLAUFPOTENZIAL	161
4.10.5.3. ABFALLKATEGORIE DER BAUSTOFFE	162
4.10.6. STÜTZEN-TRÄGER	162
4.10.6.1. FÜGUNGSTECHNIKEN	162
4.10.6.2. KREISLAUFPOTENZIAL	163
4.11. RÜCKBAUKONZEPT	167
4.12. DISKUSSION	170
05. FAZIT	178
06. LITERATURVERZEICHNIS	182
LITERATUR	182
INTERNETQUELLEN	182
07. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	194

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
BFT	Beton Fertigteil Technik
BIM	Building Information Modeling
BOK	Belagsoberkante
CE-Kennzeichnung	Conformité Européene Kennzeichnung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
°C	Grad Celcius
DF	Tageslichtquotient, Daylight Factor
EU	Europäische Union
GOK	Geländeoberkante
HBDC Flammschutz	Hexabromcyclododecan
KVH	Konstruktionsvollholz
MDF	Medium Density Fiberboard
MDI-Harz	Methyldiphenylisocyanat-Harz
Mio.	Millionen
OSB	Oriented strand board
PLA	Polyactid
PP- Vlies	Polypropylen-Vlies
PUR-Harz	Polyurethan-Harz
USA	United States of America, die vereinigten Staaten von Amerika



01

EINLEITUNG

01. EINLEITUNG

Dieses Jahr fiel der sogenannte „Erdüberlastungstag“ laut global Footprint Network auf den 29. Juli. Somit waren bereits kurz nach der Hälfte des Jahres 2021 alle nachhaltig nutzbaren Ressourcen, die die Erde jährlich reproduzieren kann, aufgebraucht. Durch die Corona Pandemie wurde dieser Tag im Jahre 2020 um etwa einen Monat nach hinten verschoben, dennoch ist bereits ein Jahr später der vorpandemische Wert von 2019 trotz anhaltender Pandemie und Einschränkungen des Alltags beinahe wieder erreicht. Faktisch bedeutet dies, dass weltweit gesehen die reproduzierbare Kapazität der Erde aktuell 1,75 mal von den Menschen verbraucht wird. Dementsprechend sind fast zwei Erden nötig, um den Verbrauch von Flächen und Ressourcen zu decken. Dazu tragen besonders die Industrieländer bei. Würden alle Menschen der Erde beispielsweise denselben Lebensstandard wie die USA führen, würden dadurch über fünf Erden verbraucht werden. Österreich steht mit 3,77 Erden ebenfalls weit oben in der Liste, dicht gefolgt von Deutschland mit einem Bedarf von 2,94 Erden. Der weltweite Durchschnittswert wird von Entwicklungs- und Schwellenländern nach unten gedrückt, da beispielsweise in Indien lediglich 0,75 Erden nötig wären, um den Lebensstil der Bevölkerung zu erhalten. Durch den stetig steigenden Lebensstandard und dem damit einhergehenden erhöhten Verbrauch an Gütern kommt es zum immer weiter voranschreitenden Verbrauch von endlichen Ressourcen. Gleichzeitig steigt durch den wachsenden Konsum von oftmals kurzlebigen Produkten wie elektronischen Geräten und Haushaltswaren der Bedarf an Deponieflächen für Abfälle. Dadurch werden mehr Emissionen ausgestoßen und stetig mehr naturbelassene Flächen der Erde für beispielsweise Tierfutteranbaugelände in Anspruch genommen. Der Lebensstil, den die Menschheit aktuell führt, beschleunigt den Klimawandel und wird unweigerlich Einfluss auf das Leben zukünftiger Generationen haben, da die Ressourcen begrenzt sind und sich die klimatischen Rahmenbedingungen unaufhaltsam verändern werden. Den Klimawandel zu

stoppen und nachhaltiger zu leben ist aktuell ein wichtiges Thema in der Politik in Deutschland und betrifft unterschiedliche wirtschaftliche Sektoren sowie Einzelpersonen. (Vgl. Böcksch, R., 2021; Kier, G., 2021; Vgl. Global Footprint Network (Hrsg.), o.D.; Roach, T. 2016)

Die Baubranche trägt zu diesen negativen Entwicklungen des Klimawandels zu einem erheblichen Anteil bei. Sie ist in Deutschland mit 52 % des Abfallaufkommens ein großer Verursacher von Umweltschäden wie beispielsweise Grundwasserverunreinigungen oder der Zerstörung von Biotopen durch den wachsenden Bedarf an Deponieflächen. Gleichzeitig verbraucht sie allein 90 % der inländisch entnommenen mineralischen Rohstoffe sowie große Mengen an Metallen und Zement. Weltweit waren Gebäude im Jahre 2010 für 30 % des Energieverbrauchs sowie 19 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Diese Werte werden in Zukunft weiter steigen, da die Bevölkerung wächst, der Wohnflächenbedarf steigt und immer mehr Menschen Zugang zu Wohnraum eines höheren Standards erhalten werden. (Vgl. klimafakten.de (Hrsg.), o.D., S. 4; VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Hrsg.), o.D.)

Der Lebensstil der entwickelten Länder hat nicht nur ökologische Auswirkungen auf die ganze Welt, er sorgt auch für soziale Ungerechtigkeiten, die meist durch ökonomische Aspekte ausgelöst werden. Die Baubranche kann auch an dieser Stelle einen wesentlichen Beitrag leisten, um in allen Bereichen der Nachhaltigkeit eine positive Entwicklung anzustreben. (Vgl. klimafakten.de (Hrsg.), o.D., S. 4; VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Hrsg.), o.D.)

In Zukunft wird die Chance der Architektur darin bestehen, durch ein Umdenken und eine verbesserte Handlungsweise im Bauen zum Klimaschutz beizutragen. Der zu Anfang beschriebene Anteil, den die Baubranche zum Aufbrauchen von Ressourcen und dem Ausstoß von CO₂ und damit dem Klimawandel sowie der Versiegelung von Flächen beiträgt, zeigt

die Notwendigkeit eines Wandels in der Art Gebäude zu planen und zu errichten. Derzeit liegen die Probleme im Bauwesen zum einen im hohen Ressourcenverbrauch besonders für Neubauten und zum anderen im stetigen demografischen Wandel der Bevölkerung, der durch neue Lebensformen wie kleinere Haushalte oder alternative Wohnkonzepte mit Gemeinschaftsbereichen und gleichzeitig einer vermehrten Erwerbstätigkeit von Eltern innerhalb kurzer Zeit Veränderungen im Bedarf von Räumlichkeiten hervorruft und neue Anforderungen an Gebäude stellt. Um auf die vermehrte Nachfrage nach Wohnraum und Betreuungsplätzen für Kinder zu reagieren, sind aktuelle Lösungen oftmals aus wirtschaftlichen Gründen der Abriss und der Neubau von Gebäuden. Hierbei werden Ressourcen teilweise verschwendet, die in Folge eines Abrisses entsorgt werden müssen oder in anderen Bereichen als dem Gebäudesektor nachnutzen finden. Gleichzeitig werden für den Neubau viele Primärrohstoffe benötigt und dementsprechend der Natur entnommen. Es fehlen einerseits Möglichkeiten und der Wille, Bestandsgebäude durch Umnutzungen ökonomisch rentabel vor einem Abriss zu retten und andererseits können die Baumaterialien im Falle der Demontage nicht wieder in neuen Gebäuden in gleicher Qualität eingesetzt werden. Die aktuelle Form des Bauens, welche auf endliche Ressourcen zurückgreift, bietet oftmals wirtschaftlich attraktive Lösungen, um einer akuten Nachfrage gerecht zu werden. Durch den Einsatz von Baustoffen wie Beton bleibt dabei wenig Möglichkeit für die Zukunft, die Gebäude bei erneuten Bedarfsänderungen rentabel umzunutzen. Dieses System des Abrisses und Neubaus ohne die Rückgewinnung der Baumaterialien führt langfristig zum Aufbrauchen von Ressourcen und der Versiegelung von Flächen durch Deponieware. (Vgl. Eisenmenger, N., 2011, S.22, 26f; Global Footprint Network (Hrsg.), o.D.; Roach, T. 2016; Lutter, S., 2018, S.14; SwissLife (Hrsg.), 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, 10ff)

Aktuelle Ansätze, die dieser Entwicklung entgegenwirken wollen, sind das Urban Mining und die

kreislaufgerechte Bauweise. Die Annahme besteht darin, dass Rohstoffe, die im Kreislauf erhalten bleiben, der Endlichkeit von Ressourcen entgegenwirken sowie den Bedarf an Deponieflächen verringern. Das Ziel besteht darin, entnommene Rohstoffe im Kreislauf zu erhalten und bestehende Gebäude als anthropogene Lager von Baumaterial zu begreifen. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass sich das Prinzip positiv auf das Klima auswirkt, da die Verwendung und Verwertung im Kreislauf enthaltener Materialien meist CO₂ Emissionen einsparen kann. Aktuell kann kaum auf bestehende Gebäude als anthropogene Lager zurückgegriffen werden, da diese Ansätze durch die heute noch übliche konventionelle Bauweise scheitern, welche oftmals durch Verklebungen, Lackierungen und anderen unlöslichen Verbindungen sowie Schadstoffbelastungen von Material eine Weiterverwendung von verbautem Rohstoffen aufgrund starker Verschmutzung durch deren Vermischungen beim Rückbau und Abriss von bestehenden Gebäuden verhindert. Es wird angenommen, dass sich dieses Problem zukünftig verstärken wird, wenn weiter konventionell mit unlöslichen Verbindungen gebaut wird, da die Zahl neu zu errichtender Gebäude weiter steigt. Laut einer Studie des Europäischen Parlaments wird in Europa jährlich eines von 100 Häusern durch ein neu errichtetes Gebäude ersetzt, in Deutschland liegt dieser Wert sogar bei 1,5. Das Potenzial, welches aus Abrissabfällen für den Erhalt und die erneute Verwendung in Hochbauten hervorgeht, ist bislang viel zu gering, um den Bedarf ansatzweise decken zu können. Da dies langfristig zum Aufbrauchen der verfügbaren Ressourcen insbesondere derer, die nicht nachwachsen, führt, muss die Baubranche umdenken. (Vgl. Eisenmenger, N., 2011, S.22, 26f; Global Footprint Network (Hrsg.), o.D.; Roach, T. 2016; Lutter, S., 2018, S.14; SwissLife (Hrsg.), 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, 10ff)

Diese Erkenntnis führt zu unterschiedlichen Forschungsfragen, denen die Arbeit nachgehen wird. Können Projekte in der zirkulären Bauweise ohne jeglichen Verzicht auf Komfort und Ästhetik umge-

setzt werden? Welche Baustoffe und Bauformen sind hierfür geeignet? Sind diese Entwürfe konkurrenzfähig mit vergleichbaren Bauprojekten in herkömmlicher Bauweise und entstehen unter der Rücksichtnahme auf alle relevanten Aspekte der kreislaufgerechten Bauweise Einschränkungen? Wie lässt sich die Bauweise umsetzen und welche technischen und materiellen Möglichkeiten stehen bereits zur Verfügung? Kann ein Gebäude in seiner Gänze rückbaugerecht geplant werden und an welche Grenzen stoßen Planer*innen dabei durch technische und konstruktive Anforderungen? Wie flexibel kann das Gebäude in seiner Struktur gestaltet werden, um auf einen veränderten Bedarf von Flächen durch Erweiterungen oder Umnutzungen durch einen Nutzer*innenwechsel reagieren zu können?

Aktuell werden noch immer nur wenige Projekte in einer kreislaufgerechten Bauweise realisiert, aufgrund von ökonomischen Aspekten, fehlendem „Know-how“ zu alternativen Baustoffen und dem oftmals nicht erkannten Mehrwert der zirkulären Gebäude, der beispielsweise in der Kostenersparnis beim Abriss durch den Wiederverwendungswert der Bauteile im Falle eines Rückbaus liegt. Aus diesem Grund muss der Wert von Gebäuden bereits zu Beginn der Planung von der Errichtung bis zum Rückbau gedacht und bewertet werden. Dabei spielen alle Bereiche der Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle, die die unterschiedlichen Ebenen der sozialen, ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit eines Gebäudes betrachten. Ein weiterer Grund mangelnder Realisierungen der Bauweise ist heute das Fehlen von technischen Möglichkeiten zur Aufbereitung von Baumaterial in einigen Bereichen und die fehlende Nachfrage am Markt. Um in Zukunft ein Urban Mining und somit ein zurückgreifen auf vorhandene Materialien aus den Beständen zu ermöglichen, muss die kreislaufgerechte Bauweise an Popularität gewinnen und vermehrt umgesetzt werden. Durch die Realisierung von Projekten in der zirkulären Bauweise steigt die Nachfrage an recyclingfähigen oder nachwachsenden Baustoffen und kann damit die Weiterent-

wicklung in den entsprechenden Technologien zur Aufbereitung von nicht nachwachsenden Rohstoffen anregen. (Vgl. Eisenmenger, N., 2011, S.22, 26f; Global Footprint Network (Hrsg.), o.D.; Roach, T. 2016; Lutter, S., 2018, S.14; SwissLife (Hrsg.), 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, 10ff)

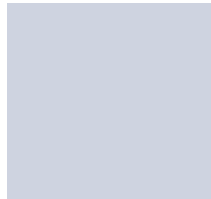
Das allgemeine Ziel dieser Art des Bauens besteht darin, ein Gebäude zu planen, welches auf unterschiedliche Anforderungen durch flexible Grundrissstrukturen reagieren kann und zu einem späteren Zeitpunkt eine Quelle von Rohstoffen darstellt, auf die zur Errichtung neuer Gebäude zurückgegriffen werden kann. Dementsprechend liegt das Bestreben der Arbeit darin, durch anpassungsfähige Grundrissstrukturen auf Nutzer*innenwechsel und Bedarfsänderungen reagieren zu können und durch eine neue Art des Bauens einen einfachen Rückbau mit sortenreiner Trennbarkeit von Baustoffen zu ermöglichen. Die eingesetzten Materialien sollen dabei ein hohes Potenzial aufweisen, in hoher Qualität in Gebäudekreisläufen erhalten bleiben zu können. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, 10ff)

Daraus schließend werden in der folgenden Arbeit die Möglichkeiten und die Grenzen der konkreten Umsetzung der kreislaufgerechten Bauweise untersucht. Die Arbeit verschafft einen Überblick über vorhandene Erkenntnisse aus der Literatur zum Umgang mit der kreislaufgerechten Bauweise und wendet anschließend die Grundsätze anhand einer üblichen und aktuellen Realisierungsaufgabe in Form eines Neubaus einer Kindertagesstätte in Deutschland in der praktischen Umsetzung an. Aufgrund der geringen Zahl realisierter Projekte besonders im öffentlichen Sektor, die das nötige Interesse der Öffentlichkeit und die Relevanz des Themas in der Bevölkerung bestärken würden, soll die Arbeit eine Umsetzungsmöglichkeit einer solchen Bauaufgabe zeigen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, 10ff)

Die elementaren Thematiken, die mit der kreislaufgerechten Bauweise einhergehen, werden in Form einer Literaturarbeit vorab herausgearbeitet.

Ein grundsätzliches Wissen über den Umgang mit Bauabfällen, den entsprechenden rechtlichen Hintergründen und gesetzlichen Vorgaben zur Wiederverwendung bilden die Basis. Des Weiteren werden die aktuellen Ansätze des Urban Mining sowie des kreislaufgerechten Bauens genauer betrachtet und damit einhergehend werden einzelne Baustoffe auf ihre Möglichkeiten der Wiederverwertung genauer untersucht. Des Weiteren werden die Aspekte zur Steigerung der Langlebigkeit von Gebäuden sowie der Rückbaubarkeit durch ausgewählte Fügungstechniken erläutert. Anhand aktueller Literatur werden alle zu berücksichtigenden Punkte in der zirkulären Bauweise zusammengetragen und deren Herausforderungen und Potenziale identifiziert. Des Weiteren werden als Fundament des Entwurfs realisierte Projekte des Typus der Bauaufgabe in ihrer Umsetzung analysiert und Erkenntnisse daraus für den Entwurf abgeleitet. Das Fundament der praktischen Umsetzung bildet außerdem die Darlegung allgemeiner Anforderungen an Einrichtungen zur Tagesbetreuung von Kindern. Anhand der Rahmenbedingungen, die mittels eines Wettbewerbs für den Entwurf vorgegeben werden, erfolgt die praktische Umsetzung, in der die Aspekte der kreislaufgerechten Bauweise und die Anforderungen an Räume in der Nutzung und der Ästhetik vereint werden. Besondere Beachtung gilt hier dem statischen System der Haustechnik, dem sommerlichen Wärmeschutz, der Raumaufteilung und der Materialwahl der Bauteile. Die verschiedenen Funktionen eines Gebäudes werden im Hinblick auf die kreislaufgerechte Bauweise umgesetzt. Das Gebäude wird durch einen Holzskelettbau klar gegliedert und lässt eine offene innere Struktur des Gebäudes zu. Die eingesetzten Materialien in den Bauteilen beschränken sich auf notwendige Funktionsanforderungen an die Raumbegrenzungen und maximieren durch das Zusammenspiel aus löslichen Verbindungen und dem vermehrten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen die Kreislauffähigkeit des Gebäudes. In einer Diskussion werden anschließend die Probleme und Herausforderungen in der Umsetzung erörtert und schlussendlich ein Fazit daraus gezogen.

ABFALLAUFKOMMEN
KREISLAUFWIRTSCHAFT
URBAN MINING
EINFLÜSSE AUF DIE LEBENS- UND NUTZUNGSDAUER
VON GEBÄUDEN
RÜCKBAUPHASE
RECHTLICHE GRUNDLAGEN DES KREISLAUFGERECH-
TEN BAUENS
KREISLAUPOTENZIAL UND REZYKLIERBARKEIT VON
BAUSTOFFEN
BAUTEILBÖRSEN
UMSETZUNG IN DER PLANUNG
FÜGUNG DER BAUTEILE
AUSBlick



KREISLAUF-
GERECHTES BAUEN



02. KREISLAUFGERECHTES BAUEN

2.1. ABFALLAUFKOMMEN

Der Umgang mit Abfällen wird in Deutschland durch unterschiedliche Gesetze und Verordnungen geregelt sowie durch die übergeordnete EU-Abfallrahmenrichtlinie. Diese gelten gleichermaßen für Bauabfälle, welche während der Errichtung oder beim Abriss eines Gebäudes entstehen. Grundsätzlich besteht das Ziel darin, Abfälle zu Vermeiden oder umweltverträglich weiter zu nutzen, um die Umwelt und Ressourcen zu schonen. Hierzu sollen die Gesetze Rahmenbedingungen schaffen. (Vgl. Umwelt Bundesamt, 2020)

In der für die Mitglieder des Europäischen Parlaments gültigen Abfallrahmenrichtlinie wird in fünf Stufen festgelegt, wie mit Abfällen umzugehen ist: An erster Stelle steht die Vermeidung, gefolgt von der Wiederverwendung, dem Recycling, einer sonstigen Verwertung und an letzter Stelle steht die Beseitigung von Abfällen. (Vgl. Abb.1) Der Unterschied zwischen der Wiederverwendung und dem Recycling besteht darin, das im Falle der Wiederverwendung das Produkt den Zweck seiner ursprünglichen Bestimmung erneut erfüllt, wohin gegen Recycling bedeutet, Abfälle erneut durch Aufbereitung der Materialien zu dem ursprünglichen Zweck oder einem anderen Zweck einzusetzen. Des Weiteren sind einige Richtlinien zum Umgang mit Abfällen im Kreislaufwirtschaftsgesetz geregelt. Die Gewerbeabfallverordnung fordert seit 2017 für Abrissabfälle eine Trennung der Materialien und deren Vorbereitung zur Wiederverwendung oder einem Recycling. Ausnahmen sind bei wirtschaftlicher Unzumutbarkeit und technischer Unmöglichkeit zulässig. Allgemein wird eine 70-Prozentige Verwertungsquote an ungefährliche Bau- und Abbruchabfälle gefordert. Allerdings werden keine Anforderungen an die Qualität der Weiterverwertung gestellt. 2018 beschloss das Europäische Parlament weiter, dass die Staaten entsprechende Maßnahmen zur Förderung von Wiederverwertung und Reparaturen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.16-19)

Auf Bundesebene existiert seit 1972 das Abfallbe-

seitigungsgesetz, welches durch das „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen“ (Umwelt Bundesamt a (Hrsg.) 2020), abgelöst wurde. Das Bundesgesetz kann gegebenenfalls in nicht abgedeckten Bereichen vom jeweiligen Landesgesetz und kommunalen Abfallgesetzen ergänzt werden. (Vgl. Umwelt Bundesamt a (Hrsg.), 2020)



Abb. 1 Abfallhierarchie

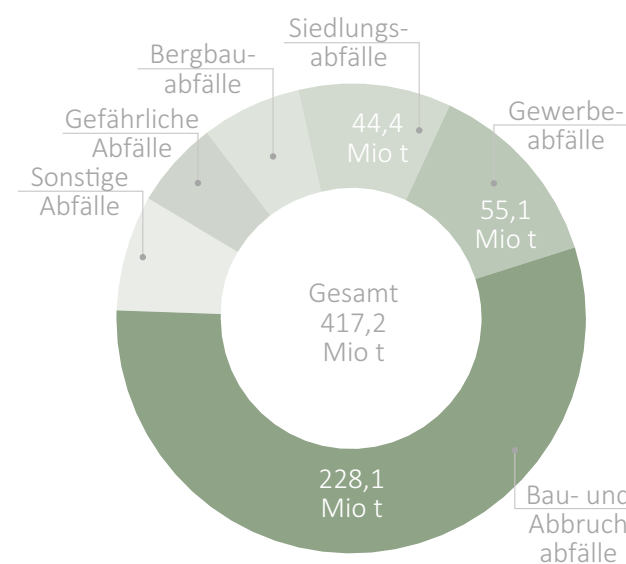
(Quelle: in Anlehnung an Hülter, K., o.D.)

Die Gesetze sind nicht auf Bauwerke oder nicht ausgehobene Böden anzuwenden, ebenso zählen Nebenprodukte, die bei der Herstellung anderer Stoffe anfallen und weiterverwendet werden können, nicht als Abfall. Hinzu kommt eine neue Definition für das Ende der Abfalleigenschaft, demnach kann unter verschiedenen Kriterien ein Stoff seinen Status als Abfall verlieren. Beispielsweise durch ein Wiederverwertungsverfahren und einer Nachfrage am Markt, vorausgesetzt rechtliche und technische Anforderungen können erfüllt werden sowie keine Schädigung aus einer Verwendung hervorgeht. (Vgl. Umwelt Bundesamt a (Hrsg.), 2020)

2.1.1. KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ

In der Praxis fordert ebenso die Obhutspflicht in Vertrieben die Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit von Erzeugnissen. Dazu zählt die Lagerhaltung ebenso wie der Transport von Gütern. Kann ein Erzeugnis nicht seinen ursprünglichen Zweck erfüllen, darf es in anderer Form genutzt werden. Sollte dies aus technischer oder rechtlicher Sicht nicht möglich sein beziehungsweise wirtschaftlich nicht zumutbar, steht die Option einer Entsorgung als Abfall an letzter Stelle der Abfallhierarchie. Für eine Durchsetzung mangelt es bisher an einer Regelung der Bundesregierung zur Bestimmung der Verantwortungsträger. (Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit d (Hrsg.), 2020)

Der Anteil an Bau- und Abbruchabfällen lag 2018 in Deutschland bei 54,7 % des gesamten Abfallaufkommens mit 228,1 Mio. Tonnen. Hierzu zählt auch der Straßenaufbruch. Siedlungsabfälle im Vergleich sind mit 44,4 Mio. Tonnen 2018 und Gewerbeabfälle mit 55,1 Mio. Tonnen weitaus geringer. Deren Verwertbarkeit ist im Hinblick auf das gesamte Abfallaufkommen weniger entscheidend

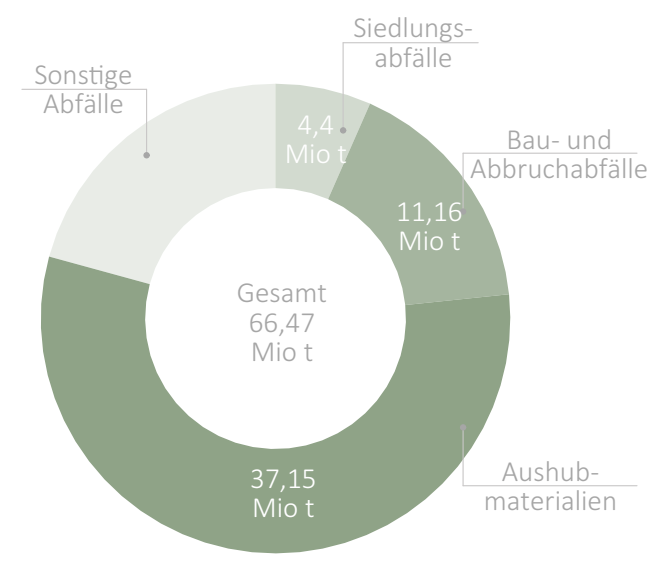


Verteilung Abfallaufkommen Deutschland 2018

um Deponierungen zu vermeiden und aus bestehenden Ressourcen zu schöpfen, dennoch werden beispielsweise 99 % der Siedlungsabfälle einer Verwertung zugeführt. (Vgl. Umwelt Bundesamt b (Hrsg.), 2020)

In Österreich entfallen 2018 bei einem Gesamtabfallaufkommen von 66,47 Millionen Tonnen bereits 55,9 % auf Aushubmaterial. Hinzu kommen 16,8 % Bau- und Abbruchabfälle. Die beiden Kategorien zusammen sind mit einem Anteil von 72,7 % und der Masse von 48,3 Mio. Tonnen ausschlaggebend. In den Verteilungen zeigt sich, wie entscheidend der Umgang mit Bauabfällen für eine erfolgreiche Wiederverwendung und Verwertung von Rohstoffen und eine Verminderung von Deponierungsflächen ist. (Vgl. Abb.2) (Vgl. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), o.D.)

Genauer betrachtet handelt es sich in Deutschland bei 218,8 Mio. Tonnen der 228,1 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle um mineralische Stoffe, demnach ungefähr 96%. Davon sind knapp 60% Boden und Steine, ca. 27 % Bauschutt, 6,4 % Straßenabfälle, 6,4 % Baustellenabfälle und 0,3 % Stoffe auf



Verteilung Abfallaufkommen Österreich 2018

Abb. 2 Abfallaufkommen 2018
(eigene Darstellung)

Gipsbasis. (Vgl. Abb.2) (Vgl. Basten, M. & Schäfer, B., 2021)

Von Boden und Steinabfällen wird der Großteil für den übertägigen Bergbau und den Deponiebau verwendet und findet somit eine Verwertung durch sogenanntes Downcycling, das bedeutet, dass der Baustoff durch den Weiterverarbeitungsprozess Qualitäten verliert und dementsprechend sein Leistungsspektrum verringert wird. Lediglich aus etwa 10 % der Boden- und Steinabfälle werden Recyclingbaustoffe hergestellt, etwa 14 % werden beseitigt. Im Gesamten wurden von anfallenden Bauschuttmassen 78 % der Abfälle recycelt, vom Straßenaufbruch fast 94 %. Von Gipsabfällen konnten im Jahr 2018 nur etwa 4 % recycelt werden, über 50 % mussten beseitigt werden. Von den Baustellenabfällen wurden 1,8 % recycelt, knapp 97 % wurden sonstig verwertet. Unter Recyclingverwendung ist hier eine Aufbereitung des mineralischen Abfalls zu Gesteinskörnungen gemeint, demnach handelt es sich meist um ein Downcycling, da aus den Körnungen allein kein neuer Beton hergestellt werden kann, sondern gemeinsam mit neuem Zement vermengt werden muss, um als Beton eingesetzt werden zu können. Die hergestellten Körnungen haben im Jahr 2018 12,5 % des Gesamtbedarfs an Gesteinskörnungen ausgemacht. Über die Hälfte des Recyclingmaterials wurde im Straßenbau eingesetzt, jeweils 20 % im Erdbau und in der Beton- und Asphaltherstellung. Mit der Verwertungsquote, die 2018 in Deutschland bei 94,9 % lag, kann die Forderung der EU-Rahmenrichtlinie von 70 % überschritten werden. (Vgl. Basten M. & Schäfer, B., 2021; Kreislaufwirtschaft BAU (Hrsg.), o.D.; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.16-19; Brockjan, K. et al., 2021, S.446-449)

2.2. KREISLAUFWIRTSCHAFT

Im politischen Weltgeschehen sind Ressourcenknappheit und deren Verteilung die zweithäufigste Konfliktursache. Das lineare Prinzip von Produkten der heutigen Wirtschaft, welches mit der Deponierung endet, ist im Sinne der Ressourceneffizienz nicht zukunftsfähig. Um die bereits entnommenen Ressourcen und die übrigen Vorhandenen bestmöglich nutzen zu können, müssen Produkte in geschlossenen Wertstoffkreisläufen hergestellt und eingesetzt werden. In diesem als Kreislaufwirtschaft bezeichneten System werden im besten Fall alle enthaltenen Materialflüsse mit Beginn der Rohstoffentnahme bis hin zur Abfallbewirtschaftung einbezogen. In einem geschlossenen Kreislaufsystem werden aus Abfällen neue Wertstoffe, die weiter genutzt werden können. Im Kreislauf bedeutet das Ende eines Produkts den Anfang eines neuen Produktes. Um im Bauwesen nachhaltig mit den Ressourcen umzugehen, was bedeutet, auch zukünftigen Generationen den Zugang zu endlichen Rohstoffen zu ermöglichen, sollte kreislaufgerecht geplant werden. (Peters, S. und Drewes, D., 2019, S.38-39)

In der Kreislaufwirtschaft gibt es laut Allen MacArthur Foundation drei Prinzipien. Erstens soll das Bewusstsein der Menschen für die Endlichkeit der Rohstoffe gestärkt, ihre Bestände und Stoffströme wertgeschätzt und kontrolliert werden. Dazu gehört die vermehrte Verwendung nachwachsender Rohstoffe sowie eine Dematerialisierung, also die Reduktion oder die Entmaterialisierung von Stoffströmen auch mithilfe der Digitalisierung und die Nutzung der im Kreislauf vorhandenen Ressourcen. Zweitens sollen die Rohstoffe in gleichbleibender oder wenigstens größtmöglicher Qualität im Kreislauf bestehen bleiben sowie ihre Lebensdauern durch Reparaturen, Aufbereitungen, Wiederverwendung und Recycling verlängert und somit Abfälle vermieden werden. Drittens müssen immer Kosten und Nutzen auch für Außenstehende in die Bewertung eines Systems einbezogen werden, so wie die Folgen für Mensch und Umwelt. (Vgl. Deut,

sche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen DGNB a, o.D.; Buchberger, S., 2019, S.9)

Der Großteil der heutigen Wirtschaft ist auf lineare Systeme ausgerichtet. Durch die steigende Bevölkerungszahl und den zunehmenden Konsum werden immer mehr endliche Ressourcen verbraucht. Ein lineares Wirtschaftssystem beginnt mit der Ressourcengewinnung, darauf folgt die Herstellung und der Vertrieb. Anschließend werden Produkte von Konsumenten erworben und nach einer meist kurzen Nutzungsdauer enden die in Gütern enthaltenen Rohstoffe mit der Entsorgung in Form einer Deponierung oder Verbrennung und sind somit unzugänglich für eine weitere Verwendung. (Vgl. Abb.3) Dies führt langfristig einerseits zum Aufbrauchen vorhandener Ressourcen mit immer aufwendiger werdenden Abbauverfahren um neue Rohstoffe aus der Natur gewinnen zu können, andererseits zu steigenden Preisen für Rohstoffe und deren ungleiche Verteilung. Zudem entstehen durch deren Abbau Umweltschäden und soziale Ungerechtigkeiten. Gründe für die Dominanz der linearen Wirtschaft und die kurze Nutzungsdauer von Objekten liegen zum einen in der Obsoleszenz von Produkten durch den ständigen Fortschritt der Technik und dem Bedürfnis der Menschen nach neuen Konsumgütern. Zugleich existieren Regeln, die eine Wiederverwendung oder Weitergabe von gebrauchten Produkten erschweren. Gleichzeitig führt oftmals die Abwägung von Lagerungskosten im Gegensatz zu Entsorgungskosten zu kurzfristigen Entscheidungen. Da das lineare Modell auf einer ständigen Entnahme von endlichen Ressour-

cen basiert, ist es nicht zukunftsfähig und stößt schon heute an seine Grenzen. Zudem stellt die Deponierung der anfallenden Abfälle eine immer größer werdende Herausforderung dar, die schon jetzt Auswirkungen auf Menschen und Umwelt hat. Denn neue Deponierungsflächen oder die Lagerung von schädlichen Stoffen gehen oftmals mit der Zerstörung von naturliebenden Flächen und Biotopen einher. (Vgl. Ruiz Durán, C., 2019, S.3-7 S.12f)

Im alltäglichen Gebrauch begegnen wir bei Papier oder auch Verpackungsmaterial mitunter einer Wiederverwendungswirtschaft, in der aus Abfall neue Produkte hergestellt werden. Da meist nicht alle Bestandteile von beispielsweise Verpackungsmaterial wiederverwertet werden können, fallen trotzdem noch immer viele zu deponierende Abfallprodukte an. (Vgl. Buchberger, S., 2019, S.4f)

Im Gegensatz zum linearen System sind in einer Kreislaufwirtschaft nur geschlossene Stoffkreisläufe enthalten. (Vgl. Abb.4) Sie wird daher auch als Cradle-to-Cradle Prinzip bezeichnet. Hierbei ist das Ziel, alle Ressourcen im Kreislauf zu erhalten und dadurch weniger oder besser noch keinen Bedarf an neuen Rohstoffen zu verursachen. Dies bedeutet, dass Material nach seinem Gebrauch in einen Produktkreislauf zurückgeführt wird oder biologisch abgebaut werden kann und dadurch die Grundlage für Neues entsteht. (Vgl. Buchberger, S., 2019, S.5f; Ruiz Durán, C., 2019, S.8f)

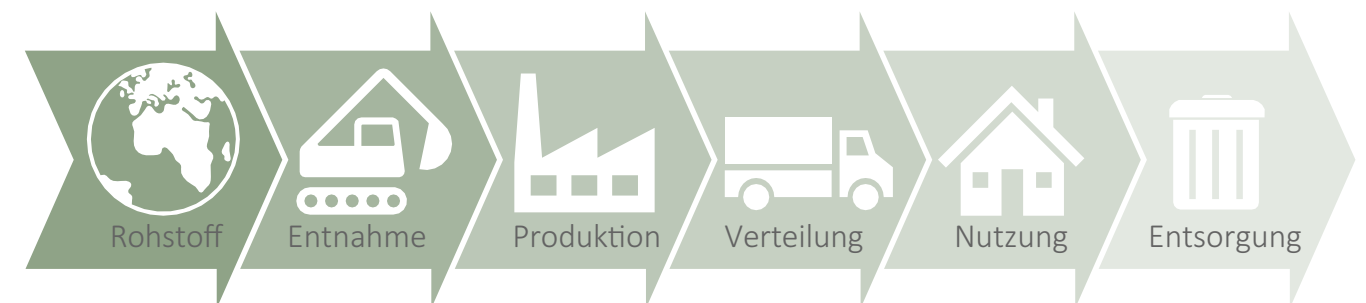


Abb. 3 lineare Wirtschaft
(Quelle: In Anlehnung an MyLife (Hrsg.), 2021)

In diesem Sinne kann in der Betrachtung geschlossener Stoffkreisläufe zwischen dem biologischen und dem technischen Kreislauf unterschieden werden. Der biologische Kreislauf gilt für alle Produkte, die in die Natur durch Verrottung und Kompostierung rückgeführt werden können oder als Biomasse genutzt werden können. (Vgl. Abb.5) Aus biologisch abbaubaren Stoffen entsteht somit Kompost als Grundlage für neuen fruchtbaren Boden, der das Wachstum nachwachsender Rohstoffe ermöglicht. Durch die Biomasse kann Biogas zur Energiegewinnung oder Treibstoffgewinnung genutzt werden. (Vgl. Buchberger, S., 2019, S.5f; Ruiz Duràn, C., 2019, S.8f)

Im technischen Stoffkreislauf sind nicht biologisch abbaubare Güter enthalten, wie beispielsweise elektronische Geräte und mineralische Baustoffe. Hier werden Abfälle ohne Verluste zu neuen Gütern weiterverarbeitet. (Vgl. Abb.5) (Vgl. Buchberger, S., 2019, S.5f; Ruiz Duràn, C., 2019, S.8f)

Die Herausforderung in der konkreten Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft, besteht oftmals in schwer einzuschätzenden Faktoren aufgrund zeitlicher Dynamiken. Beispielsweise können bei kurzlebigen Produkten die Auswirkungen und Nebenerzeug-

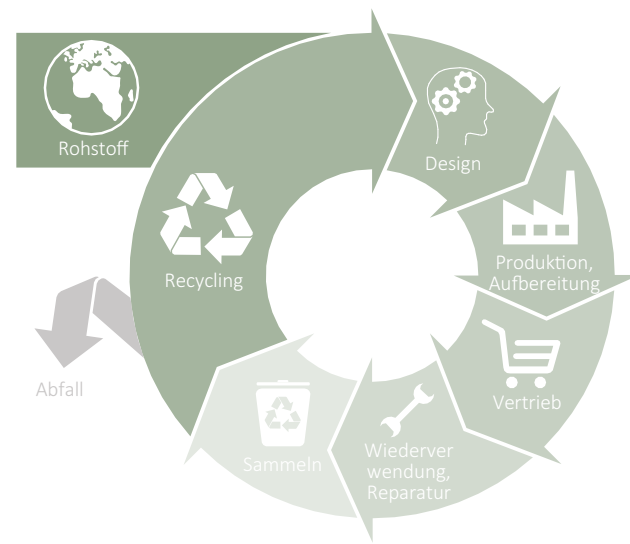
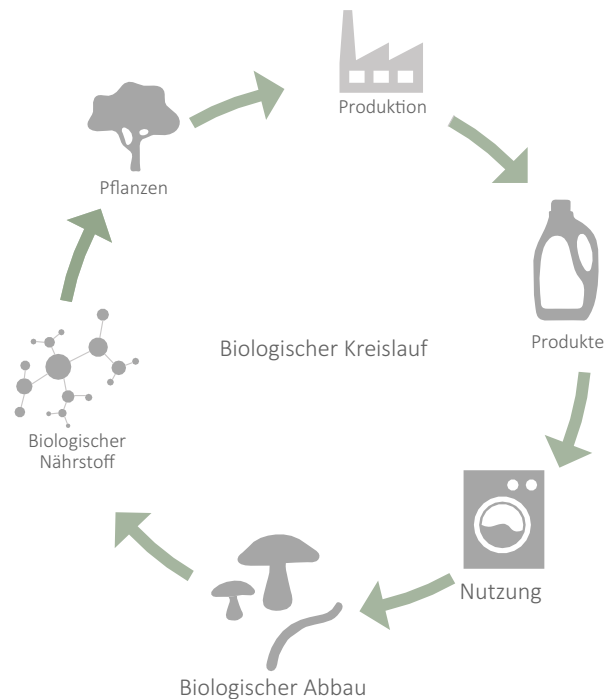


Abb. 4 Kreislaufwirtschaft
(Quelle: In Anlehnung an MyLife (Hrsg.), 2021)

nisse während Produktion und Herstellung bis hin zu einer Rückgewinnung leichter abgesehen und Kreisläufe schneller geschlossen werden. Diese kurzweiligen Güter wie Verpackungen und Treibstoffe sind dauerhaft im Umlauf und erleichtern somit eine Einschätzung von Emissionen und Abfällen, um Stoffströme vorhersehbar zu planen. Sind Materialien hingegen in langlebigen Produkten verbaut, wie beispielsweise in Gebäuden, ist der Zeitraum bis hin zur Rückgewinnung meist sehr groß und damit schwer zu erfassen. Eine Rückverfolgung zur Ermittlung von Lagerbeständen und vorhande-

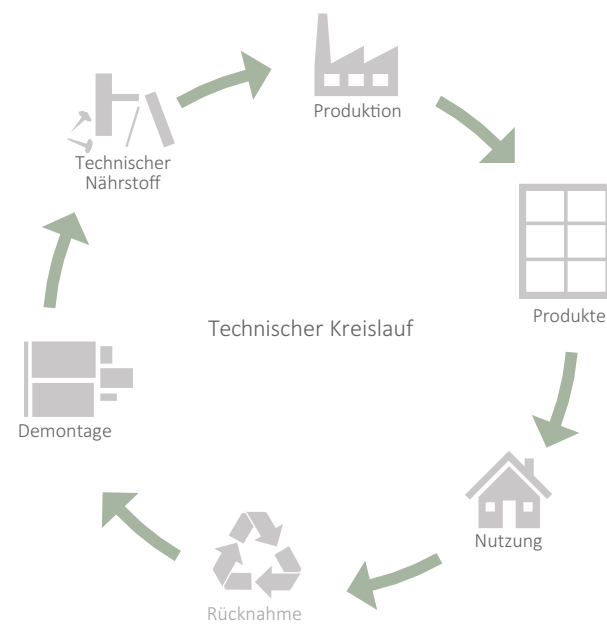


Abb. 5 biologischer und technischer Kreislauf
(Quelle: In Anlehnung an InitiativeZink (Hrsg.), o.D.)

nen Massen sind meist nur schwer durchzuführen. In allen Bereichen wird die erfolgreiche Rückführung von Produkten in Stoffströme durch äußere Einflüsse wie die stetige Dynamik am Markt, die technischen Weiterentwicklungen, die stoffliche Vielfalt und internationale Handlungsverflechtungen erschwert und komplex. (Vgl. Umwelt Bundesamt c (Hrsg.), 2017)

Das existierende 9 R Rahmenkonzept der kreislaufgerechten Bauweise gibt Aufschluss über die Hierarchie von Verfahren im Umgang mit Gebäuden und Materialien im Sinne der zirkulären Bauweise. Hierbei werden vom generellen Bedarfsgedanken und der Klärung einer Sinnhaftigkeit eines Produktes bis hin zur energetischen Wiederverwendung der einzelnen Bestandteile die neun Zwischenschritte der Verwertungs- und Verwendungsmöglichkeiten von Produkten in einer Rangfolge ihres Potenzials Qualitäten beizubehalten aufgelistet. (Vgl. Abb. 6) Die Schritte R0 bis R2 hinterfragen grundlegend die

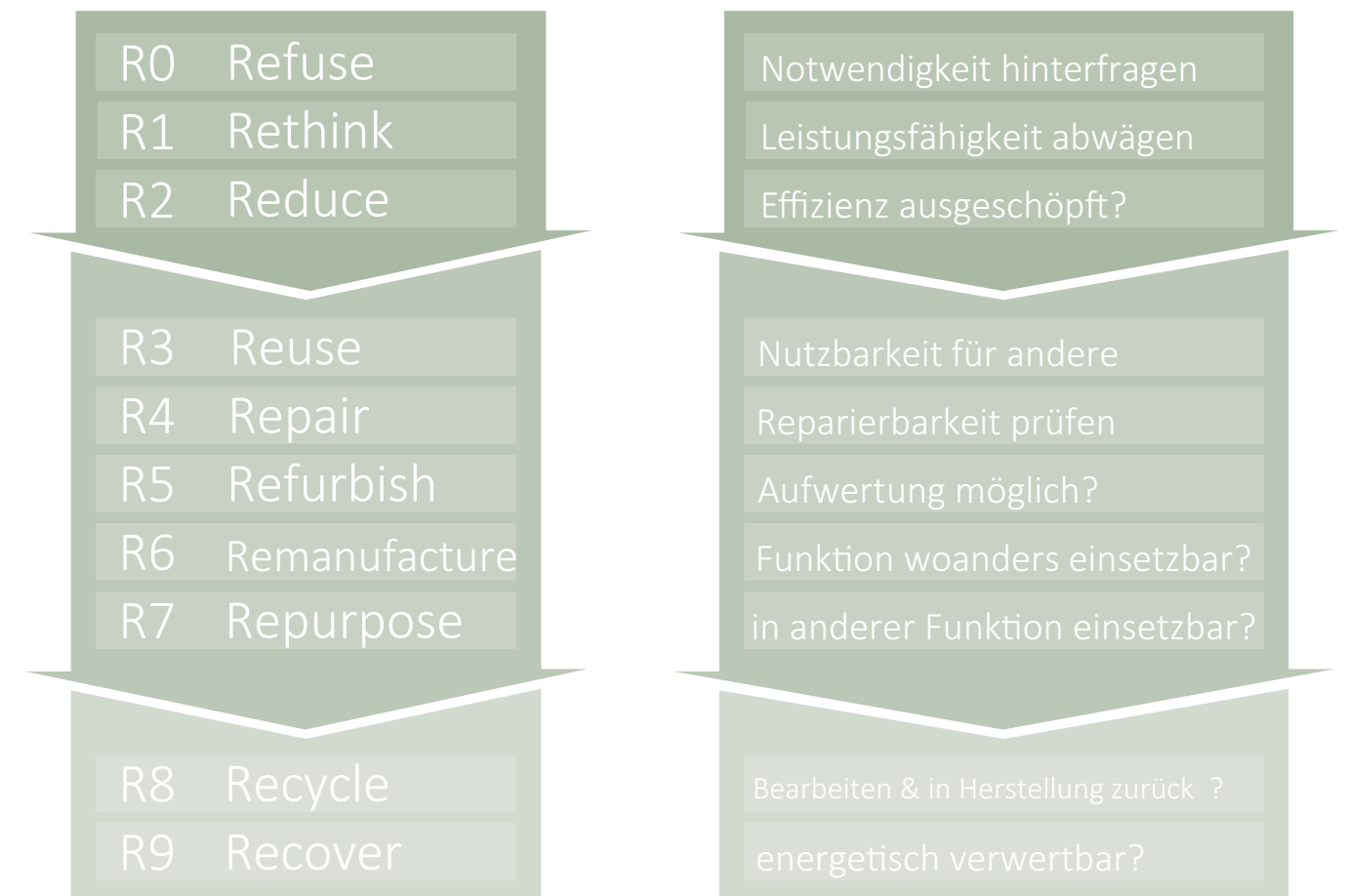


Abb. 6 Rahmenkonzept 9 R's
(Quelle: In Anlehnung an Buchberger S., 2019)

Notwendigkeit eines Produktes oder suchen nach Möglichkeiten, einen Bedarf durch andere bereits vorhandene Erzeugnisse zu decken. Zudem fordern die Stufen die maximale Ausnutzung vorhandenen Potenzials durch effiziente Herstellungsprozesse und lange Produktnutzbarkeit. Hierbei können Ressourcen und CO₂ eingespart werden. Die Stufen R3 bis R7 stellen die maximale Nutzbarkeit von Erzeugnissen da sowie Maßnahmen, um diese länger erhalten zu können und einzelne Teile auch in anderer Form bis zu deren Wertlosigkeit für weitere Güter zu erhalten. Dies gelingt unter anderem durch Nutzerwechsel, Reparaturen, Nachbesserungen, vorhandene Teile in neue Herstellungsprozesse einzubeziehen oder einzelne Teile erneut zu nutzen. Dieses Vorgehen spart wichtige Ressourcen. Die in der Hierarchie unten angeordneten Handlungsmöglichkeiten R8 und R9, da ihre Erhaltung im Kreislauf durch Recycling und eine thermische Verwertung den längsten Weg zurücklegen, da sie erst nach dessen Lebensende in den Herstellungs-

prozess eines neuen Produktes gebracht werden. (Vgl. Buchberger, S., 2019, S.9-16)

Für die Umstellung des bislang linearen Systems der Wirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft bedarf es nicht nur eines Umdenkens der Unternehmen, sondern auch der Politik und der gesamten Bevölkerung. Die Politik sollte die Unternehmen bei der Umstellung auf eine circular Economy unterstützen und subventionieren, da dies für die Firmen eine finanzielle Vorleistung und unabsehbare Risiken bedeutet. Auf lange Sicht wird sich die Wandlung lohnen, um unabhängig von steigenden Preisen für knappe Ressourcen und deren Schwankungen zu werden. Dennoch ist die Wirtschaft seit langem linear ausgerichtet, die Produktionsprozesse sind daraufhin ausgelegt und dabei meist auch auf fossile Energien angewiesen. Eine Umstellung ist daher schwierig, jedoch dringend erforderlich.

Laut einer Mitgliederumfrage der DGNB, der deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen, sind die wichtigsten Aspekte einer Umstellung von linearen Wirtschaftsstrukturen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen die ganzheitliche Betrachtung der Lebenszykluskosten insbesondere unter Berücksichtigung von Rückbau und Entsorgungskosten sowie Umweltfolgekosten. Für Unternehmen sollten Anreize geschaffen werden, in ihre Prozesse kreislaufgerechte Produkte zu integrieren. Zudem fordern die Mitglieder entsprechende Gesetze und Regulationen zur Umsetzung und Förderung der Kreislaufwirtschaft. In Bezug auf die Produktgestaltung empfanden die Befragten die Trennbarkeit, die Demontage der Stoffe und Informationen zu chemischen Inhaltsstoffen, die Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt im Lebenszyklus sowie die Haltbarkeit und Langlebigkeit der Produkte als sehr wichtig. Auf EU Ebene sollen laut Mitgliedern Regeln und Mindestanforderungen an Produkte aufgestellt sowie wirtschaftliche Anreize für die Entwicklung nachhaltiger Produktdesigns geboten werden. (Vgl. Ruiz Durán, C., 2019, S.23-26)

Um den Verbleib von Stoffen und vorhandene Ressourcen erfassen und damit planen zu können, be-

darf es eines ganzheitlichen Systems. Mit dem sogenannten Urban Mining wird der Ansatz für den Umgang mit den anthropogenen Rohstofflagern beschrieben, der sich auf alle im Umlauf befindenden Stoffe sowie Deponiewaren bezieht. (Vgl. Umwelt Bundesamt c (Hrsg.), 2017)

2.3. URBAN MINING

Das Urban Mining, wörtlich übersetzt der „Stadtbergbau“, betrachtet die gebaute Umwelt und ihr darin enthaltenes materielles Gut als Reservoir von Ressourcen und anthropogenes Lager. Das Urban Mining betrachtet alle Güter und Stoffe, die in vergangenen Jahren als Primärrohstoff zur Herstellung von Produkten oder als Materialien für Bauten eingesetzt und in den Umlauf gebracht wurden. Diese bilden die Grundlage für Sekundärrohstoffe, unabhängig von ihrer zeitlichen Verfügbarkeit. Das Urban Mining richtet sich gegen eine Verschwendung von Ressourcen, indem aus Abrissabfällen oder anderen zur Entsorgung bestimmten Materialien erneut Rohstoffe gewonnen werden. Die verbleibende Masse an Ressourcen wird sich zukünftig immer mehr von natürlichen Quellen hin zu den bereits existierenden Gebäuden und Gütern verschieben. Grund dafür ist die Erschöpfung der Rohstoffbestände durch unseren hohen Verbrauch, besonders von nicht-nachwachsenden Rohstoffen. Rohstoffe, die erst über Jahrtausende entstehen, können sich in der Geschwindigkeit, in der sie entnommen werden, nicht auf natürliche Weise erneuern, um weiterhin verfügbar zu sein. Beispielsweise gibt es aktuell mehr verbautes Kupfer als noch in Minen abbaubares. Des Weiteren sorgt die steigende Weltbevölkerung für einen erhöhten Bedarf an Gütern und Wohnraum. 2018 lebten rund 55 % der weltweiten Bevölkerung in Städten und die Zahl soll weiter steigen, 2030 sollen es bereits 60 % sein. (Vgl. Destatis Statistisches Bundesamt (Hrsg.), o.D.)

Gleichzeitig ist in den letzten Jahrzehnten die Lebenserwartung von Gebäuden geschrumpft. Dies liegt mitunter zum großen Teil an der Wirtschaftlichkeit der Gebäude, die meist als wichtigster Punkt bei der Errichtung und Erhaltung angesehen wird. Oftmals sind die Unterhaltungskosten für Gebäude hoch, die Mieten hingegen niedrig. Für die Vermieter ist ein Abriss und ein Neubau oft wirtschaftlicher als die Sanierung, da die Mieten dann angehoben werden können und die neuen Gebäude während der Nutzungsphase energiesparender

sind. Aus dieser Tendenz kann die Stadt als dichte und vielfältige Rohstoffquelle hervorgehen. Ein effizienter Gebrauch, nicht nur von in den Städten vorhandenen Rohstoffen, sondern allen langlebigen Gütern kann durch Wiederverwendung, Langlebigkeit, Reparatur und Recycling erreicht werden, gleichfalls auch durch Verringerung und Vermeidung von Abfällen. Durch lokale Rückgewinnung von Material können beständige Wertschöpfungsketten entstehen. Ein weiterer Vorteil von regionalen Bezügen aus der bestehenden Umgebung ergibt sich durch die verkürzten Transportwege und den geringeren Transportaufwand. Damit können neue Wertstoffe energie- und ressourceneffizient hergestellt werden. Durch die Weiternutzung der Rohstoffe kann zudem die in Bauteilen gespeicherte graue Energie gebunden werden. Durch die Ausnutzung der vorhandenen materiellen Kapazität bei innerstädtischer Wiederverwendung und lokalen Wertschöpfungsketten und Kreisläufen können die städtischen Systeme widerstandsfähig werden und zur Unabhängigkeit von ausländischen Importen führen. Sicher können nicht alle Abfälle wie chemische oder radioaktiv vorbelastete Stoffe Teil dieser Wertschöpfungskette werden, dennoch bietet der Großteil unseres Abfalls Potenzial. Betrachtet man die in genehmigten Neubauten in Deutschland der letzten 30 Jahren überwiegend verwendeten Baustoffe, kann daraus eine wage Prognose im Hinblick auf zukünftig verfügbare Ressourcen aus anthropogenen Lagern erstellt werden. Im zeitlichen Vergleich ist die hohe Anzahl von Neubauten zwischen 1993 und 2019 fallend, besonders niedrig war sie während der Finanzkrise im Zeitraum von 2007 bis etwa 2011. Aktuell liegt die Anzahl etwa gleichbleibend mit einem Durchschnitt von ca. 150.000 genehmigten Neubauten pro Jahr. Betrachtet man nun die Verteilung der verwendeten Baustoffe von 1993 bis 2003, in denen viele Neubauten errichtet wurden, zeigt sich, dass der Anteil von Ziegel und Mauerwerksstoffen mit etwa 75-85 % deutlich überwiegt. Gleichzeitig zeigt die Gesamtentwicklung der verwendeten Baustoffe im Hinblick auf den nachwachsenden Rohstoff Holz eine Zunahme im prozentualen Einsatz von etwa 5 % bis auf 12 %,

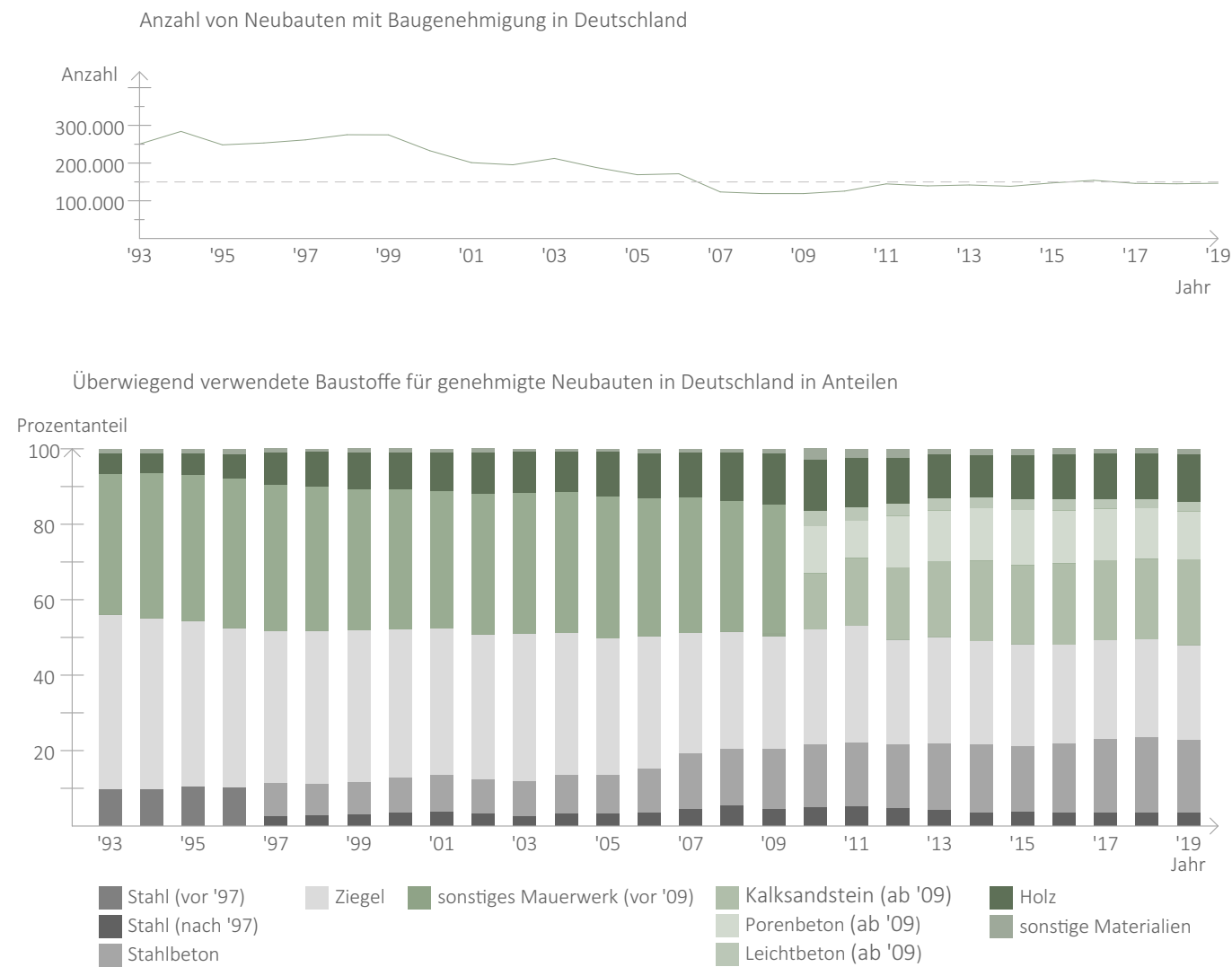


Abb. 7 Diagramme
(eigene Darstellung)

jedoch hat ebenfalls der Anteil von Stahlbeton von etwa 8 % auf 20 % zugenommen. Prozentual ist der Einsatzanteil von Ziegel und Mauerwerksstoffen in den vergangenen Jahren rückläufig. (Vgl. Abb.7) (Vgl. Hebel et al., 2014, S.16f S.27-31; Umwelt Bundesamt d (Hrsg.), 2016.; Umwelt Bundesamt b (Hrsg.), 2020; Umwelt Bundesamt c (Hrsg.), 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.6; Destatis. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), o.D.; Hitzler, H. und Valvoda, K., 2020)

Die Betrachtungen des Urban Mining beziehen sich nicht ausschließlich auf Gebäude, ebenso werden Autos, elektronische Geräte, Infrastrukturen und Deponieablagerungen miteinbezogen. Durch das Recyceln bereits verbauter Materialien kann nicht nur auf weitere Ressourcenentnahmen verzichtet,

sondern in einigen Fällen zudem Energie im Gegensatz zu deren Primärgewinnung und Herstellungsprozess eingespart werden. Beispielsweise benötigt rezykliertes Aluminium nur 5 % der Energie im Vergleich zum Primärprodukt. Mittlerweile geht man davon aus, dass sich mehr wertvolle Materialien auf den von den Menschen für Abfälle geschaffenen Deponien befinden als in ihrem übrigen natürlichen Quellen. Daher existieren drei anthropogene Lager, zum einen die gelagerten Massen auf Deponien, zum anderen unsere gebaute Umgebung, welche mittlerweile mehr als 55 % der Lagermassen beinhaltet und ungenutzte anthropogene Lager, beispielsweise stillgelegte Bahntrassen oder ungenutzte Industriehallen. Jährlich wachsen unsere anthropogenen Lager durch eine höhere Importrate im Vergleich zur Exportrate um etwa 0,8

Milliarden Tonnen. Das Urban Mining befasst sich bereits während der ersten Nutzungsphase von Dingen mit deren weiteren Verbleib und Potenzial zur hochwertigen Rückführung in Stoffkreisläufe. Besonders wichtig sind hierfür die Erfassung von Massen, um zukünftige Stoffströme einschätzen zu können und damit zu planen. Im Gegensatz dazu steht die Abfallwirtschaft, die sich erst mit dem Verbleib von Abfall beschäftigt, wenn dieser bereits als solcher vorhanden ist. (Vgl. Hebel, D. E. et al., 2014, S.16f S.27-31; Umwelt Bundesamt d (Hrsg.), 2016.; Umwelt Bundesamt a (Hrsg.), 2020; Umwelt Bundesamt c (Hrsg.), 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.6; Destatis. Statistisches Bundesamt, o.D.)

In Bezug auf die drei Säulen der Nachhaltigkeit sind im Urban Mining abgesehen vom ökonomischen Aspekt des Bauens und der Erhaltung beziehungsweise dem Abriss von Gebäuden, weitere Punkte abzuwägen. Ökologische und soziale Aspekte spielen ebenso eine Rolle. In dieser Hinsicht sollten bestehende Gebäude und Stadtstrukturen auch als städtische Minen mit historischer und gesellschaftlicher Bedeutung betrachtet werden. Es ist neben einer optimalen Ausschöpfung von Ressourcen wichtig, diese möglichst lang zu erhalten. In einem Stadtbild und Raumgefüge sind Bestandsgebäude auch von sozialer, kultureller und gesellschaftlicher Bedeutung. Sie stellen eine Ressource dar und die Möglichkeit, durch Umnutzungsmaßnahmen eine Verwendung zu erfahren, sowie bereits genutzte Flächen für bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Urban Mining bedeutet auch, neue Flächenversiegelungen zu vermeiden und Bestehendes auszunutzen durch Ausbauten und Aufstockungen. Teilweise kann statt dem Abriss eine Aufbereitung von Gebäuden sinnvoller sein. Der gewünschte Ersatz für mangelhafte Bestandsgebäude erfordert rücksichtsvolle und innovative Maßnahmen. Es müssen Anreize für die Eigentümer*innen und bestenfalls mieter*innenorientierte Subventionsprogramme entwickelt werden, um Alternativen für komplette Abrisse zu schaffen. (Vgl. Hebel, D. E. et al., 2014, S.16f S.27-31)

Um weiterhin mit den verfügbaren Ressourcen auszukommen und gleichzeitig politischen Anforderungen an den Klimaschutz gerecht zu werden, brauchen wir neue Materialien, Re-Designs, zirkuläre Wirtschaftsprozesse und ein Umdenken der Menschen und Nutzer*innen in ihrem Verhalten und ihrer Einstellung. Die Stadt von morgen muss sich aus sich selbst versorgen können. Bislang gibt es schon wichtige Grundlagen für solche Prozesse wie die Feststellung der Qualität von Sekundärstoffen, die Digitalisierung, Rückgewinnungstechniken und neue Prozesse zur Wiederverwertung und Aufwertung von Materialien. Beim Urban Mining geht es dann nicht mehr nur um reine Baumaterialien oder Produkte, sondern auch um die autarke Energieversorgung der Städte durch erneuerbare Energien und die Versorgung mit Nahrungsmitteln. Das Prinzip der linearen Planung wird von zirkulärer Planung verdrängt. Es muss in Kreisläufen gedacht werden. Recycling und modernes Bauen sowie die Betrachtung der Städte als reiche Rohstoffquelle müssen Alltag und allgemein gültig werden. Deutschland befindet sich am Höchststand seiner Reichhaltigkeit an Rohstoffen wie Metallen, Mineralien und Kunststoffe jedoch nicht in ihrem natürlichen Vorkommen, sondern im gebrauchten Zustand über der Erde. Bis heute haben wir immer noch einen linearen Lebenszyklus statt einer Kreislaufwirtschaft, weshalb die Rohstoffe kaum rückgewonnen werden und wir immer mehr von außerhalb einführen. Dies hat gravierende ökologische, aber auch soziale und ökonomische Folgen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.6f)

Urban Mining zeigt, dass nach dem ersten Leben eines Produktes - statt als Abfall zu enden - eine Weiternutzung durch Neu- und Umgestaltung sowie Transformation stattfinden kann. Hierzu sollte das Lebensende als Abfallprodukt des ersten Gebrauchs eines Produktes der Ausgangspunkt für ein Zweites darstellen und somit weg von einem linearen Produkt mit Anfang und Ende hin zu einer Weiterführung im Kreislauf gelingen. Abfall, der bei der Produktion, der Benutzung und nach dem Gebrauch von Gegenständen entsteht, wird

nicht mehr als unnützes Abfallprodukt angesehen, es wird in Wertstoffkategorien und Wiedergewinnungspotenzial gedacht. Der Lebenszyklus eines Produktes, seine ökonomische Betrachtung in einer Kreislaufwirtschaft sowie die Einflüsse auf die Umwelt werden im Sinne des Urban Mining und der Kreislaufwirtschaft ganzheitlich betrachtet. Das Rohmaterial kann durch unser Einwirken mit Technik, der Verbindung mit anderen Materialien oder Physik für uns nutzbar werden. Ist dieses nun am Ende seines ersten Daseins, seiner ersten Anwendung, wird es zu Müll. Abfall kann in der Zukunft bei sinnvollem Einsatz zu einer Versorgungsgrundlage werden. Es schützt die Primärrohstoffe durch den Einsatz von sekundären Rohstoffen und schont damit Boden, Wasser und Luft. (Vgl. Hebel, D. E. et al., 2014, S.16f S.27-31; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.6f)

2.3.1. RESSOURCEN AM BAUPLATZ

Ressourcen vor Ort sind günstig und ebenso transportarm. Bei Erd- und Rohbauarbeiten fallen 80 % des Stoffstroms einer Baustelle an. Oftmals wäre es möglich, die anfallenden sandigen Kiese des Aushubs aufzubereiten und als Betonzuschlag zu verwenden. Durch ein abfallrechtliches und ein geotechnisches Gutachten kann die Eignung des Aushubs klassifiziert und die baustoffliche Verwertbarkeit bestimmt werden. Von denen aus Bauabfällen gewonnenen Gesteinskörnungen wurden im Jahr 2018 nur etwa 21 % zur Herstellung von Beton und Asphalt verwendet. Daher konnten auch im Jahr 2018 nur 12,6 % des Bedarfs an Gesteinskörnungen von 587,4 Mio. t gedeckt werden. Zeitgleich steigt der Bedarf an mineralischen Baustoffen. (Vgl. Basten, M., 2021)

Um ein Urban Mining und eine qualitative Rückführung von Dingen in den Stoffkreislauf zu ermöglichen, muss der Rückbau und der Abriss von Gebäuden und die Verwertung der Materialien dementsprechend geplant werden. Gleichzeitig stellen die Bauweisen der Vergangenheit und der heutigen Zeit diese Trennung durch Verbundmaterial und unlösliche Verbindungen vor große technische und ökonomische Herausforderungen.

2.4. EINFLÜSSE AUF DIE LEBENS- UND NUTZUNGSDAUER VON GEBÄUDEN

Um nachhaltiger mit Gebäuden und Ressourcen umzugehen, sollte in der Planung von Architektur eine langfristige Betrachtung von Bauaufgaben stattfinden. Bereits zu Beginn eines Projektes sollten weitere Nutzungsmöglichkeiten sowie stets anfallende Reparaturen und Umbauten bereits mitbedacht werden. Denn ein wichtiger Schritt zu einer ressourcenschonenden Bauweise ist die Langlebigkeit von Gebäuden. Generell geht man in der Literatur oder der Gebäudeplanung oft von einer durchschnittlichen Lebensdauer von etwa 50 Jahren aus. Dieser Wert unterscheidet sich dennoch je nach der Funktion eines Gebäudes. Beispielsweise müssen sich Wohnbauten an den sozialen Wandel anpassen und Industriegebäude an mögliche Besitzerwechsel oder neue technische Innovationen, die oft neue räumliche Voraussetzungen erfordern. Zudem sind einzelne verbaute Bauteile in ihrer Lebensdauer zu betrachten, da beispielsweise statische Grundstrukturen eine weit höhere Lebensdauer mit etwa 100 – 150 Jahren aufweisen, im Vergleich zu Innenbauteilen wie Bodenbeläge, Möbel und Anstriche, die etwa alle 15 Jahre ausgetauscht werden. Auch Einzelteile wie Fenster, Leitungen oder Flachdächer werden bereits etwa alle 30 Jahre erneuert. (Vgl. SwissLife (Hrsg.), 2017)

Gründe für die Abnutzung von Gebäuden können immaterielle und materielle Ursachen haben. Ein Abriss oder eine frühzeitige Ersetzung von Bauteilen liegt selten an deren Untauglichkeit. Ein Wertverlust von Gebäuden oder Bauteilen entsteht durch Alterung, Abnutzung oder Obsoleszenz. Eine immaterielle Abnutzung hängt mit sozialen, gesetzlichen und technischen Entwicklungen zusammen. Eine Ursache für die Untauglichkeit von Gebäuden kann aufgrund ihrer Grundrissstrukturen entstehen. Diese sind dem stetigen gesellschaftlichen Wandel ausgesetzt, aus dem durch neue Lebensformen und soziale Veränderungen veränderte Bedürfnisse und Anforderungen der Menschen an Gebäude oder Wohnraum hervorgehen. Dies geschieht beispielsweise wenn eine Wohnung

der Nachkriegszeit heute nicht mehr ihren Zweck erfüllen kann, da sich die Bedürfnisse der Gesellschaft und ihre Strukturen ändern. Gebäude werden durch mangelnden Unterhalt auch physisch obsolet. Zudem kommt es durch den konstanten Fortschritt der Technik, neue rechtliche Anforderungen und Umbrüchen am Markt zu verfrühten Erneuerungen oder Umbauten von Gebäudeteilen, die funktionell gesehen noch keine Erneuerung benötigen. Teilweise herrscht zudem Mangel an Ersatzteilen und Reparaturmöglichkeiten. Die materielle Alterung betrifft die funktionelle Ermüdung der Bauteile, die im Laufe der Jahre durch äußere Einflüsse meist unvermeidbar ist. Beispielsweise führen Abnutzung, chemische und mechanische Einflüsse zu Verschleiß, Korrosion und Ermüdung von Bauteilen. Ein weiterer Grund für Abrisse ist die legale, ökonomische und formale Obsoleszenz. Dazu gehören Gebäude, welche nur schwer an aktuelle Vorschriften angepasst werden können, der angemessene Ertragswert von Gebäuden sowie der Wandel hinsichtlich des ästhetischen Geschmacks. (Vgl. Bahr, C. und Lennerts, K., o.D., S.14-17, S. 24f; König, H., 2009, S.30-37)

Es lassen sich bei Gebäuden die technische sowie die wirtschaftliche Lebensdauer betrachten. Die Technische benennt den Zeitraum der Errichtung bis zum unvermeidbaren Austausch von Konstruktionen aufgrund deren Funktionsverlustes. Die wirtschaftliche Lebensdauer, die meist kürzer als die technische ist, bezieht sich auf den ökonomischen Aspekt, die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes. Die Obsoleszenz tritt ein, wenn die Instandhaltungskosten eines Objekts dessen Ertrag überschreiten. (Vgl. Bahr, C. und Lennerts, K., o.D., S.24-27, S.41ff)

Im Hinblick auf die technische Lebensdauer können bei der Planung grundlegende Möglichkeiten zur Verlängerung dieser geschaffen werden. Bereits in der Entwurfs- und Ausführungsplanung werden die Grundsteine für ein Gelingen oder Misslingen gelegt. Entscheidend sind die Anordnung und die Zugänglichkeit von beispielsweise technischen Installationen mit geringen Lebensdauern, um eine

einfache Instandhaltung, Wartung und den Austausch von Einzelteilen zu ermöglichen. Die Alterung von Gebäuden lässt sich durch gewissenhaften Unterhalt und regelmäßige Instandsetzungen verhindern oder zumindest verlangsamen. Heutzutage werden durch diese Maßnahmen die Gebäude meist in ihren Ausgangswert nicht nur erhalten, sondern sogar durch technische Neuerungen und veränderte Anforderungen verbessert. Auch die Umsetzung auf der Baustelle hat Auswirkungen auf die technische Lebensdauer durch Baumängel oder Fehler während der Planung. Die Planungsphase entscheidet über den Verbrauch von Ressourcen und Energie, durch gezielte Materialauswahlen unter Berücksichtigung der Eigenschaften von Baustoffen. Die wirtschaftliche Lebensdauer des Gebäudes kann von Planer*innen durch eine anpassungsfähige, flexible Gestaltung von Grundrissen als Reaktionen auf Nutzungsänderungen beeinflusst werden. Dazu sollten bereits in der Planungsphase durch leicht veränderliche, flexible Strukturen Umnutzungsmöglichkeiten mitbedacht werden. Grundlegend spielt hierbei auch die Wahl des Standortes eine Rolle, da Mischgebiete sich eher für Umnutzungen eignen als beispielsweise reine Industrie- oder Wohngebiete. Andere Faktoren zur Verlängerung der wirtschaftlichen Lebensdauer eines Gebäudes wie die wirtschaftlichen Ziele der Bauherr*innen oder die allgemeine Entwicklung der Einkommensstrukturen und der Marktverhältnisse lassen sich in der Planung nur schwer berücksichtigen. (Vgl. Zelger, T. et al., 2009, S.8f)

2.5. RÜCKBAUPHASE

Neben der Lebensdauer eines Gebäudes, die möglichst durch intelligente Planung verlängert wird, müssen bereits zu Beginn eines Projektes alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes berücksichtigt werden. Dazu zählen nicht nur die zu Beginn im Vordergrund stehende Neubauphase und Nutzungsphase, sondern ebenso die ihr folgende Erneuerungsphase, gefolgt von der Abbruchphase. Wenig Aufmerksamkeit in der Planung erhält heute oftmals die Lebenszyklusphase des Rückbaus, die unmittelbar mit der ersten Lebenszyklusphase, der Neubauphase, zusammenhängt. Bereits in der Planung eines Gebäudes sollte das Nutzungsende und der Rückbau als wichtiger Aspekt mitbedacht werden, um eine maximale Möglichkeit zur Wiederverwendung und dem Rezyklieren von Baustoffen und einem minimalen Verlust von Ressourcen zu ermöglichen. (Vgl. König, H., 2009, S.6-10)

Die höchste Priorität sowie das angestrebte Ziel eines Rückbaus sind die Wiederverwendung auf Element- und Komponentenstufe. Dahinter folgt das Recycling von Baustoffen mit möglichst geringen Verlusten und der Vermeidung von Downcycling. Daraufhin steht eine thermische Verwertung und auf der letzten Stufe die Deponierung. Um eine möglichst hohe Qualität des Rückbaus zu ermöglichen, müssen bei der Errichtung einige Dinge beachtet werden. (Vgl. König, H., 2009, S.6-10)

2.5.1. RÜCKBAUBARKEIT

Wird ein Gebäude nach seinem Nutzungszyklus rückgebaut, müssen die Abbruchabfälle in Deutschland nach der Gewerbeabfallordnung getrennt werden. In Österreich unterliegen sie dem Abfallwirtschaftsgesetz. Grundsätzlich gilt in beiden Fällen, dass beim Rückbau die Teile möglichst sortenrein getrennt und gut erhalten werden sollen, um deren Wiederverwertungspotenzial zu steigern. Die Abfälle sollen laut Gewerbeabfallordnung in die einzelnen Kategorien eingeteilt und gesammelt werden. (Vgl. Westermeyer, A., 2018, S.6)

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft und eines qualitativ hochwertigen Recyclings muss die Trennung der einzelnen Baumaterialien und der Baukonstruktion möglich sein, um Produkte in hoher Qualität erhalten zu können. Zudem sollte auf die Verwendung bedenklicher Stoffe verzichtet werden. Die Verantwortung für eine solche Umsetzung liegt nicht ausschließlich bei Architekt*innen. Sie tragen die Verantwortung für den Bau und Rückbau, gleichsam übernehmen die Bauherr*innen sie für die Immobilie sowie die Hersteller*innen für ihre Produkte. Die Umweltauswirkungen hingegen werden von der Allgemeinheit getragen. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S.10)

Laut deutschem Gesetzgeber sollte vor dem Abbruch eine „Bestandsaufnahme und Erstbewertung“ und zudem eine „Technische Untersuchung“ des Objektes durchgeführt werden. Innerhalb dieser fachkundigen Prüfung werden die technische Leistungsfähigkeit sowie die Zulassungserfüllung von Bauteilen und Baustoffen überprüft. Ebenso sind laut österreichischem Gesetzgeber die für eine Vorbereitung zur Wiederverwendung geeigneten Bauteile sowie schadstoffbelastete Bereiche zu dokumentieren. (Vgl. Durán, C. et al., 2019, S.28; Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat a (Hrsg.), o.D.; §§4, 5, 6, Abschnitt 2, I Nr. 181/2015 RBV BGB)

Oftmals ist die Umsetzung in der Realität schwie-

riger, als das Gesetz es beschreibt. Die Erfassung und Dokumentation, die richtige Sortierung und den materialgerechten Abtransport verhindern oft praktische Gründe. Einerseits fehlt häufig Verständnis für die Wichtigkeit einer solchen sortenreinen Trennung, andererseits werden nicht selten Sammelbehälter durch Außenstehende verunreinigt. Herausfordernd ist ebenso die geringe Nachfrage nach Sekundärrohstoffen. (Vgl. Ruiz Durán et al., 2019, S.28; Baufachliche Richtlinien Recycling)

Grundsätzlich sollten einmal entnommene Ressourcen in höchstmöglicher Qualität erhalten bleiben. Um im Falle eines Abrisses einen sortenreinen Rückbau und eine Trennung der Materialien zu ermöglichen, muss eine Einfachheit dessen geschaffen werden. Zukunftsfähig für nachhaltige Gebäude sind Beschreibungen zum Rückbau, die Anweisungen zur schadenfreien Rückführung der Materialien in Stoffkreisläufe enthalten. Zu beachten ist die Wahl der Materialien, deren Verbindungen und die einfache Zugänglichkeit zu austauschbedürftigen oder wartungsintensiven Bauteilen. Bei mehrschichtigen Bauteilen sind zudem die unterschiedlichen Lebensdauern einzelner Schichten sowie deren Verträglichkeit untereinander zu beachten. Vom Bundesministerium für Bau, Verkehr und Stadtentwicklung ist ein Kriteriensteckbrief zur Bewertung der Rückbaufreundlichkeit eines Gebäudes entwickelt worden. Dieser unterscheidet Bereiche des Bauwerks wie beispielsweise technische Ausrüstung von tragender Rohbaukonstruktion. Die unterschiedlichen Stufen der Demontierbarkeit werden je nach Verbindung der Bauteile kategorisiert von „sehr leicht zu trennen“ bei losen Verbindungen bis hin zu „sehr hoher Aufwand“. (Vgl. BaunetzWissen a (Hrsg.), o.D.)

Um Bauteile beziehungsweise Stoffe einer hochwertigen Wiederverwendung und -verwertung zuführen zu können, ist die Trennung und möglichst sortenreine Rückgewinnung der Teile beim Abbruch sehr wichtig. Dafür ist eine selektive Vorgehensweise geeignet, die auch den Erhalt von qualitativen Rezyklaten ermöglicht. Die Separierung

der verschiedenen Baustoffe sollte bereits auf der Rückbaustelle beginnen. Eine optimale Verwertung von Abbruchabfällen bieten einerseits der selektive Rückbau, bei dem die Materialien vor dem Abbruch sortenrein ausgebaut werden und andererseits die Demontage, bei der die Bauteile in umgekehrter Reihenfolge ihrer Montage demontiert werden. Um eine Wiederverwertung zu ermöglichen, bieten manuelle Rückbauverfahren die beste Möglichkeit zur Selektion. Leichte Trennbarkeit der Bauteile aus unterschiedlichen Materialien ist daher für die Zukunft des Rückbaus und der qualitativen Rückgewinnung von Baustoffen aus den Gebäuden entscheidend. Auf unlösliche Verbindungen wie beispielsweise mit Klebstoffen sollte deshalb verzichtet werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.19-23)

Für die Planung des Ablaufs der Abrissbaustelle und der Festlegung benötigter Personen, Geräte und Materialressourcen einer Demontage bleiben heutzutage meist nur wenige Tage Zeit. Zudem muss ein solches Vorhaben in den Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1-3 nicht beim Gesetzgeber angekündigt werden und unterliegt somit keiner Kontrolle. Über die Trennung der Abbruchmassen und den Abbruchvorgang entscheidet meist der Abbruchunternehmer. Die Bauherr*innen müssen in der Ausschreibung zur Beauftragung eines Unternehmens lediglich die Rückbautechnologie vorgeben und ein Sicherheitskonzept für die Schadstoffentfrachtung garantieren. Die wichtigste Grundlage einer möglichst hohen Nutzung des Rückbaumaterials und der Identifizierung unbenutzbarer Bereiche aufgrund von Schadstoffen oder Demontierbarkeit ist eine Bewertung und stoffliche Erfassung des Gebäudes, da oftmals kaum Informationen über bestehende Gebäudestrukturen vorhanden sind. Meist ist die Sichtung historischer Unterlagen nicht ausreichend, um genaue Kenntnis über Materialbeschaffenheiten und Bauteilanschlüsse zu erlangen, weshalb eine Revision vor Ort auch über eventuelle Schadstoffbelastungen und Holzschutzmittel aufklären kann. Zudem kann so eine Einschätzung über die Zeitspanne und den Aufwand des Ausbaus

getroffen werden. Deshalb ist es heute umso wichtiger, die Demontage und Aufbereitung der Bauteile direkt in der Planung zu berücksichtigen, um Unterlagen für folgende Generationen zu erstellen, die eine Entnahme qualitativ hochwertiger Sekundärbaustoffe ermöglichen. Grundsätzlich laufen einige Rückbaumaßnahmen nach einem ähnlichen Schema ab. Nach der Entrümpelung von Einrichtungsgegenständen erfolgt die Beseitigung von schadstoffbelasteten Bauteilen. Anschließend wird das Gebäude entkernt. In diesem Schritt werden wiederverwendbare Teile ausgebaut, nicht mineralische raumauskleidende Elemente sowie die technische Gebäudeausrüstung entnommen. Schließlich wird die Rohbaukonstruktion zurückgebaut und ein Planum hergestellt. (Vgl. König, H. , 2009, S.6-10; Dechansreiter, U. et al, 2015, S.46-51)

Da die Wahl des Abbruchverfahrens in der Hand des Abbruchunternehmer*innen liegt und Bauherr*innen meist kaum Interesse am Verbleib der abgebrochenen Materialien und deren Qualität haben, da sie nur für ihre gerechte Entsorgung Verantwortung tragen, stehen bei der Wahl des Verfahrens häufig wirtschaftliche Argumente im Vordergrund. Daher werden selektive Verfahren, welche die Verwertung in den Fokus setzen, aber gleichzeitig mit hohem personellen Aufwand verbunden sind, nicht durchgängig umgesetzt. Auch für die Kostenermittlung des Abbruchs gibt es keine offiziellen Vergleichswerte oder Daten. Um diese Prozesse zu verbessern beziehungsweise zu optimieren, um eine Wieder- und Wiederverwendung und Verarbeitung von Material zu ermöglichen, müssen Handlungsanleitungen und Empfehlungen an die ausführenden Unternehmen weitergegeben werden. Zudem müssen bereits beim Erbauen von Gebäuden Planer*innen und ausführende Firmen und insbesondere Arbeiter*innen über die Wichtigkeit einer sortenrein trennbaren Ausführung ihrer Bauarbeiten aufgeklärt werden, um in der Praxis die Verwendung von Bauschäumen, Lacken und Klebstoffen durch Unwissende zu verhindern. Durch die Gewerbeabfallverordnung besteht jedoch Hoffnung, dass sich durch strengere Anforderungen

an die Trennung der Baustoffe solche selektiven Verfahren zukünftig durchsetzen werden. Ebenfalls sieht das Kreislaufwirtschaftsgesetz eine Produkterantwortung der Hersteller*innen vor, die dadurch bei der Verwertung zur Verantwortung gezogen werden können durch Rücknahme und Rückgabemöglichkeiten. Gleichmaßen ist die Planung durch gezielte Ausschreibungen für rücknahmefähige Produkte und die sortenreine Ausbauweise auf der Baustelle grundlegend für die weitere Verwendung der Hersteller*innen von rückgegebenen Produkten. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.28; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.19-23)

Gipse und rußbelastete Elemente, beispielsweise Öfen, sollten bereits bei der Demontage von anderen Baustoffen getrennt werden. Aktuell liegt vor allem der Fokus darauf, die Elemente regional wiederzuverwenden. Dazu müssen Bestände vor dem Rückbau in Massen und Materialien erfasst werden, um für den potenziellen Einsatz in näherer Umgebung eingeplant werden zu können. (Vgl. König, H. et al., 2009, S. 29)

2.6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN DES KREISLAUFGERECHTEN BAUENS

Um Bauprodukten und Materialien nach einem Lebenszyklus eines Gebäudes weiterhin nutzen zu können und entsprechend der Kreislaufwirtschaft dem Kreislauf zurückzuführen, müssen die allgemeingültigen Regeln und Anforderungen an Bauprodukte und Materialien eingehalten werden. Die jeweilige gesetzliche Grundlage zur Verwendung von Bauprodukten wird von allen Ländern der EU in ihrer eigenen Bauordnung unter Einhaltung der für alle Länder gültigen EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) selbst geregelt. Darin sind in sieben Punkten die Grundanforderungen an Bauwerke beschrieben, wie beispielsweise die mechanische Festigkeit und Standsicherheit, Brandschutz und Hygiene, Gesundheit und Umwelt. 2011 wurde in der EU-BauPVO die Liste der „Grundanforderungen an Bauwerke“ um den siebten Punkt „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ erweitert und soll damit die Wiederverwendung von Bauprodukten fördern. (Vgl. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat b (Hrsg.), o.D.)

Die in den Verordnungen beschriebenen Anforderungen beziehen sich auf den ganzen Zyklus des Gebäudes von der Errichtung bis zum Rückbau. Im siebten Punkt wird die Möglichkeit, Bauteile nach der Lebensphase wiederzuverwenden oder zu recyceln, gefordert, eine Dauerhaftigkeit des Gebäudes anzustreben sowie die Anforderung aus umweltverträglichen Stoffen sowie Sekundärstoffen Bauwerke zu errichten. (Vgl. OIB (Hrsg.), 2011, S.33f)

Die EU-Bauproduktenverordnung (BAU-PVO) regelt ebenso eine Einheitlichkeit der Prüfstandards von Bauprodukten. Durch die Verordnung erfolgt die Leistungserklärung der Hersteller*innen und die damit einhergehende CE-Kennzeichnung von Bauprodukten, durch die Hersteller*innen die Einhaltung der verfassten Leistungserklärung bestätigt. Diese Verordnung gilt seit 2013 in allen Mitgliedsstaaten der EU und vereinfacht somit den Handel im Binnenmarkt. Trotzdem bleibt die Anforderung

an Bauwerke Ländersache. Daher bilden die Grundanforderungen der BAU-PVO nur eine Orientierung, um eine harmonisierende technische Spezifikation von Bauteilen EU weit zu gewährleisten. Für diese gibt es teilweise Dokumente, in denen Merkmale der Bauprodukte EU-einheitlich beschrieben werden. Durch das CE-Kennzeichen haben die Hersteller*innen das Recht, ihre Produkte in der EU zu verkaufen. Ob sie jedoch den Standards des jeweiligen Landes sowie dessen Anforderungen an ein Bauwerk entsprechen und damit zum Bau geeignet sind, ist aufgrund der individuellen Gesetzeslage je nach Land unterschiedlich. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.16-18; Grimm, R., 2016)

2012 wurde in Deutschland das Kreislaufwirtschaftsgesetz verabschiedet. Es setzt damit Neuerungen der Abfallrahmenrichtlinie der EU um, die eine Abfallhierarchie in fünf Schritten von der Vermeidung über die Vorbereitung zur Wiederverwendung zum stofflichen Recycling bis hin zu einer sonstigen Verwertung vorschreibt. An letzter Stelle steht die Beseitigung. Die Abfallhierarchie wurde auch in das deutsche Recht übernommen und gilt somit auch für Bauabfälle. Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde auch besonderen Wert auf die Produktenverantwortung von Herstellern und deren Obhutspflicht gelegt. Um Abfall zu vermeiden, verlangt das Gesetz vom Hersteller die Erhaltung der Funktion eines Produktes, eine Entsorgung ist nur der letzte Schritt. Zudem müssen Hersteller*innen transparent über den Umgang mit Waren und Retouren berichten. Zudem fordert das Gesetz eine verstärkte Trennsammlung von Abfällen. Für die Vorbereitung zur Wiederverwendung, einem Recycling oder einer stofflichen Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen fordert das Gesetz eine Quote von 70% des Gesamtgewichts. 2020 trat das Gesetz in der neuen Form in Kraft. (Vgl. Dechantsreiter, U., 2015, S.192; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit a (Hrsg.), 2020; KrWG Teil 1 §14 Abs.2)

Deutschland hat 2012 ein Ressourceneffizienzprogramm, genannt „ProgRess“ veröffentlicht,

welches 2016 und 2020 um einen zweiten und dritten Teil erweitert wurde. Grundsätzlich beinhaltet es Leitideen und Ziele zum Schutz der natürlichen Ressourcen und zur nachhaltigen Entnahme von Rohstoffen unter Berücksichtigung zukünftiger Generationen. Um dies zu erreichen, will die Bundesregierung das Wirtschaftswachstum vom Ressourceneinsatz separieren und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft und die Beschäftigungen sichern. Einer der vier Leitgedanken ist dabei auch die Unabhängigkeit Deutschlands von Primärrohstoffen durch weiterentwickelte Kreislaufwirtschaft. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S.16-18; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit b (Hrsg.), 2020)

In der Mantelverordnung von 2012 beschließt die Bundesregierung Deutschlands Anforderungen an Ersatzbaustoffe, zu denen auch die recycelten Baustoffe gehören. Zuvor war die Verwendung von Recyclingprodukten eine rechtliche Grauzone aufgrund fehlender Gesetzesgrundlagen. In der Ersatzbaustoff-Verordnung sollen Schadstoffgrenzen und Einbauweisen einheitlich festgelegt werden, um örtliche Verunreinigungen des Grundwassers durch Sickerwasser auszuschließen. (Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit c (Hrsg.), o.D.)

Die Verordnung soll den höherwertigen Einsatz von Bau- und Abbruchabfällen in Bauwerke bewirken, durch die Förderung der Kreislaufwirtschaft und ein steigendes Recyclingpotenzial. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.18)

Zu befürchten ist allerdings, dass durch die festgelegten Begrenzungen an Verunreinigungen nur wenige Baustoffe zu einem hochwertigen Recycling geeignet sein werden, die der Klasse RC 1. Für die Stoffe aus Klasse RC 2 und RC 3 wird die Marktfähigkeit eher eingeschränkt. (Vgl. Dechantsreiter, U., 2015, S. 194)

In Österreich regelt neben der EU Bauproduktenverordnung die Recycling-Baustoffverordnung die

Qualitätsansprüche an wiederverwendete Baumaterialien. Zudem sind in ihr Bestimmungen zur Vorgehensweise bei Abbrucharbeiten und Einsatzbereiche sowie Verwendungsverbote von Recycling-Baustoffen beschrieben. Der Umgang mit Aushubmaterialien und deren Weiterverarbeitung zu Recycling-Baustoffen wird im Bundes-Abfallwirtschaftsplan definiert. (Vgl. Achatz, A. et al., 2020, S.5)

2.7. KREISLAUFPOTENZIAL UND REZYKLIERBARKEIT VON BAUSTOFFEN

Trotz der gesetzlich festgelegten Anforderung an die Recyclingquote der EU, die Deutschland überschreitet, gehen aktuell im Wiederverwertungsprozess von Stoffen Qualitäten zum hochwertigen Wiedereinsatz von Materialien verloren. Der Recyclinganteil von Bauabfällen liegt insgesamt bei 90 %, aber nur 20% dessen werden erneut für die Herstellung von Baustoffen eingesetzt. Gleichzeitig führt die Kurzlebigkeit von Gebäuden und Produkten zu immer mehr Abrissmaterialaufkommen und somit Deponieware. Die Entsorgung von Deponieware wird durch deren Überfüllung zu einer Herausforderung, darum geht eine Entsorgung in vielen Fällen mit langen Transportwegen einher. Die Deponierung wird somit teuer und es werden zukünftig Kapazitätsprobleme entstehen. Auch die Kosten werden sich verschieben, da die Entsorgung nicht verwendbarer Materialien teurer wird, andererseits durch die Wiederverwendung Materialerlöse erzielt werden können. Daher ist eine gesamtheitliche Betrachtung von den Kosten der Entstehung bis zum Rückbau ausschlaggebend. Günstige Stoffe erfordern oft eine hohe Austauschrate im Laufe der Nutzung und sind deshalb teurer in der Instandhaltung, während beschichtete Stoffe teurer in der Entsorgung sind. Produkte mit einem geschlossenen Kreislauf werden deshalb immer wertvoller und bringen schlussendlich beim Rückbau wieder Gewinne ein. Daher werden Gebäude im Urban-Mining-Design durch die Betrachtung als Rohstofflager an Wert gewinnen. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.24-32; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.14)

Werden im Zuge eines Abbruchs Rohstoffe rückgewonnen, können sie durch die Rezyklierung zurück in den Kreislauf geführt werden. Hierbei

sind die unterschiedlichen Möglichkeiten in ihrer Qualität im Vergleich zum Ausgangsstoff zu unterscheiden. Der Erfolg eines Recyclingprozesses ist abhängig von der Qualität des Ausgangsmaterials und den technischen Möglichkeiten sowie der Nachfrage und den Zielen der Bauherr*innen und des Abbruchunternehmens. Verschiedene Strategien ermöglichen eine Rückführung von Stoffen und Produkten an unterschiedlichen Stellen in den Kreislauf. Diese reichen vom Einsatz des Produktes in seiner ursprünglichen Verwendung bis hin zum Downcycling Prozess, aus dem ein Produkt vermindelter Qualität hervorgeht. Bei einer Wiederverwendung von Gütern wird ein Produkt nach seinem Gebrauch zum selben Verwendungszweck erneut eingesetzt. Im Bauwesen kann dies beispielsweise schadensfrei ausgebaute Türen oder Fenster betreffen. Bei einer Weiterverwendung hingegen wird ein ursprüngliches Produkt durch eine andere Nachnutzung weiterverwendet. Beispielsweise kann ein Marmeladenglas als Aufbewahrungsbehälter weitergenutzt werden. Die Wiederverwertung oder das Recycling bedeutet einen erneuten Einsatz von Abfällen im gleichwertigen Produktionsprozess. Jedoch sind weitere Schritte nötig, um ein Produkt daraus herzustellen. Bei einer Weiterverwertung oder dem Downcycling wird das Abfallprodukt einem neuen Produktionsprozess zugeführt, aus dem eine anderes Produkt oder ein anderer Werkstoff hervorgeht. Mit einem großen Qualitätsverlust ist die energetische Verwertung oder Verfüllung von Material und Produkten eine weitere Möglichkeit für den Verbleib von Abfällen, bei der durch Verbrennung Energie erzeugt oder Bauabfälle nach einer Aufbereitung verfüllt werden können. Die letzte Möglichkeit ist die Beseitigung der anfallenden Baustoffe, die kein Verwertungskonzept besitzen oder für schadstoffbelastete Materialien ist die Entsorgung als Sondermüll. (Vgl.

Abb. 8) (Vgl. BaunetzWissen b (Hrsg.), o.D.; Rost, N. 2007; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.136)

Nach der Einteilung der DGNB, der deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V., gibt es neun Stufen für Verwertungs- und Entsorgungswege für Bau- und Abbruchabfälle. Die oberste Stufe und damit Priorität hat die Vermeidung. Darunter versteht sich das Verzicht auf standardmäßig verwendete Teile, die technisch nicht unbedingt notwendig sind. Ihr folgt die Wiederverwendung, darunter versteht sich der Erhalt von Bauteilen über Nutzungszyklen hinweg oder die Rücknahme der Elemente vom Hersteller*innen durch Leasing oder Pfandsysteme. An dritter Stelle steht die werkstoffliche Verwertung von Produkten zu einem gleichwertigen oder vergleichbaren Erzeugnis. Voraussetzung für den verlustfreien Kreislauf ist die Entsprechung der Produkte dem aktuellen Stand der Technik oder eine Rücknahme der Hersteller*innen. An vierter Stelle steht, mit dem Verlust einer Qualitätsstufe laut Bewertungssystem des DGNB, die stoffliche Verwertung von Bauteilen als Grundlage der Bauteilherstellung im Hochbau. Gefolgt von der stofflichen Verwertung als Sekundärrohstoff außerhalb des Hochbaus. Mit einer Qualitätsabstufung folgt die energetische Verwertung in der Rangfolge. In diesem Schritt wird das Bauteil als Ersatzbrennstoff in der Herstellung von Werkstoffen oder in einer Müllverbrennungsanlage eingesetzt. Die siebte Möglichkeit ist die Verfüllung von Bauabfällen. Hierbei werden sie als Ersatzmaterial eingesetzt, um beispielsweise Hohlräume zu füllen. An achter Stelle und damit in der schlechtesten Qualitätsstufe steht die Deponierung. Auf dem letzten Platz steht die Entsorgung als gefährlicher Abfall. Demnach müssen solche Stoffe auf Deponien der Klasse 2-3 untergebracht oder gesondert entsorgt werden. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.23)

Durch unterschiedliche Planungsmaßnahmen kann das Recyclingpotenzial und somit die Rückführung von Baustoffen in den Kreislauf bestenfalls durch Wiederverwendung optimiert werden. Im Allgemeinen schont der Wiedereinsatz von Bauabfäl-

len durch deren Weiternutzung oder Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen den Ressourcenverbrauch sowie Deponieflächen und Kosten. Um ein effizientes Recycling zu ermöglichen, sollten die Baustoffe eines Gebäudes möglichst homogen gewählt werden, um den Aufwand durch unterschiedliche Verwertungswege verschiedener Materialien möglichst klein zu halten. Da es kaum möglich ist, nur auf einen Baustoff zurückzugreifen, sollten alle Bestandteile voneinander trennbar sein und dies nach Möglichkeit unter geringem Aufwand. Die Verbindungen der Funktionsschichten sollten einfach sein und einen sortenreinen Rückbau ermöglichen. Zudem sollten die Bauteile schadstofffrei sein, demzufolge sollte auf chemische oder andere Behandlungen verzichtet werden. Aktuell gibt es im Bereich von Baustoffabfällen einige Herausforderungen, die ein Urban Mining und eine Rückführung in den Kreislauf erschweren. In der Vergangenheit wurden und werden bis heute viele Verbundwaren eingesetzt, die auf dem aktuellen technischen Stand kaum trennbar sind. Daher ist es schwer, diese recyceln zu können und es ist zudem mit hohem Aufwand und Kosten verbunden. Bei den bisher genutzten mineralischen oder fossilen und erdölbasierten Baustoffen kann häufig nur ein Downcycling erfolgen, um die Materialien weiter zu nutzen. Da dies zu erheblichem Wertverlust führt, ist es daher für die Zukunft zielführend, Materialien aus geschlossenen Stoffkreisläufen einzusetzen. Zudem kann durch recyclingfähige Produkte der Wert von Immobilien gesichert und hohe Entsorgungskosten für die Nutzer*innen vermieden werden. Des Weiteren wird noch immer eine Wiederverwendung im Sinne von gebrauchten Waren in der Gesellschaft mit einer schlechteren Qualität gleichgestellt. Wird diese Hürde von Bauherr*innen und Architekt*innen genommen, treten oftmals Unsicherheiten in Bezug auf Rechtslagen auf. Eine weitere Herausforderung der Umsetzung sind die Einschätzungen von verfügbaren Massen zur Rezyklierung. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.23-32; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.13f S.58; EU-Recycling a (Hrsg.), 2018; BaunetzWissen b (Hrsg.), o.D.)

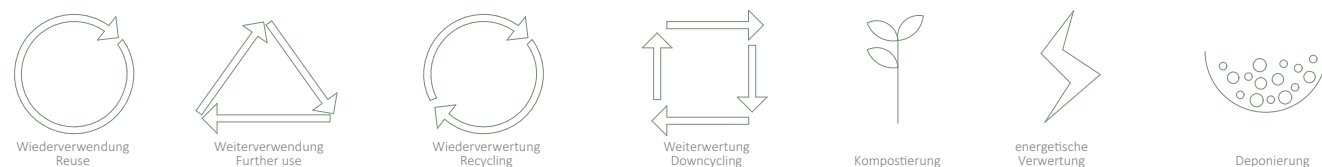


Abb. 8 Piktogramme
(eigene Darstellung)

Auch im Sinne der drei Säulen der Nachhaltigkeit sind Wiederverwendung und Verwertung von Bauabfällen ein wichtiger Aspekt. In Betrachtung auf die Ökologie kann durch kreislauffähige Produkte die graue Energie, also die Energie, die zur Herstellung und für den Transport sowie der Entsorgung von Baumaterial benötigt wird, eingespart werden. Da im Herstellungsprozess oftmals nicht erneuerbare Energien, sondern fossile Energieträger eingesetzt werden, ist dies entscheidend für den Emissionsausstoß, gleichzeitig werden Emissionen in Luft, Boden und Wasser eingespart. Die Ersparnis von Ressourcen, die Vermeidung von Abfällen und den geringeren Flächenverbrauch für Deponien und Lagerungsstätten ist hier offensichtlich. Die ökonomischen Auswirkungen sind die Unabhängigkeit von Preisschwankungen geringer Ressourcen und den Entfall von hohen Entsorgungskosten. Zudem könnte sich ein Markt aus diesem Bereich entwickeln, da die Nachfrage nach wiederverwertbaren und verwendbaren Baustoffen infolge der Ressourcenknappheit steigen wird. Die bisherigen Bauteilbörsen, auf denen Ausbauteile gehandelt werden, die bislang ein Nischendasein führen, werden an Bedeutung gewinnen und einen größeren Markt erreichen. Dadurch können neue Arbeitsplätze erschaffen und Geschäftsmodelle aufgebaut werden. Im soziokulturellen Bereich werden durch lokale Wertschöpfungsketten neue Arbeitsstellen geschaffen. Zudem wird sich mit der steigenden Präsenz von kreislaufgerechtem Bauen der Blick von Menschen zur gebauten Umwelt verändern. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.24-25)

Besonders geeignet zur Wiederverwendung sind große Formate sowie modulare und vorgefertigte Bauteile oder Monomaterialien. Bisher ist der Anteil an wiederverwendetem Material sehr gering, da vor der Planung bereits durch Ankauf, Prüfung und Lagerung Investitionen stattfinden müssen. Des Weiteren findet die gesetzlich geforderte Dokumentation von Bauteilen zur Wiederverwendung und deren schadensfreier Ausbau kaum statt. Bei einigen Materialien kommen aufwendige und kostspielige Aufbereitungsprozesse hinzu. Gleich-

zeitig fehlt es in den Abrissunternehmen an technischen Innovationen zur leichteren Umsetzung, um ökonomisch zu sein. Oftmals fehlen die Qualitäts- und Massenkennnisse der Baumaterialien, um sie gewinnbringend zu vermarkten. Andererseits stellen die Verbundmaterialien eine große Hürde in der sortenreinen Rückgewinnung da. Eine weitere Einschränkung bei der Wiederverwertung ist die begrenzte gestalterische Möglichkeit und die fortschreitende Entwicklung in den Anforderungen an Bauteile, die oftmals nicht mehr den aktuellen Normen entsprechen. Beispielsweise die Energie- oder technischen Standards. Zudem sind rechtliche Fragen zu klären, da die Gewährleistungen der Hersteller*innen nicht mehr bestehen und baubehördliche Zulassungen fehlen. (Achatz, A. et al., 2021, S.19; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.14)

2.7.1. BIOTISCHE BAUSTOFFE

Zu den biotischen Baustoffen zählen die durch pflanzliches oder tierisches Wachstum entstehenden Materialien, die größtenteils aus der Landwirtschaft und Forstwirtschaft gewonnen werden. Sie zeichnen sich durch die Fähigkeit, am Ende ihres Lebenskreislaufts zu verrotten aus und können somit erneut als Nährstoffe in den Wachstumskreislauf von neuen Pflanzen eingebunden werden. Der Anteil biotischer Rohstoffe der in Deutschland entnommenen Gesamtmenge lag im Jahr 2013 bei etwa einem Viertel. Hierzu zählen unter anderem Stoffe wie Heu, Holz, Getreide und Fleisch. 2008 wurden nur etwa 27 % der entnommenen biotischen Rohstoffe energetisch und stofflich genutzt, davon waren 21 % Holz und 6 % andere nachwachsende Rohstoffe. Der Großteil der in Deutschland vorhandenen biotischen Rohstoffe wird als Tierfutter verwendet. Biotische Rohstoffe eignen sich unter dem Aspekt der Ressourcenschonung als Baumaterial, da sie bislang ausreichend verfügbar sind und nachhaltig entnommen werden können, da sie sich ungefähr im Zeitraum des Lebenszyklus eines Gebäudes wieder erneuern. Dies ist entscheidend für eine ökologisch nachhaltige Bauweise, um als entnommene Ressource im gleichen Maße für zukünftige Generationen verfügbar zu bleiben. Zusätzlich können sie unbehandelt in ihren natürlichen Kreislauf zurückgebracht werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.58; Umwelt Bundesamt e (Hrsg.), 2016)

Der Produktkreislauf unbehandelter biotischer Materialien und seltener mineralischer Materialien kann von Natur aus meist als geschlossen bezeichnet werden, da deren Kompostierung die Nährstoffe für neue Pflanzen bringt. Voraussetzung für die nachhaltige Verwendung von nachwachsenden Baustoffen ist deren Entnahme aus nachhaltiger Bewirtschaftung, da beispielsweise Monokulturen aufgrund von profitorientierten Züchtungen zu Biodiversitätsverlust führen können. Der Rohstoff darf nur in der Masse und Zeitspanne entnommen werden, in der er sich selbst wieder erneuern kann.

Biotische, nachwachsende Rohstoffe binden in ihrer Wachstumsphase CO₂, welches am Ende ihres Lebenszyklus durch Verrottung oder Verbrennung wieder freigesetzt wird. Daher sind Rohstoffe wie Holz ein guter temporärer Speicher von Kohlenstoff. Für die Verrottung solcher Abfälle gilt grundsätzlich die Bioabfallverordnung, jedoch werden heute Bauabfälle aus Holz nach der Gewerbeabfallverordnung meist energetisch verwertet. Möglich wäre dennoch ein weiterer Einsatz in ihrer ursprünglichen Produktfunktion, besonders jenes Materials aus nicht nachhaltiger Bewirtschaftung, da dieses sich in keinem geschlossenen Kreislauf befindet, aufgrund genannter Problematiken. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.60)

2.7.1.1. HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE

Die nachhaltige Forstwirtschaft bildet die Grundlage für eine kreislaufgerechte Nutzung des Rohstoffs. Die Zeit zwischen der Pflanzung und der Abholzung bezeichnet die Umtriebszeit und variiert zwischen den Baumarten. Um die nachhaltige Holzentnahme zu garantieren, existieren zu deren Erkennbarkeit Zertifikate. Holzwerkstoffe können grundsätzlich weiter- oder wiederverwendet oder stofflich und energetisch verwertet werden. Kleinere Mengen können entweder durch die Kompostierung oder gemäß der Altholzverordnung verwertet werden. Die Mehrfachnutzung des Baustoffes kann durch Behandlungsverfahren zu Bauteilen mit geringerer Leistungsfähigkeit ermöglicht werden. Umso länger das Altholz durch Downcycling Prozesse genutzt werden kann, umso mehr ökologische Vorteile bieten sich durch die geringere CO₂ Bilanz und den verringerten Energieverbrauch. Altholz wird in drei Kategorien unterteilt, von denen sich Kategorie I und II, teilweise auch III stofflich verwerten lassen. Doch werden bis heute nur etwa ein Fünftel zur Herstellung von Baustoffen wie beispielsweise Spanplatten genutzt. Der Rest findet eine thermische Verwertung. Sogar leimgebundene Holzkonstruktionen lassen sich aufgrund des geringen Leimanteils von etwa 3 % beinahe uneingeschränkt wiedernutzen. Um eine Wiederverwendung von möglichst hoher Qualität zu ermöglichen, ist die natürliche Belassung des Holzes wichtig. (Vgl. Hille-

brandt, A. et al., 2018, S.65ff)

Schutz gegen Feuchte und den damit einhergehenden Schimmelbefall von Holz sowie Insekten-schutz können durch natürliche und konstruktive Maßnahmen zum Holzschutz gewährt werden. Der Einsatz von chemischen Schutzmitteln ist laut DIN Normen die letzte Option im Sinne einer qualitativen Erhaltung. Um den natürlichen und konstruktiven Holzschutz zu ermöglichen, muss bereits bei der Lieferung und dem Einbau des Holzes auf einen Schutz vor Feuchte geachtet werden sowie in der Detailausbildung während der Planung zum Schutz vor Spritzwasser und gegen Ansammlungen von Wasser. Je nach Anforderung des Holzschutzes und der Dauerhaftigkeit eignen sich einige Arten mehr als andere und müssen dementsprechend verwendet werden. Mit heimischen und europäischen Hölzern lassen sich hohe biologische Dauerhaftigkeiten erreichen, die ohne chemischen Holzschutz auskommen. Die in Deutschland gültigen DIN Normen schreiben eine Verwendung CE gekennzeichneten Werkstoffe vor. Diese bieten zum einen die Qualitätssicherung und sind zum anderen aufgrund von Umweltauswirkungen der Verwendung von tropischen Hölzern vorzuziehen. Um das Brandschutzverhalten von Holzkonstruktionen zu verbessern, können die Bauteile auf Abbrand überdimensioniert oder mit Platten ummantelt werden, hierbei ist für eine optimale Rückbaubarkeit eine lösbare Verbindung der Materialien zu beachten. Da Holz vorhersehbar abbrennt und keine Gefahr von abtropfen oder abbrennen besteht, bietet es Vorteile in der Einschätzung und dem Vorhersehen seines Brandverhaltens. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.65ff)

Holz lässt sich nicht nur als Tragwerk oder Bauteilschicht in Wänden und Decken verwenden, sondern ist auch als Fassadenverkleidung einsetzbar. Es bietet durch sein geringes Gewicht den Vorteil einer einfachen Unterkonstruktion. Holzverkleidungen haben in etwa eine Lebensdauer von 25 Jahren, Lärchenschindeln beispielsweise sogar 50 Jahre. Da das Holz insbesondere an den Wettersei-

ten eines Gebäudes verwittert, sind Oberflächenbehandlungen etwa mit Öl oder farbliche Pigmentierungen möglich. Diese Beschichtungen müssen allerdings in kurzen Zeitabständen erneuert werden. Um die kreislaufgerechte Ausführung einer solchen Beschichtung zu ermöglichen, sollte auf Kunstharzlacke oder biozidhaltige Beschichtungen verzichtet werden. Ein Schutz kann ebenso durch Ankohlen des Holzes erreicht werden. Des Weiteren kann ungeeignetes Holz durch eine thermische Behandlung von über 160 °C zu Thermoholz verarbeitet werden. Da es weniger quellt und schwindet, eignet es sich für Fenster und Türprofile, dazu wird allerdings in einigen Fällen mehrere Schichten des Thermoholzes verklebt, was den Wiedereinsatz des Bauproduktes erschwert, da es somit in die Altholzkategorie II fällt. Die ebenso als Außenverkleidung für großformatige Flächen verwendeten Furnier- und Sperrholzplatten werden bislang ohne den Einsatz rezyklierter Materialien hergestellt. Zudem sind sie nach dem Gebrauch durch den Klebstoffanteil und einem hohen Heizwert meist nur zur thermischen Verwertung geeignet. Insgesamt besitzen Hölzer von Natur aus unterschiedliche Dauerhaftigkeiten. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.65ff, 72f)

2.7.1.2. HOLZWERKSTOFFPLATTEN

Zu den Holzwerkstoffplatten gehören die Spanplatte, die OSB-Platte und die Holzfaserplatten. Sie entstehen durch die Verpressung oder Verklebung kleiner Holzteile aus Sägenebenprodukten, Industrierundhölzern oder Recyclingmaterialien. Der ökonomische Baustoff bietet den Vorteil, an allen Stellen des Werkstoffes dieselben Eigenschaften aufzuweisen und daher, im Gegensatz zu Vollholz, nicht die für Holz typische Eigenschaft des Quellen und Schwindens aufzuweisen. Verwendet werden zur Herstellung von Holzwerkstoffplatten, Hackschnitzel, Sägespäne, Kappstücke oder das nicht schnittfähige in der Forstwirtschaft anfallende Durchforstungs- und Bruchholz. Wird in der Produktion Recyclingmaterial verwendet, wie beispielsweise Altholz der Kategorie II oder III sowie Produktionsabfälle, muss deren Schadstofffreiheit sichergestellt sein. (Vgl. Hillebrandt, A. et al.,

2018, S.80; Boos, M. et al. a, o.D.)

Die Platten weisen mit 3-15% Bindemittelanteil einen kritischen Punkt auf, da die Qualität der Bindemittel in dem Formaldehyd enthalten ist, in der Vergangenheit zu gesundheitlichen Problemen geführt hat. Daher gilt heute für die Herstellung ein Standard mit sehr geringem zulässigen Wert für Formaldehyd. Trotzdem kann das enthaltene Bindemittel in größeren Räumen, in denen eine Vielzahl von Platten verlegt werden, zu gesundheitlichen Schäden führen. Alternativ gibt es Platten einer anderen Klasse, bei denen als Bindemittel beispielsweise Polyurethane eingesetzt werden. Deren Formaldehyd Anteil resultiert in dem natürlicherweise in Holz enthaltenen Prozentsatz. Als gesundheitlich unbedenkliches Bindemittel kann ebenso Lignin eingesetzt werden. Lignin zählt als Bestandteil von Holz ebenso zu den nachwachsenden Rohstoffen und sorgt schon in seinem natürlichen Vorkommen als Festigkeits- und Stabilitätsstoff der Zellwände von Holz für dessen Robustheit. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.80; Irmer, J. 2017)

2.7.1.2.1. OSB-PLATTEN

Die Abkürzung OSB steht für die gerichtete Ordnung der verklebten und verpressten Holzfasern oriented strand board. Dabei spielt die Lage der Faserichtung eine entscheidende Rolle, welche die Festigkeit und damit die Tragfähigkeit der Platte im Vergleich zum Rohstoff um das doppelte bis dreifache erhöht. Bis heute werden OSB-Platten größtenteils durch schichtweises Verleimen von Flachspänen aus Durchforstungsholz hergestellt. Aufgrund benötigter Längen von etwa 160 Millimetern sind Althölzer in der Herstellung nicht geeignet. Lediglich daraus entstehende Späne könnten zum Einsatz kommen. Neben ihrer aussteifenden Wirkung funktioniert die OSB-Platte mit geklebten Stößen auch als Wind- und Dampfdichte Ebene. OSB-Platten können auch im Nassbereich oder in wettergeschützten Außenbereichen eingesetzt werden. Der 10 bis 15-prozentige Anteil an Leim besteht aus Polyurethanharz oder Phenolformaldehydharz. Ersteres ist in seiner Herstellung umweltbelastend

und gesundheitsgefährdend, jedoch im Vergleich zu Formaldehyd gilt der Stoff als unbedenklich, da es sich um einen gebundenen Stoff handelt, der nicht austritt. Insgesamt sind OSB Platten ein Plusen-energieprodukt, da in der thermischen Verwertung mehr Energie erzeugt werden kann als für Herstellung benötigt wurde. (Vgl. Grimm, R. b, 2018; Irmer, J. 2017; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.80)

2.7.1.2.2. SPANPLATTEN

Die kleinteilige Struktur der Spanplatten entsteht durch das Verpressen von rezyklierten Säge- und Hobelspänen aus Holzabfällen, Holzmehl oder Späne aus Industrierundholz sowie Hackschnitzel aus der Durchforstung mit neun Prozent duroplastischen, also erdölbasierten Bindemittel. In Österreich und Deutschland liegt der Anteil des in der Herstellung verwendeten rezyklierten Materials bei etwa 30 %, in Italien bei 90 % wohingegen er in Finnland bei 0 % liegt. Neben den meist Formaldehyd enthaltenden Bindemitteln werden in der Produktion zusätzlich Paraffine zur Hydrophobierung eingesetzt, die den Spanplatten eine wasserabweisende Eigenschaft verleihen. Außerdem werden teilweise Brandhemmer hinzugefügt. Daher sollten Produkte, die Polyurethan-Leim als Bindemittel verwenden, bevorzugt eingesetzt werden. Ebenfalls wie OSB-Platten können Spanplatten in trockenen und feuchten Bereichen im Innenraum verbaut werden und zählen zu den Energieplusbaustoffen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.80)

2.7.1.2.2. HOLZFASERPLATTEN

Die für Holzfaserplatten verwendeten Rohstoffe werden etwa zur Hälfte aus nachhaltiger Forstwirtschaft, der andere Teil aus Sägerestholz und Durchforstungsholz gewonnen. Sie werden durch MDI-Harz miteinander verbunden, sind also formaldehydfrei und diffusionsoffen. Außerdem wird Paraffin hinzugefügt und sorgt so für die Hydrophobierung der Platten, weshalb sich bei deren Einsatz im Außenbereich Folien oder Bitumenabdichtungen erübrigen. Sie lassen sich sowohl im Außen- als auch im Innenbereich verwenden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81)

Für diffusionsoffene Konstruktionen im Innenbereich als innere Dampfbremse eignet sich die Holzwerkstoffplatte, die oftmals durch Aufkochen des holzeigenen Lignin im Nassverfahren hergestellt wird und damit außer dem statisch erforderlichen Anteil von 1,5 Prozent Phenolharz keine Bindemittel enthält. Die Platten bieten einen guten Wärmeschutz im Winter sowie im Sommer. Zudem kann durch ein natürliches oder synthetisches Hydrophobierungsmittel die Faserplatte im Nassbereich genutzt werden. Anders werden Faserplatten im Trockenverfahren hergestellt, wie beispielsweise MDF Platten. Diese werden durch Zugabe von Bindemitteln gepresst und meist im Innenausbau oder zur Möbelherstellung verwendet. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81; Irmer, J. 2017)

2.7.1.2.3. STROHBAUPLATTEN

Für den Trockenbaubereich im Innenraum existieren von einem deutschen Hersteller Strohbauplatten, die mithilfe von Hitze und Druck aus gereinigtem Stroh durch ein Strangpressverfahren zu Platten verarbeitet werden. Die Platten sind aufgrund ihrer Inhaltsstoffe für eine nachhaltige Bauweise geeignet, da das Stroh durch sein eigenes, natürlich vorhandenes Lignin ohne zusätzliche Bindemittel auskommt und zudem als Abfallprodukt eines schnell nachwachsenden Rohstoffes dem Getreide, mengenmäßig ausreichend verfügbar ist. Allerdings sind in der Herstellung des Endproduktes beidseitige Kartonplatten aus recyceltem Papier, die mit Holzleim befestigt werden, als Deckschicht notwendig. Der Anteil des Strohs im Produkt ist jedoch mit 96 % am größten. Die Platten können sogar stoßversetzt doppelt geschichtet werden und sind somit auch als selbsttragende Innenwand einsetzbar. Strohbauplatten können ähnlich zu Gipskarton verwendet und als Installationsebene, Beplankung und für den Schallschutz eingebaut werden. Im Nassbereich können die Platten mithilfe einer zusätzlichen Abdichtung mit mineralischen oder dauerelastischen Mitteln auch für spritzwasserbelastete Stellen genutzt werden. Nach dem Rückbau können die Platten an die Hersteller*innen zurückgegeben werden und lassen sich dem biologischen Kreislauf

rückführen. Dies erfolgt meist durch deren energetische Verwertung oder Kompostierung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81)

2.7.1.2. BODENBELÄGE

2.7.1.2.1. MASSIVHOLZ UND HOLZWERKSTOFFE

Holzböden sind in der Regel robuster als oftmals angenommen wird. Im Sinne der kreislaufgerechten Bauweise müssen Versiegelungen durch Lacke vermieden werden, trotzdem können die Oberflächen geölt oder mit Seife behandelt werden. Sie eignen sich im privaten sowie in öffentlichen Bereichen und beispielsweise auch in Schulen, wie bereits österreichische Projekte beweisen. Zudem kann ein solcher Bodenbelag die besonders in öffentlichen Gebäuden erhöhten Brandschutzanforderungen je nach Aufbaustärke erfüllen, da Massivholzböden der Brandschutzklasse normal entflammbar zugeordnet werden. Als schwer entflammbar gelten Böden aus Eiche, Buche und Fichte sowie mehrschichtige Parkettböden, die mindestens eine 20 Millimeter dicke Schicht Eiche enthalten. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.84)

2.7.1.2.2. LINOLEUM

Der Bodenbelag Linoleum besteht zum großen Teil aus den natürlichen und schnell nachwachsenden Rohstoffen Leinöl, Jute, Harz und Kork. Zudem enthält Linoleum Kalkstein, welcher bislang reichlich vorhanden ist. Zur Herstellung von Linoleum reagiert ein Gemisch aus 19% Leinsamen und 11 % Tallöl mit 2 % Naturharz zu einem Linoleumzement. Hierzu werden 22 % Holzspäne oder Korkmehl beigemischt, hinzu kommen 24 % Kalziumkarbonat, also kohlensaurer Kalk, maximal 10 % recyceltes Linoleum und ein kleiner Teil mit 3 % Titandioxid und Pigmente. Diese werden anschließend auf ein Grundgerüst aus Jute aufgetragen. Heute werden beinahe alle Linoleumbeläge mit einer Polyurethanoberfläche versehen, obwohl sie ohne diese auskommen würden. Die Rohstoffe zur Herstellung werden kreislaufgerecht gewonnen, es entstehen hierbei kaum Abfallmaterialien, selbst in der Verarbeitung von Kork können Reste in der Linoleum-

herstellung weiterverarbeitet werden. Gleichfalls können die Linoleumreste vermahlen und in Form von Linoleummehl weiterverarbeitet werden. Leider gibt es bislang kein Recyclingsystem nach einer Nutzungsperiode für Linoleumbodenbeläge. Sie werden hauptsächlich verbrannt oder verrotten restlos auf Deponien. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.84f; Mansel, M., o.D.; BaunetzWissen c (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3. DÄMMSTOFFE

In Deutschland liegt der Marktanteil nachwachsender Rohstoffe bei etwa 5-10 %. Der Großteil des gesamten Bedarfs an Dämmmaterialien wird durch konventionelle Dämmstoffe wie Mineralwolle und EPS abgedeckt. Neben einem ökologischen Vorteil, den Dämmungen aus nachwachsenden Rohstoffen bieten, können naturbelassene Dämmstoffe, die ausschließlich mit natürlichen Zusatzstoffen behandelt werden, nach deren Nutzungszyklus als Bioabfall entsorgt und kompostiert werden. In der Praxis werden die meisten anfallenden biologischen Abfälle jedoch aufgrund fehlender Rückführungsstrukturen energetisch verwertet. Positive Eigenschaft der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist jene, dass sie keine schädlichen Stoffe enthalten, die in die Raumluft ausgestoßen werden könnten. In ihrer Herstellung sind sie weniger energieintensiv als konventionelle Dämmstoffe auf Erdölbasis. Um die Dämmstoffe entsprechen vor Feuer und Feuchte zu schützen, muss für eine biologische Weiternutzung auf Formaldehyde, Biozide und Borate verzichtet werden. Die Wärmeleitfähigkeit von Naturdämmstoffen liegt meist höher als die von nicht nachwachsenden Dämmstoffen zwischen 0,036 und 0,050 W/mK. Im Vergleich hierzu liegt die Wärmeleitfähigkeit von EPS bei 0,020 bis 0,04 W/mK und Mineralwolle bei 0,03 bis 0,05 W/mK. Dafür bieten sie Vorteile im sommerlichen Wärmeschutz, können Feuchtigkeit speichern und zeitversetzt an den Raum abgeben. Die meisten natürlichen Dämmstoffe liegen in der Brandschutzklasse B1 oder B2, ebenso wie EPS und sind damit ohne Flammschutzmittel nicht für Bereiche mit erhöhten Anforderungen geeignet. Trotzdem bieten

sie im Brandfall einen Vorteil, da sie nicht abtropfen und weit weniger giftige und explosive Stoffe durch den Rauch entstehen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.87; Grimm, R. c 2017; BaunetzWissen d (Hrsg.), o.D.; BaunetzWissen e (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.1. HOLZFASERDÄMMPLATTEN

Holzfaserdämmplatten bestehen idealerweise aus Abfall- und Nebenprodukten der Sägewerke. Bei der Herstellung wird zwischen dem sortenreinen Nass- und dem energiesparenden Trockenverfahren unterschieden. Ersteres erfolgt durch den Einsatz von Wasser und Hitze in der Herstellung und nutzt als Bindemittel das Holz eigene Lignin. Beim Nassverfahren entstehen so Platten in einer maximalen Aufbauhöhe von 40 Millimeter. Um höhere Dimensionen zu erreichen, müssen mehrere einzelne Platten verklebt oder beim Einbau mehrschichtig mechanisch befestigt werden. Im Trockenverfahren hingegen werden Bindemittel, beispielsweise PUR-Harz, eingesetzt, die später die Kompostierung und das Recycling erschweren. Durch den Verzicht auf Wasser und Hitze im Herstellungsprozess wird 40 % weniger Energie benötigt. Die Platten können bis zu 240 Millimeter stark hergestellt werden. Am Ende ihres Nutzungszyklus im Gebäude können auch Platten, die im Nassverfahren und sortenrein rückgewonnen werden, nicht erneut zu Dämmplatten verarbeitet werden, da das Lignin nur einmal als Bindemittel funktioniert. Dafür sind sie kompostierbar, werden bislang jedoch meist thermisch verwertet. Im Laufe ihrer Nutzung bieten sie wie alle Holzmaterialien den Vorteil von gebundenem CO₂. Ebenso wie Mineralwolle werden auch Holzfaserdämmplatten unterschiedlicher Rohdichten hergestellt und sind somit flexibel einsetzbar, allerdings ist eine starke Berührung mit Wasser wie im Erdbodenbereich oder als Umkehrdachdämmung zu vermeiden, da die Dämmung zwar Feuchtigkeit aufnehmen kann, jedoch unter zu viel Nässe die Gefahr von Schimmelpilzbildung besteht. Wie bei fast allen Naturbaustoffen ist die Wärmeleitfähigkeit mit 0,04-0,07 W/mK von Holzfaser Leistungsschwächer als die der zudem günstigeren herkömmlichen Dämmstoffe wie Mi-

neralwolle und EPS. Aufgrund der erhöhte Wärmespeicherfähigkeit bietet die Holzfaser dafür einen umso besseren Hitzeschutz im Sommer im Vergleich zu den nicht nachwachsenden Materialien. Ebenso die Schalldämmung übertrifft die des EPS. Der in der normal entflammbaren Brandschutzklasse B2 eingeordnete Baustoff Holzfaser verhält sich im Brandfall wie Holz, welches eine schützende Rußschicht entwickelt und kann laut des Verbandes Holzfaser Dämmstoffe auch in Bauteile der Feuerwiderstandsklasse F90 integriert werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.87f; Grimm, R. d, 2013)

2.7.1.3.2. HOLZSPÄNE

Als Nebenprodukt von Hobelarbeiten können Holz- oder Hobelspäne zu Einblas-, Stopf- oder Schüttdämmungen gemeinsam mit Molke und Soda verarbeitet werden. Besonders reine Fichte, Kiefer und Tanne eignen sich, deren Feinteile vorher ausgesiebt werden. Das zugegebene Soda, Calciumcarbonat, schützt dauerhaft vor Pilzbefall. Die Molke, ein Nebenprodukt in der Käseherstellung, sorgt für den Brandschutz. Alternativ können die Holzspäne durch eine dünne Lehmschicht brandschutzsicher werden. Die Dämmung kann dicht und setzungsfrei sowie bei Vorfertigungen bereits werkseitig eingebracht werden. Diese Art des Dämmstoffes folgt dem Cradle-to-Cradle Prinzip. Er besitzt ähnlich zu Holzfasern eine Wärmeleitfähigkeit von 0,045-0,055 W/mK und zählt zur Brandschutzklasse B2. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.88; BaunetzWissen f (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.3. KORK

Zur Herstellung von Dämmplatten aus Kork wird der Rohstoff aus der Baumrinde der Korkeiche gewonnen. Diese wächst in einigen Mittelmeerregionen, wie beispielsweise Portugal und Nordafrika. Ab dem 15. Lebensjahr eines Baumes kann die Korkeiche etwa alle acht Jahre geschält werden, ohne der Pflanze zu schaden. Zu unterscheiden sind Presskork und Backkork, wobei in der Produktion von Presskork zusätzliche Bindemittel notwendig sind, die eine sortenreine Rückgewinnung des Materials verhindern. Daher sollte Backkork verwendet wer-

den, welcher durch Backen von Korkgranulat unter Wasserdampf zu Blöcken verarbeitet wird. Ähnlich des Lignin bei der Herstellung von Holzfaserplatten funktioniert auch hier das eigene Harz der Korkrinde als Bindemittel und ermöglicht eine Reinstofflichkeit. Nach der Nutzung im Gebäude als Dämmplatte kann das rückgewonnene Material ebenso wie Reste im Herstellungsprozess zu Regranulat verarbeitet und als Schüttung zur Dämmung von Hohlräumen eingesetzt werden. Kork weist gute Wärmespeicherfähigkeiten auf und eine niedrige Wärmeleitfähigkeit von 0,0365 W/mK. Dabei ist es Feuchte unempfindlich, formbeständig und nicht anfällig für Pilzbefall, Ungeziefer oder Fäulnis. Korkdämmplatten können sowohl als Zwischensparrendämmung, in Wänden oder als Trittschalldämmung aufgrund ihrer hohen Druckbelastbarkeit angewendet werden. Der direkte Kontakt mit Erdschichten sollte vermieden werden. In Portugal gibt es bereits Beispiele, in denen unverputzte Korkdämmplatten gleichzeitig die Fassade gestalten. Sie benötigen kein zusätzliches Flammenschutzmittel und zählen zur Brandschutzklasse B2, der normal entflammbaren Baustoffe. Im Brandfall werden keine schädlichen Stoffe ausgestoßen. Aufgrund begrenzter Verfügbarkeit ist das Produkt bislang recht teuer und als Massenbaustoff eher ungeeignet. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.88; BaunetzWissen g (Hrsg.), o.D.; Grimm, R. e, 2016)

2.7.1.3.4. ZELLULOSEFLOCKEN

Die Grundsubstanz von Dämmschüttungen und Einblasdämmungen aus Zelluloseflocken bildet Altpapier. Dieses wird mithilfe von Borsalzen, die zu 8 bis 15 % beigemischt werden, vor Ungeziefer und Brand geschützt. Da natürlich vorkommendes Bor in Deutschland zu den besonders besorgniserregenden Stoffen zählt, sollte alternativ eine Additive auf mineralischer Sulfatbasis verwendet werden. Zur Erzeugung von Zelluloseflocken werden beispielsweise zerkleinerte Zeitungen zerfasert und getrocknet. Anschließend werden sie entstaubt und verpackt. Die dampfdiffusionsfähigen Zelluloseflocken können Feuchtigkeit ausgleichen und wirken schalldämmend. Bei andauernder Feuch-

te kann es zum Absacken des Stoffes kommen und damit zu Wärmebrücken. Die kostengünstige Dämmung kann durch Schütten oder Einblasen auf Konstruktionen sowie in Hohlräumen fugenfrei eingebaut werden. Die meiste Verwendung von Zellulosefasern findet sich als Einblasdämmung. Jedoch werden neben Zellulosematten auch Pellets hergestellt. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes liegt bei 0,04 W/mK. Zudem verfügt er über eine hohe Wärmespeicherkapazität und bietet damit einen guten sommerlichen Wärmeschutz. Feuchtigkeit kann von der Dämmung gespeichert und verzögert abgegeben werden und wie einige andere nachwachsende Baustoffe bietet er einen guten Schallschutz. Einige Hersteller*innen bieten alternativ zur Zellulose auch Zellulosedämmplatten an, deren Wärmeleitfähigkeit auf 0,039 W/mK optimiert ist. Der Baustoff zählt je nach Anteil von Beimischungen zu den Feuerwiderstandsklassen B2 bis B1. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.88; BaunetzWissen h (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.5. HANF

Der pflanzliche Faserdämmstoff wird aus der schnell wachsenden Hanfpflanze gewonnen. Diese benötigt keine Pestizide beim Anbau und ist frei von Unkraut. In Deutschland wurden ab 1996 einige Hanfpflanzen zum Anbau zugelassen. Zur Herstellung von Dämmungen wird das Hanfstroh geröstet und in Schäben und Fasern getrennt. Letztere bieten Qualitäten, da sie sehr reißfest und feuchtigkeitsbeständig sind sowie viel Feuchtigkeit aufnehmen und trocknen können. Durch Beigabe von Soda werden aus den Fasern Dämmmatten oder Stopfdämmungen hergestellt. Die verholzten Schäben hingegen werden zu festen Platten oder Schüttdämmungen verarbeitet. Da Hanf natürlicherweise Bitterstoffe enthält, schützt er sich selbst vor Fäulnis, Schimmel oder Ungeziefer. Oftmals werden den Dämmmatten synthetische Fasern zur Stütze hinzugegeben, die beim Rückbau problematisch sein können. Ein*e deutsche*r Hersteller*in verwendet stattdessen Fasern auf einer Polylactid-Basis, die sich kompostieren lassen. Dazu kommt unbedenkliches Soda, ähnlich dem Verfahren mit Zellulosefasern,

als Brandschutzmittel. Nach dem Nutzungszyklus im Gebäude bietet der Hersteller eine Rücknahme an und kann durch Auffasern die Bestandteile aus den rückgewonnenen Dämmmatten erneut als Produkt verwenden. Die Platten sind im Dachbereich, der Wand und dem Boden einsetzbar. Die Hanffasern können als Stopf- sowie die Schäben als Schüttmaterial zu Dämmzwecken verbaut werden. In Kombination mit Borsalzen lassen sich lose Hanffasern ebenso als Einblasdämmung verwenden. Die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes liegt bei 0,04-0,048 W/mK. Hanfdämmungen gehören zur Feuerwiderstandsklasse B2. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.88; BaunetzWissen i (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.6. JUTE

Der Primärrohstoff wird aus der Faserpflanze Jute, welche zu den Chorchorus-Pflanzen gehört und in Bangladesch oder Indien auf Schwemmlandböden wächst, gewonnen. Dazu werden die Stängel der einjährigen Pflanze geerntet und durch Wässern und Schlagen von ihrem Bast Anteil befreit. Übrig bleiben millimetergroße Jutefasern mit einem hohen Ligninanteil, der eine Fäulnis des Stoffes begünstigt und seine Festigkeit im Vergleich zu anderen Bastfasern schwächt, gleichzeitig aber für die gute biologische Abbaubarkeit sorgt. Hersteller*innen von Dämmstoffen aus Jute verwenden teilweise gebrauchte Kakao oder Kaffeesäcke, aus denen in der Produktion durch Upcycling Dämmmatten, -wolle und -filze entstehen. Hierbei werden die Säcke mithilfe von Soda zerkleinert und gereinigt, was gleichsam zum Brandschutz des Dämmstoffes beiträgt. Zudem werden Stützfasern aus einem synthetischen Polymer, auch als „Bio-Kunststoff“ bezeichnetes PLA hinzugefügt. Dieses ist wie reine Jute biologisch abbaubar. Jute bietet nicht nur diesen Vorteil, zudem bindet die Pflanze viel CO₂ und lässt sich einfach recyceln. Der ökologische Nachteil liegt in der Entfernung und hohen Transportkosten des Primärrohstoffes. Zwar besitzt Jute über eine natürliche Resistenz gegen Insekten und Schimmel, dennoch ist sie durch ihr mäßiges Wasseraufnahmevermögen anfällig bei Dampf und Säurelösungen. Der gute schall- und wärmedämmende Stoff

kann durch seine Dehnfestigkeit auch als Stopf-
wolle für Fenster und Türen eingesetzt werden.
Die Wärmeleitfähigkeit von Jutedämmung liegt bei
0,038-0,04 W/mK. Das Brandverhalten nach DIN
4102 zählt zur Klasse B2, normal entflammbar. (Vgl.
Hillebrandt, A. et al., 2018, S.88f; Plastikalternative
(Hrsg.), o.D.; BaunetzWissen j (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.7. SCHILFROHR

Schilfrohr kommt weltweit vor und kann schnell
nachwachsen. Jedoch kann es bei fehlendem Be-
schnitt durch die starken Wurzeln der Pflanze zur
Verdrängung anderer Pflanzen kommen. Auch in
Europa wächst Schilfrohr an unterschiedlichen
Standorten. Schilf gehört mit Lehm zu den seit lan-
ger Zeit verwendeten Baustoffen. Zur Herstellung
von Dämmung wird das trocken geerntete Schilf
erneut getrocknet, um Fäulnis zu vermeiden. An-
schließend werden die dickeren Halme ohne Zusät-
ze oder Bindemittel zusammengepresst und mit-
hilfe von Draht zu Matten verarbeitet. Alternativen
zum verzinkten Draht stehen bislang noch in der
Entwicklung und sind noch nicht auf dem Markt.
Wie bereits vor langer Zeit können die Matten mit
Lehm verputzt werden und bilden somit ein funk-
tionsverbindendes Produkt. Die dünneren Halme
können für Dachdeckungen eingesetzt, andere
Stücke für Schilfgranulat oder Schilffaserplatten
verwendet werden. Der Einsatzbereich von Schilf-
rohrdämmung ist vielseitig möglich von Dach und
Zwischensparrendämmung über Wände bis hin zur
Trittschalldämmung. Im trockenen Zustand sind die
Dämmplatten geschützt vor Schädlingen und Pilz-
befall. Nach dem Nutzungszyklus im Gebäude kön-
nen sie befreit vom Draht kompostiert werden. Die
Wärmeleitfähigkeit ist variierend zwischen 0,038
bis 0,065 W/mK. Wie einige pflanzliche Dämmstof-
fe gehören Schilfdämmplatten zur Brandschutz-
klasse B2. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.89;
BaunetzWissen k (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.3.8. SEEGRAS

Seegras wird in Europa und in Deutschland vom
Meer an die Küsten gespült. Da es natürlicherweise
aus dem Meer stammt, ist es sehr unempfindlich

gegenüber Feuchtigkeit und damit resistent gegen
Fäulnis, Schädlinge oder Pilze. Zudem verrottet See-
gras nicht, kann Feuchtigkeit aufnehmen und spä-
ter wieder abgeben, ohne seine Dämmeigenschaf-
ten zu verlieren. Zur Herstellung von Dämmung
werden die am Strand liegenden Seegrasbälle ein-
gesammelt und getrocknet. In der Fabrik werden
sie aufgefaserst, bis eine homogene Wolle entsteht.
Zu unterscheiden sind die Kugeln, die das Mittel-
meer der abgestorbenen Pflanze an den Strand
spült, welche auch in Deutschland weiterverarbei-
tet werden und sich besonders als Schüttdämmung
eignen von dem Ostseegras, welches besonders
für Sanierungen im Altbau als Stopfdämmung ver-
wendet wird. Aufgrund des hohen Silikat- und Salz-
gehalts der Pflanze sind keine zusätzlichen Stoffe
nötig. Dämmplatten existieren bisher nicht, daher
kann die Dämmung nur durch Schütten, Stopfen
oder Einblasen verbaut werden. Ein besonderer
ökologischer Vorteil liegt im geringen Primärener-
giebedarf zur Herstellung der Dämmung aus See-
gras. Diese weist zudem gute Dämmeigenschaften
und einen hohen sommerlichen Wärmeschutz auf.
Ein*e deutsche*r Hersteller*in hat ein Pfandsystem
für den Dämmstoff eingeführt, damit nach dem
Nutzungszyklus im Gebäude das rückgewonnene
Seegras eine thermische Verwertung erfährt. Die
Wärmeleitfähigkeit von Seegrasdämmung liegt bei
0,039-0,046 W/mK. Aufgrund des Salzgehaltes liegt
der natürlich gegebene Brandschutz im Bereich B2.
(Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.89; Boos, M. et
al. B, o.D.)

2.7.1.3.9. SCHAFWOLLE

Als Nebenprodukt der Fleischindustrie sind in Euro-
pa ausreichend Primärrohstoffressourcen zur Pro-
duktion von Schafwolldämmung vorhanden. Daher
kann die Dämmung aus Schafwolle ökologisch gut
bewertet werden, wenn der Haltung der Schafe kei-
ne Abholzung von Wald für Weideflächen vorange-
gangen ist. Zur Herstellung von Dämmfilz wird das
enthaltene Fett der Wolle mithilfe von Soda und
Kernseife ausgewaschen und anschließend Natri-
umborat als Käfer- und Mottenschutz beigemischt.
Da die beigemischten Stoffe mit der Zeit ihre Wirkung

verlieren und gesundheitlich bedenklich sind, wird
in Österreich bereits Schafwolldämmung in Form
von Fliesen, Matten und Filzen mit einer elektro-
physikalischen Oberflächenbehandlung vor Motten
geschützt und kann somit auf Biozide oder Borate
verzichten. Aufgrund einer sehr hohen Schmelz-
temperatur muss der Schafwolle kein zusätzlicher
Stoff für den Brandschutz hinzugefügt werden.
Nach der Nutzungsperiode im Gebäude wird der
Dämmstoff durch die Hersteller*innen sortenrein
zurückgenommen und der Produktion beigefügt.
Gleichsam kann das Material als Stopf-
wolle und als Fugenband eine Wiederverwendung
finden. Da die Schafwolle viel Feuchtigkeit aufneh-
men kann, ist sie nicht nur aufgrund ihrer Anpassungs-
fähigkeit an das Quell- und Schindverhalten von Holz mit die-
sem Baustoff gut vereinbar. Aufgrund des Luftein-
schlusses in den Zwischenräumen verliert sie auch
im nassen Zustand nicht ihre dämmende Wirkung.
Die Schafwolle ist diffusionsoffen, schmutzabwe-
isend, schalldämmend und Schimmelpilz resistent.
Ein Vorteil ist die Fähigkeit, Schadstoffe und Ge-
rüche abzubauen zu können. Die Dämmung ist vielseitig
für Dächer, Wände als Trittschalldämmung, Stopf-
wolle und als Hohlraumdämpfung einsetzbar. Ihre
Wärmeleitfähigkeit liegt bei 0,035 bis 0,045 W/mK.
Sie zählt zu den normal entflammbaren Baustoffen
der Kategorie B2. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018,
S.89f; BaunetzWissen l (Hrsg.), o.D.)

2.7.1.4. TRENNLAGEN

2.7.1.4.1. GRAUPAPPE

Die Graupappe kann als Trennlage oder Riesel-
schutz beispielsweise unter Steinböden, Parkett
oder unter Gussasphaltestrich sowie als Riesel-
schutz unter Schüttungen eingesetzt werden. Da-
mit kann statt Kunststofffolien ein nachwachsen-
der Rohstoff eingesetzt werden. Graupappe kann
außerdem aus Altzellulose hergestellt werden und
nach ihrem Lebenszyklus im Gebäude bei sortenrei-
ner Rückgewinnung erneut als Zellulose weiter ein-
gesetzt werden. Oftmals ist dieser Prozess jedoch
durch Rückstände und Verunreinigungen nicht aus-
zuführen und es folgt eine thermische Verwertung.
Graupappe weist die Eigenschaften von Schallmin-

derung, Diffusionsoffenheit und Saugfähigkeit auf.
(Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.92)

2.7.1.4.2. KRAFTPAPIER

Als Rieselschutz anwendbar ist zudem das aus den
Zellulosefasern langfasriger Bäume bestehende
Kraftpapier. Zudem weist es dadurch eine hohe
Festigkeit auf und kann nach einer Rückgewinnung
als Schutzverpackungspapier wiederverwendet
und erst als letzte Option des Lebenszyklus ther-
misch verwertet werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al.,
2018, S.92)

2.7.1.4.3. WINDDICHTUNG AUS SCHAFSCHUR- WOLLE AUF KRAFTPAPIER

Zur Herstellung von Winddichtungen aus Schaf-
schurwolle wird diese mithilfe eines Lösungsmittel-
freien Klebers auf Kraftpapier aufgetragen. Bei der
Montage werden diese mithilfe von Klammern in
Bahnen auf dem Untergrund befestigt. Nach sei-
nem Nutzungszyklus kann das Papier energetisch
verwertet werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018,
S.92)

2.7.1.4.4. DACHABDICHTUNG AUF PFLANZEN- BASIS

Für Flachdachabdichtungen, die bis vor Kurzem oft-
mals eine zweilagige bituminöse Abdichtung ver-
langten, gibt es bereits eine pflanzenbasierte Alter-
native, die frei von Halogenen und Bitumen ist und
somit ohne die erdölbasierten Stoffe auskommt.
Hierzu wird eine Kombination aus 50-60 % pflanz-
licher Öle und Kiefernharze mit Styrol-Butadin-Sty-
rol und mineralischen Füllstoffen verarbeitet. Zur
Verstärkung und Reißfestigkeit werden Glasvliese
oder Polyestervliese eingebracht. Die pflanzlichen
Grundstoffe sind nicht nur nachwachsende Roh-
stoffe, sondern auch anfallende Nebenprodukte
aus der Papier- und Biopolymerherstellung. Durch
eine weiße, abstrahlende Acrylatoberfläche der
Bahnen vermindert sich gleichzeitig die Aufheizung
der Dachbahn und des Gebäudes. Bei der Anbrin-
gung wird das Produkt mit seiner Unterbahn ver-
klebt, die aus ähnlichen Inhaltsstoffen und somit
gemeinsam recycelbar ist. Die Dachbahn wurde

mit dem Cradle-to-Cradle Zertifikat ausgezeichnet. Nach Hersteller*innen Angaben wird bereits an einem Rücknahmesystem für die Dachbahnen gearbeitet, welches eine Trennung der verklebten Unterbahn vom Dach und eine vollständige Wiederverwertung ermöglicht. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.92; Derbigum (Hrsg.), 2014)

2.7.2. ABIOTISCHE BAUSTOFFE

Die Verwertungskreisläufe von abiotischen Baustoffen, also jene aus nicht nachwachsenden Rohstoffen der unbelebten Natur, die technisch verwertbar sind, sind meist mit Energieverbrauch zu deren Aufbereitung verbunden. Hier gilt der Kreislauf der Baustoffe trotz geringer Massenverluste als geschlossen, wenn die Qualität des Ausgangsproduktes erhalten bleibt. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.60)

2.7.2.1. METALLISCHE MATERIALIEN

Metallische Mineralien entstehen wie einige abiotische Stoffe durch lange natürliche Prozesse. Sie zeichnen sich jedoch positiv durch ihre sehr gute Wiederverwertbarkeit aus. Da Metalle Korrosionsbeständigkeit aufweisen, eine hohe Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit besitzen, bieten sie als Baumaterial in einigen Einsatzbereichen Vorteile. Allerdings sind durch thermische Längsausdehnung Maßabweichungen zu befürchten. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.59; Raumprobe (Hrsg.), o.D.)

Das natürliche Vorkommen von Metallen ist als Teil von Erzen stark begrenzt, da deren Erneuerungszeitraum den eines Gebäudes bei Weitem übersteigt. Zudem ist die Gewinnung von Metallen mit Umweltschäden verbunden durch einen hohen, nicht erneuerbaren, Energie- und Wasserverbrauch sowie Verschmutzungen. Deutschland importiert den Hauptteil von metallischen Baustoffen aus dem Ausland. Als heutige Quelle metallischer Baustoffe spielen die bereits verbauten Ressourcen in bestehenden Gebäuden eine große Rolle, da sich das Material beinahe unbegrenzt und ohne Qualitätsverlust recyceln lässt. Dies funktioniert durch eine gründliche, sortenreine Trennung, dem Waschen und der Rückgewinnung von Metallen aus Legierungen, die eingeschmolzen und erneut raffiniert werden. In den seltensten Fällen werden Baustoffe aus Metall direkt wiederverwendet. Das aufwendige Vorgehen lohnt sich zum besonders aufgrund der enormen Einsparung von CO₂ in der

Sekundärherstellung im Vergleich zur primären Rohstoffgewinnung und dem beständigen und steigenden Wert metallischer Materialien. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.61)

2.7.2.1.1. STAHL

Etwa 85% des verwendeten Metalls in der Baubranche ist Stahl. Gleichzeitig ist es das meist rezyklierte dieser Materialgruppe. Bei der Sekundärverwertung des Baustoffes wird lediglich ein Viertel des im Vergleich zur primären Herstellung hohen Energieaufwands benötigt. In Deutschland wird Stahl bis zu 99 % gesammelt, davon werden 88 % stofflich recycelt und 11 % sogar als Bauteile wiederverwendet, da es durch unbegrenztes Einschmelzen die Herstellung von Baumaterial gleicher und höherer Qualität ermöglicht. Bisher wird Stahl eher weniger in Wohngebäuden eingesetzt. Im Sinne der Nachhaltigkeit sollte dies jedoch dem Einsatz mineralischer Rohstoffe, aufgrund genannter positiver Eigenschaften und der Rückführbarkeit in den Kreislauf, vorgezogen werden. Um den Stahl vor Korrosion zu schützen, bedarf es entweder einer Überdimensionierung, welche im Sinne der Suffizienz und des Verzichts nicht bevorzugt werden sollte oder einen materialimmanenten Schutz durch Legierungen oder Beschichtungen und Überzüge. Dies kann beispielsweise eine Verzinkung sein, die im Recyclingprozess leicht vom Stahl zu trennen ist, da sie aufgrund des niedrigen Siedepunktes verdampft und zu etwa 93% zurück in ihren Kreislauf geführt werden kann. Ein zu beachtender Punkt im Stahlbau ist der Brandschutz. Dieser kann konstruktiv durch Verkleidungen erreicht werden, dabei ist auf die Trennbarkeit zu achten, sowie durch Beschichtungen, die jedoch kritische Inhaltsstoffe enthalten können, einer Wasserführung innerhalb von Stahlrohren oder deren Überdimensionierung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.68f, S.74)

Wird der Stahl in der Verwendung als Fassadenbekleidung mit einer dickeren Verzinkungsschicht überzogen oder mit Kunststoff, schadet dies der Wiederverwendung nicht, allerdings ist die Variante einer Verzinkung leichter zu trennen. Zudem

ist es möglich wetterfesten Stahl oder Edelstahl einzusetzen, der keinen zusätzlichen Schutz benötigt. Wetterfester Stahl besitzt eine zusätzliche rotbraune oxidische rostbildende Schicht, die sich innerhalb von Wochen und Monaten unter Witterungseinfluss bildet. Allerdings muss bei der Dimensionierung der Bauteile die Rostschicht sowie ein andauernder Kontakt zu Wasser durch Erdberührungen oder Salzen berücksichtigt werden. Edelstahl besitzt ebenso eine umhüllende Schicht aus Chromoxiden, gilt als wetterfest und ist ebenso beständig gegenüber Salzen oder Säuren. Zudem erneuert sich diese Schicht, die unter Einwirkung von Sauerstoff entsteht, bei Beschädigungen von selbst. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.68f, S.74)

2.7.2.1.2. ALUMINIUM

Rezykliertes Aluminium benötigt nur 5 % des Energieaufwands zur Herstellung im Vergleich zu der des Primärstoffs. Da reines Aluminium unendlich recycelt werden kann, ist die sortenreine Trennung entscheidend. Die Gewinnung des primären Rohstoffs aus Bauxiterz ist mit dem giftigen Abfallprodukt Rotschlamm verbunden. Da die natürliche Korrosionsschicht von Aluminium meist nicht den ästhetischen Ansprüchen genügt, kann sie durch Eloxidverfahren optisch verändert werden. Dabei sind einige Schichten notwendig, die die Rückgewinnung des reinen Aluminiums erschweren. Daher sollten dem Verfahren organische Beschichtungen vorgezogen werden, die eine einfache Trennung ermöglichen und die eine Vermischung beim Umschmelzen und damit den Qualitätsverlust verhindern. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.74; Alu.ch, o.D.; GDA Gesamtverband der Aluminiumindustrie (Hrsg.), o.D.)

Da Aluminium gute Eigenschaften der Dampfdiffusionsdichtheit aufweist, kann es als Dampfsperre eingesetzt werden. Hierbei ist eine 0,05 Millimeter dünne Schicht aus Aluminium bereits ausreichend. Da die Bahnen vollständig aus Aluminium bestehen und mithilfe eines aluminiumhaltigen Klebebands sowie eines Syntheseklebstoffes, der nach der Nutzung wieder entfernt werden kann, beim Einbau

miteinander verbunden werden, besteht bei der Rückgewinnung ein hohes Recyclingpotenzial. Daher können die negativen Umweltauswirkungen der Primärrohstoffgewinnung mit dem Wiederverwendungspotenzial abgewogen werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.92)

2.7.2.1.3. KUPFER

Die Wiederverwendung von Kupfer ist ohne Qualitätsverlust kostengünstig durch Einschmelzen möglich. Dadurch trennt sich die Legierung vom Kupfer. Verwendung findet das Kupfer bei Wasser- und Heizungsrohren sowie Blechen. Kupfer ist zudem ein Bestandteil von Messing und Bronze. Der größte Verbrauch von Kupfer findet im Bauwesen statt. Über Jahre bildet sich an den Bauteilen eine Oxidschicht, dadurch ändert sich die Oberflächenstruktur und deren Farbigkeit. Bislang werden in Deutschland bei der Herstellung von Kupferblechen bereits 50% der Waren aus Alt- und Neuschrott und anderen Recyclingquellen erzeugt. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.75)

2.7.2.1.4. ZINK

Im Bauwesen wird die Hälfte des genutzten Zinks für die Verzinkung von Stahl eingesetzt. In reiner Form kann der Baustoff immer recycelt werden. Es ist möglich, 95 % des Stoffes, sowie 84 % der zinkhaltigen Abfälle wieder zu verwenden. Beim Verwertungsprozess von Stahl kann das Zink als Wälzoxid gewonnen werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.74)

2.7.2.2. FOSSILE MATERIALIEN

Zu den fossilen Rohstoffen gehören unter anderem Gas, Öl, Uran und Kohle. Beispielsweise werden einige Kunststoffe erdölbasiert hergestellt. Materialien, welche aus fossilen Stoffen hergestellt werden, können zwar recycelt werden, sind aber nicht erneuerbar, da ihre Ressource endlich ist. Grundsätzlich kann bei deren Entnahme keine Verfügbarkeit für folgende Generationen ermöglicht werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.59; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.), 2018)

Problematisch ist die Lebensdauer der fossilen Materialien, die im Bauwesen meist als Bitumen oder Kunststoffe eingesetzt werden, da sie oftmals nicht einmal die Lebensdauer eines Gebäudes erreichen. Trotzdem findet das kostengünstige Material in Gebäuden eine sehr häufige Verwendung. Wichtig für eine mögliche Rezyklierung ist die sortenreine Trennung, dadurch können einzelne Stoffe nachgenutzt werden. Eine Wiederverwendung kommt meist nicht in Frage, jedoch wird mehr als die Hälfte solcher Bauabfälle verbrannt. Bei der Verbrennung wird das darin über Millionen Jahre gespeicherte CO₂ freigesetzt. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.61)

2.7.2.2.1. KUNSTSTOFF

Der erdölbasierte Kunststoff hat bei einer Wiederverwendung immer einen Qualitätsverlust zur Folge, da er seine thermischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften verlieren kann. Daher kann nur ein Downcycling stattfinden. Zudem sind beigemischten Flammhemmer möglicherweise gesundheitlich schwer einzuschätzen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.75)

2.7.2.2.2. GUSSASPHALTESTRICH

Gussasphalt besteht aus einer Mischung von feinen Gesteinskörnungen und Bitumen. Dadurch ist er wasserundurchlässig, dicht, druckfest und alterungsbeständig. Das enthaltene Bitumen ist schadstofffrei und kann entweder aus natürlichen Quellen wie Gesteinsschichten oder Seen gewonnen werden, es wird aber zum Großteil auch aufgrund der langen Entwicklungszeit von natürlichem Bitumen industriell aus Erdöl hergestellt. Da Erdöl auch ein begrenzter Rohstoff ist und daher nicht nachhaltig, ist der Vorteil des Asphalts seine 100-prozentige Recyclingfähigkeit. Der fugenlose Einbau von Gussasphaltestrich erfolgt durch das Erhitzen der Masse auf hohe Temperaturen in Stärken zwischen 25 und 45 Millimeter. Daher lässt er sich bei Fußbodenheizungen vorzugsweise aus Kupferrohren, gut einbringen. Er weist eine hohe Wärmespeicherkapazität auf, ist fußwarm und gleichzeitig wärme- und schalldämmend. Gussasphaltestrich

eignet sich besonders als Untergrund für feuchtigkeitsempfindliche Fußbodenbeläge wie Parkett oder Fliesen, zudem kann er als Sichtoberfläche genutzt werden oder durch Pigmentierungen farblich gestaltet. Gussasphaltestrich kann entweder auf einer Trennschicht oder schwimmend verlegt werden. Der Belag ist insgesamt langlebig und wartungsarm, chemikalien- und tausalzbeständig und durch seine abdichtende und schützende Wirkung ein kreislaufgerechtes Produkt. Zwar werden bei einer Anwendung im Innenraum meist Hartbitumen verwendet, die den Belag im Vergleich zu Mörtelstrich rissbeständiger, zugleich aber auch elastischer machen. Daher sind hohe Punktlasten zu vermeiden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.84; BaunetzWissen m (Hrsg.), o.D.; Grimm, R. f, 2018; Internationale Gussasphalt-Vereinigung IGV (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.2.3. XPS UND EPS DÄMMUNGEN

Zum Dämmen von Außenwänden, Dächern und Böden werden häufig Hartschaumdämmplatten aus Kunststoffen verwendet. Dazu gehört auch expandiertes Polystyrol EPS, welches zu 98 % aus Luft und zu 2 % aus Polystyrol besteht. Die Hartschaumplatten aus 2-3 Millimeter großen Kugeln werden auch oftmals zu Verpackungszwecken eingesetzt. Das benötigte Polystyrol Granulat wird aus Erdöl hergestellt und durch Wasserdampf aufgeschäumt, anschließend werden die Kügelchen ebenfalls mithilfe von Wasserdampf zu Blöcken verschweißt. Die feinere Variante des EPS ist der XPS, der extrudierte Polystyrol-Hartschaum, der im Bauwesen oftmals Verwendung findet. Bei dessen Herstellung durchläuft das Polystyrol ein Schmelzverfahren im Extruder, in dem es unter Druck verdichtet wird. Seine Oberfläche ist stark verdichtet und weniger porös, daher ist es sehr druckfest und nimmt kein Wasser auf. Deshalb findet es als Perimeterdämmung eine häufige Anwendung. Das Produkt bietet im Bau Vorteile, da es unverrottbar und alterungsfest sowie säurebeständig ist, gleichzeitig ist es dementsprechend schwierig, in den Kreislauf zurückzuführen. Außerdem ist meist das Flammschutzmittel HBDC enthalten, welches zeitweise in Deutschland

als Gefahrenschadstoff galt und damit seine Entsorgung schwierig wurde. Daraufhin folgende Engpässe in der Entsorgung führten zur Rücknahme dieser Einstufung. Dennoch muss XPS gesondert entsorgt und dessen Verbleib dokumentiert werden. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass, wie bereits in den Niederlanden praktiziert, ein stoffliches Recycling möglich sein wird, insofern die Teile ohne Klebstoff in reiner Form rückgewonnen werden können. Hierzu werden die Abfälle gesammelt und in einer Aufbereitungsanlage zu neuen Dämmstoffen verarbeitet. Versuche stellten eine gleiche Qualität bei einem 30-Prozentigen Anteil von recyceltem Material fest. Die Primärenergie zur Herstellung von XPS ist durch das Polystyrol allerdings sehr hoch, auch im Vergleich mit anderen Dämmstoffen. Zudem verleiht das verwendete Flammschutzmittel HBDC dem Baustoff zwar seine Brandschutzkategorie B1, dennoch ist es nicht nur umweltschädlich, sondern wird auch für Menschen als giftig eingestuft. Daher bleibt neben dem zukünftigen Recycling Verfahren nur eine kontrollierte Verbrennung übrig. (Vgl. Grimm, R. g, 2013; Kolb, B., 2021; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.86f)

2.7.2.2.4. TRENNSCHICHTEN

2.7.2.2.4.1. PE-HD UNTERDECK-, UNTERSPIANN- UND FASSADENBAHN

Es sind bereits nahezu 100 % einstoffliche Bahnen aus Polyethylen High Density PE-HD am Markt vorhanden, die somit gutes Recycling Potenzial aufweisen. Das Produkt enthält lediglich 1 % Fremdanteil durch zugesetzte UV-Stabilisatoren. Durch die Polymerisation von Ethylengas wird Polyethylen hergestellt, wobei Ethylen meist aus Erdöl oder Erdgas gewonnen wird. Das Hart-Polyethylen PE-HD entsteht im Niederdruckverfahren. Zur Herstellung sind ein geringer Druck und vergleichsweise geringe Temperaturen je nach Verfahren von bis zu 180 °C ausreichend. Die Bahnen sind regen- und winddicht, gleichzeitig diffusionsoffen. Laut der Umweltdeklaration werden die Bahnen nach ihrem Einsatz im Gebäude thermisch verwertet. Bei der Verbrennung von Polyethylen entstehen Kohlendioxid und Wasser, somit keine giftigen Gase.

(Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.93; Chemie.de a (Hrsg.), o.D.; Chemie.de b (Hrsg.), o.D.; Schulz, S. C., 2020)

2.7.2.2.4.2. PE-LD DAMPFBREMSE

Low-Density oder Weich-Polyethylen entsteht im Hochdruckverfahren mit höherem Druck und unter höheren Temperaturen von bis zu 300 °C im Vergleich zum Hart-Polyethylen. Auf dem Markt existiert ein homogenes Produkt aus 100 % PE-LD, welches als Dampfbremse für Dach- Decken- und Wandbereiche einsetzbar ist. Durch seine Reißfestigkeit besitzt das Produkt eine lange Lebensdauer und hemmt die Wasserdampfdiffusion. Beim Einbau werden die einzelnen Bahnen miteinander mithilfe von Klebeband verklebt und anschließend mit Latten fixiert. Nach der Rückgewinnung kann die Dampfbremse als Kunststoff weiterverwendet werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.93; Chemie.de a (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.2.4.3. BITUMEN ABDICHTUNGSBAHNEN

Das aus Erdöl gewonnene Bitumen eignet sich aufgrund seiner Wasserundurchlässigkeit für Dachabdichtungsbahnen. Diese werden meist überlappend in Bahnen verlegt oder teilweise verschweißt beziehungsweise verklebt. Werden sie nach ihrer Nutzungsdauer im Gebäude sortenrein rückgewonnen, können sie erneut der Herstellung von Bitumen zugeführt werden. Zu unterscheiden und jeweils voneinander getrennt zu sammeln sind verschiedene Produkte der Hersteller*innen, um deren Rezyklierbarkeitspotenzial zu maximieren. In Belgien werden bereits in der Produktion von Bitumenbahnen bis zu 30 % Altmaterialien eingesetzt sowie ein Rücknahmesystem angeboten. Oftmals enden Bitumenbahnen jedoch in der thermischen Verwertung aufgrund ihres hohen Heizwertes. Zukünftig wird sich die steigende Knappheit des Erdölröhrstoffs bemerkbar als Entwicklung hin zu einer Wiederverwertung zeigen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.93; BaustoffWissen m (Hrsg.), o.D.; BaustoffWissen n (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.2.4.4. EPDM ABDICHTUNGSBAHNEN

Ethylen-Propylen-Dien-Monomer Abdichtungsbahnen können in der Anwendung bei Flachdächern werkseitig vorgefertigt und durch Heißluftverschweißung möglichst dicht und nahtfrei verlegt werden. Somit minimieren sie Gefahrenstellen für Durchdringungen. Das Material weist eine Langlebigkeit von mehr als 50 Jahren auf und ist biozidfrei, wurzelresistent und UV-beständig. Zudem enthält es keine das Grundwasser verunreinigenden Weichmacher. Demnach ist es ebenso für Gründächer geeignet. Die Bahnen können durch Auflast oder mechanische Fixierungen aufgebracht und dementsprechend leichter rückgebaut werden. Eine weitere Verwendung finden sie etwa durch eine Granulierung in Matten für Kinderspielplätze oder sogar bei einem Hersteller als Altmaterial in der Produktion von neuen EPDM Bahnen. Da das Material jedoch einen hohen Heizwert besitzt, endet er meistens in der thermischen Verwertung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.93)

2.7.2.3. MINERALISCHE MATERIALIEN

Bei mineralischen Materialien handelt es sich um abiotische Rohstoffe, die zwar natürlichen Ursprungs sind, aber deren Entstehungszeitraum die menschliche Lebensdauer sowie den Lebenszyklus eines Gebäudes übersteigt. Ebenso wie den metallischen liegt auch den mineralischen Rohstoffen der Abbau von Bodenmaterial zugrunde. Somit sind sie ebenso eine endliche Ressource und zudem schwierig zu recyceln, da an ihrem Lebensende die „Vererdung“ steht. Infolgedessen können sie im Straßen- und Landschaftsbau, auf Deponien und Halden oder in der Landwirtschaft als Bodengemisch eingesetzt werden. Zu ihnen zählen Metalle, Erden, Steine und Industriemineralien. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.59, 62; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (Hrsg.), o.D.; Rolland, C., 2001, S.10)

Abgesehen von Stein, der in seiner natürlichen Form verwendet werden kann, werden zur Herstellung mineralischer Baustoffe beispielsweise Zement, Kalksandstein oder Beton große Mengen an Energie benötigt. Zudem sind die primären Rohstoffe wie zum Beispiel Sand nur noch begrenzt verfügbar. Durch den Abbau dieser Rohstoffe sind schon heute negative Auswirkungen auf den Meeresspiegel und somit die Biodiversität im Wasser zu erkennen. Ebenso ist die Rezyklierbarkeit der Bauabfälle begrenzt, da in der Herstellung von Produkten nur die halbe Masse der benötigten Menge aus Sekundärrohstoffen bestehen kann, um ein Produkt gleicher Qualität zu erzeugen. Eine Möglichkeit der Qualitätserhaltung ist die Wiederverwendung von Naturwerksteinen, geeignet sind hierfür demontierbare, große Plattenformate. Da der Stoff nicht brennbar ist und über eine lange Lebensdauer verfügt, eignet er sich besonders für Fassadenbekleidungen. Das Recycling von mineralischen Materialien ist trotzdem meist ein Downcycling zu Gesteinskörnungen, bei denen die Härte und die Kerndichte entscheidend sind. Lassen sich beispielsweise im Rückbau Dämmstoffe oder Gipsrückstände nicht von den Baustoffen separieren, verhindert dies deren weitere Verwendung auf-

grund von Verunreinigungen. Um dies zu verhindern, müssen die Bauteilschichten in der Planung als rückbaueeignet zur sortenreinen Trennung geplant werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.62)

2.7.2.3.1. BETON

Aufgrund seiner vorteilhaften Eigenschaften, etwa der uneingeschränkten Formbarkeit, den Brandschutzeigenschaften sowie einer möglichen wasserdichten Ausführung ohne verklebte Folien ist die Bedeutsamkeit von Beton mit einem 40-prozentigen Anteil aller verwendeten Baustoffe in Deutschland relevant für Recyclingprozesse. Die Masse zur Betonherstellung besteht meist aus regional verfügbaren Gesteinskörnungen, Wasser und Zement. Besonders den Rohstoff Kies als Primärmaterial gilt es zu schonen, da Kiesgruben in Konkurrenz zu wichtigen umweltfreundlichen Nutzungen von Grundflächen steht, beispielsweise land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen oder der Trinkwassergewinnung. Bis 2050 soll durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen 25 % weniger Kies in Deutschland abgebaut werden. Da die Werke von Recycling, Gesteinskörnungen und Kies meist gleich weite Transportwege zurücklegen müssen, steht das Recyclingprodukt dem Primärrohstoff ökonomisch betrachtet nicht nach. Es existieren bereits Verfahren, die in gesammeltem Abbruchmaterial Kies und Zementsand voneinander trennen können. Dadurch bleibt dem Kies seine Form erhalten und er könnte erneut eingesetzt werden. Umgesetzt wird dies jedoch heute nicht. In der Regel wird das Altmaterial im Werk zerkleinert, sodass Betonsplitt entsteht, der in der Frischbetonherstellung eingesetzt werden kann. Da durch den Zementanteil dieses Betonsplitts die Zusammensetzung des Betons variieren kann, können auch seine Eigenschaften wie die Festigkeit, die Verformbarkeit und die Dauerhaftigkeit beeinflusst sein. Meist wird Bruchmaterial als Betonzugabe eingesetzt, welches durch größere Löcher mehr Zugabe von energetisch aufwendig unter Verwendung nicht erneuerbarer Energien herzustellendem Zement bedarf. Ebenso ist meist ein höherer Wasseranteil des Gemischs

durch größere Gesteinskörnungen notwendig. Die Festigkeit besitzt noch immer dieselben Eigenschaften. Momentan ist das Beimischen von recycelten Gesteinskörnungen die einzige Möglichkeit, um Abfälle aus dem Hochbau wieder im Hochbau einzusetzen. Der Großteil der recycelten Gesteinskörnungen wird allerdings im Straßen- und Tiefbau eingesetzt. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.70; Umwelt Bundesamt f (Hrsg.), 2019; Buchmann, M. a, o.D.)

In der Trockenmasse von Beton sind 86% Gesteinskörnungen enthalten, von denen laut Richtlinien des deutschen Ausschusses für Stahlbeton jedoch höchstens 45% Altmaterial sein dürfen. Bisher wird dieses Mischverhältnis von recyceltem Material und Primärstoffen in der Druckfestigkeitsklasse C30/37 von Beton angewendet. Die Recycling-Körnungen werden nach Typ 1 mit mindestens 90% Massenanteil von Beton, Betonprodukte oder Betonmauerwerk sowie Mörtel und Typ 2 mit einem 70-prozentigen Anteil derer und 30% Ziegelmauerwerk, Kalksandstein oder Porenbeton unterschieden. Von Letzterem sind maximal 35 % Massenanteil in der Betonherstellung zulässig. Korngrößen unter 2 Millimetern von Brechsand, die im Recycling Prozess entstehen, sind der Produktion auszuschließen. Beim Einsatz von Bauschutt als Betonzugabe sind die Entfernungen zwischen der Aufbereitungsanlage und dem Betonwerk zu berücksichtigen. Bislang sind die Aufbereitungsanlagen in Deutschland noch nicht ausreichend und flächendeckend vorhanden. Zudem mangelt es zur Durchsetzung dieser Techniken an in der Ausschreibung festgelegten verpflichtenden Einsätzen von Recycling-Beton im Hochbau. In Europa werden durchschnittlich lediglich 6 % des recycelten Betons zur Herstellung von Beton eingesetzt. Grund dafür ist unter anderem die schwer umzusetzende sortenreine Trennung der Abbruchmaterialien im Rückbau. Allerdings steckt Potenzial hinter dem Einsatz von Recycling-Beton, da Studien existieren, welche die Tragfähigkeit von Beton mit 90-prozentigem Recycling Gesteinskörnungsanteil beweisen. Trotzdem eignen sich nur etwa 40 % der verarbei-

teten Abfälle als Zuschläge für Beton aufgrund ihrer Korneigenschaften, der Rest kann lediglich unter Qualitätsverlust als Frostschutz oder Tragschicht eingesetzt werden. Ebenso weisen Betonfertigteile keine Nachnutzung auf, da diese aus Kostengründen des Transportes meist nicht ein zweites Mal zum Einsatz kommen. Allerdings lassen sich im Herstellungsprozess von Betonteilen entstehende Überschüsse von Frischbeton durch Auswaschen der Gesteinskörnungen und Wiederverwendung des Mischwassers vollständig in den Stoffkreislauf rückführen. Allerdings sind die dadurch gewonnenen Gesteinskörnungen nur zu 5 % in neuen Betonmischungen erlaubt. Die vorhandenen rezyklierten Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton reichen bislang nur für einen kleinen Teil des gesamten Bedarfs aus. Problematisch sind oftmals die Kalkulationen anfallender Massen von Altbeton sowie deren Zwischenlagerung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.70; BaunetzWissen o (Hrsg.), o.D.; Kürth, O. b, 2019)

2.7.2.3.2. ZEMENT

Zement wird oftmals als Bindemittel eingesetzt. Zur Herstellung werden Ton, Kalkstein und Mergel benötigt, welche durch Sprängen oder Reißen in Steinbrüchen gewonnen werden. Anschließend wird das Gestein zu Rohschotter gebrochen und im Zementwerk unter Zugabe von Eisenerz und Quarzsand zu einer homogenen Mischung verarbeitet. Diese wird fein gemahlen und bei sehr hohen Temperaturen von 1.450 Grad zu Zementklinker gebrannt. Anschließend wird dieser unter Beigabe von Gips oder Hüttensand zu Zement abermals zermahlen. Daraufhin kann er mithilfe von Wasser zu Zementlein oder in Zusammensetzung mit Kies und Wasser zu Beton verarbeitet werden. Das große Problem in der Herstellung von Beton ist der in ihm enthaltende Zement. Dieser produziert in der Herstellung viel CO₂, setzt somit Treibhausgase frei und benötigt viel Energie. Die Brechsandkörner unter 2 Millimeter, die in Recycling Prozessen von Beton Altmaterial entstehen, sind geeignet zur Zementherstellung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.19, 70; Grimm, R. h, 2015; Buchmann, M. b, o.D.)

2.7.2.3.3. CARBONBETON

Eine nachhaltigere Alternative zum Stahlbeton stellt der Carbonbeton durch seine Materialeffizienz und sein geringeres Gewicht dar. Im Carbonbeton wird statt einer korrosionsanfälligen Stahlbewehrung ein Gitter aus beispielsweise Carbonfasern oder anderen Textilfasern eingesetzt, welche nicht rosten kann. Daher wird die ebenso im Stahlbeton benötigte Schutzschicht des Betons um die Carbonfasern dünner ausfallen. Zudem bietet Carbon den weiteren Vorteil einer Zug- und Druckfestigkeit im Vergleich zur alleinigen Druckfestigkeit von Stahlbeton. Der Einsatz von Carbonbeton, welcher auch als Textilbeton bezeichnet wird, anstelle von stahlbewährtem Beton erscheint sinnvoll, da er Ressourcen einsparen kann. Gleichzeitig werden in der Produktion weniger CO₂ Emissionen frei, Energie kann eingespart werden und die Verwendung begrenzter Ressourcen wie Sand und Wasser wird minimiert. Doch durch die im Mischverfahren umgesetzte Verarbeitung der Carbonfasern mit Beton zu Matten stellt deren Rezyklierbarkeit noch vor ein Problem, da durch bislang angewandte Verfahren die Carbonfasern und der Beton nicht voneinander trennbar sind. Wo solche Gesteinsmischung zukünftig eingesetzt werden könnten, ist fraglich. (Vgl. Kürth, O. c, 2018; Kranich,S. , 2020; Buchmann, M. c, o.D.; Schumann, A., May, S., o.D.)

2.7.2.3.3. PORENBETON

Porenbeton wird aus einer wasserangereicherten Mischung aus Quarzsand, Branntkalk und Zement durch Dampfhärtung hergestellt. Durch das Mischverhältnis 1:1:4 wird viel Zement zur Herstellung benötigt, dessen Erzeugung wie bereits im Abschnitt Zement erwähnt, mit einem hohen CO₂ Ausstoß einhergeht. Die daraus resultierende mörtelartige Masse wird in Formen gefüllt, anschließend wird Aluminiumpulver hinzugegeben, etwa 0,05 %, wodurch die Masse aufschäumt und ihr Volumen vergrößert. Dies geschieht durch die Freisetzung von Wasserstoffgas. Aus einem Kubikmeter Rohstoff können 5 Kubikmeter Baumaterial hergestellt werden, daher ist der Ressourcenverbrauch in der Gegenüberstellung mit anderen Baustoffen

vergleichsweise gering. Die Bearbeitung der Größe und Form des Schaums kann innerhalb kurzer Zeit erfolgen, anschließend wird der Baustoff bei 200 °C unter Wasserdampfdruck ausgehärtet. Porenbeton wird häufig aufgrund seiner guten Dämmeigenschaften eingesetzt, die auch im Sommer für einen hervorragenden Wärmeschutz sorgen. Da es sich um einen leichten Baustoff handelt, dessen Bearbeitung einfach ist, können große Steine zugeschnitten und damit innerhalb kurzer Zeit Tragstrukturen errichtet werden. In Außenwänden muss Porenbeton immer mit einem Leichtputz geschützt werden, Zementputz kommt hierfür nicht infrage. Im Projekt BauCycle des Fraunhoferinstituts wird nach neuen Sortierungsmöglichkeiten für mineralische Bauabfälle unter zwei Millimeter Durchmesser und deren Verwendung als hochwertige Rohstoffe geforscht. Für die Herstellung von Porenbeton lassen sich vier sortenreine Mischungen verwenden. Im Test wurden mit einer Mischung aus 80 % Kalksandstein und 20 % Altbeton ein Produkt mit der gleichen Leistungsfähigkeit und Qualität eines aus Primärrohstoffen erzeugten erzielt. Einzelne Firmen, wie beispielsweise Ytong arbeiten mit dem Schweizer Unternehmen Holcim zusammen, die in der Bauphase entstehende reine Baustellenabfälle ihres Porenbetonproduktes sammeln und als Rohmaterial für die Zementherstellung wiederverwerten. (Vgl. Xella Porenbeton Schweiz (Hrsg.), o.D; BauWissenOnline (Hrsg.), 2016; Boos,M. c, o.D.; Burkert, A., 2018)

2.7.2.3.4. GEOPOLYMERE

Polymere bestehen im Allgemeinen aus einer alkalischen Aktivierungslösung und einer reaktiven Feststoffkomponente. Dies können beispielsweise Schlacken sein, die bei der Gewinnung von Primärrohstoffen als Nebenprodukte anfallen. Die Verbindung der beiden Stoffe führt zu einer aluminosilikatischen Bindung und deren Erhärtung. Diese Geopolymer Bindemittel können anstelle von Zement als Bindemittel verwendet werden. Ihre Verwendung ist insofern von Bedeutung, dass zementfreie Baustoffe eine erhebliche Einsparung von CO₂ Emissionen bedeuten. Zudem fehlt es in einigen

Ländern an Verwertungswegen für Schlacken und Aschen, während der Deponierungsbedarf gleichzeitig hoch ist. Durch den Einsatz von Geopolymeren können so weitere Verwertungswege entstehen. Das Verfahren ist bereits seit den 60er-Jahren bekannt, wurde bislang jedoch noch selten angewendet und nur in kürzeren Zeiträumen. Die Massenproduktion blieb bislang aus. Jedoch zeigen die technischen Eigenschaften die Eignung von Geopolymeren für unbewehrten und bewährten Beton nach den internationalen Zementbeton Regelwerken. Eine australische Firma namens Zeobond entwickelt seit 2008 den Baustoff „E-Crete“, der im Gegensatz zu herkömmlichen Betonbindern 80 % CO₂ in seinem Lebenszyklus einspart. Technische Untersuchungen des BFT über den Einsatz von Polymeren für Beton haben die Massentauglichkeit bewiesen, mit dem Einsatz von Schlacken und Flugaschen. Allerdings werden in den Industrieländern anfallende Steinkohleflugaschen oder Hochofenschlacken bereits verwertet, daher müsste beispielsweise Braunkohleasche zur Nutzung betrachtet werden, deren Qualität aber oft schwankt und in ihrer Wichtigkeit bei den Herstellern eher wenig beachtet wird. Doch in Ländern wie China oder Indien fehlt es an einer Verwertungskette, daher eignet sich ein solcher Einsatz zur Betonherstellung dort umso mehr. Der ökologische Nachteil besteht allerdings in den verwendeten alkalischen Flüssigkeiten, da die meist chemischen Substanzen Ressourcen- und energieintensiv zu gewinnen sind. Der Einsatz von alternativen Aktivierungstoffen ergänzend oder zur Reduktion der alkalischen Mittel wird bereits untersucht. Die Produktion solcher Geopolymere ist daher an den Orten mit dem größten dafür benötigten Ressourcenvorkommen sinnvoll. Weiter wurden im Projekt BauCycle des Fraunhoferinstituts Untersuchungen zum Einsatz von Altbeton- und Ziegelkomponenten zur Geopolymerherstellung durchgeführt. Die Möglichkeit neuer Entwicklungen zum Einsatz von Polymeren in der Zukunft besteht daher. (Vgl. BFT International, o.D.; Buchwald, A., 2007; The Zeobond Group (Hrsg.), o.D.; Burkert, A., 2018)

2.7.2.3.5. MAUERWERKSSTOFFE

Je nach den Anforderungen werden Mauerwerksteine leicht mit dämmender Funktion oder schwer als belastbare Konstruktion ausgeführt. Beim Rückbau sind deshalb die einzelnen Zuschläge der Werkstoffe voneinander zu trennen, um sie bestmöglich wieder einsetzen zu können. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69)

2.7.2.3.5.1. ZIEGELMAUERWERK

Durch seine löchrige Struktur ist der Ziegel ein leichtes Material, welcher in der Herstellung nicht hochgradig gebrannt werden muss. Beim Abriss wird er oft mit Mörtel und Gipsresten vermischt und so in seiner Reinheit beschädigt, dass er nicht erneut als Mauerwerkstein eingesetzt werden kann. Durch Aufbereitungsverfahren können die Ziegelbruchstücke von anderen Stoffen wie Mörtel und Gipsresten getrennt werden, verlieren dabei allerdings an Masse. Problematisch hingegen sind mit Dämmstoffen gefüllte Ziegel. Ihnen bleibt nach dem Gebrauch meist nur eine Deponierung. Oftmals wird der Ziegelbruch aufgrund seiner Kornfestigkeit und hohen Porosität in seiner weiteren Nutzung auf Dächern als Pflanzsubstrat eingesetzt, als Bodenaustauschmaterial in Frostschutz- oder Dränschichten sowie in Außenanlagen und als Terrazzozuschlag. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69)

Durchschnittlich kommt es in Deutschland zu etwa zehn Millionen Tonnen anfallenden Bau- und Abbruchziegeln jährlich. Verwendung finden sie zu 31 % in der Produktion neuer Ziegel, 28 % wird als Ziegelsand auf Sportplätzen eingesetzt, 27 % zur Auffüllung von Gruben und zu jeweils etwa 3-4 % im Straßenbau und als Vegetationssubstrat verwendet. Der Anteil an Sekundärstoffen zur Herstellung von Dachziegeln oder Mauerwerksziegeln ist sehr gering, obwohl bei bekannter Herkunft des Materials das Ziegelmehl zu 20-60 % in der Herstellung von Mauerwerksziegeln gleicher Qualität eingesetzt werden kann. Die Herkunft des Ziegelbruchs ist in der Regel leicht zum Werk zurückzuverfolgen, dank einer Kennzeichnung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69)

Um Ziegel als Bauprodukt wiederzuverwenden, ist laut Bauproduktenverordnung keine CE-Kennzeichnung oder Leistungserklärung nötig. Die Ziegel müssen den Länderbestimmungen entsprechende Eigenschaften und Materialwerte aufweisen, die durch Prüfverfahren festzustellen sind, sowie eine hinreichende technische Lebensdauer besitzen. Da bei erneuter Verwendung keine negativen Auswirkungen auf Menschen und Umwelt entstehen dürfen, sind anfallende Ziegelreste aus Kaminen oder Stallungen von einem erneuten Gebrauch auszuschließen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69)

Zukünftig könnte Ziegelbruch in der Herstellung von Beton aus rezyklierten Baustoffen eine entscheidende Rolle spielen. Voraussetzung für dessen Nachfrage und Einsatz sind gesetzliche Verpflichtungen von öffentlichen Auftraggeber*innen zu dessen Verwendung. Zur möglichst qualitativen Rückführung von Ziegelsteinen in den Stoffkreislauf, bedarf es der Weiterentwicklung von Technologien zur Rückgewinnung aus Mischstoffen, eine erhöhte Nachfrage und die Berücksichtigung einer sekundären Verwendbarkeit bereits in der Planung. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69; Kürth, O. d., 2017)

Ziegelsteine und Klinker werden oftmals ortsbezogen als Fassadenverkleidung eingesetzt, da sie sich vielerorts bereits als Traditionsmaterial etabliert haben. Vorteile bieten die gleichmäßige Alterung und die Langlebigkeit des Materials. Klinker zeichnet sich gegenüber Ziegeln als bessere Fassadenverkleidung aus, da sie durch hohe Erhitzungstemperaturen während des Herstellungsprozesses sehr langlebig sind und neben einer hohen Druckfestigkeit nur eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit vorweisen. Diese Qualitäten wirken sich auch in der Weiterverwertung aus. Klinker könnte bis zu 30 % zur Betonherstellung genutzt werden, im Gegensatz zu dem sonst üblichen Masseprozentanteil von 5 % Ziegelgesteins. Zur Herstellung von Klinker kann bislang nur weniger als 10 % Ziegelmehl und Klinkerreste aus dem Werk eingesetzt werden, um gleichbleibende Qualitäten zu erhalten. Mit bereits

verbauten Klinkern ist dies aufgrund mangelnder Trennmöglichkeiten von Mörtel nicht möglich. In der Herstellung von Dachziegeln beispielsweise ist der Anteil an wiederverwerteten Baustoffen auf 40% begrenzt. Da es heute noch ausreichende Rohstoffe zur Herstellung des Primärbaustoffes gibt, fehlen Anreize zum Einsatz rezyklierter Anteile. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.77)

2.7.2.3.5.2. KALKSANDSTEIN

Ebenso wie Ziegel lässt sich Kalksandmauerstein kaum Wiederverwenden und wird aktuell nur selten stofflich verwendet. Trotz existierender Versuchsreihen niederländischer Forscher*innen zur Verwendbarkeit von Kalksandsteinbruch, Ziegel- oder Betonbruch in bis zu 20 % Massenanteil für die Herstellung neuer Mauerwerkssteine. Sie unterscheiden sich nicht in ihrer Funktionsfähigkeit, lediglich kommt es zu farblichen Unterschieden. In der Betonherstellung können lediglich bis zu 10 % Volumenanteile Kalksandsteinbruch verwendet werden, um die Tragfähigkeit des Betons sicher zu stellen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.69)

2.7.2.3.5.3. NATURWERKSTEIN

Werden Naturwerksteine als Fassadenverkleidung verwendet, sollten im Sinne der Nachhaltigkeit Naturwerksteine aus der Umgebung genutzt werden. Meist kommen allerdings Importe aus Südeuropa und Skandinavien zum Einsatz, deren Lieferung somit lange Transportwege erfordert. Schlechter zu bewerten im Sinne der Nachhaltigkeit ist die Einfuhr von Naturwerkstein aus anderen Kontinenten, die in den entsprechenden Ländern meistens unter der Akzeptanz sozialer Missstände gewonnen werden. Um nach der Nutzung im Gebäude Naturwerksteine zurück in einen Kreislauf führen zu können oder sie umweltunproblematisch zu lagern, sollten Beschichtungen vermieden werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.76)

2.7.2.3.5.7. KALKSTEIN

Etwa 5 % der Erdoberfläche besteht aus Kalkstein. Kalk ist ein mineralischer Stoff, der in seiner reinen Form im Kreislauf erhalten bleiben kann. Kalk-

stein wird für Fassadenbekleidungen, Pflasterstein, Schotter, Fliesen oder Arbeitsplatten eingesetzt. Aus dem Sekundärmaterial kann sogenannter Baukalk hergestellt werden, aus dem sich Mörtel oder Putz erzeugen lassen. Ohne Zusätze sind auch diese wiederverwendbar. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.76)

2.7.2.3.6. GLASWERKSSTOFFE

Prinzipiell lässt sich Glas beliebig oft einschmelzen und Wiederverwenden. In der Herstellung von Flachglas sind für Recyclingprodukte meist nur fünf Gramm Verunreinigungen pro Tonne erlaubt, weshalb hier in der Regel kein Sekundärstoff aus Bauabfällen zum Einsatz kommt. Lediglich hochwertiges Altglas oder Scherbenreste aus eigener Produktion können verwendet werden, bisher liegt deren Einsatz bei etwa 20 %. Dabei ist Flachglas ein ideales Kreislaufprodukt, welches durch seinen geringen Anteil der Baustellenabbruchmaterialien aber meist mit anderen mineralischen Baustoffen einem Downcyclingprozess unterzogen oder deponiert wird. Von den aus der Flachglasrecycling hervorkehenden Sekundärstoffen wurden 2016 nur 11 % erneut zur Herstellung von Flachglas wiederverwertet, beinahe die Hälfte wurde für die Produktion von Behälterglas eingesetzt, sowie 30% zur Herstellung von Glasmehl, Mineralwolle und Glasperlen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.77; BaunetzWissen p (Hrsg.), o.D.; BaunetzWissen q (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.3.7. LEHMBAUPLATTEN

Lehmbauplatten lassen sich im Innenbereich bei mehrschichtigen Bauteilen wie etwa Dächern, Decken und Wänden einsetzen. Sie bilden eine nachhaltige Alternative zu Gipsfaserplatten, da sie aus Ton, Schluff und Sand wahlweise auch Kies oder Stein bestehen und ohne brennen verarbeitet werden können, da Ton seine Aufgabe als Bindemittel ohne diesen Vorgang erfüllt. Ungebrannter Lehm kann durch die Eigenschaften von Ton, dem immer wieder Wasser zugegeben werden kann, zu dessen Bearbeitung beliebig oft wiederverwendet oder repariert werden. Durch den Verdunstungsprozess

entsteht aber die Eigenschaft des Schwindens von Lehm. Gleichzeitig ist der Baustoff diffusionsoffen, kann dementsprechend Luftfeuchtigkeit aus dem Innenraum nach außen transportieren sowie Schadstoffe und Gerüche aufnehmen. Gleichzeitig ist Lehm ein Latentwärmespeicher und kann die Wärme, die er zuvor aufgenommen hat, erneut an den Raum abgeben. Er sorgt daher für ein angenehmes Raumklima. Im Herstellungsprozess werden den Lehmbauplatten meist pflanzliche Fasern hinzugefügt, die den Platten Gewicht erspart und eine Verarbeitung vereinfacht. Zudem können den Platten auch pflanzliche kompostierbare Bewehrungsstrukturen als Gittergewebe aus beispielsweise Jute oder Flachs hinzugegeben werden. Teilweise kommt hierfür auch der nicht kompostierbare Werkstoff Glas zum Einsatz. Um die Platten zu verputzen eignet sich Lehmputz, welcher eine einstoffliche Kombination der nicht trennbaren Komponenten ermöglicht und damit eine sortenreine Rückgewinnung erleichtert. Durch unterschiedliche Körnungen gibt es verschiedene Putzarten. Der für Oberflächen häufig eingesetzte Feinputz kann durch Zuschläge von Fasern oder Pigmenten optisch angepasst und mithilfe von verschiedenen Auftragstechniken optisch ansprechend eingesetzt werden. Die Anschaffungskosten des Lehms sind zwar in der Regel höher als die von Gipskarton, dafür ist Lehm deutlich langlebiger und erzeugt keine Entsorgungskosten. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81; Naturanum (Hrsg.), o.D.; Müller, S., o.D.)

2.7.2.3.7. GIPSKARTONPLATTEN

Zu den Gipsen zählt der natürlich vorkommende Gips sowie industriell hergestellter Gips. Aktuell wird der Bedarf in der Baubranche in Deutschland noch durch inländische Ressourcen gedeckt. Der natürliche Gips kann aufgrund seiner Oberflächen-nähe leicht abgebaut werden, zudem kann der Anteil an Gips, welcher als reiner Baustoff verwendet wird, vollständig und beliebig oft wiederverwendet werden. Allerdings wird im Bauwesen über die Hälfte des gesamten Gipsbedarfs durch sogenannten Rauchgasschwefelungsgips, kurz REA-Gips, gedeckt, der als Nebenprodukt der Herstellung von

Kohlestrom hervorgeht. Um also zukünftig weiterhin den Gips Bedarf zu decken, wenn Kohlekraftwerke nicht weiter genutzt werden und somit kein neuer REA-Gips verfügbar ist, müsste mehr des natürlichen Gipses aus den Bergen abgebaut werden. Durch alleiniges Recycling kann der Bedarf momentan nicht gedeckt werden. Doch wie alle mineralischen Stoffe ist auch sein natürliches Vorkommen begrenzt und zudem bedeutet seine Gewinnung durch Abtragung aus Bergstrukturen einen Eingriff in die Natur, die sich erst über Tausende Jahre regenerieren kann. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81; Kloß, J., 2020)

Da Gips nur begrenzt recycelbar ist und als Sondermüll entsorgt werden muss, ist seine Trennung im Falle eines Abbruchs nach einem Nutzungszyklus von den anderen Baustoffen entscheidend für dessen erfolgreiche Weiterverwendung und -verwertung. Ein weiteres Problem bei der Entsorgung von Gips sind oftmals vorhandene Restbestandteile in Bauschuttmassen, welche auf Deponien gelagert werden, da die wasserlöslichen Sulfate des Gipses in die Grundwasserstruktur eindringen können und gleichzeitig Deponieraum einnehmen, obwohl sie als Sekundärrohstoff nutzbar sind. In Deutschland werden allerdings nur wenig Abfälle von Gips recycelt. 2015 lag der Anteil bei etwa 7 %, auch weil die Neubeschaffung bisher kostengünstiger ist. Zudem wurde der Großteil der Gipsabfälle in Deutschland bis 2010 für die Auffüllung von Kalihalden nach Thüringen gebracht. Aktuell ist der Abtransport von Abfällen in östliche Länder in Deutschland meist günstiger als der Transport zu Aufbereitungsanlagen, welche eine Wiederverwertung ermöglichen würden. Hierbei wird das Abfallhierarchiesgesetz oftmals missachtet und den Aufbereitungsstätten entgegen wichtige Ressourcen, um wirtschaftlicher werden zu können. In nordeuropäischen Ländern hingegen wurden durch niedrigere Recyclingkosten und höhere Deponiekosten Fortschritte im Gipsrecycling erreicht. Die Kapazitäten in Deutschland zur Aufbereitung von Gips sind derzeit nicht ausgelastet. Theoretisch könnten jedoch bis zu 300.000 Tonnen Gips jährlich aufbereitet und damit die

Hälfte der anfallenden Abfälle als Sekundärrohstoff weiter genutzt werden. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.83; Kürth, O. e, o.D.; Buchert, M., 2017, S.42, S.60)

Zur Herstellung von Gipskartonplatten wird der Gips mit dem Verwendungszweck entsprechenden Kartonplatten ummantelt, die durch chemische Beimengungen die benötigten Eigenschaften erhalten. Durch Zusätze wie Glas-, Kunststoff- oder Zellulosefaser werden die Gipskartonplatten statisch belastbar. Die Platten bestehen zu 94 % aus Gips, lediglich 3,5 % aus Karton. Aufgrund des eingelagerten Wasseranteils in Gips, ist der Baustoff der Klasse A1 nicht brennbar zugeordnet und wird daher oftmals als Bauteilschicht zur Erfüllung von Brandschutzanforderungen verwendet. Verzichtet man auf Tapeten oder Lacke, die mit Kunststoffkleber aufgebracht werden, lassen sich sortenrein rückgewonnene Gipskartonplatten recyceln. Deutschland verbaut jährlich rund 220 Millionen Quadratmeter Gipskartonplatten. Zugleich wird das Abfallaufkommen im Jahr 2012 in Deutschland auf rund 243.000 Tonnen geschätzt. Um möglichst erfolgreich und wirtschaftlich recyceln zu können, müssen die Verwertungsanlagen sowie die Herstellungsstätten für neue Materialien aus dem recycelten Gips nahe beieinander liegen. In den Niederlanden gibt es bereits Möglichkeiten durch mobile Verwertungsanlagen, die in der Verwertung einen Gips mit 99-prozentiger Qualität des Naturgipses erreichen. Im Vergleich zu Lehmbauplatten, die über eine sehr lange Haltbarkeit verfügen, sind Gipskartonplatten zwischen 30 und 60 Jahren haltbar. Nachteil im Vergleich ist ebenfalls die Wärmespeicherkapazität, die nur halb so hoch ist. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.81; Knauf Gips (Hrsg.), o.D.; Radeloff, D. und Reitberger, F., 2007; Buchert, M., 2017, S.28f; Naturanum (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.3.8. DÄMMMATERIAL

2.7.2.3.8.1. MINERALWOLLE

Zu den Mineralwollen zählen die Steinwolle und die Glaswolle. Sie sind mit einem Marktanteil von mehr als 50 Prozent die im Bauwesen am häufigsten ver-

wendeten Dämmstoffe. Sie bestehen im Gegensatz zu tierischen oder pflanzlichen Fasern aus anorganischen Synthesefasern. Diese künstlichen Mineralfasern werden bei der Glaswollherstellung durch das Einschmelzen von 70 % Altglas mit Tonerde, Sand, Kalk und Alkaliverbindungen bei 1300 °C unter Verwendung fossiler Energieträger erzeugt und meist mithilfe von 5 % Formaldehyd gebunden. In wissenschaftlichen Versuchen wurde bereits eine 100-prozentige Verwendung von Altglas zur Herstellung von Dämmfasern als möglich erwiesen. Im Gegensatz zur Glaswolle bildet in der Herstellung von Steinwolle Basalt, Diabas, Dolomit und Kalkstein die Grundlage. Diese werden mit 45-60 % zementgebundenen Mineralwollresten mit 1-3 % Formaldehyd zu Dämmung verarbeitet. Hierzu werden die Bestandteile bei 1500 °C eingeschmolzen und zerfasert. Bei den eingesetzten Resten handelt es sich um aus der Herstellung von Steinwolle stammende Schlacken, Aschen und Verschnitte sowie Baustellenverschnitte. Besonders vor 1995 hergestellte Mineralwolldämmungen sind aufgrund enthaltender Gefahrenstoffe gesundheitsschädlich. Ab 1995 wurde ein Prüfsiegel mit einer Freizeichnung eingeführt, auf die für die Verwendung von gefahrenstofffreier Mineralwolle zu achten ist. Heute existieren im Handel bereits formaldehydfreie Mineralwollen. Nach ihrem Nutzungszyklus im Gebäude ist die Weiterverwertung von Mineralwollen schwierig, aufgrund vieler Anhaftungen etwa durch den Einsatz im Wärmedämmverbundsystem. Diese nicht sortenrein rückgewonnenen künstlichen Mineralfasern können kaum eingeschmolzen werden, um eine erneute Verwendung zu erfahren. Vor einer möglichen Verhüttung der Abfälle steht immer ein aufwendiges Verfahren zur Entfernung von Reststoffen. Eine stoffliche Verwertung kann durch das Zermahlen der Abfälle bei der Herstellung von Ziegeln umgesetzt werden. Die Firma Rockwool bietet in Deutschland ein Rücknahmesystem von Abfällen gegen Gebühren, welche vergleichbar mit den Deponierungskosten sind, in Kombination mit dem Kauf neuer Produkte an. In der Schweiz existiert ein ähnliches System der Hersteller*in FLUMROCK, die Bauabfälle von Mineralwolle in von ihnen ge-

stellten Foliensäcken zurücknehmen. Diese transportieren die Säcke bei der Auslieferung von Neuware selbstständig zum Werk. Im Verkaufspreis der Steinwolle sind die Kosten für den Rücktransport bereits berücksichtigt. Eine zukünftige Möglichkeit bietet die Mikrowellentechnologie, die die Abfälle zu Schlacke verarbeiten kann. Die im Labor bereits erprobte und nun auf größere Mengen umgesetzte Technik könnte einen Sekundärrohstoff aus der bislang als gefährlich eingestuften Wolle von vor 1995 erzeugen, welcher international eingesetzt werden könnte. Bislang wird noch nach dem Markt für Mineralschlacke gesucht, die beispielsweise als Ausgangsstoff in der Herstellung von Mineralwolle eingesetzt werden kann. Heute enden jedoch die meisten Abfälle auf Deponien. Mineralwollen sind vielseitig einsetzbar für Dach-, Wand und auch als Trittschalldämmung. Sie besitzen gute Dämmeigenschaften und sind wasserabweisend und alterungsbeständig. Ihre Wärmeleitfähigkeit liegt bei 0,03 bis 0,05 W/mK. Sie sind nicht brennbar und gehören zur Brandwiderstandsklasse A1/A2. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.90; BaunetzWissen r (Hrsg.), o.D.; Asam, C., 2011, S.1,3,5,8,16)

2.7.2.3.8.2. SCHAUMGLAS DÄMMPLATTEN

Im Herstellungsprozess von Schaumglasdämmplatten wird mithilfe von Kohlenstoff eine Mischung aus 70 % Recyclingglas in Kombination mit zuvor geschmolzenem und zu Pulver vermahlenem Dolomit, Feldspat, Sand oder Kalk in einer Edelstahlform in einem Ofen bei 850 °C aufgeschäumt. Dadurch entsteht eine dicht abgeschlossene Struktur aus Zellglaswänden, deren Poren zu 99 % mit Kohlendioxid gefüllt sind. Dadurch ist der Dämmstoff nicht feuchtigkeitsanfällig, druckfest, frostsicher und weder brennbar, anfällig für Ungeziefer noch dampf- oder wasserdurchlässig. Daher eignet sich der Baustoff besonders im Außenbereich wie beispielsweise für Flachdächer oder Parkdecks und auch bei einzelnen druckbelasteten Stellen wie etwa bei Gründächern. Zudem kann er in Berührung mit dem Erdreich kommen und so auch in Kellerbereichen oder unter Gründungsplatten verbaut werden. Aufgrund der Tatsache, dass Schaum-

glas Dämmplatten meist mithilfe von Bitumen mit ihrem Untergrund verklebt werden, ist eine sortenreine Rückgewinnung kaum möglich. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes liegt bei 0,036 W/mK. Der Baustoff zählt zur Feuerwiderstandsklasse A1 und ist somit nicht brennbar. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.50; BaunetzWissen s (Hrsg.), o.D.)

2.7.2.3.8.3. SCHAUMGLAS DÄMMSCHOTTER

Wie auch die Dämmplatten wird bei der Herstellung von Dämmschotter Altglas durch Erhitzen aufgeschäumt. Allerdings sind hier bis zu 99 % Glasanteil und 1 % Zusätze als Mischverhältnis möglich. Da bei diesem Prozess der Abkühlungsprozess schneller verläuft, entstehen Risse, die zum Brechen des sogenannten Schaumkuchens führen. Aus diesen Bruchstücken entstehen anschließend Schotterkörner mit Durchmessern zwischen 10 und 75 Millimeter. Aufgrund seiner kapillarbrechenden Wirkung, seiner Frostbeständigkeit, Alterungs- und Verrottungsbeständigkeit sowie der Immunität gegen den Befall durch Nagetiere oder Ungeziefer wird der Schotter vor allem als Unterdämmung für Keller und Bodenplatten eingesetzt und übernimmt die Funktion als Drainage und Wärmedämmung in einem. Da der Schotter aufgrund des drückenden Wassers im Boden seine Wärmedämmfunktion verlieren kann, muss der Aufbau dementsprechend hoch dimensioniert werden. Wird er als Dämmung von Kellerwänden eingesetzt, kann er mithilfe von Säcken rückbaufreundlich verbaut werden. Wird er nach der Nutzung sortenrein rückgewonnen, kann er erneut der Produktion von Schotter oder Dämmplatten zugeführt sowie als Schütt- und Füllmaterial Verwendung finden. Seine Wärmeleitfähigkeit liegt vergleichsweise hoch bei 0,075 bis zu 0,12 W/mK. Ebenso wie Schaumglasplatten ist der Schotter nicht brennbar und wird der Feuerwiderstandsklasse A1 zugeordnet. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.46f; BaunetzWissen t (Hrsg.), o.D)

2.8. BAUTEILBÖRSEN

Um eine direkte Wiederverwendung von Bauteilen zu ermöglichen, das heißt diese nach dem unbeschädigten Ausbau zum gleichen Zweck erneut einsetzen zu können, müssen Netzwerke zwischen Anbieter*innen und Nachfragenden vermitteln. Im privaten Bereich finden heute Wiederverwendungen im kleinen Maßstab statt durch regionale Bauteilbörsen. Eine übergreifende Organisation für einen solchen Austausch über bereitstehende anfallende Bauabfälle fehlt laut dem Stand 2018 in Deutschland. Eine Herausforderung ist ebenso die Erfassung von Potenzial, die Zwischenlagerung und die vorausschauende Planung. Mangelnde Unterlagen mit Informationen über Abrissgebäude besonders in digitaler Form, kostenintensive fachliche Einschätzungen und Beurteilungen sowie die Lagerung und Vermarktung dieser „Secondhand“ Produkte erschweren das Wiederverwendungsprinzip. Auch heute werden in der Planung kaum Unterlagen für einen Rückbau mit Informationen zu Stoffen, Datenblättern und möglichen Gefahrenstoffen für folgende Generationen erstellt. Des Weiteren sind für solche Unterlagen deren Fortführung in Umbauphasen entscheidend, um auf dem aktuellem Stand zu bleiben. Für optimale Stoffkreisläufe müssten in aktuellen BIM Planungen bereits in der Planungsphase standardmäßig detaillierte Informationen hinterlegt werden, die später Aufschluss über die Eigenschaften der Bauteile geben. Aktuell liegen oft unzureichende Informationen vor, weshalb die Beschaffenheiten der Bauteile erst durch eine Materialprüfung festgestellt werden kann. Für eine genaue Darstellung der Potenziale von Bauteilen muss der Lebenszyklus der Liegenschaft und des Bauproduktes festgehalten werden. Das digitale Abbild kann durch genaue Beschreibungen von Beschaffenheit und Fügungen die Bestimmung sowie eine Nachproduktion von Bauteilen zur Ausbesserung ermöglichen. Durch computerbasiertes Entwerfen entsteht ein weiterer Vorteil, da Lasten genau berechenbar sind und daher auch Aufschluss über Aufstockungspotenzial gegeben wird. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S. 32-35)

In Deutschland gibt es seit 2002 das Bauteilnetz Deutschland, ein Kooperationsprojekt, dem sich lokale Bauteilbörsen anschließen können und somit festgelegten Merkmalen in der Qualität entsprechen. Allerdings ist festzustellen, dass nur wenige Städte über eine Bauteilbörse verfügen und andere bereits geschlossen wurden, wie beispielsweise 2011 die Bauteilbörse Köln und Gießen. Weissenburg, Augsburg und Nordhausen verfügten ebenfalls über Bauteilbörsen, welche 2012 geschlossen wurden. In Oldenburg wurde 2014 eine Bauteilbörse und in Saarbrücken ein Gebrauchtbaumarkt 2016 geschlossen. Aktuell sind im Verband die Bauteilbörse Berlin Brandenburg, die Bauteilbörse Bremen, Hannover, Gronau, die Möwe Altmaterialverwendung in Osnabrück und die Bauteilbörse Herzogenrath. Diese liegen alle in Norddeutschland. In Süddeutschland gibt es in diesem Verband keine Anlaufstelle. (Vgl. Dechantsreiter, U., o.D.)

Da aktuell den Bauteilbörsen auch durch präsente Projekte mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, kommt es mittlerweile zu Veränderungen und Neugründungen von gleichgesinnten Initiativen. Dennoch sind diese kein Massenphänomen. „Restado“ ist seit 2012 eine weitere Plattform, die als Marktplatz für zirkuläre Baustoffe dient. Sie ist eine überregionale Plattform, da vorhandene Baustoffbörsen in Deutschland nicht alle Regionen bedienen können. Im Zuge dessen wurde 2020 „concular“ gegründet, ein digitales Ökosystem für eine kreislaufgerechte Bauweise mit sicherer Finanzierung und Vollzeitmitarbeiter*innen. (Vgl. Campanella, D. 2021)

In unseren Nachbarländern funktionieren solche Systeme bereits seit längerem. Die in den Niederlanden hervorgerufene Plattform Madaster konnte dort bereits Erfolge verzeichnen. Die Plattform versteht sich als Kataster für Gebäude, deren Besitzer einen Material-Passport erstellen können. Somit werden Materialien dokumentiert und archiviert. Die Besitzer*innen können anderen Zugriff auf diese Daten ermöglichen, um einen Austausch zu organisieren. Zudem können Rohstoff-Restwerte von

Gebäuden ermittelt werden. Die Plattform bietet eine Infrastruktur für die Wiederverwendung von Materialien, Elementen und Produkten. Gleichsam erhält der Immobilienbesitzer*innen Auskünfte über den zirkulären und finanziellen Wert ihrer Immobilie und kann Bilanzierungen durchführen. Der zirkuläre Wert beschreibt für Immobilienbesitzer*innen die Kreislaufpotenziale der Baumaterialien und identifiziert Gefahrenstoffe. Die Plattform existiert mittlerweile neben den Niederlanden in Norwegen und der Schweiz. Seit 2021 gibt es sie nun auch in Deutschland. (Vgl. Madaster (Hrsg.), o.D.; Oebbekke, A., 2021)

In Österreich existiert ein Unternehmen, welches durch die Unterstützung im Rückbau und die Vermittlung für Neubauten die Kreislaufwirtschaft fördert und ein Social Urban Mining als Ziel verfolgt, das „BauKarussell“. (Vgl. RepaNet / BauKarussell (Hrsg.), 2020)

Eine gemeinsame Plattform mit zehn EU Ländern des Donauraums nennt sich MOVECO, die seit 2016 für einen Austausch von Forschungseinrichtungen und Unternehmen dient, sowie Abfallprodukte vernetzt. Die Plattform dient auch als Informationsquelle für Organisationen und Unternehmen, über eine kreislauffähige Wirtschaftsentwicklung. (Mörsch, T., 2018)

2.9. UMSETZUNG IN DER PLANUNG

Die Umsetzung eines kreislauffähigen Gebäudes, welches gleichzeitig ein anthropogenes Lager darstellt, muss in verschiedenen Ebenen der Entwurfsplanung stattfinden. Bereits der Grundgedanke eines Projektes sollte auf seine Langlebigkeit durch seine Funktion und mögliche Nachnutzungen überprüft werden. Ebenso entscheidend ist die Wahl der Materialien und der Fügungen für die bauliche Umsetzung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Ziele in Projekten umzusetzen, die jeweils Vor- und Nachteile aufweisen und besonders heute noch große Herausforderungen darstellen. Eine wichtige Grundlage bildet das Wissen von Planer*innen über kreislaufgerechtes Bauen, welches sie durch die stetigen Weiterentwicklungen in diesem Feld bestenfalls über Fortbildungen erlangen können. Zudem müssen Bauherr*innen von den Planer*innen bereits zu Beginn eines Projektes über die Bedeutung von kreislaufgerechtem Bauen aufgeklärt werden und dessen Auswirkungen auf mögliche Rentabilität eines Rückbaus bei großem Wiederverwendungspotenzial von Bauteilen und Baustoffen kennen. Andere Projektbeteiligte sollten ebenfalls in der Planung frühzeitig miteinbezogen werden, um die Ausführung richtig umsetzen zu können. Die Berechnung von Ökobilanzen und Lebenszykluskosten in der Planungsphase und die Aufklärung von Bauherr*innen und Planer*innen über deren Bedeutung könnte zu einer höheren Akzeptanz und Anerkennung von rezyklierten Baustoffen führen. Das Wissen über Umweltauswirkungen und Kostenauswirkungen der Entsorgung wird bei den Bauherr*innen auf mehr Verständnis treffen. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.31)

Da eine Bauaufgabe eine bestimmte Nutzung eines Gebäudes beabsichtigt sollten, um die Langlebigkeit von Gebäuden zu garantieren, müssen zukünftige soziale Entwicklungen und mögliche Umnutzungen bereits in der Planung einbezogen werden. Dies kann beispielsweise bei Wohnbauten bedeuten, dass sich Wohnungen zusammenschließen oder separieren lassen oder das Bürogebäude

nicht nur auf eine bestimmte Firmengröße ausgerichtet werden. Konkret lassen sich auch potenzielle Erweiterungen wie Anbauten oder Aufstockungen mit frühzeitig eingeplanten Reserven durch Überdimensionierung von Tragstrukturen für die Zukunft ermöglichen. Fassaden sollten einfach austauschbar oder für diverse Nutzungen geeignet sein, um sich Besitzer- oder Funktionswechseln anzupassen. Durch flexible Tragwerksstrukturen wie den Skelettbau aus Holz oder Stahl können Innenraumstrukturen einfacher angepasst und geändert werden, erhöhte Raumhöhen können nutzungsneutrale Räume schaffen. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.34)

Grundsätzlich ist bereits zu Beginn der Planung über die Rückbaubarkeit eines Gebäudes nachzudenken, deshalb sollte sie als fester Schritt in die Planungsabfolge integriert werden. Der Rückbau sollte einfach möglich sein durch simple Verbindungen, die wie in einem Pavillon gedacht sind, der sich einfach auf- und abbauen lässt. Es gibt diverse Ansätze, die eine Weiterverwendung und einen sortenreinen Rückbau von Materialien erleichtern. Grundsätzlich sollten Schadstoffe vermieden werden oder von anderen Schichten getrennt entnehmbar sein, da diese eine Weiterverwendung erschweren und zu Deponierung von gebrauchsfähigem Material führen. Sollten Schadstoffe eingesetzt werden, muss deren Verwendung genau dokumentiert werden, um Verunreinigungen anderer Abfälle zu verhindern. Allgemein lassen sich serielle Formate einfacher einer Wiederverwendung zuführen und erleichtern die Planung. Durch Vorfertigung können Bauzeiten verkürzt und gleichzeitig Abfälle auf der Baustelle vermieden werden. Für eine leichtere Rückführung in den Stoffkreislauf sollten die Bauteile möglichst einfach aufgebaut sein. Dies kann durch reduzierte Schichtenanzahlen oder bestenfalls in Form von Monomaterialität umgesetzt werden. Dadurch wird eine Trennung der Komponenten vereinfacht oder gar hinfällig. Zugleich müssen die Verbindungen der Bauteile lösbar sein oder nach Möglichkeit materialimmanent angebracht werden, im besten Fall können diese

sogar durch Auflastsicherung oder Überschupung wie bei Dächern beispielsweise entfallen. Eine Erleichterung für den Wiedereinbau von ganzen Bauteilen sind vielfältig einsatzfähige Formate, keine individuellen Sonderlösungen. Ein weiterer Vorteil beim Wiedereinbau sind Standardbauteile, deren Inhalte bekannt sind und die auch in größerer Stückzahl verfügbar sein können. Der Einsatz von Bauteilen muss sinnvoll sein und als Dauerlösung funktionieren. Auf Kleber und nicht entfernbare Anhaftungen wie beispielsweise Mörtel bei Ziegeln wird bestenfalls verzichtet. Zudem sollten neue umweltfreundliche Materialien eingesetzt und jene ohne Verwendungsperspektive vermieden werden. Um die Langlebigkeit eines Gebäudes zu garantieren, sollten Installationsführungen und andere wartungsreiche Bauteile gut zugänglich sein. Dafür sind beispielsweise Leitungsführungen im Schrank oder Aufputzinstallationen sinnvoll. Die in der Planung verfassten Ausschreibungen sollten den Einsatz von Recycling-Baustoffen miteinbeziehen und nicht grundsätzlich ausschließen. Außerdem sollten mithilfe von BIM Planung Unterlagen mit Informationen zu allen Details eines Bauvorhabens als Unterlage für die spätere Weiternutzung und Abrissplanung angefertigt werden. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.32,35-39; Hillebrandt, A. et al., 2018, 13f)

In der Praxis steht die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft vor einigen Herausforderungen. Der Einbezug von Rezyklaten oder wiederverwendeten Bauteilen braucht einen zeitlichen Vorlauf in der Projektplanung. Das Lagern von Baustoffen benötigt Kapazitäten, die teilweise auf unbestimmte Zeit abrufbar sein müssen. Vorausschauend zu wissen, was zu dem Zeitpunkt der Umsetzung eines Bauvorhabens verfügbar sein wird, ist momentan schwer zu ermitteln. Oftmals werden Baustoffe mit Recyclingpotenzial aufgrund mangelnder Zeit und hoher Kosten für fachkundige Einschätzungen trotzdem entsorgt. Da immer noch Skepsis gegenüber Recycling Baustoffen in der allgemeinen Bevölkerung dominiert, sollten durch öffentliche Bauträger Projekte umgesetzt werden, die somit in

einer Vorbildfunktion wichtige Wegbereiter für das kreislaufgerechte Bauen darstellen. Die Europäische Kommission hat bereits 2014 festgestellt, dass eines der großen Probleme im Einsatz wiederverwendeter Materialien oder Sekundärrohstoffe ist, dass die Preise für Primärrohstoffe keine Umweltauswirkungen und Entsorgungskosten einbeziehen. Daher sind häufig Recyclingmaterialien teurer als Primärrohstoffe, zudem kann die Nachfrage am Markt noch nicht ausreichend mit recyceltem Material abgedeckt werden. Müssten Bauteile stark aufbereitet oder sehr lange Transportwege zurückgelegt werden, sodass dadurch viel fossile Energie benötigt wird oder hohe Emissionen ausgestoßen werden, ist die Sinnhaftigkeit im Einzelfall abzuwägen. Daher sollten immer lokale Wertschöpfungsketten genutzt werden. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.24-31; Hillebrandt, A. et al., 2018, 13)

Auch für Unternehmen und Planer*innen müssten neue Anreize und vereinfachte rechtliche Grundlagen geschaffen werden. Die Gewährleistung und Haftung für Sekundärrohstoffe und wiederverwendete Bauteile sollte durch Gesetze und Normen klar geregelt werden. Es bedarf einer neuen Form von Gewährleistung, die die Firmen beispielsweise nach der Aufbereitung eines Produktes durch dessen Hersteller*innen beim erneuten Einbau übernehmen. Die Lagerstätten für aufzubereitende Produkte und entsprechende Technologien zur Separierung und Wiederverwendung von Produkten sind oftmals noch nicht entwickelt. Zudem stellt dieses für viele Unternehmen ein wirtschaftliches Risiko dar. Auch für Architekt*innen sollte der Rückbau als neue Planungsphase integriert, anerkannt und honoriert werden. Beispielsweise könnte in der deutschen HOAI die Rückbauplanung als Punkt aufgenommen und der Mehraufwand für Recycling in der Honorierung berücksichtigt werden. Die Prüfung über den möglichen Einsatz von Sekundärmaterial sollte als fester Schritt im Planungsablauf eingeordnet sein. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.30ff)

Seit 2017 fordert das Umweltbundesamt einen

elektronischen Materialpass zur ökologischen Bewertung des Lebenszyklus von Gebäuden. Durch BIM Modelle von vorhandenen Gebäuden könnten diese in ihren Massen und verfügbaren Materialien genau erfasst werden, sodass regional verfügbare Recyclingmaterialien in ihrer zeitlichen Verfügbarkeit und Qualität zugänglich und planbar sind. Für die Umsetzung müssen überregionale Vernetzungen durch Plattformen ausgebaut werden, mit Unterstützung der öffentlichen Akteur*innen, die Systeme erschaffen zur Erleichterung der Handhabung und des Aufwands aller Beteiligten. Rückbauunternehmen müssen ebenso ihre Mitarbeiter*innen schulen und gemeinsam mit den Hersteller*innen Rücknahmeprozesse ausarbeiten. Konkrete Handlungsempfehlungen der Regierung für den Rückbau und Farbcodierungssysteme auf der Baustelle für die konkrete Umsetzung, unabhängig der Sprachbarriere von Beteiligten, wären zielführend. Um diesen Prozess zu erleichtern, sollten die Unternehmen früh in rücknahmefähige Produkte mit einfacher Prüfbarkeit investieren, um sich am Markt etablieren zu können. Zudem besteht in Leihsystemen für Bauprodukte die eine Rückgabe garantieren und unnötige Abfälle vermeiden ein weiteres Potenzial. Es braucht neue Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft und eine neue Organisation der Stoffströme auf der Baustelle, neue Verwertungsverfahren und Fügetechnologien, die erfunden und erforscht werden müssen, sowie die Vermittlung des Wissens in die Praxis. Es fehlt oftmals eine Aufklärung von Kund*innen und Unternehmen über die Folgen der bisher mit Langlebigkeit beworbenen Produkte, die nicht rückbaufähig sind. Zertifikate für die Rückbaubarkeit oder stärkere Kontrollen könnten Anreize schaffen. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S.26,31,32; Hillebrandt, A. et al., 2018, S.14; Achatz, A. et al., 2021, S.4)

2.10. FÜGUNG DER BAUTEILE

Um Baustoffe nach deren ersten Verwendung qualitativ weiterverwenden zu können, müssen sie sortenrein voneinander getrennt werden können. Diese Absicht muss bereits durch lösbare Fügungen der Bauteile sowie der einzelnen Materialschichten in die Planung integriert werden. Zukunftsweisend sind solche, die auf ihre Rückbaubarkeit ausgelegt sind, indem sie nicht traditionell geklebt werden, sondern gesteckt, gedübelt oder verschraubt. Die Bauteile sollten sich einfach und schnell voneinander lösen lassen, um den Rückbau sortenrein und wirtschaftlich zu ermöglichen. Bereits in der Herstellung bietet diese Weise Vorteile durch eine wirtschaftliche und schnelle Montage, die keine Trocknungszeiten berücksichtigen muss. Ebenso in der Nutzungsphase eines Gebäudes erleichtert dies einzelne Elemente einfach und kostengünstig auszutauschen. Im Abbruch können die einzelnen Materialien teilweise gewinnbringend zurück in ihren Stoffkreislauf gebracht werden und erzeugen keine Abfälle und damit einhergehende Kosten zur Beseitigung. Generell ist es sinnvoll, die Bauteile nach ihren Funktionen lösbar zu schichten, statt hybride Materialien zu verwenden, beispielsweise feuchteunempfindliche Dämmungen, denn diese sind meist mit Harzen behandelt und lassen sich demnach schwerer weiterverwenden oder entsorgen. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, 43ff)

Um Bauteile miteinander zu kombinieren, können sie entweder verbunden oder gefügt werden. Bei den Verbindungen gibt es unlösbare und lösbare Möglichkeiten, die jedoch nicht zwingend in die beiden Kategorien eingeordnet sein müssen, da sie je nach Art der Ausführung oder durch Witterungseinflüsse ihre Lösbarkeit verlieren oder erschweren können. Unlösbar sind meist die nach dem physikalischen Prinzip des Stoffschlusses ausgeführten Verbindungen, wie beispielsweise das Lötten, Schweißen und Kleben. Hierzu zählt ebenso das Nieten, welches die Materialien durch Formschluss verbindet. Lösbare Verbindungen folgen

meist dem physikalischen Prinzip des Reib- und Kraftschlusses sowie des Formschlusses. Zum ersten zählen das Schrauben, Klemmen, Bolzen, Nageln, Keilen, Stiften und die lose Auflage durch Gewicht. Zum Letzteren die lose Auflage innerhalb einer Begrenzungskonstruktion, Schütten, Klettverschluss, Stopfen, Stehfalz-Verbindungen und Drehriegel. Die zu fügenden Teile können mithilfe der Schwerkraft, Federkraft oder des Formschlusses zusammenwirken. Beispiele sind das Auflegen, Schichten, Einlegen, Ineinanderschieben, federnd Einspreizen, Einhängen und Einrenken. Gasförmige, flüssige oder schaumartige Materialien können durch Einfüllen in Hohlkörper oder Einpressengefügt werden. Durch Umformen von Fügeteilen oder Hilfsfügteilen wie drahtförmige Körper oder Profil- und Blechteile können ebenso lösbare Verbindungen hergestellt werden. Die oben erwähnten Klettverschlussverbindungen sind, wie Magnetverbindungen zwar für häufig zu lösende und wieder verbindbare Teile geeignet, zu beachten sind aber die Verbindungen zwischen dem Klettband beziehungsweise dem Magneten und dem Baustoff, da diese meist unlösbar ausgeführt sind und die Trennung erschweren. Gesondert kann man monomaterielle Fügungen betrachten. Musterhaft können Holzbauteile, welche durch Holzdübel oder Schrauben verbunden werden, ohne vorherige Trennung sortenrein rückgewonnen werden. Dies gilt ebenso für Stahlkonstruktionen, die durch Nieten verbunden sind. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, 43ff)

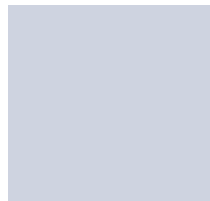
2.11. AUSBLICK

Die Vereinigung aller Aspekte des kreislaufgerechten Bauens stellt in der Praxis eine große Herausforderung dar. Beispielhafte Gebäude, die komplett rückgebaut werden können, existieren bereits. Beispielsweise in der Schweiz wurde ein temporäres Haus aufgestellt, in dem testweise Studenten wohnen und welches in absehbarer Zeit rückgebaut werden soll, um das Kreislaufpotenzial der Baustoffe zu beweisen, beziehungsweise den Komfort und die Ästhetik einer solchen Bauweise der Öffentlichkeit zu präsentieren. Im Hinblick auf öffentliche Gebäude mangelt es bislang im deutschsprachigen Raum an rückbaubaren Gebäuden, auch wenn bereits einzelne Projekte wie z.B. ein Rathaus im Sinne des Urban Mining errichtet wurde. In diesem Fall wurde ein nicht sanierungsfähiger Anbau durch einen neuen ersetzt, dessen Abbruchmaterial einem Recyclingprozess für den Neubau zugeführt wurde. (Vgl. Ruiz Durán, C. et al., 2019, S. 29, 41)

Im Sinne einer einstofflichen Bauweise oder einer bewussten Wahl von Materialien sowie eingesetzter Haustechnik gibt es heute besonders im Bereich des Holzbaus und Holzhybridbaus einige Projekte. Hierzu zählen auch zahlreiche Einrichtungen für die Betreuung von Kindern. Diese nutzen den Baustoff aus Gründen der Nachhaltigkeit sowie der Ästhetik und des Raumkomforts. Zudem spielt in Kindertagesstätten die Nähe zur Natur eine wichtige Rolle, weshalb natürliche und nachwachsende Baustoffe immer beliebter werden. Die Planungsaufgabe einer Kinderbetreuungsstätte stellt eine Herausforderung dar, da die Ansprüche der Nutzer*innen an die Räume mit einem hohen Komfort zu verbinden sind und gleichzeitig ein flexibler Grundriss sowie die Rückbaubarkeit in Kombination mit einer bewussten Auswahl an Materialien ermöglicht werden soll. Hierzu bedarf es einer guten Abstimmung in der Planung. Zur grundlegenden Orientierung werden im folgenden zwei bestehende Einrichtungen für Kinderbetreuung untersucht, die zwar sehr unterschiedlich sind, jedoch in ihren Grundsätzen

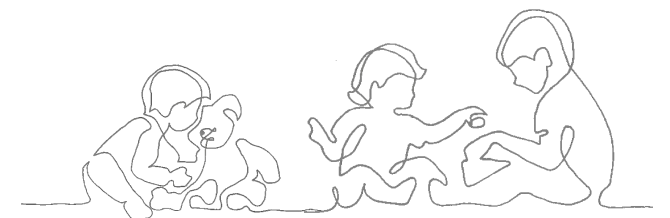
wohl überlegt mit Raumstrukturen und Materialien sowie der Verbindung von Innen- und Außenraum umgehen. Sie sind nicht in einer kreislaufgerechten Bauweise errichtet, aber legen dennoch einen Fokus auf die eingesetzten Baustoffe. Im ersten Projekt handelt es sich um einen Holzbau im österreichischen Ort Bizau, dessen Planer*innen bedacht mit den gegebenen Materialien und den lokalen Wertschöpfungsketten umgehen. Das Gebäude ist nicht im Sinne einer kreislaufgerechten Bauweise umgesetzt, da es nicht ohne Qualitätsverlust rückgebaut und die Materialien wiederverwendet werden können, trotzdem weist es einige Aspekte einer nachhaltigen Bauweise auf und zeigt anhand der Gebäudestrukturen in der Raumaufteilung und dem Hauptbaustoff Holz eine herausragende Einrichtung für Kinder. Das zweite Beispiel hingegen wurde im deutschen Bad Reichenhall von einem japanischen Architekten errichtet, in dessen Heimatland ebenfalls der Umgang mit Materialien wie Holz und Raumdimensionen eine große Rolle spielen. Das Beispiel zeigt einige wichtige Aspekte im Hinblick auf die Wahrnehmung von Kindern gegenüber Materialien und Farben sowie die entsprechende Raumgestaltung in einer hybriden Bauweise.

PROJEKTANALYSEN
KINDERGÄRTEN, KINDERTAGESSTÄTTEN UND
KRIPPEN IM ALLGEMEINEN



03

KINDERTAGES- EINRICHTUNGEN



03. KINDERTAGESEINRICHTUNGEN

3.1. PROJEKTANALYSEN

3.1.1. KINDERGARTEN DORF, BIZAU



Abb. 9 Kindergarten Bizau

(Quelle: bernardo bader Architekten a (Hrsg.), o.D., Bild 9)

Im österreichischen Bizau steht seit dem Jahre 2009 der Kindergarten Dorf, welcher vom Architekten Bernardo Bader und seinem Architekturbüro geplant und fertiggestellt wurde. Die Bauzeit betrug lediglich sechs Monate. Der Architekt hat weiterhin in den folgenden Jahren einige Einrichtungen zur Kinderbetreuung in Österreich entworfen und umgesetzt, wie beispielsweise das Kinderhaus am Entenbach im Jahre 2016, welches im Vergleich zur Bizauer Einrichtung für die dreifache Anzahl an Kindern ausgelegt ist. Im Bizauer Kindergarten sowie in anderen Projekten ist der Baustoff Holz sowie die zurückhaltende und zugleich offene Gestaltung der Innenräume ein Wiedererkennungsmerkmal seiner Architektur. Das Architekturbüro beschreibt selbst seine Ziele, die Gebäude als wohnlichen Ort für Kinder zu errichten, um darin eine Gelassenheit auszustrahlen und den Kindern gleichzeitig eine vielseitige Welt zu bieten mit dem Augenmerk auf den Themen Ökologie, Regionalität und Umwelt. (Vgl. Abb.9) (Vgl. Spieker, S. et al., 2020, S.193-207; Pfäffinger, J., o.D.)

Der Bau des Kindergartens Dorf erfolgte im Auftrag durch die Gemeinde Bizau, die die Bauaufgabe einer Betreuungseinrichtung für zwei Kindergarten-Gruppe mit jeweils 15 Kindern im Alter von vier bis sechs Jahren stellte. Bizau ist eine Ortschaft im Bregenzerwald in Vorarlberg, deren Stadtbild von typischer traditioneller Architektur mit Satteldä-

chern und Bauernhäusern geprägt ist. Das Grundstück umfasst etwa 3.700 Quadratmeter und liegt in einem zentralen Bereich des Dorfes, welches sich hauptsächlich entlang zweier Hauptverkehrsachsen ausbreitet. Mit dem Ziel, an das aus der umgebenden Architektur gebildete Ensemble anknüpfen zu wollen, reihen die Planer*innen den zurückhaltenden Solitär in das existierende Gefüge ein. Im geplanten Neubau der Architekt*innen wird das Grundstück zweigeschossig bebaut, mit einer Grundfläche von etwa 310 Quadratmetern. Zudem ist das Gebäude in seiner gesamten Fläche unterkellert. Das äußere Erscheinungsbild des Baukörpers wird von den Schindeln aus Weißtanne und den stimmigen Öffnungen durch Band- und Lochfenster, welche durch Massivholzrahmen aus Esche an die baulichen Traditionen der Nachbargebäude anknüpfen, sowie dem Satteldach geprägt. Direkt benachbart steht ein traditionelles Bauernhaus, ebenfalls mit einer Schindelfassade. Der Neubau wirkt allerdings nicht historisierend, sondern lässt durch seine moderne Gestaltung der großzügigen Öffnungen sowie einem überdachten Eingangsbereich die Funktion eines öffentlichen Gebäudes nach außen ablesen. (Vgl. BaunetzWissen v (Hrsg.), o.D.; Pfäffinger, J., o.D.; bernardo bader Architekten c (Hrsg.), o.D.; Spieker, S. et al., 2020, S.193ff)

Der Grundriss des Gebäudes ist einfach und eher funktional gestaltet, beinahe achsensymmetrisch. (Vgl. Abb.10) Da das Gebäude im Erdgeschoss teilweise zurückspringt, wird es seitlich unter einem Vordach betreten. Durch den vollflächig verglasten Eingangsbereich sind die gegenüberliegenden Stiegen direkt einsehbar. Zur linken erstreckt sich der Kern des Gebäudes, in dem sich der Aufzug und die Sanitärräume befinden. Seitlich des Kerns befindet sich jeweils ein Gang mit anschließendem Garderobenbereich, der für beide Gruppen separiert vorgesehen ist. Dahinter öffnen sich jeweils die großzügigen Gruppenräume, welche an ihrer breiten Seite im Süden vollständig verglast sind und den Blick auf eine beispielbare Terrassen- oder Loggiafläche, die durch einen weiteren Rücksprung entsteht, sowie den Außenbereich freigeben. Der Rücksprung

verschafft den südlichen Räumen einen konstruktiven Sonnenschutz, der durch ein Screen Verschattungssystem unterstützt wird. Die Aufteilung des Obergeschosses folgt einem ähnlichen Muster, wobei sich hier gegenüber der Stiege ein Büro mit Küchenzeile sowie in der Raumgröße der Garderobe ein Geräteraum und ein Bewegungs- und Spielraum befinden. Die massive Wand, die die beiden großen Räume im Inneren trennt, übernimmt besonders im Erdgeschoss eine wichtige statische Rolle, da sie sowohl die südliche verglaste Fassade aussteift als auch die Decke mitträgt. In der Anordnung der Fassadenöffnungen fällt auf, dass sich die großflächigen Verglasungen im Obergeschoss zu den kurzen Seiten hin Orientieren, während sie im Untergeschoss an den langen Seiten liegen. Damit öffnet sich das Gebäude in alle Himmelsrichtungen. Dementsprechend beschreibt das Architekturbüro die Intension des Entwurfs, durch unterschiedliche Blickrichtungen und Raumhöhen Diversität in den Räumen zu schaffen. Zudem entsteht durch die Öffnungen der Bezug zur umliegenden Umgebung, die neben der Dorfstruktur durch naturbelassene Flächen und eine Berglandschaft geprägt ist. (Vgl. Abb.11) (Vgl. BaunetzWissen v (Hrsg.), o.D.; Pfäffinger, J., o.D.; bernardo bader Architekten c (Hrsg.), o.D.; Spieker, S. et al., 2020, S.193ff)



Abb. 10 Grundriss Erdgeschoss

(Quelle: BaunetzWissen x (Hrsg.), o.D.)

Oberhalb des Erdreiches wurde das Gebäude als Holzelementbau errichtet. Alle Elemente wie Dach, Decken und Wände bis hin zum Aufzugsschacht,



Abb. 11 Kindergarten Bizau

(Quelle: bernardo bader Architekten b (Hrsg.), o.D., Bild 3)

welcher aus Kreuzlagen-Hölzern erbaut ist, konnten aus einheimischem Holz aus dem Besitz der Gemeinde hergestellt werden. Somit wurden gleichzeitig regionale Wertschöpfungsketten unterstützt. Die Decken wurden in Massivholzbalkenlagen ausgeführt, um die Länge von zehn Metern überbrücken zu können. Bei deren Verbindung wurde auf Metallgewindestangen verzichtet und stattdessen Hartholzleisten zum eingeklinken zur Hilfe genommen. Zur Aussteifung sind an wenigen Stellen OSB-Platten eingesetzt worden, dennoch wurde im Großteil des Gebäudes mit Vollholzaus-schalungen gearbeitet und im gesamten Aufbau auf chemischen Holzschutz verzichtet. Die Außenwände wurden bereits vorgefertigt zur Baustelle gebracht, sie verfügen über eine 34 Zentimeter dicke Dämmschicht aus Zelluloseeinblasdämmung. Außenseitig sind sie mit Schindeln aus Weißtanne verkleidet sowie im Inneren mit einer vier Zentimeter dicken Vorsatzschale versehen, die die Wand vor Wärmebrücken schützt. Zur Dämmung der Installationsebene wurde Schafwolle eingesetzt. Das Kellergeschoss, in dem sich Lagerräume befinden, wurde aus Betonteilen erbaut. Die Fenster sind dreifach verglast. Thermische Masse bieten lediglich die Estrichschichten im Fußbodenaufbau. Die Innenräume sind durch die Verkleidung an Decken und Wänden mit unbehandelten Tannenhohlholzpaneelen sowie einem Boden aus Esche-Vollholzdielen geprägt, die einen Stubencharakter verleihen. Das entsprechende Mobiliar aus Holz stammt aus der Herstellung lokaler Tischlereien. Die natürlichen Materialien des Innenaus-

baus sorgen für ein angenehmes Raumklima, das zum Wohlbefinden der Nutzer*innen beiträgt und gleichzeitig eine schadstofffreie Raumluft gewährleistet. Je nach Funktion wurden Weich- und Harthölzer verwendet. Insgesamt erreicht das Gebäude den Passivhauswert von 14 kWh/m²a und ist somit das erste öffentliche Gebäude des Architekturbüros, das diesen Standard erfüllt. Daher konnte das Projekt zu 40 % durch entsprechende Förderungen finanziert werden. Zur Be- und Entlüftung der Räumlichkeiten wurde eine zentrale Anlage montiert, deren Lüftung durch Bewegungsmelder aktiviert wird. In der Lüftungstechnik ist ein System zur Feuchtigkeitsgewinnung integriert, um dem Austrocknen der Innenräume entgegenzuwirken. Den Gruppenräumen wird durch Schlitze im Boden die Zuluft ermöglicht, während Quellluftöffnungen und Frischluftdüsen in den oberen Bereichen zu den Sanitärräumen hin angebracht sind. Schallgedämmte Überströmöffnungen sorgen für die Abluft in den Räumen. Das gesamte Gebäude wird durch ein Fußbodenheizungssystem beheizt, welche durch Restwärme aus dem Ölheizungssystem des Nachbargebäudes betrieben wird. (Vgl. BaunetzWissen v (Hrsg.), o.D.; Pfäffinger, J., o.D.; bernardo bader Architekten c (Hrsg.), o.D.; Spieker, S. et al., 2020, S.193ff)

In seiner Erscheinung zeichnet sich das Gebäude besonders durch die Präsenz des Holzes aus, welches im Wesentlichen den Innenräumen ihren Charakter verleiht. Von außen wie von innen entsteht dadurch ein Wohlbefinden der Nutzer*innen und der Besucher*innen sowie ein angenehmes Raumklima. Durch die hybride Bauweise der Decken sowie Verklebungen in den Bauteilen ist das Gebäude nicht ohne Qualitätsverlust der Werkstoffe rückbaubar. Aufgrund seiner geringen Größe und seiner Raumaufteilung ist eine Umnutzung zu einem späteren Zeitpunkt zwar vorstellbar, aber ebenso schwierig und eingeschränkt. Auch mögliche Aufstockungen oder Erweiterungen sind aufgrund seiner Lage und der Nachbargebäude ehestens in der horizontalen möglich.

3.1.2. KINDERTAGESSTÄTTE BAD REICHENHALL



Abb. 12 Kindertagesstätte in Bad Reichenhall
(Quelle: BaunetzWissen v (Hrsg.), o.D., Bild 1)

Im bayrischen Bad Reichenhall wurde 2019 im Auftrag der Stadt eine Kindertagesstätte durch die Planung des Architekturbüros Gärtner ito Architekten errichtet. Das Grundstück befindet sich am östlichen Stadtrand in einem Wohngebiet und ist von Bergen umgeben. Die Grundstücksfläche beträgt 3000 Quadratmeter, von denen 1200 Quadratmeter bebaut wurden. Der Rest steht für Freiflächen zur Verfügung. Die Kita bietet Platz für zwei Krippengruppen mit Kindern bis zu drei Jahren sowie vier Kindergartengruppen mit Kindern ab drei Jahren. Insgesamt bietet die Kita auf zwei Geschossen Platz für die Betreuung von 124 Kindern. (Vgl. Abb.12) (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.264f; BaunetzWissen w (Hrsg.), o.D.; PSA Publishers Ltd. (Hrsg.), 2020; Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.), o.D.)



Abb. 13 Neubau einer Kindertagesstätte
(Quelle: Sommer, S. a, o.D., Bild 3)

Die langen Seiten des Gebäuderiegels sind in Nord-Süd Richtung orientiert. Der Eingang befindet sich im letzten Drittelschnitt an der Nordseite des Gebäudes. Er ist durch einen Vorplatz mit Parkplätzen für Autos und Fahrradabstellmöglichkeiten vom Straßenraum aus zu erkennen. (Vgl. Abb.13) Die Räumlichkeiten der Krippe sind im Erdgeschoss, die des Kindergartens im Obergeschoss untergebracht und somit räumlich klar getrennt. Lediglich der Mehrzweckraum, welcher ein zentrales Element im Grundriss bildet, wird von allen Altersklassen genutzt. Nach dem Hineintreten ins Gebäude betreten die Besucher*innen zuerst einen Windfang, an dem direkt die Stiege, welche ins erste Obergeschoss führt sowie ein WC angeschlossen ist. Durchquert man ihn allerdings, gelangt man in den Spielflur, der die Räume des Erdgeschosses als Mittelgang erschließt. An ihm ist im Bereich der Treppe ein Aufzug angeschlossen sowie die Garderoben für die Kinder der Krippe, die sich entlang des Ganges an der südlichen Wand erstrecken. Im Norden sind die funktionaleren Räume und im Süden die Gruppenräume angeordnet. An der östlichen Seite erstreckt sich über die gesamte Gebäudebreite der Mehrzweckraum. Durch die Mittelgangerschließung verfügen beinahe alle Räume, ausgenommen von den Nassräumen, über Tageslicht. Der Spielflur wird an seiner Stirnseite durch eine Öffnung sowie in der Verlängerung des Windfangs durch einen Zugang zum Außenraum ebenfalls natürlich belichtet. Ähnlich erfolgt die Unterteilung im Obergeschoss. Hier werden gleichermaßen alle Räume vom Spielflur, dem Mittelgang, erschlossen. Dieser wird hier jedoch zusätzlich über Dachfenster belichtet und erstreckt sich über die ganze Länge des Gebäudes. Ebenfalls befinden sich im Spielflur die Garderoben der vier Gruppen. Im Süden sind die vier etwa gleich großen Gruppenräume angeschlossen, an die in zwei Fällen unbelichtete Sanitärräume direkt angrenzen. Die Nutzräume wie das Leitungsbüro und ein Therapiezimmer sowie vier kleinere Intensivräume und ein mit Tageslicht ausgestatteter Sanitärraum für die zwei anderen Gruppenräume sind entlang der nördlichen Fassade angeordnet. Die Gruppenräume an der Südseite verfügen in

beiden Geschossen über direkte Austrittsmöglichkeiten ins Freie und schaffen somit durch Ausblicke ins Freie eine Verbindung zur Umgebung. Im Außenraum befinden sich neben Spielgeräten auch Hochbeete, ein Komposthaufen sowie Obstbäume, um den Kindern einen Zugang zu Themen wie gesunder Ernährung zu ermöglichen. Der Innenraum ist in seiner Raumaufteilung und Einrichtung zurückhaltend gestaltet, um den Kindern genügend Freiraum zur eigenen Entfaltung und ausreichende Spielflächen zu bieten. Durch die Einfachheit der Grundrissform sowie der Materialien wird Klarheit für die Kinder geschaffen. Zudem lässt diese Simplizität des Grundrisses einen Nutzerwechsel der Leitung sowie einen möglichen Zusammenschluss der Geschosse offen. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.264f; BaunetzWissen w (Hrsg.), o.D.; PSA Publishers Ltd. (Hrsg.), 2020; Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.), o.D.)



Abb. 14 Neubau einer Kindertagesstätte
(Quelle: Sommer, S. b, o.D., Bild 7)

Anders als die Fassadenverkleidung aus Holzlamellen vermuten lässt, handelt es sich bei dem Bau um einen Betonbau mit einem umlaufenden überdachten Laubengang, der den äußerlichen Anschein eines umlaufenden Balkons erweckt. An diesen sind zwei klar vom Gebäude abgesetzte Holztrepentürme mit Sichtbetontreppen angeschlossen, deren Erscheinungsbild und Fassadengestaltung sich dem restlichen Gebäude anpassen. Die Türme dienen gleichzeitig als Spieltürme und Lagerraum für Spielgeräte und eine Außentoilette. Der erste optische Eindruck von einzelnen Balkonen entsteht

aufgrund von stellenweise geschossübergreifend durchlaufendem geschlossenem Holzlamellenfassade in der der Hauptfassade vorgestellten Ebene der Geländer, die ein Spiel aus geschlossenem und offenem Laubengang ergeben. Angelehnt ist dieses Konzept an den in der traditionellen japanischen Wohnhausarchitektur typischen umlaufenden Holzbalkon, die Engawa. Der Bezug zu Japan entsteht durch den privaten Hintergrund des Architekten, der selbst aus Japan stammt. Der Bereich kann von den Kindern als Außenspielfläche genutzt werden, gleichzeitig verschattet er die Fenster zum Innenraum ausreichend, sodass kein direktes Sonnenlicht einfallen und auf einen zusätzlichen Sonnenschutz verzichtet werden kann. Die Decken sowie das flache Dach sind aus Halbbetonfertigteilen gebaut. Die Wahl des Flachdaches stellt die Einzigartigkeit und Eigenständigkeit des Gebäudes in der ländlichen, von Bauernhäusern geprägten Umgebung dar. Das Dach verfügt über eine extensive Begrünung und Solarzellen, die einen Teil des Energiebedarfs der Nutzer*innen abdecken können. Die Fassade ist außenseitig gedämmt und durch ihre sägeraue Lärchenverschalung markant, die aufgrund ihrer gleichmäßigen Vergrauung sowie dem geringen Bauunterhalt ausgewählt wurde und eine Verbindung zu ortstypischen unbehandelten Holzfassaden der umliegenden Bauernhäuser schafft. Der umlaufende Laubengang ist als Holz-Ständerkonstruktion ausgeführt. Seine vorgesetzte Fassadenebene bildet das Hauptaugenmerk der äußeren Erscheinung der Kindertagesstätte, während die eigentliche Außenwandfassade mit ihren Alu-Fensteröffnungen in den Hintergrund verschwindet. Aufgrund der markanten Lamellenverkleidung lässt sich durch die offenen und geschlossenen Bereiche die dahinterliegende Raumabfolge nach außen hin ablesen. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.264f; BaunetzWissen w (Hrsg.), o.D.; PSA Publishers Ltd. (Hrsg.), 2020; Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.), o.D.)

Der Innenraum ist durch weiß verputzte Wände in Kombination mit Holzmöbeln farblich zurückhaltend gestaltet. (Vgl. Abb.14) Im Gebäude sind

einzelne Elemente wie der Aufzugskern in Sichtbetonoptik ausgeführt und bilden den Kontrast zu anderen Materialien wie dem Holzbelag der Treppe. Die dominierenden Baustoffe sind weiße Farbe, Naturholz und Sichtbeton. Die Intension der Architekt*innen dahinter beläuft sich auf die hinzukommende Farbgebung, die automatisch durch die Nutzung der Kinder entsteht. Für die Architekt*innen stellt das Gebäude einen Hintergrund eines Bildes dar, auf dem die Kinder den Vordergrund einnehmen. Die Auswahl der Materialien beschränkt sich auf naturbelassene Werkstoffe, um deren Alterung für die Kinder spürbar zu machen. Zudem ist die Intension hinter den Materialien eine mögliche Lowtech Architektur zu entwerfen, um Wartungen zu vermeiden und die Bauunterhaltungskosten möglichst gering zu halten. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.264f; BaunetzWissen w (Hrsg.), o.D.; PSA Publishers Ltd. (Hrsg.), 2020; Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.), o.D.)

Das Brandschutzkonzept der Kita ist simpel, da die zwei am Laubengang angeschlossenen Trepentürme, die aus den Aufenthaltsräumen direkt über den außen liegenden Gang erschlossen werden können und somit die Treppe im Gebäude keine Brandschutzanforderungen zu erfüllen hat. Ebenso einfach gehalten wurde im Entwurf das Energiekonzept, da beinahe alle Räume natürlich belüftet werden können. Lediglich die Sanitärräume werden durch eine dezentrale Lüftungsanlage belüftet. Die Beheizung der Räume erfolgt über eine Fußbodenheizung, die durch eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe betrieben wird. Dieses Niedrigtemperatursystem profitiert von der hohem thermischen Speicherfähigkeit der Betonteile, die durch ihre großen Massen für ein angenehmes Raumklima sorgen, auch in den Sommermonaten. Das Gebäude erfüllt den Energiestandard KfW 55. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.264f; BaunetzWissen w (Hrsg.), o.D.; PSA Publishers Ltd. (Hrsg.), 2020; Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.), o.D.)

3.1.3. VERGLEICH

Beide Projekte bilden eine Orientierungsgrundlage für den Entwurf einer auf Kinder ausgerichteten Aufenthaltsstätte und die Bedeutung, der die bedachte Auswahl von Materialien und Raumdimensionen zukommt. Ebenfalls zeigen sie den hohen Wert des Zusammenspiels des Innen- und Außenraums durch Öffnungen und Ausblicke sowie die benötigten Freiräume der Kinder für deren individuelle Entfaltung. In beiden Gebäuden wird bewusst mit den eingesetzten Materialien umgegangen, die auch im Innenraum deutlich ablesbar sind und die Wahrnehmung der Räumlichkeiten und somit das Wohlbefinden der Nutzer*innen bestimmen.

Im Sinne der kreislaufgerechten Bauweise zeigen beide Gebäude bereits Ansätze, wie beispielsweise der Verzicht auf die Behandlung der Baustoffe mit chemischen Schutzmitteln und im Beispiel Bad Reichenhall, die wartungsarme lowtech Architektur und den Bedacht von möglichen Nutzer*innenwechsel oder räumlichen Umstrukturierung bereits in der Planung. Teilweise schränken aussteifende Bauteile wie im Falle des Bizauer Kindergartens eine nachträgliche Änderung der Raumaufteilung jedoch stark ein. Gleichzeitig mangelt es beiden Gebäuden an einer Rückbaustrategie, da die einzelnen und mehrschichtigen Bauteile vermutlich in herkömmlicher Bauweise errichtet wurden und damit nicht ohne Schaden voneinander zu trennen sind.

3.2. KINDERGÄRTEN, KINDERTAGESSTÄTTEN UND KRIPPEN IM ALLGEMEINEN

Die Umsetzung von kreislaufgerechtem Bauen kann in Gemeindebauten den Menschen die Thematik näherbringen, Skepsis und Bedenken nehmen und gleichzeitig positive Wirkung auf die Stadt und deren Außendarstellung erwirken. Da das Anliegen der Nachhaltigkeit und der Ressourcenschonung jedem Bürger bekannt ist und Architektur in der Umsetzung von Neu- und Umbauten immer mit einer Verwendung von Ressourcen einhergeht, ist es umso wichtiger zu zeigen, wie diese möglichst schonend und unter dem Einbezug zukünftiger Generationen umgesetzt werden kann. Heutzutage herrscht nicht nur in Großstädten ein Mangel an Tagesbetreuungsplätzen für Kleinkinder, auch in den ländlichen Regionen wächst der Bedarf besonders in der Betreuung von Kindern unter drei Jahren. Aktuell werden viele Kindergärten in Städten und ländlichen Regionen neu- oder ausgebaut. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.8f)

Der wachsende Bedarf für Kinderbetreuungsplätze insbesondere für jene im Alter von unter drei Jahren wird zukünftig steigen. Ein Mindestanstieg der Versorgungsquote um etwa 10 % von den bisherigen 33 % im Jahr 2018 sah bereits die Bundesregierung von Deutschland in einem Gesetzesentwurf zum qualitativen- und quantitativen Ausbau von Kindertagesbetreuungen vor. Nach aktuellen Einschätzungen wird dieser Bedarf jedoch weiter ansteigen. Laut der differenzierten Kita-Statistik, welche seit 2006 vom Statistischen Bundesamt in Deutschland geführt wird, verbringen die Kinder im Vergleich zu früher nicht mehr nur den Vormittag in einer Kindertageseinrichtung. Durchschnittlich stieg die Betreuungszeit seit Beginn der Erfassung bis zum Jahr 2018 bereits auf 35,9 Wochenstunden an. Dies bedeutet, die Kinder verbringen vergleichbar viel Zeit in der Einrichtung wie die Erwachsenen bei einer Vollzeitarbeitsstelle. Betrachtet man den Alltag eines Kindes, sind dies knapp 80 % ihres Wachzustandes. Die Einrichtung hat dadurch einen großen Einfluss auf den Alltag der Kinder, da sie in den Kindertagesstätten nicht nur Spielen und

neue Dinge erlernen, sondern ebenso Essen, Schlafen und sich zurückziehen wollen. (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 65f, 68f)

Die Planungsaufgabe eines Kindergartens bedarf anderen Anforderungen als andere öffentliche Bauten wie beispielsweise die eines Amtes, Altenpflegeheims oder eines Rathauses. Die Benutzer sind Kinder, sie unterscheiden sich nicht nur in der Körpergröße von Erwachsenen, sondern ebenso in ihrer Wahrnehmung. Im Alter von null bis sechs Jahren, in dem die Kinder die Einrichtung besuchen, durchleben sie große Entwicklungsschritte. Daher sollte ihre Umgebung sie bei dieser Entfaltung unterstützen und fördern. Die Kinder knüpfen hier meist erstmals Kontakte mit anderen, ihnen unbekannten Gleichaltrigen oder Erwachsenen ohne die Unterstützung der Eltern und entwickeln sich gleichzeitig in ihrer Persönlichkeit. Ebenso beginnen sie eigenständig oder mithilfe der Erzieher*innen neue Dinge zu lernen. Die Architektur eines solchen Gebäudes kann nur durch die zielgerichtete Ausrichtung auf ihre Benutzer*innen diese Aufgaben erfüllen. Bereits 1840 in der Entwicklung des Bautypus Kindergarten durch Friedrich Fröbel gab es prägnante Strukturen in der räumlichen Anordnung, die bis heute erhalten geblieben sind. Wie der Name des Gartens schon verrät, spielt besonders der großzügige Außenbereich eine wichtige Rolle. Besonders in ländlichen Räumen fällt dieser oftmals im Verhältnis zum Gebäude großzügig aus. Aufgrund verschiedener Gruppengrößen und Altersgruppen wie bei Kombinationen aus Kindergärten für Kinder von drei bis sechs Jahren und Krippen für Babys und Kleinkinder im Alter von null bis drei erfordert die Planung einer solchen Einrichtung die Berücksichtigung der jeweiligen Bedürfnisse und deren Zusammenspiel. Zudem existieren heute unterschiedliche pädagogische Konzepte, die in der Planung berücksichtigt werden müssen und von der klassischen Gruppeneinteilung abweichen. Die im folgenden Entwurf bearbeitete Kindertagesstätte wird für ein sogenanntes offenes Konzept entworfen. Hierbei können die Kinder frei entscheiden, was und mit wem sie etwas werken

oder spielen wollen, sie agieren gruppenübergreifend. Daher existieren keine klassischen Stammgruppen, sondern Themenräume, die einzelne Schwerpunkte fördern. Zudem stehen der Innen- und Außenraum in starkem Bezug zueinander. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.8f; Schumacher, A., 2019)

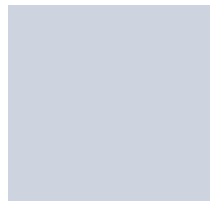
Die architektonisch vorgegebenen Räumlichkeiten sollten sich von den Kindern adaptieren lassen. Die Maßstäbe müssen durch die Augen der Kinder gesehen werden und sich gleichzeitig mit den Bedürfnissen der erwachsenen Nutzer*innen abstimmen lassen. Beispielsweise passen sich Handläufe und Treppenmaße sowie Sanitäreinrichtung und Küchen an die Körpergrößen der Kinder an. Die Räumlichkeiten eines Kindergartens sollten Erlebnisse für Kinder, gleichzeitig aber auch Ruhebereiche und Rückzugsmöglichkeiten anbieten. Durch unterschiedliche Ausstattungen und farbliche Gestaltungen werden für die Kinder Anreize geschaffen, wie sie die Räume nutzen können, gleichzeitig ermöglichen wenige Vorgaben einer bestimmten Raumnutzung eine kreative Freiheit und fördern die Erfindung eigener freier Spiele. Neben den Räumen, die hauptsächlich auf die Benutzung durch Kinder ausgerichtet sind, bedarf es besonders in größeren Kindertagesstätten an Nebenräumen und Küchen mit Lagerräumen, Hauswirtschaftsräumen und Personalräumen sowie Angebote für Eltern. Ein wichtiger Orientierungspunkt für alle Benutzer*innen ist der Eingangsbereich, der gleichzeitig ein Ankommensort sowie Abholbereich, aber auch ein Ort der Begegnung und Aufteilung sowie Information darstellt. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.8f, 11; Buch 2, S.51)

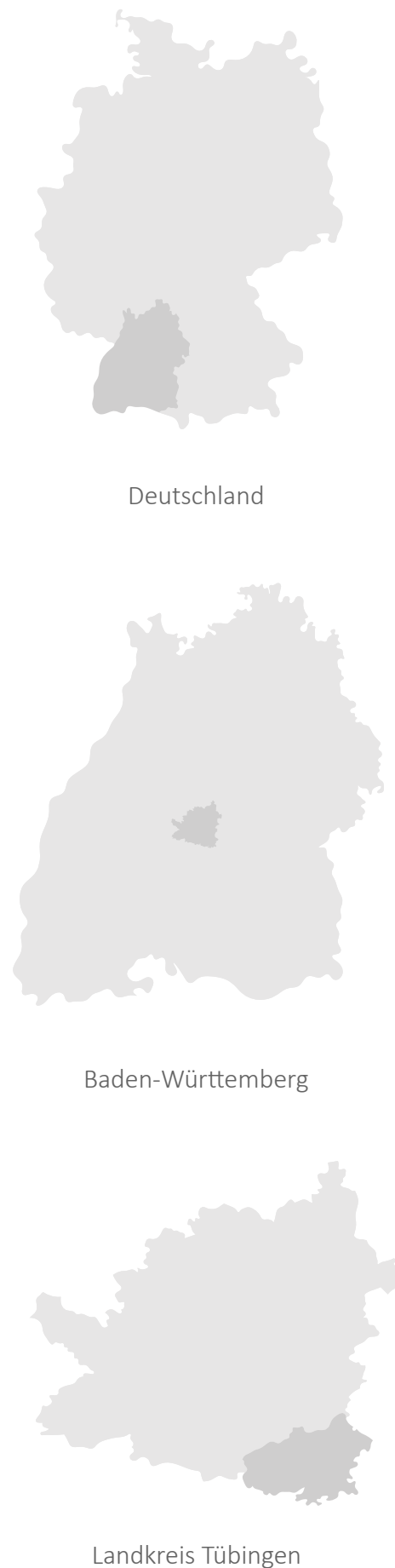
Zum einen bietet die Kindertagesstätte besonders in den Altersgruppen unter drei Jahren einen Ersatz für das eigene Zuhause und das elterliche Umfeld, zum anderen ist sie für alle Kinder ein wichtiger Förderungs- und Lernraum. Deshalb müssen sich die Kinder in den Räumen eigenständig und frei bewegen und zurechtfinden können, ohne Gefahren ausgesetzt zu sein oder die Orientierung zu verlieren. (Vgl. van Uffelen, C., 2020, S.14f)

Besonders für die kleinen Kinder ist es wichtig, durch ihre räumliche Struktur in der festgelegten Gruppe eine Nähe und Geborgenheit zu spüren, sowie den festen Bezug zu den Erziehern. Je älter die Kinder werden, umso stärker unterscheiden sie sich in ihren Bedürfnissen nach Ruhe, Rückzug und Nähe sowie Bewegung und vielfältige kreative Beschäftigungen. Daher bietet eine Aufteilung in Funktionsräume, welche über diverse Nutzungen verfügen, durch Rückzugsmöglichkeiten, kreative Bereiche und Tobe- und Spielflächen den Kindern eine individuelle Auswahlmöglichkeit, um sich den unterschiedlichen Entwicklungsständen und Charakterzügen der Kinder anzupassen. In der räumlichen Ausstattung von Kindertageseinrichtungen muss die Balance zwischen ausreichendem Anreicherungsreichtum und der Vermeidung einer Reizüberflutung gefunden werden. Die Räume müssen die Veränderungen ihrer Nutzer begleiten und durch ihre Veränderbarkeit Anpassungsmöglichkeiten bieten. (Vgl. Spieker, S., 2020, S.67f,81)

In östlichen Gegenden Deutschlands, in denen heute noch Platzmangel für Unterbringungen herrscht, wird durch den Rückgang der Geburtenrate schon bald mit einem Überangebot von Kindertageseinrichtungen gerechnet. Daher ist eine Umnutzungsmöglichkeit von Einrichtungen für zukünftige gesellschaftliche Wandel in solchen Regionen umso wichtiger. Aber auch in anderen Gegenden bilden Kindertageseinrichtungen teilweise Verbindungspunkte in Wohngebieten, in denen keine weiteren öffentlichen Einrichtungen vorhanden sind. Hier können sie auch als Familienzentren dienen, die beispielsweise am Wochenende für andere Veranstaltungen oder einzelne private Feste wie Kindergeburtstage genutzt werden können. Gleichzeitig können die Räumlichkeiten in ungenutzten Zeiten als Eltern-Kind-Treffen oder als soziale Anlaufstelle für Familien genutzt werden, wenn die Planung durch flexible Räume und diverse Raumangebote dies ermöglicht. (Vgl. Spieker, S., 2020, S.72)

WETTBEWERBSBESCHREIBUNG
VERORTUNG
GEBÄUDEKUBATUR
GEBÄUDE- UND DACHFLÄCHENAUSRICHTUNG
ENTWURFSERLÄUTERUNGEN
HAUSTECHNIK UND KLIMATISCHES KONZEPT
SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ UND BELICH-
TUNG DURCH TAGESLICHT
STATISCHES KONZEPT
BRANDSCHUTZKONZEPT
BAUTEILE UND MATERIALIEN
DISKUSSION





4.2. VERORTUNG

Der Bauplatz befindet sich in der großen Kreisstadt Mössingen. Diese liegt im deutschen Bundesland Baden-Württemberg, etwa 50 Kilometer südlich der Landeshauptstadt Stuttgart. Die Stadt zählt zum Kreis Tübingen und gehört zur Alb-Neckar Region. (Vgl. Abb.15) Zur kleinen Stadt am Fuße der schwäbischen Alb zählen die fünf Ortsteile Bäs-tenhardt, Bad Sebastiansweiler, Belsen, Öschin-gen und Talheim und umfasst im Gesamten etwa 20.000 Einwohner. Durch den Mössinger Bahnhof ist der Ort mithilfe von öffentlichen Verkehrsmitteln in den Norden mit den Städten Tübingen, Reut-lingen und Stuttgart sowie in den Süden bis nach Sigmaringen verbunden. Die Stadt bietet soziale, kulturelle und wirtschaftliche Vielfalt, so sind bei-spielsweise Betriebe der Holz-, Metall- und Textil-industrie in Mössingen angesiedelt. Bekannt ist die Stadt im Umkreis für ihre Blumen und Streuobst-wiesen und bietet in dieser Hinsicht ebenso für Touristen und Einheimische Freizeitangebote wie Themenwanderpfade und andere Naturerlebnisse. Ebenso gehört der größte Bergrutsch des Landes zur Stadt. Neben landschaftlicher Vielfalt bietet die Stadt für die Bewohner ein vielfältiges Freizeit- und Bildungsprogramm durch Frei- und Hallenbad, Sportvereine, eine Musikschule und unterschiedliche Betreuungsangebote für Kinder sowie unter-schiedliche Schulformen. (Vgl. Stadt Mössingen Stadtverwaltung a (Hrsg.), o.D.; Stadt Mössingen Stadtverwaltung b (Hrsg.), o.D.; Stadt Mössingen Stadtverwaltung c (Hrsg.), o.D.)

In der Kernstadt Mössingen und den Ortsteilen existieren vierzehn städtische Einrichtungen zur Betreuung von Kindern sowie fünf kirchliche und eine integrative Einrichtung eines freien Trägers. Der Entwurf setzt sich mit einem der acht in der Kernstadt liegenden Einrichtungen auseinander. Der Bestand eines Kindergartens aus den 1970er Jahren mit zwei Gruppen weicht nach ökonomi-schen Abwägungen der Auftraggeber*innen einer größeren Einrichtung mit drei Kindergartengrup-pen und zwei Krippengruppen. Bereits 2018 fand

zur Planungsaufgabe ein Wettbewerb statt, aus dem ein Sieger hervorging. Bislang wurden noch keine baulichen Maßnahmen zum Abriss des Be-standes ergriffen. Das eingeschossige Bestandsge-bäude nimmt einen kleinen Teil des Grundstücks ein und verfügt über einen großen Außenbereich mit einem schönen und erhaltenswerten Baumbestand. Äußerlich zeichnet sich das Gebäude durch seine vier sechseckigen Gebäudeteile sowie seine farbigen Fenster und Türen aus. (Vgl. Abb. 16, 17, 18) Zudem ist einer dieser Gebäudeteile unterkel-tert. Im Westen grenzt ein öffentlicher Spielplatz an das Gebäude, dessen Fläche im Rahmen des Neu-baus zum Grundstück einbezogen und zur freien Bebauung zur Verfügung gestellt wird. Die Auslo-bung und die Unterlagen des Wettbewerbs dienen als Grundlage des im Folgenden bearbeiteten Ent-wurfs. Dieser soll eine kreislaufgerechte Alternative zu herkömmlichen Wettbewerbsbeiträgen zeigen, mit dem Fokus auf einer nachhaltigen Planung im sozialen, ökologischen und ökonomischen Sinn, die in ihrer Qualität und Realisierbarkeit herkömmli-chen Bauweisen nicht nachstehen, sondern neue Möglichkeiten bieten. (Vgl. Stadt Mössingen Stadt-verwaltung a (Hrsg.), o.D.; Stadt Mössingen Stadt-verwaltung b (Hrsg.), o.D.; Stadt Mössingen Stadt-verwaltung c (Hrsg.), o.D.)



Abb. 16 Bestandskindergarten Eingang
(eigene Aufnahme)



Abb. 17 Bestandskindergarten von Osten
(eigene Aufnahme)

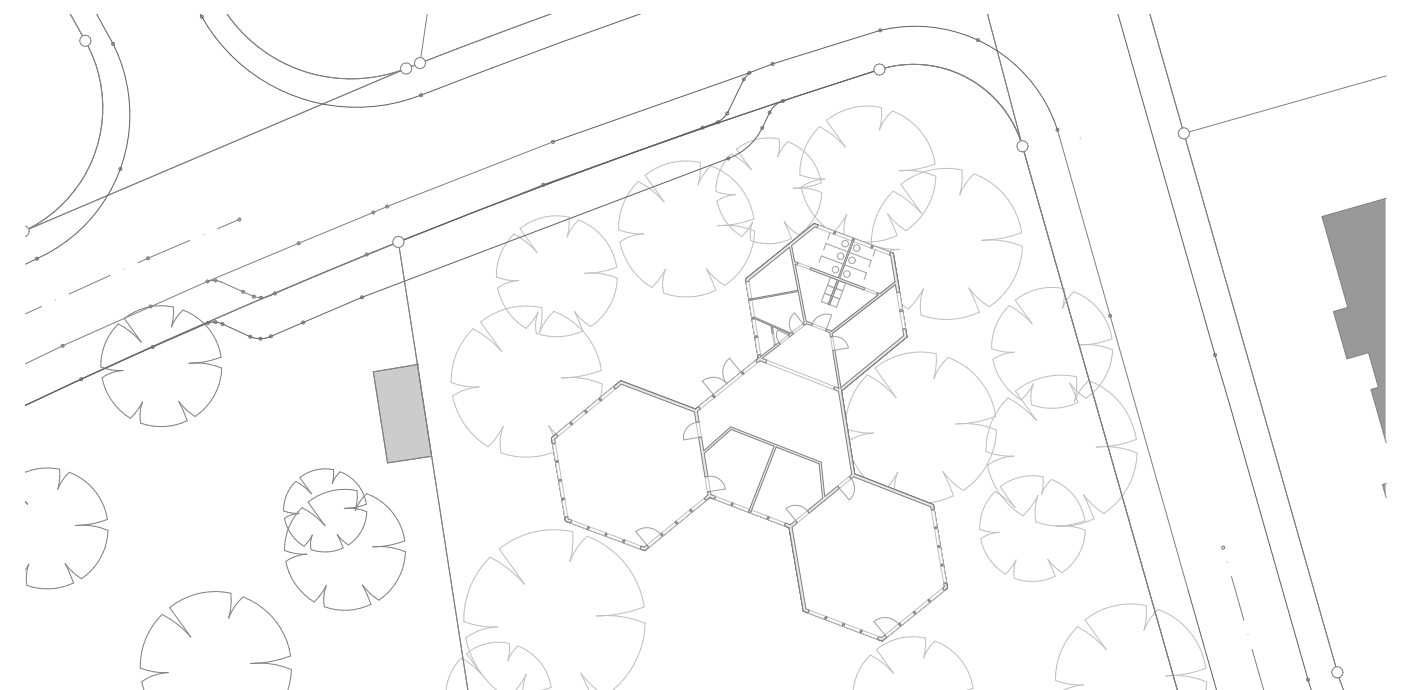


Abb. 18 Bestandsgebäude Grundriss M. 1:500



Abb. 19 Schwarzplan M. 1:5000

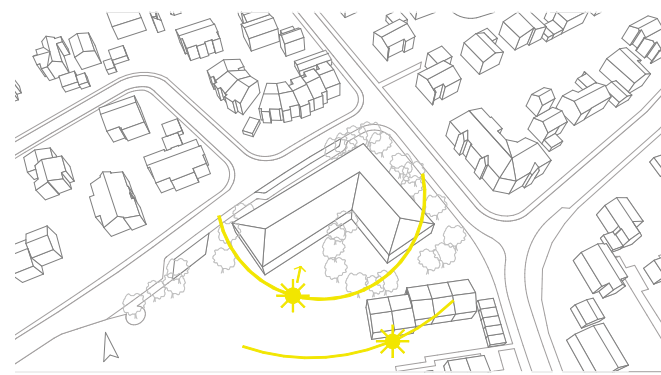
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



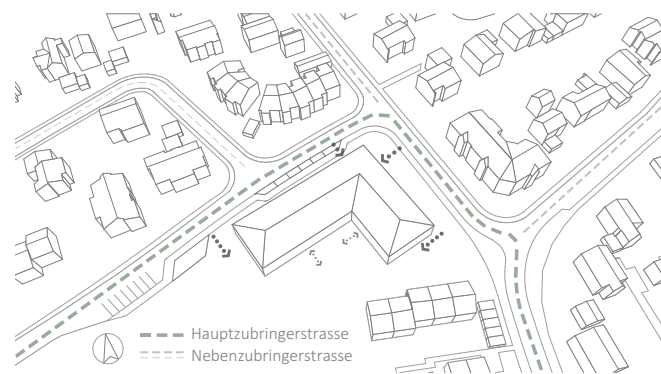
Abb. 20 Städtische Einrichtungen M. 1:75000



Abb. 21 Lageplan M. 1:1000



Sonnenverlauf



Verkehrswege



Grünraum



Umgebungsbebauung

Abb. 22 Piktogramme

4.2.1. STÄDTEBAULICHER KONTEXT

Das Grundstück, auf dem bereits der bestehende Kindergarten steht, befindet sich an der Ecke der Straßen Heuweg und Reußensteinstraße, die östlich und nördlich des Grundstücks verlaufen. Es liegt inmitten eines Wohnumfeldes mit drei- und viergeschossigen Ein- und Mehrfamilienhäusern. Die Straßen sind durch ihr Tempolimit von 30 km/h und der raren Frequentierung sehr ruhig. Parkmöglichkeiten bestehen bereits in Einbuchtungen der Straße am Grundstück und dessen unmittelbarer Nähe sowie am Straßenrand. Zudem erfolgt die Zubringung der Kinder oftmals zu Fuß oder mit dem Fahrrad. Das Grundstück verfügt über einen großen Baumbestand, welcher erhaltenswert ist. Im Süden grenzt das Grundstück an Reihenwohnhäuser, die über einen Fußweg erschlossen werden, sowie im Südwesten und Westen an großzügige Rasenflächen und Fußballfelder der Stadt. Weiter südlich an die Rasenflächen grenzend befindet sich das Sportstadion und weitere Parkplätze sowie eine Grundschule und ein Kindergarten. Durch den Baumbestand, der parallel zu den Hauptverkehrsachsen, den Straßen verläuft, rückt das Gebäude bei einer Erhaltung derer vom Gehsteig um einige Meter ab und ist somit gleichzeitig blick- und lärmgeschützt. (Vgl. Abb. 22)

4.3. DIE GEBÄUDEKUBATUR

Bereits im Entwurf spielt die Wahl der Form für den Neubau eine zentrale Rolle, da sie nicht nur städtebaulich das Bild einer Stadt oder eines Gebietes beeinflusst, sondern auch ökologische Auswirkungen auf dessen Umwelt hat. In allen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes bestimmt unter anderem die Form über den ökologischen Fußabdruck und die Inanspruchnahme von Ressourcen. Nicht nur die flächenmäßige Ausbreitung des Gebäudes und die damit einhergehende Flächenversiegelung mit der möglichen Zerstörung bestehender Grünräume spielen in der Entscheidung eine Rolle, ebenso werden durch festgelegte Spannweiten und Höhenangaben erste Entscheidungen für oder

gegen die Umsetzung unter Verwendung gewisser Materialien wie beispielsweise Holz getroffen. Gleichfalls ist die Kubatur für den Energiebedarf eines Gebäudes entscheidend, da durch ein gutes Verhältnis von Außenfläche zu Raumvolumen der energetische Verbrauch des Gebäudes während der Nutzung verbessert werden kann. Eine durchgängige Außenhülle und die Vermeidung von Auskragungen verhindern Wärmebrücken und komplizierte Details, was im Bau, der Nutzungsphase und im Rückbau Vorteile bietet. Auch Entscheidungen wie Unterkellerungen sollten gut überlegt sein, da nicht nur die Aushubmasse beseitigt oder weiterverwendet werden muss, auch im Falle eines Abrisses würde die Nachbildung von ungefähr einem Zentimeter Boden etwa 100 Jahre dauern, gleichzeitig werden im Falle von Grabungen wichtige Organismen, die sich in den Böden befinden, zerstört. Daher ist es ratsam, eine Unterkellerung zu vermeiden und bodenschonende Gründungen auszubilden. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S.11)

Da lediglich eine kleine Fläche des Bestandsgebäudes bereits unterkellert ist und das Raumprogramm keine Notwendigkeit vorsieht, kann im Entwurf auf ein unterirdisches Geschoss verzichtet werden. Das geplante Gebäude kann auf zwei Geschossen als L-förmiger Baukörper die Forderungen des Raumprogramms mit hohen Raumqualitäten anbieten. Dadurch ergibt sich eine geschossübergreifende geschlossene Außenhülle, die unter Ausnahme zweier Einschnitte an der Südseite und dem Eingangsbereich ausgebildet wird und dadurch konstruktiv simple Lösungen der Ausführung von Wärme- und Winddichtheit ermöglicht. Die Ausbreitung des Gebäudes in seiner Grundfläche begrenzt sich auf die geforderten Raumgrößen für den Erdgeschossbereich. Das Grundstück verfügt über eine Fläche von 4.291,19 Quadratmeter. Die Geschossfläche im Erdgeschoss begrenzt sich auf 1052,65 Quadratmeter, die des Obergeschosses auf 1.122,97 Quadratmeter. Damit liegt die Grundflächenzahl bei 0,26 und die Geschossflächenzahl, welche die Bebauungsdichte beschreibt, bei 0,5. Die Orientierungswerte einer Obergrenze der Grundflächen-

zahl der baden-württembergischen Baunutzungsverordnung liegen sowohl in reinen Wohngebieten als auch in allgemeinen Wohngebieten bei 0,4, bei der Geschossflächenzahl liegt diese Obergrenze bei 1,2. Daher lassen sich mögliche Erweiterungen bei Bedarf in der vertikalen sowie in der horizontalen Ebene in Zukunft rechtlich umsetzen. (Vgl. § 17 Absatz 1,2 Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke Baunutzungsverordnung.)

4.4. GEBÄUDE- UND DACHFLÄCHENAUSRICHTUNG

Durch den Verlauf der Straße entlang der nördlichen und östlichen Grundstücksgrenze sowie die Anordnung der Bestandsbäume parallel dazu ergibt sich in angepasster Reaktion auf die umgebenden Gebäude eine winkelförmige Bauform. Sie folgt entlang der Verkehrsachsen und bildet dadurch einen geschützten, von der Straße getrennten Außenraum für das freie Spiel der Kinder aus. Der zentrale Zugang ins Gebäude befindet sich von beiden Straßen aus erkennbar an der Ecke des Baukörpers und wird durch einen Rücksprung der Fassade erkenntlich. Die beiden an der Ecke verbundenen 15 Meter breiten Riegel sind somit entlang der nördlichen Straße in Nord-Südrichtung orientiert, an der östlichen Straße hingegen ost-westlich. Für die Erschließung ergeben sich aus der Gebäudeform lineare Erschließungssysteme, die zum einen als funktionaler Mittelgang und zum anderen als großzügiger Spielflur entlang der westlichen Seite ausgebildet sind. Die Ausrichtung des Gebäudes bietet den Vorteil, Bereiche mit verschiedenen Lichtsituationen und Blickbeziehungen zwischen Innen- und Außenraum anzubieten. Gleichzeitig umrahmt das Gebäude den großzügigen Außenbereich an der südwestlichen Seite des Grundstückes und schafft eine Barriere zum Straßenraum, bezieht aber gleichzeitig Spielflächen im Außenraum als wichtigen Bestandteil der Einrichtung in den Innenraum durch Blickbeziehungen und Durchwegungen mit ein. (Vgl. Abb. 21)

Wie auch bei den umgebenden Gebäuden üblich

und sinnvoll, besitzt die Kindertagesstätte eine schräge Dachform. Diese bietet durch ihre Ausrichtung in alle Himmelsrichtungen und die große Fläche ausreichend Platz für Solarzellen. Die Neigung des Daches mit einem Winkel von 20 Grad leitet sich durch den bestmöglichen Einfallswinkel von österlicher, südlicher und westlicher Sonneneinstrahlung ab. Der genaue solare Eintrag von Strahlung für ausgewählte Tage oder Monate lässt sich schwer vorhersagen, allerdings können die Werte eines Jahres präzise vorhergesagt werden. Da das Grundstück im Süden Deutschlands liegt, ist die Sonneneinstrahlung dort höher als im Norden. Trotzdem schwankt sie wie in ganz Europa infolge der Jahreszeiten und den unterschiedlichen Witterungen. Grundsätzlich bietet sich bei südlicher Ausrichtung der Solarzellen eine steilere Dachneigung an, jedoch werden im Osten und Westen bei zu starken Neigungen die Photovoltaikpaneele von dem eigenen Dach verschattet. Da der Vorteil in der Ausnutzung des Potenzials von östlicher und westlicher Einstrahlung insgesamt in Kombination mit der des südlichen bei einem geringeren Neigungswinkel überwiegt, wird die Neigung an den Bedarf des Ost-West ausgerichteten Gebäudeteils angepasst. Zudem gehen durch die Abweichung der optimalen 30 Grad Neigung der südlichen Dachfläche nur wenige Prozent in der Ergiebigkeit verloren. Gleichzeitig entstehen durch den flacheren Winkel auch im Inneren weniger ungenutzte Raumhöhen. (Vgl. Becker, G. et al., 2016, S.25f; Wagner, E., 2021)



Abb. 23 Modellfoto

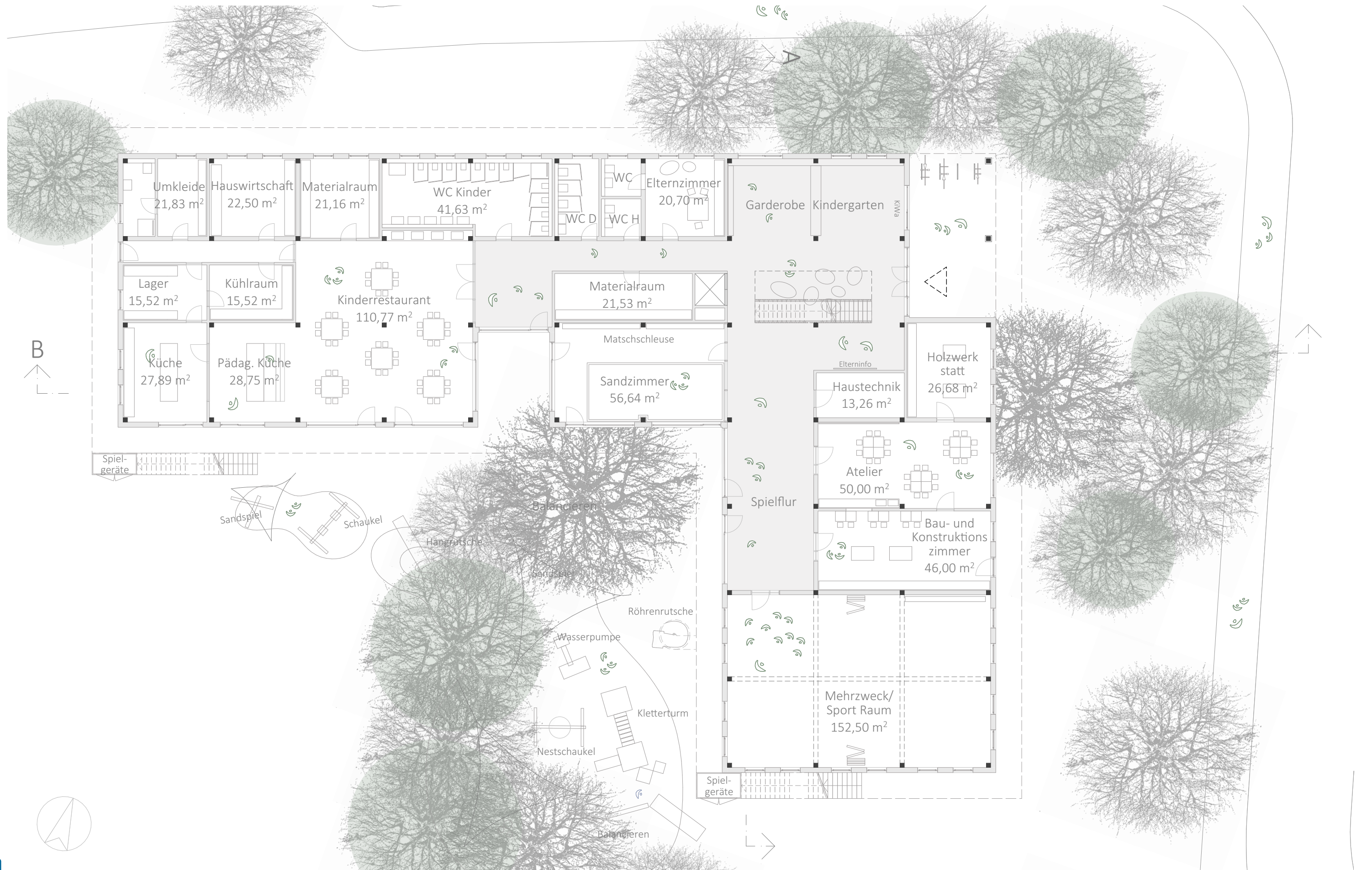


Abb. 24 Erdgeschoss M. 1:200

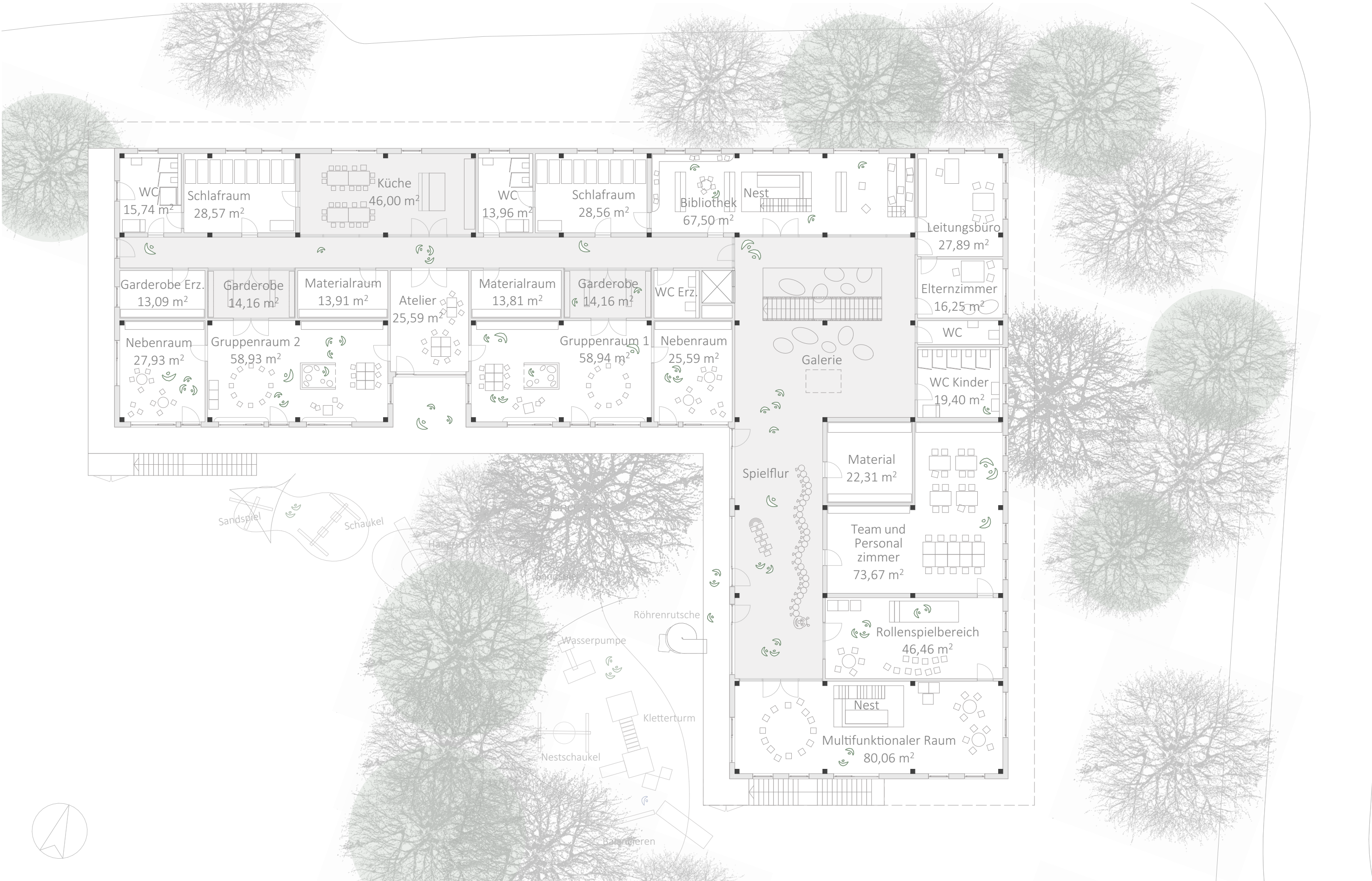


Abb. 25 Obergeschoss M. 1:200



Abb. 26 Straßenansicht



Abb. 27 Ansicht Nord M. 1:200



Abb. 28 Ansicht Ost M. 1:200

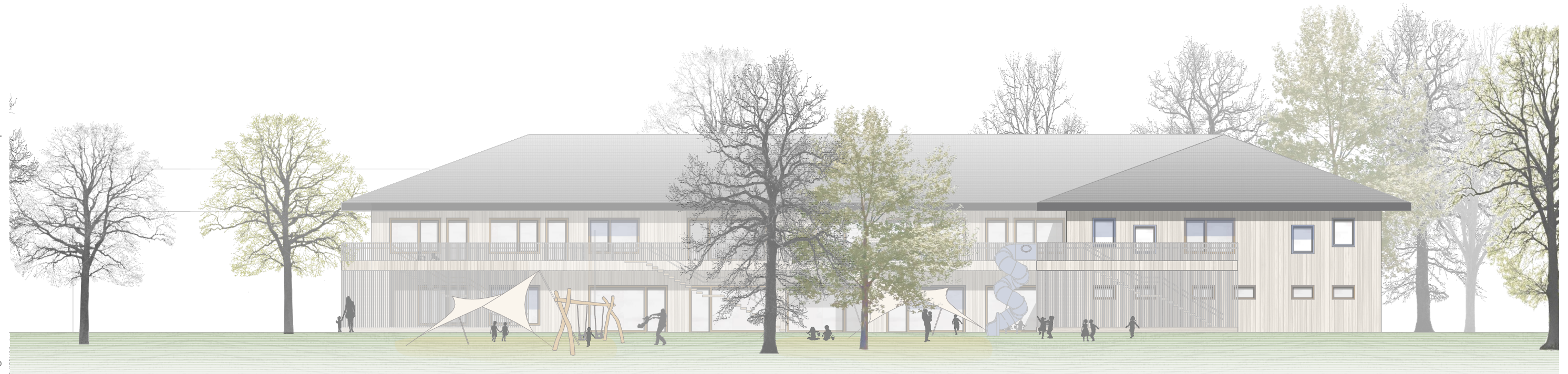


Abb. 29 Ansicht Süd M. 1:200



Abb. 30 Ansicht West M. 1:200

4.5. ENTURFSERLÄUTERUNGEN

4.5.1. AUSSENRAUMGESTALTUNG

Der Außenraum stellt für die Kinder einen wichtigen Bereich der alltäglichen Nutzung des Gebäudes dar, da diese sich besonders in den Sommermonaten zu einem großen Teil der Zeit im Freien aufhalten. Er bietet den Kindern eine Zone zur freien Bewegung und Entdeckungen. Durch die gestalterische Vielfalt entsteht eine Varianz an Beschäftigungsmöglichkeiten. Für die Erzieher ist besonders die Einsehbarkeit des Außenraums wichtig sowie die Abtrennung vom Straßenraum durch das Gebäude, Zäune oder andere Maßnahmen wie dichte Büsche und Hecken. Auf dem Grundstück verfügt der Grünraum bereits über einen vielfältigen Baumbestand mit großen Bäumen und Büschen, Rasenflächen und Hügeln, durch die Spieltunnel verlaufen. Der vorhandene Pflanzenbestand stellt einen wilden Bereich dar, der den Kindern den Kontakt mit dort lebenden Insekten ermöglicht, gleichzeitig dienen Bäume als Verstecke und Rückzugsmöglichkeiten und verschatten einige Bereiche des Gartens. Der Baumbestand, der von Nord nach Süd verläuft, grenzt den Garten optisch und physisch in zwei Bereiche ab, während die Bäume im Süden eine spürbare Grenze zur benachbarten Wohnbebauung darstellen. Zwischen der mittigen, von Nord nach Süd verlaufenden Baumreihe und dem Gebäude entsteht die Spielfläche, die primär zur Nutzung der älteren Kinder gedacht ist. Hier bietet eine großzügige Sandfläche, welche von Bäumen und Sonnensegeln verschattet wird, den Kindern des Kindergartens freie Flächen und Spielangebote wie etwa eine Wasserpumpe, eine Schaukel, den Kletterturm und den Balancierbaumstämmen einen Bereich zur Bewegung und freien Entfaltung. Im westlichen Teil ist die Spiel- und Bewegungsfläche der unter Dreijährigen angeordnet, mit einer Rutsche auf einem aufgeschütteten Hügel, einen Sandspielbereich sowie einer Schaukel. Damit wird den Kindern durch die vielfältigen Möglichkeiten das Matschen, Klettern auf den Rutschhügel und das Spielen ermöglicht. (Vgl. Abb. 24-30) (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 30f)

4.5.2. INNENRAUMGESTALTUNG

Die Anforderungen an den Innenraum ergeben sich größtenteils aus dem pädagogischen Konzept des offenen Kindergartens, der den Kindern keine festen Gruppenräume vorschreibt, sondern ihnen freie Entscheidungsmöglichkeiten anbietet, sowie dessen Gruppengrößen und den für die Krippenbetreuung geforderten separaten Räumlichkeiten. Durch das Raumprogramm werden die benötigten Räume und Bewegungsabläufe des Alltags erläutert, die im Entwurf möglichst sinnvoll umgesetzt werden. Die Art der Raumaufteilung zwischen der Krippe für die Null bis Sechsjährigen und dem Kindergarten für Kinder ab drei Jahren unterscheidet sich deutlich voneinander. Während die Aufteilung des Krippenbereiches eine klare Unterteilung der zwei Gruppen aufweist mit eigenen Garderobebereichen, Gruppen- und Nebenraum sowie einem Schlafräum und getrennten Sanitärbereichen, stehen zur Betreuung der Kindergartenkinder keine Gruppenräume, sondern Aktions- und Nutzungsräume zur freien Verwendung den Kindern und Erzieher*innen zur Verfügung. Dadurch können die Kinder frei entscheiden, welcher Aktivität sie nachgehen möchte und mit wem sie diese erleben. Zudem können sie sich innerhalb des Gebäudes frei bewegen, ohne an feste Gruppenräume gebunden zu sein und haben dadurch mehr Platz und vielfältige Anregungen. Die Räume der gesamten Einrichtung sind großzügig gestaltet, um den Kindern die freie Bewegungsmöglichkeit zu geben. Durch geräumige Erschließungsflächen, die nicht nur als Verkehrszonen, sondern auch als Spielflächen dienen, sind mögliche Bewegungsabläufe zur Erschließung der einzelnen Werk- und Aufenthaltsräume vorgegeben, gleichzeitig sind durch Verbindungen zwischen den einzelnen Themenräumen weitere Durchwegungen möglich. Die Grundrissstruktur der Anordnung ist simpel, jedoch entstehen durch die unterschiedliche Belichtungssituationen und die Varianz der Raumgrößen vielseitige Raumeindrücke. Gleichzeitig sind die Räume in ihrer Ausstattung nicht überladen, um die freie Bewegung und Entfaltung der Kinder zu ermöglichen,

die Fantasie anzuregen und nicht zu überfordern. In einzelnen Räumen können die Kinder bei deren Gestaltung mitwirken und sich diese somit aneignen, wie beispielsweise im Atelier mithilfe von bemalbaren Wänden. Die Räumlichkeiten werden neben den großen Bewegungsflächen durch eine sparsame Möblierung gegliedert, welche Beschäftigungsanreize bietet, jedoch nach Bedarf verschoben und umgestaltet werden kann. Zugleich werden durch Sitzbänke an den Fenstern neben den Bewegungsflächen auch ruhigere Bereiche für die Kinder geschaffen. Durch die Fensteröffnungen, die besonders im Spielflur und dem Kinderrestaurant großzügig sind, erhalten die Kinder direkte Einblicke in den Außenraum, können so auch andere Kinder beobachten, mit ihnen interagieren und am Geschehen teilhaben. Gleichzeitig ermöglichen die kleineren Fenster an den Straßenseiten mithilfe der Jalousien einen Schutz der Privatsphäre und lassen dennoch die Möglichkeit offen, von innen den Straßenraum zu beobachten. (Vgl. Abb. 31,32) (Vgl. Spieker, S., 2020, S.43)

4.5.3. FENSTERÖFFNUNGEN

Die Größe, Form und Anordnung von Fensterflächen sind entscheidend für das Raumgefühl im Gebäude bei Tageslicht. Zum einen schaffen sie eine Verbindung zwischen innen und Außen, gleichzeitig sorgt der Lichteinfall in den Räumen im Laufe des Tages für unterschiedliche Raumsituationen. Die Kinder nehmen helle und schattige Bereiche des Raumes unterschiedlich wahr, beispielsweise können einzelne Bereiche wie solche vor bodentiefen Fenstern durch die von der Sonne erzeugte Erwärmung des Bodens als besonders angenehm empfunden werden. Andererseits lenken Fensteröffnungen oder Glastüren auch zwischen den Räumen den Blick auf bestimmte Räume oder einzelne Zonen. Im Zusammenspiel mit Oberflächenmaterialien, wie beispielsweise Holz, welches sich im Gebäude als Innenverkleidung einiger Wände, der Möblierung und teilweise als Bodenflächen wiederfindet, werden so behagliche Raumatmosphären geschaffen. Zudem können die Größen

der Fensteröffnungen den Kindern Orientierung über die Nutzung der Räume geben. Stark belichtete Spielfläche oder Gruppenräume im Gegensatz zu ruhigeren Zonen wie einer Bibliothek oder einem Schlafbereich, die mit kleineren Fensterflächen für mehr schattige Bereiche sorgen und damit eher einen Ort des Rückzuges bieten. Einzelne Fensteröffnungen, wie etwa jenes über dem offenen Treppenbereich angeordnete Dachfenster, lenken gezielt den Fokus auf die Galerie, die als gemütlicher Sitzbereich mit Beobachtungsmöglichkeit des Geschehens im Erdgeschoss dient. Die großzügigen Festverglasungen und Türöffnungen im Erd- und Obergeschoss zum Spielflur sowie des Kinderrestaurants ermöglichen den Kindern eine Sicht nach Außen und lassen die Räume zu hellen und bewegten Zonen werden. Zudem können die Fensterflächen im Obergeschoss den Fokus auf die farbigen Bodengestaltungsakzente lenken, die den Kindern Spielmöglichkeiten vorschlagen und zugleich eine Unterscheidung des oberen und unteren Bereiches schaffen. Gleichzeitig ermöglichen die kleineren Fensteröffnungen in den Themenräumen wie dem Atelier, dem Rollenspielbereich und den Multifunktionsräumen ein geschütztes Spiel ohne Einblicke von außen. Funktional bestehen weitere Anforderungen an Fensteröffnungen, da diese beim Öffnen und Schließen keine Gefahren für die Kinder darstellen dürfen. Die von Kindern erreichbaren Fenstern sind ohne Schlüssel nur kippbar und mit der Funktion Kipp vor Dreh ausgestattet. (Vgl. Abb. 33) (Vgl. Spieker, S., 2020, Seite 55, 286)

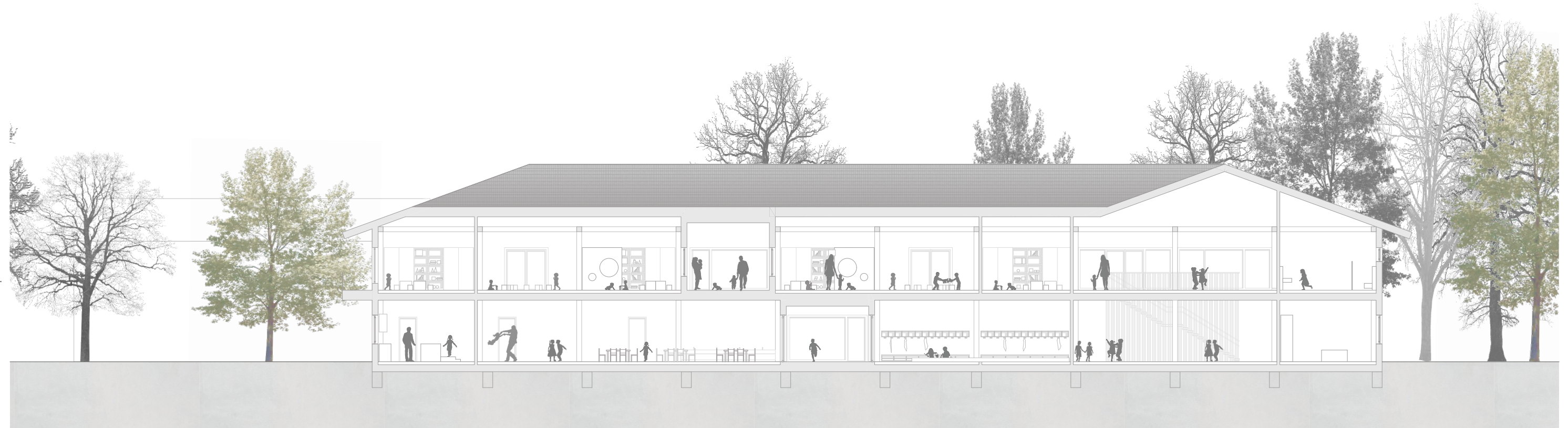


Abb. 31 Schnitt B-B M. 1:200

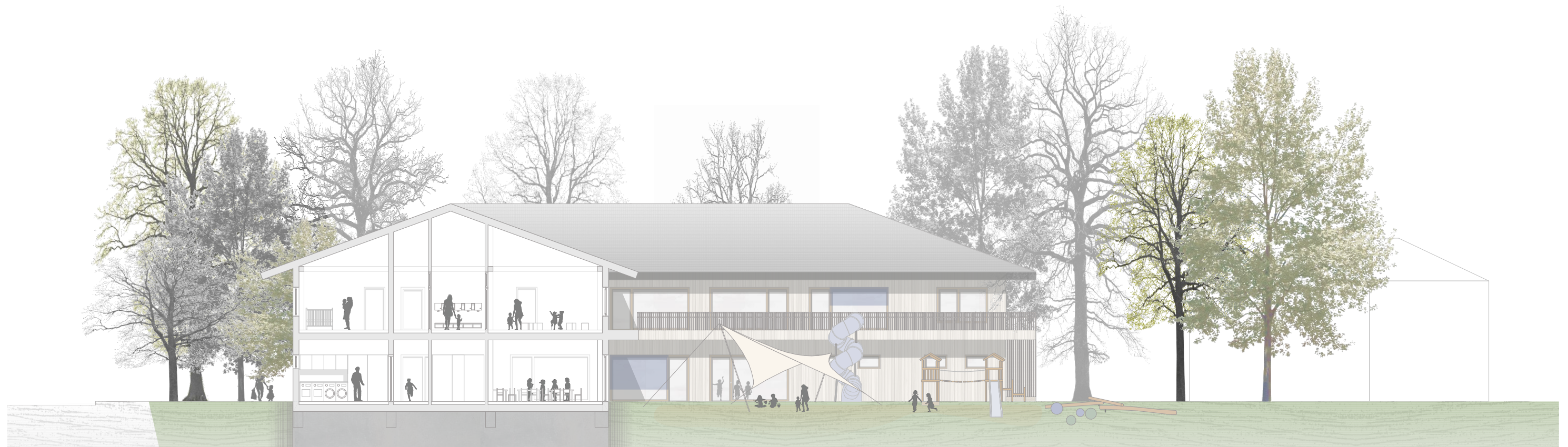


Abb. 32 Schnittansicht West M. 1:200



Abb. 33 Modellfoto

4.5.4. EINGANGSBEREICH

Der Eingangsbereich wird durch seine vom Rücksprung erzeugte Überdachung besonders hervorgehoben und bietet gleichzeitig eine Abstellmöglichkeit im Freien für Fahrräder und Kinderwagen. Er stellt die Schwelle dar, in der die Kinder von der einen in die andere Welt übertreten. Der Eingangsbereich ist ein häufig frequentierter Bereich, er bildet den Ort der Verabschiedung von den Eltern und der Begrüßung von anderen Kindern. Gleichzeitig bietet er die Möglichkeit sich einen Überblick über das Geschehen zu verschaffen. Die Kinder erhalten den Einblick in das Sandzimmer, den Spielflur und den Garten sowie den Gang, der zum Kinderrestaurant führt. Die frei stehende, ins Obergeschoss führende Treppe ist hier ein raumbildendes Element. Unter der großen Treppe sind freie Sitzmöbel zur Nutzung von wartenden Eltern und Kindern vorgesehen. Der erste Anlaufpunkt der Kinder des Kindergartens nach dem Ankommen ist der rechtsseitig angeordnete Garderobenbereich, mit den persönlichen Fächern der Kinder, der nur durch die Möblierung definiert wird. Linksseitig befindet sich eine Informationstafel für Eltern, die über alltägliche Geschehnisse sowie Besonderheiten informieren. Die unter dreijährigen Kinder der Krippe gelangen mit den Eltern über die zentrale Treppe in das Obergeschoss, wo sie auf einen vom Kindergarten durch eine Glastüre abgetrennten Bereich zusteuern. Dort grenzen an den Flur zwei separate Garderobenbereiche für die einzelnen Gruppen an. (Vgl. Abb. 36) (Vgl. Spieker, S., 2020, S.47)

4.5.5. RÄUMLICHE EBENEN UND SCHUTZRÄUME

In der Planung der Räumlichkeiten für Kinder sind der Blickwinkel und die Nutzbarkeit durch die Kinder verschiedenen Alters in ihrem jeweiligen körperlichen und emotionalen Entwicklungsstand zu berücksichtigen sowie die Belange der Erzieher*innen. Die Kinder benötigen oftmals besonders in großen Räumen Möglichkeiten des Rückzugs und der Adaption. Für die Ausbildung von Territorien, die die Kinder für sich einnehmen können, dienen

neben den architektonisch festgelegten räumlichen Begrenzungen durch Wände und Decken ebenso unterschiedliche Ebenen im Raum. Die Nester in Bibliothek, dem Multifunktionsraum und in den Gruppenräumen der Krippe bieten die Möglichkeit, die Räume aus einer anderen Perspektive wahrzunehmen und stellen gleichzeitig einen Ort des Rückzugs da. Ebenso findet durch die Ausbildung der Schwelle, die zum Betreten des unteren Innenraums des Nestes überschritten werden muss, eine Abgrenzung vom übrigen Raum statt. Auch durch Sitzbänke an den Fensteröffnungen oder das Podest in der Bibliothek, welches als Stauraum für Matratzen somit auch eine Schlafmöglichkeit anbietet, entstehen innerhalb eines Raumes unterschiedliche Ebenen, welche die Kinder für sich vereinnahmen können. Die unterschiedlichen Sitzhöhen ermöglichen zudem eine Art Amphitheater für mögliches Vorlesen von Büchern oder kleine Aufführungen. Auch die variierenden Lichtverhältnisse in den Räumen und der Wechsel aus Licht und Schattenzonen schaffen diverse Erfahrungsbereiche. Interessant sind auch die Blickbeziehungen und Abschottungen innerhalb des Gebäudes, die durch Winkel und Öffnungen ausgebildet werden und die sowohl ein Verstecken als auch das Gesehenwerden ermöglichen. Durch schmale festverglaste Öffnungen neben den Zugangstüren, die von den Spielfluren in die einzelnen Räume abgehen, können zum einen die Erzieher das Geschehen in den Räumen beobachten, gleichzeitig können sich auch die Kinder bewusst gegenseitig betrachten oder voreinander verstecken. Auch durch die Verbindung mithilfe festverglaster Fensteröffnungen, wie etwa zwischen der Holzwerkstatt und dem Atelier kann ein gegenseitiger Austausch unterschiedlicher Räume stattfinden. (Vgl. Abb. 34, 35, 37-42) (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 59)

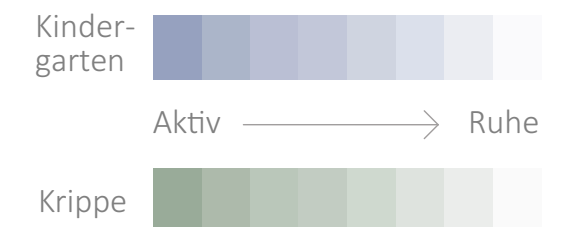
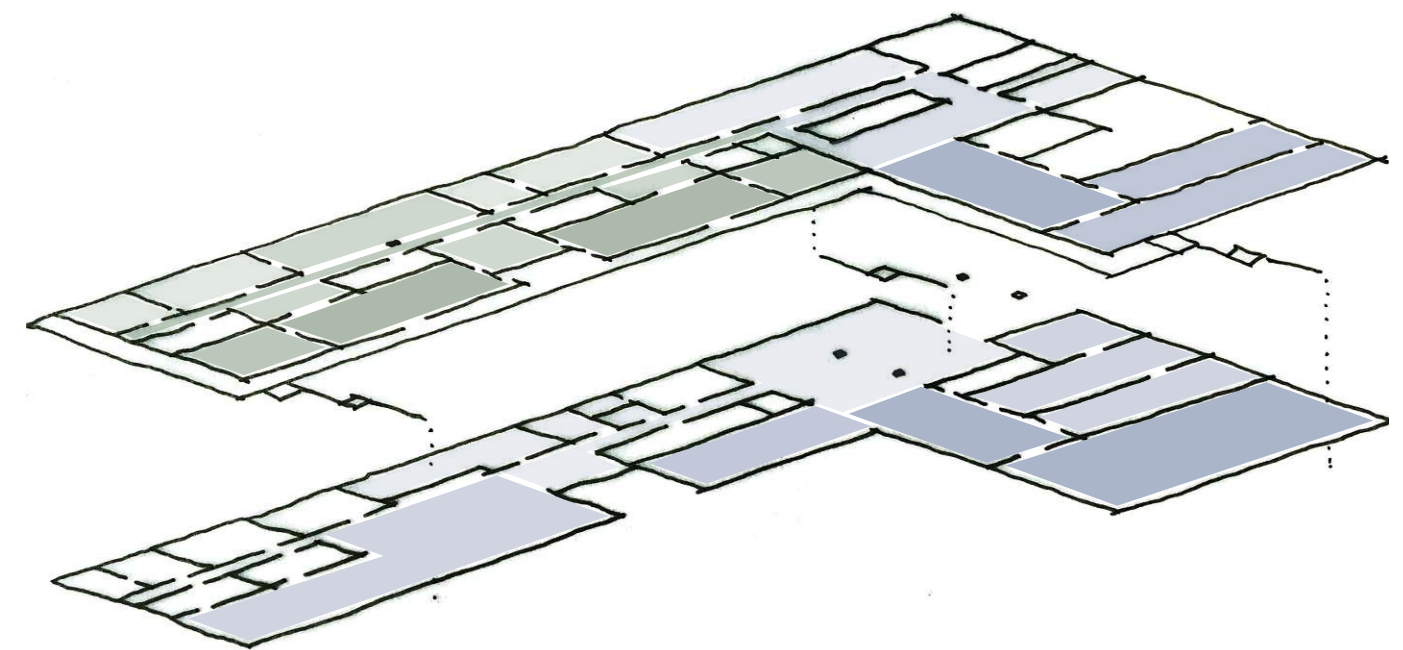


Abb. 34 Aktivzonen und Ruhebereiche

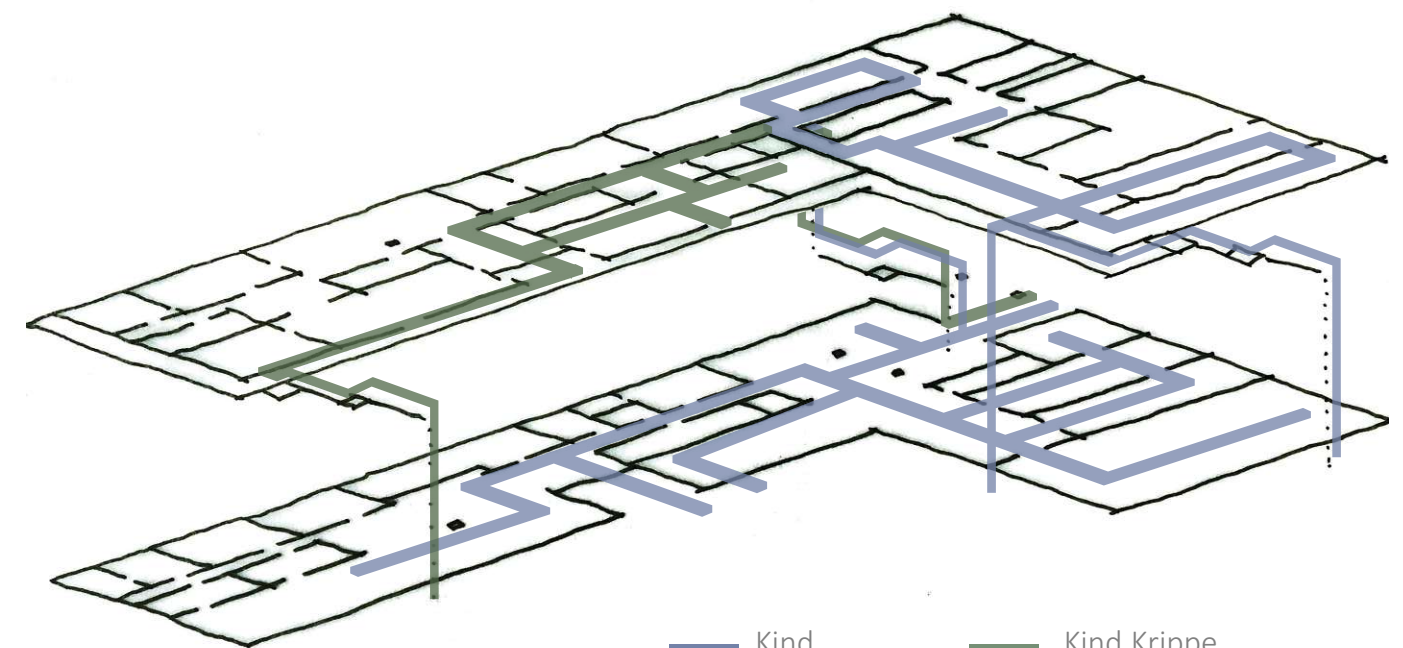


Abb 35 Durchwegung

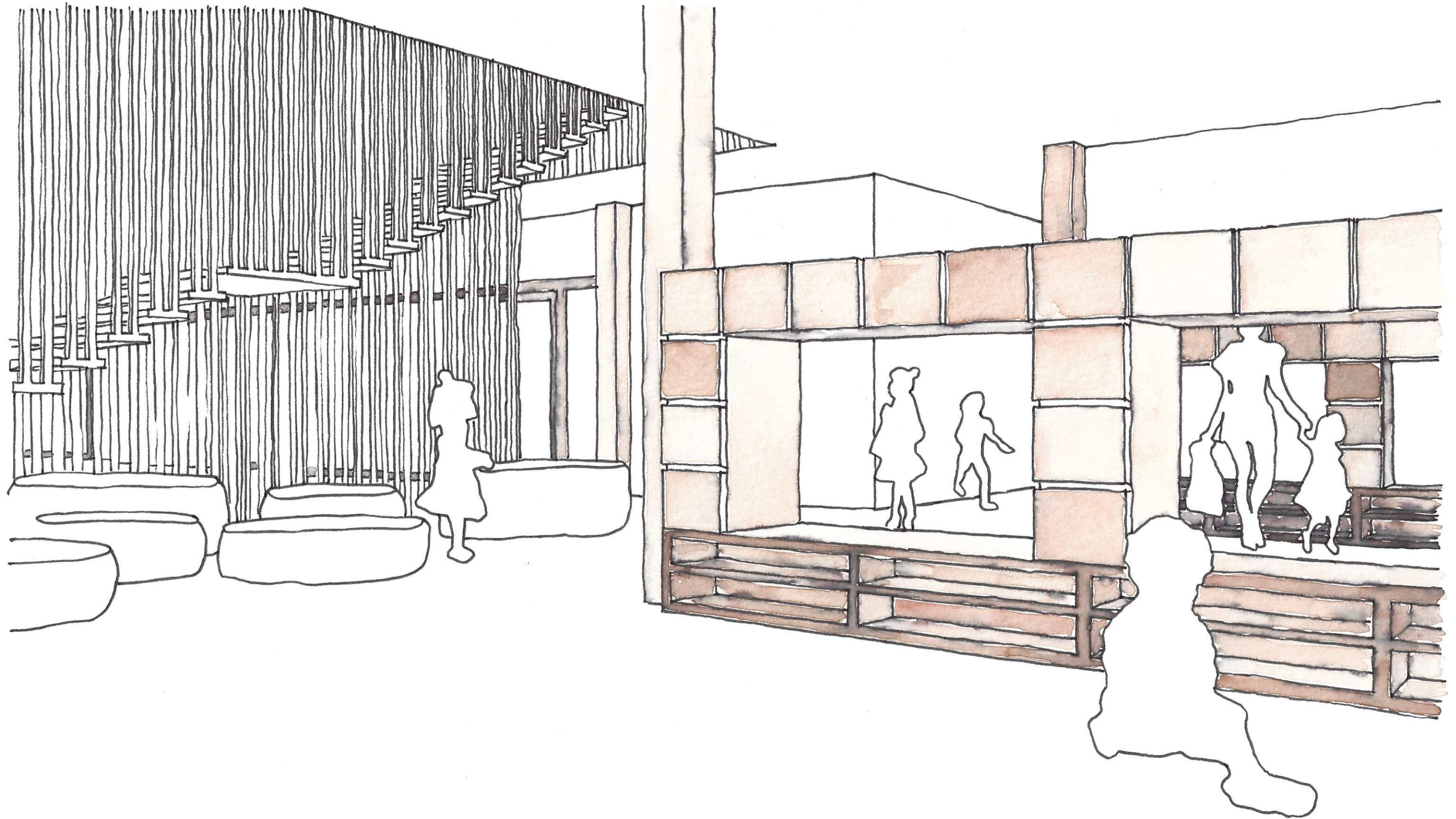


Abb. 36 Eingangsbereich

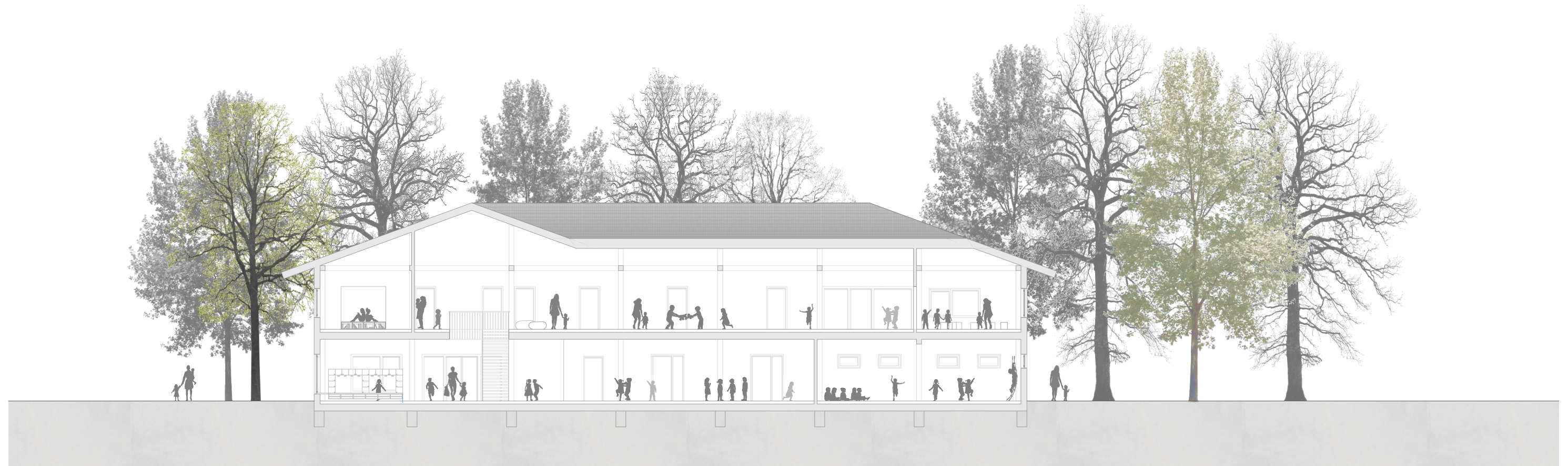


Abb. 37 Schnitt A-A M. 1:200

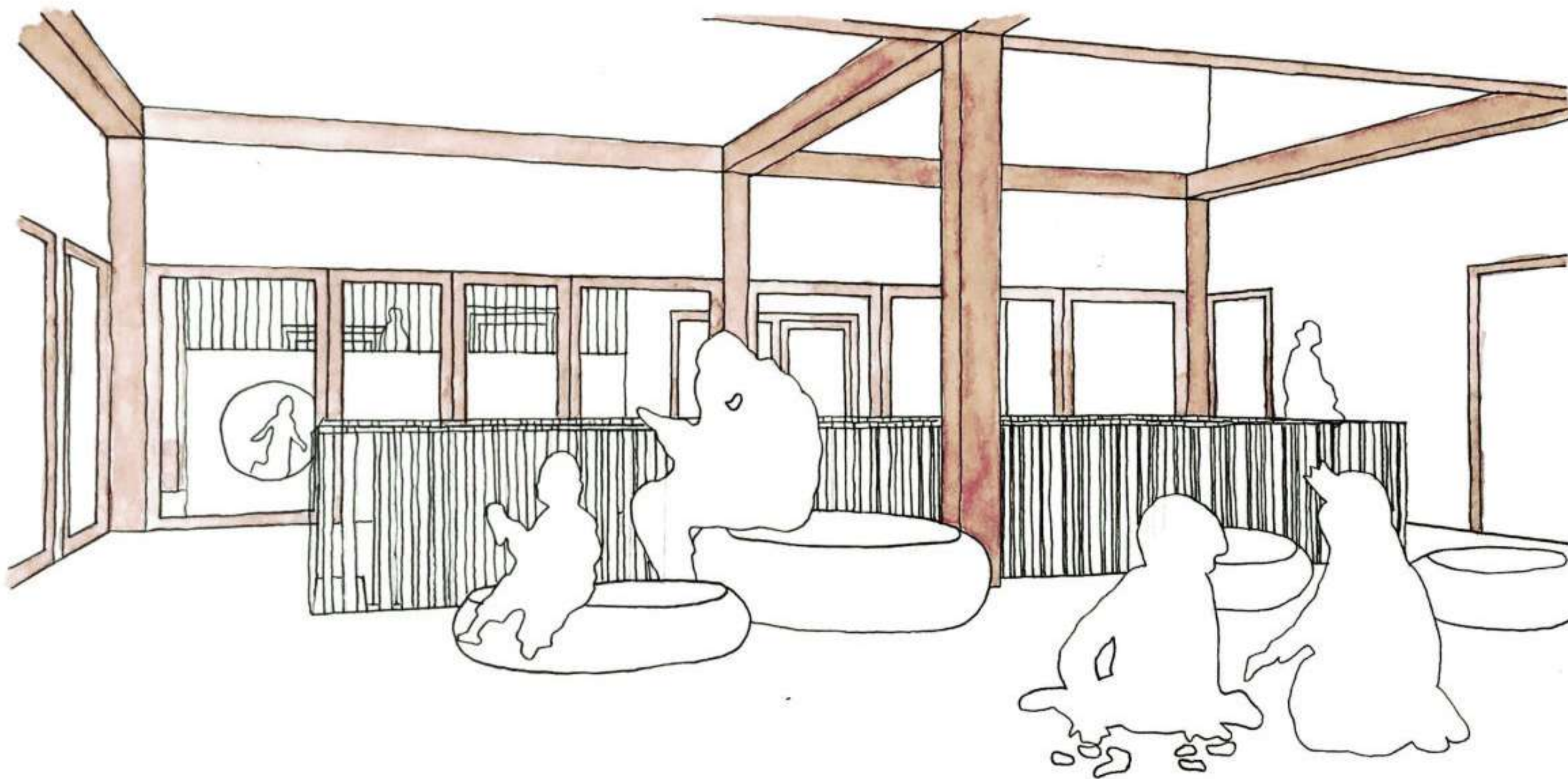


Abb. 38 Galeriebereich

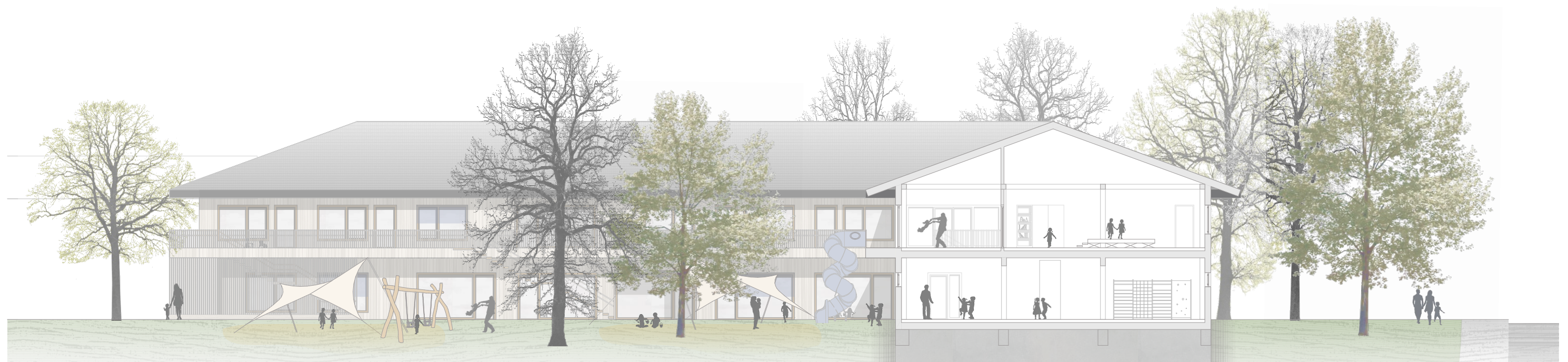


Abb. 39 Schnittansicht Süd M. 1:200

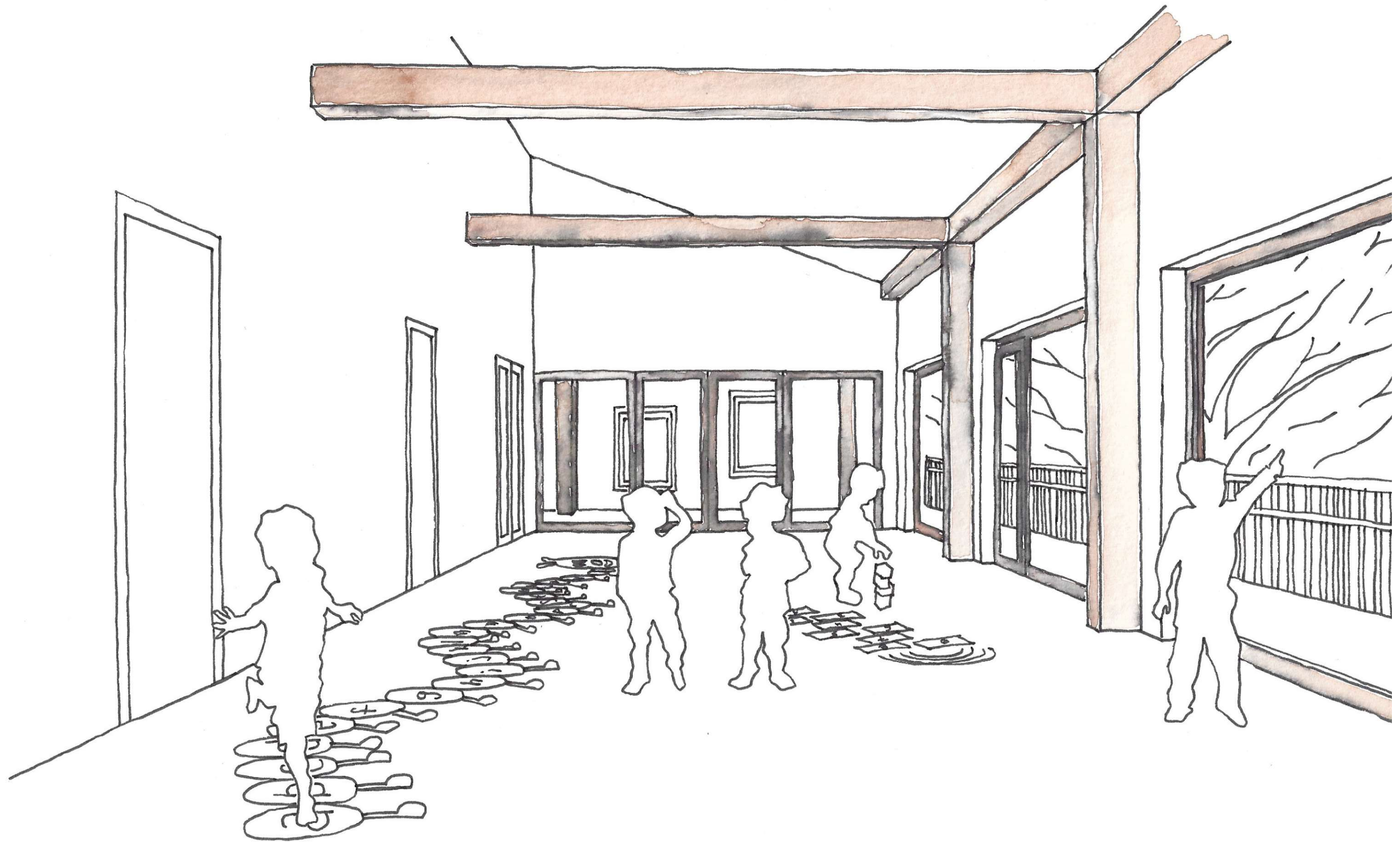


Abb. 40 Spielflur Obergeschoss

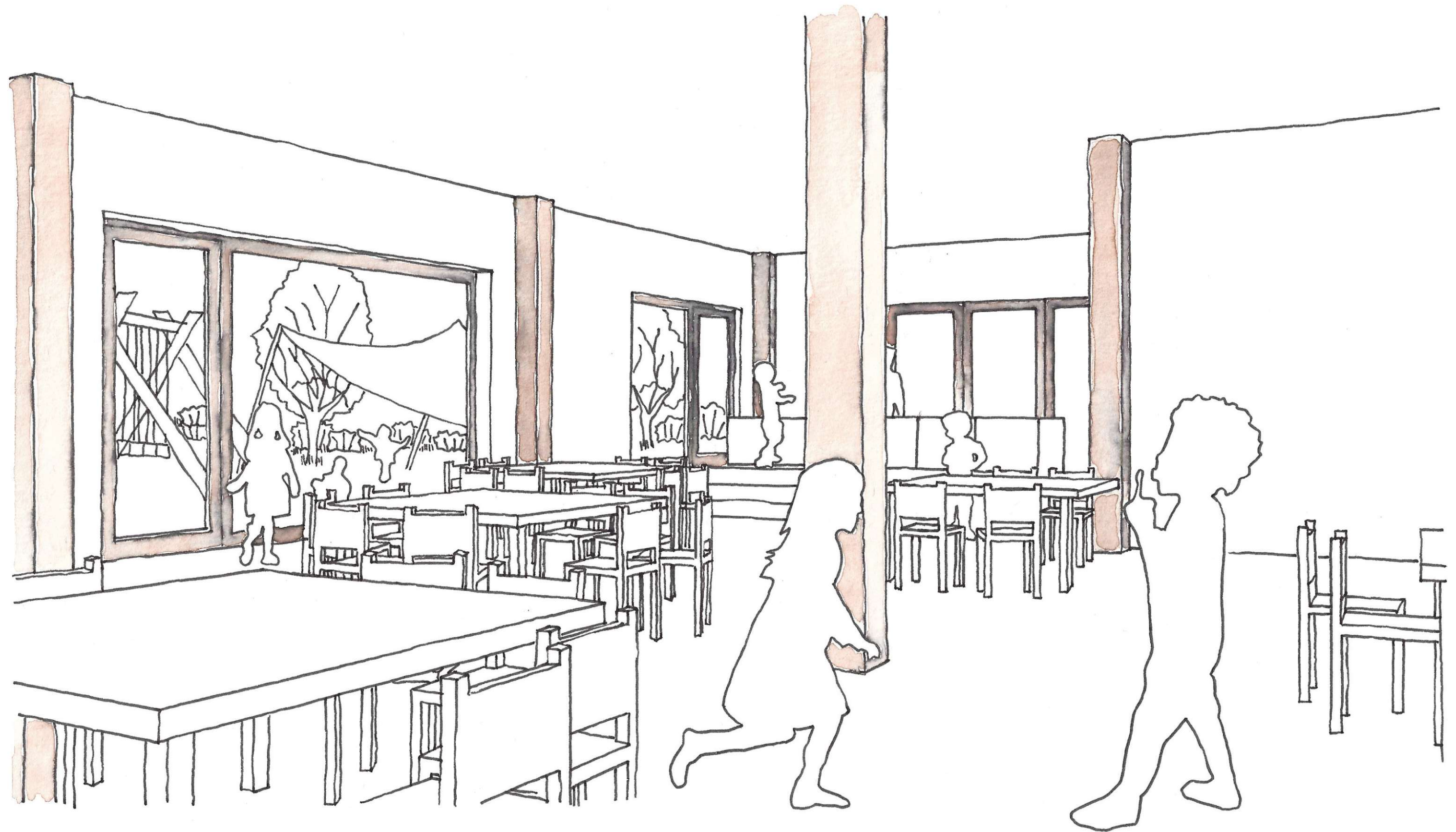


Abb. 41 Kinderrestaurant

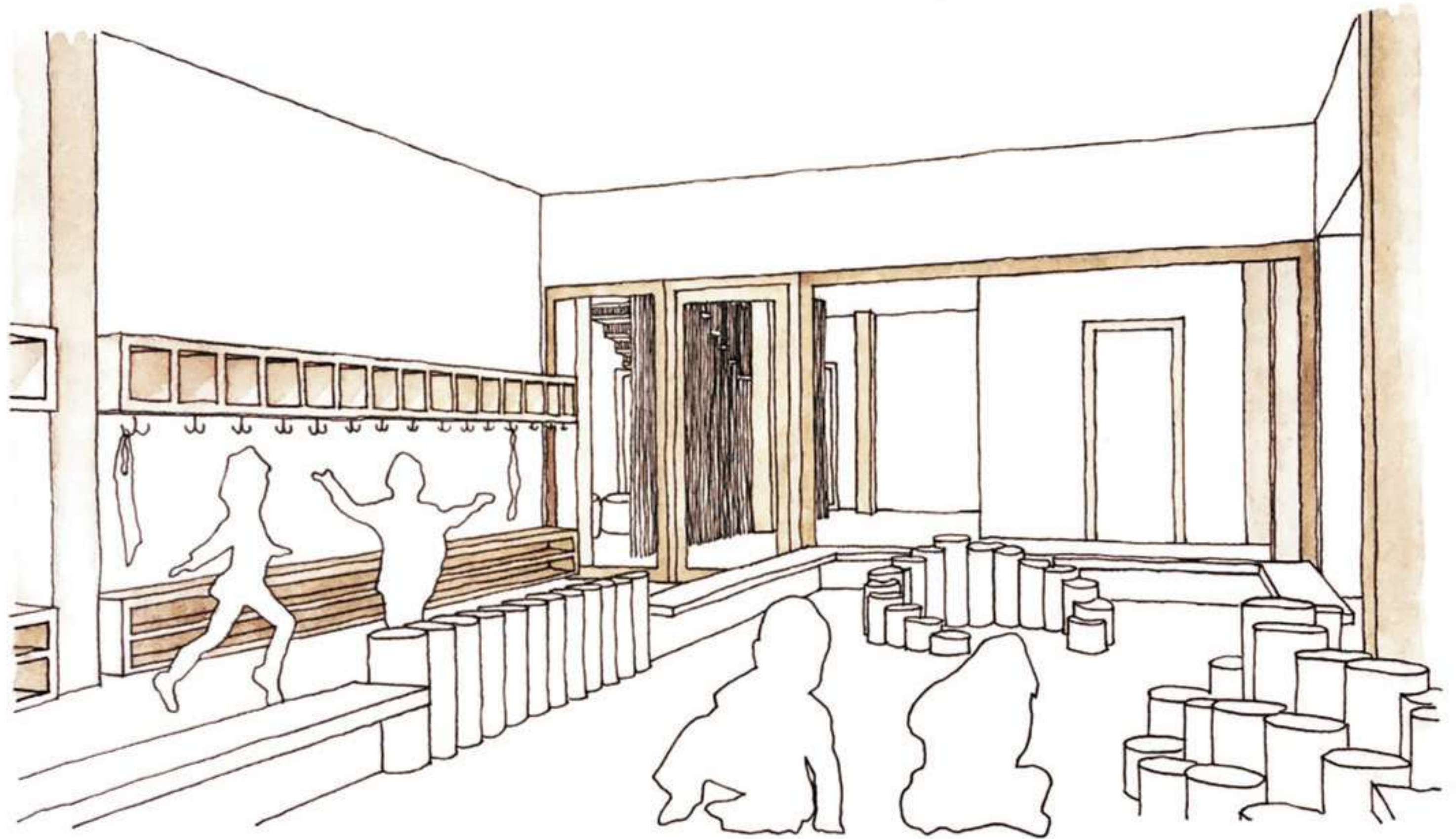


Abb. 42 Sandzimmer

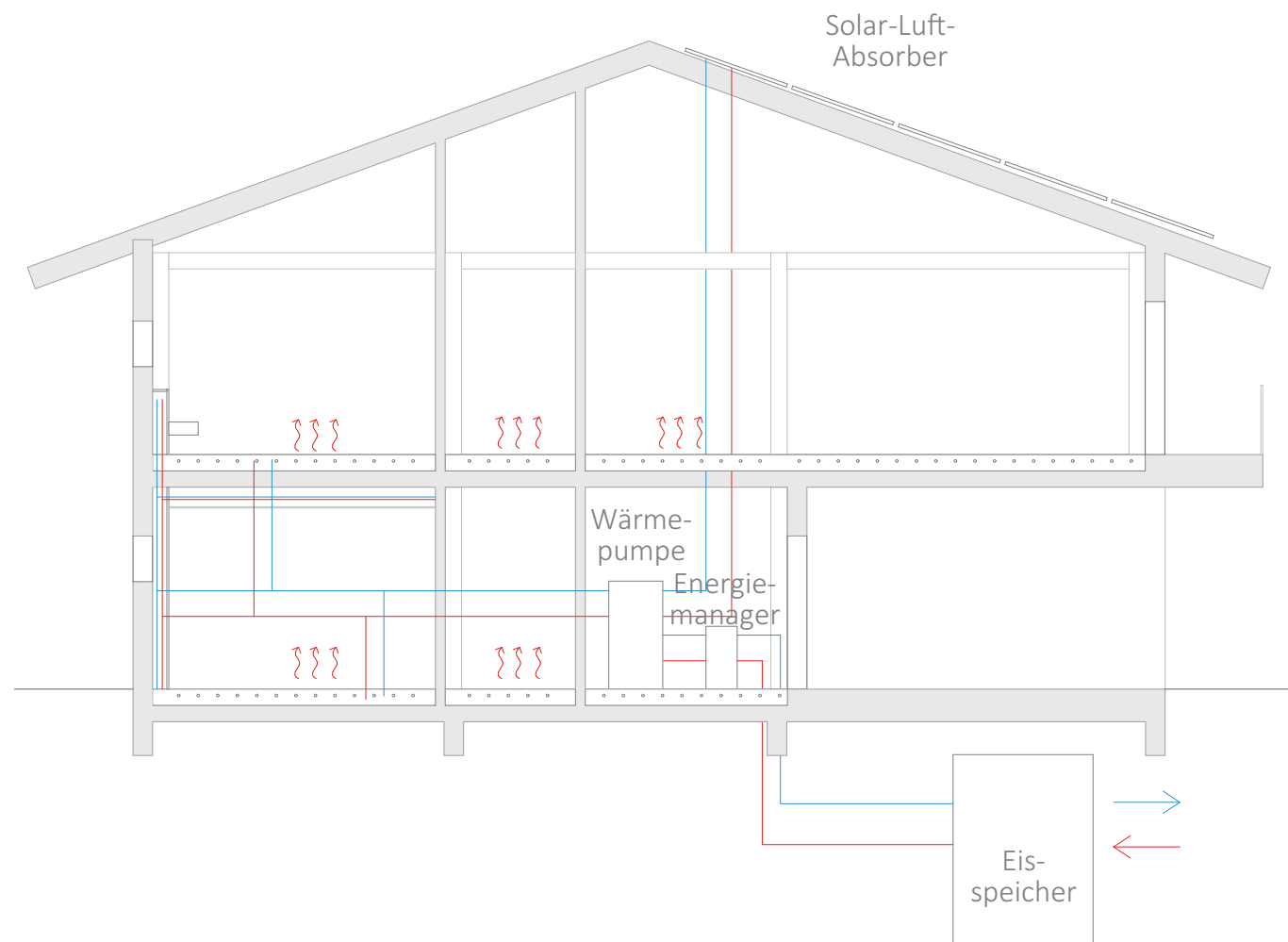


Abb. 43 Energiekonzept

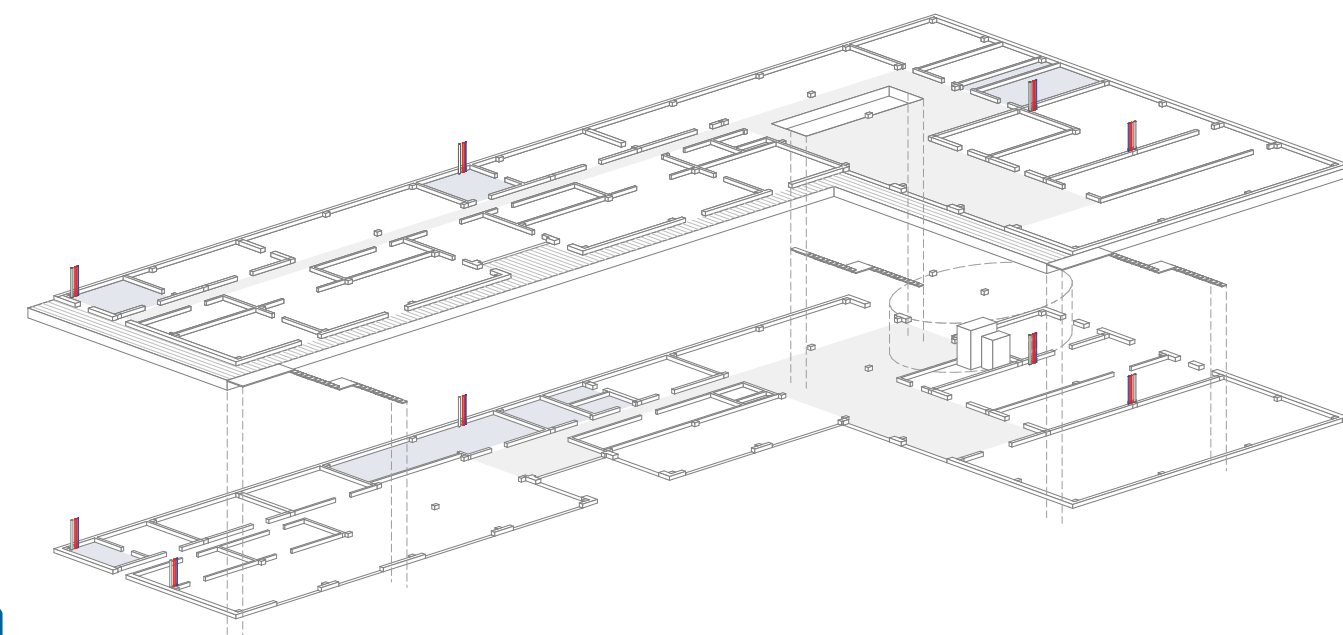


Abb. 44 Vertikale Rohr- und Leitungsführung

4.6. HAUSTECHNIK UND KLIMATISCHES KONZEPT

Die klimatischen Bedingungen in Deutschland reichen von hoher Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen bis hin zu flachen Einstrahlungen und niedrigen Temperaturen mit Schneefall im Winter. Daher sind im klimatischen Konzept des Gebäudes beide Extremfälle zu berücksichtigen. (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 388)

Durch allseitig angebrachte Fenster und die Möglichkeiten, im Innenraum durch geöffnete Türen eine Querlüftung der Räume durchzuführen, sind im Normalfall keine mechanischen Belüftungen notwendig. Lediglich die innenliegenden Räume und die Küche verfügen über eine mechanische Be- und Entlüftungstechnik, um Feuchtigkeit und Gerüche herausführen zu können. (Vgl. Abb.45) (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 399)

Die Energieversorgung im Gebäude erfolgt neben dem Anschluss an das öffentliche Netz hauptsächlich über einen internen Eisspeicher. Dieser funktioniert in Kombination mit den auf dem Dach ange-

brachten Solarzellen. Der Eisspeicher kann Wärme aus dem Erdreich, der umgebenden Luft und der Sonneneinstrahlung in das System einbinden und deren Energie speichern, solange bis ein Bedarf der Wärmepumpe entsteht. Das System kann nicht nur im Winter zur Beheizung der Räume, sondern auch im Sommer zu deren Kühlung benutzt werden. Die Zisterne des Eisspeichers muss komplett unter der Erdoberfläche vergraben werden. Aufgrund der Größe des Gebäudes wird diese Zisterne größer dimensioniert. Der bestehende ausgehobene Bereich des Bestandskellers eignet sich in seiner Fläche als Vergrabungsort. Daher bedarf es keiner zusätzlichen großflächigen Grabungen. Der Eisspeicher bietet durch die Nutzung der solaren Energie, der Erd- und Luftwärme klare ökologische und gleichzeitig ökonomische Vorteile. Er kann sowohl für die Fußbodenheizung als auch für die Erwärmung des Wassers genutzt werden. Das Gebäude kann sich somit eigenständig durch erneuerbare Energien selbst versorgen. (Vgl. Abb. 43, 44) (Vgl. Viessmann Climate Solutions (Hrsg.), o.D.; Sironi, M., 2019)



Abb. 45 Lüftungsdiagramm

4.8. SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ UND BELICHTUNG DURCH TAGESLICHT

Die Ausrichtung und die Größe der Fenster- und Türöffnungen des Gebäudes sind auf die Funktion des Innenraums sowie deren geografische Ausrichtung ausgelegt. Im Allgemeinen ist das Ziel, die Räume ausreichend zu belichten, Einblicke von Außen sowie Ausblicke zu ermöglichen und gleichzeitig eine Überhitzung des Innenraums in den Sommermonaten zu vermeiden. Die Wahrnehmung der Innenräume und die Qualität zeichnet sich durch die gezielte Wahl der Öffnungen in Kombination mit den Materialien der Oberflächen im Innenraum aus. Nachweislich wird durch Öffnungen das Wohlbefinden durch die Ausblicke zur Beobachtung des landschaftlichen und städtischen Umfeldes, des Wetters sowie der Tageszeiten und die Wahrnehmung von Sonnenstrahlen bei klarem Himmel der Nutzer*innen gesteigert. Zudem trägt Tageslicht zur Verbesserung der Stimmung, dem Schlaf und der Gesundheit bei. (Vgl. akobiak, R. et al., 2019, S.2,8)

Die Stärke der Einstrahlung und der Belichtung kann im Winter und Sommer sowie an klaren und bedeckten Tagen variieren. Die Sonnenstrahlen, welche auf die Fassaden treffen, setzen sich aus der direkten, der diffusen und der reflektierenden Strahlung zusammen. Sie unterscheiden sich in den Himmelsrichtungen und den Jahreszeiten je nach Einfallswinkel der Sonne. Die Nutzung des Gebäudes erfolgt überwiegend vormittags und in einigen Fällen auch bis zum späten Nachmittag, was sich in Zukunft weiter in diese Richtung entwickeln kann. Daher sind alle Stunden des Tages vom Sonnenaufgang bis zu deren Untergang in der Versorgung mit ausreichend Tageslicht und einem Schutz vor Überhitzung zu berücksichtigen. Um die Innenräume ausreichend zu belichten und damit zum Wohlbefinden der Nutzer beizutragen, sind besonders im Süden und Westen große Fensteröffnungen vorteilhaft, die in den Mittags- und Nachmittagsstunden viel direktes Sonnenlicht abbekommen. Gleichzeitig sind sie deshalb im Sommer vor starker

Sonneneinstrahlung zu schützen, um eine Überhitzung des Innenraums zu vermeiden und ein angenehmes Raumklima zu gewährleisten.

Zum Einen übernehmen die konstruktiven Maßnahmen des Dachüberstandes und die an der südlichen und westlichen Seite umlaufenden Balkone eine Schutzfunktion, da sie die Räumlichkeiten insbesondere im Sommer in den Mittagsstunden vor einer direkten Sonneneinstrahlung durch die Fensterscheiben aufgrund des steilen Einfallswinkels der Strahlen schützen. Gleichzeitig behindern sie im Winter aufgrund des flacheren Einfallswinkels der Sonnenstrahlen nicht die ausreichende Belichtung der Innenräume und ermöglichen durch den Sonneneinfall eine Aufheizung der Räume und senken somit den Energiebedarf. (Vgl. Abb.49, Abb.51, Abb.53, Abb.55) Zusätzlich zum konstruktiven Sonnenschutz kann der Sonnen- und Lichteinfall durch einen außenseitig angebrachten elektrischen Sonnenschutz an allen Fenstern von den Benutzer*innen manuell gesteuert und verstärkt werden. An der nördlichen und östlichen Fassade, die nur im Obergeschoss vom Dachüberstand als konstruktiven Sonnenschutz profitieren, sind die Fensteröffnungen aufgrund ihrer Lage zur Straßenseite hin und der Funktion der Innenräume kleiner bemessen und durch ihre Ausrichtung mithilfe der Markisen vor der Sonneneinstrahlung und einer Überhitzung des Innenraums ausreichend geschützt. Der außen liegende Sonnenschutz schützt die Räume effizienter als ein innen liegender Sonnenschutz vor Erhitzung und trägt somit zu einem angenehmen Raumklima bei. (Vgl. Spieker, S., 2020, S. 388; Gerstmann, H., 2015, S.7)

Die ausreichende Versorgung mit Tageslicht wird in Deutschland und Europa zusätzlich gesetzlich geregelt. Der in der DIN 5034-1 geforderte durchschnittliche Tageslichtquotient der Wohn- und Arbeitsräume von über 0,9 % wird im Gebäude der Kindertagesstätte erfüllt. Dieser gibt das Verhältnis der Belichtung im Innenraum im Vergleich zum Außenraum bei einem bedeckten Himmel an. Dabei erfüllt der Außenraum die maximalen 100 %. Im

Vergleich hierzu wird der Anteil des Tageslichtes im Innenraum DF in Prozent angegeben. Die ausreichende Belichtung durch Tageslicht wird nachweislich in allen Räumen gewährleistet und sorgt somit für das Wohlbefinden der Nutzer*innen und einen geringeren Energieverbrauch durch einen minimieren des Bedarfs von künstlicher Beleuchtung. (Vgl. Abb.46-48) (Vgl. Gerstmann, H., 2015, S.31f)

Die ausreichende Belichtung mit natürlichem Licht ist besonders in Einrichtungen für Kinder wichtig, da eine gute Belichtung und Ausblicke die Lernfähigkeit nachweislich fördern und Krankheiten reduzieren können. Gleichzeitig ist die Regulierung dessen durch Verschattungsmöglichkeiten ebenso notwendig, um negative Konzentrationsstörungen zu vermeiden. Laut Landesbauordnung muss das Rohbaumaß der Fensterflächen in Aufenthaltsräumen mindestens ein Zehntel der Raumgrundfläche betragen. Wichtiger ist dennoch die ausreichende Belichtung der Räume, welche besser durch Belichtungsdiagramme nachgewiesen werden kann. Diese beziehen sich auf vielfältigere Aspekte in ihrer Berechnung. Die DIN EN 17037 enthält weitere Anhaltspunkte zur Einstufung der Tageslichtversorgung von Aufenthaltsräumen. Hierbei sind die Mindestanforderungen des Lichteintrags an Aufenthaltsräume in Lux Werten angegeben. Hiernach müssen sie mindestens in 50 % der Tageslichtstunden und 50 % der Flächen bei 300 Lux liegen. Des Weiteren sind 95 % der Flächen während 50 % der Tageslichtstunden mit über 100 Lux ausreichend, um das Mindestmaß zu erfüllen. Berechnet wird hierbei die Fläche des Raumes bei 0,85 Meter über dem Fußboden. Die angeführten Diagramme zeigen die ausreichende Belichtung der Kindertagesstätte zu den unterschiedlichen Tageszeiten im Sommer und im Winter, nach Sonnenaufgang und zur Mittagszeit, die in beiden Fällen die geforderten Werte deutlich überschreiten. Somit sind die Räumlichkeiten im Jahresschnitt gut belichtet. (Vgl. Abb. 50, 52, 54, 56) (Vgl. Lung, T. (Hrsg.), o.D.; Gerstmann, H., 2015, S.31f; Jakobiak, R. et al., 2019, S.4ff; § 34 Absatz 2)

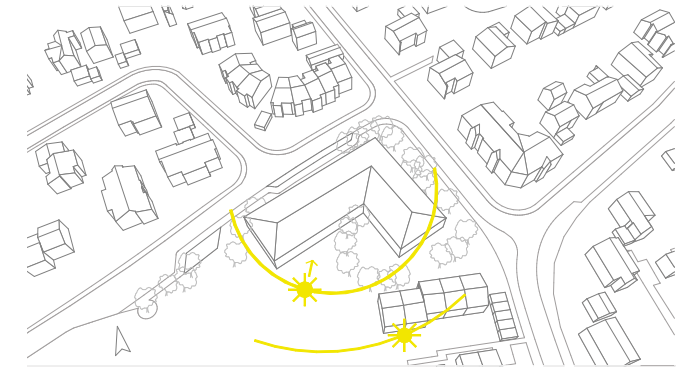


Abb. 46 Sonnenverlauf Sommer und Winter



Abb. 47 Tageslichtquotient Obergeschoss

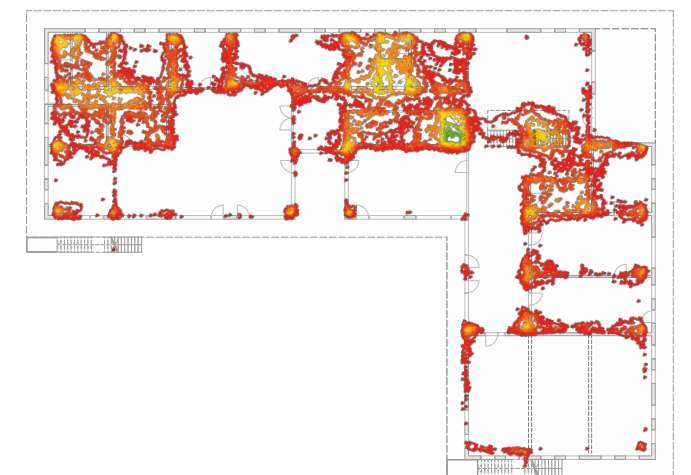
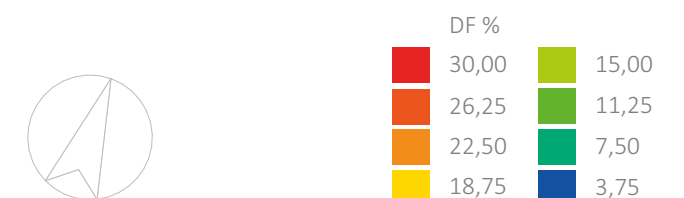


Abb. 48 Tageslichtquotient Erdgeschoss



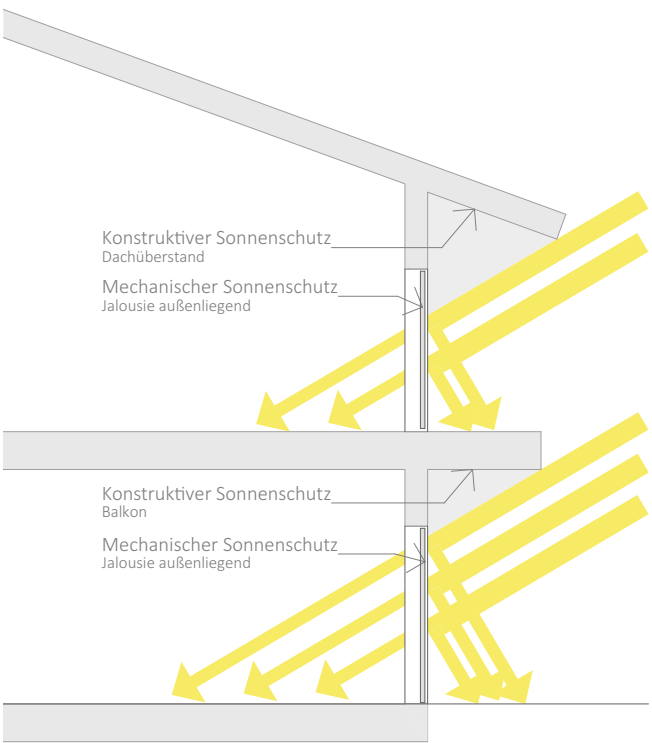
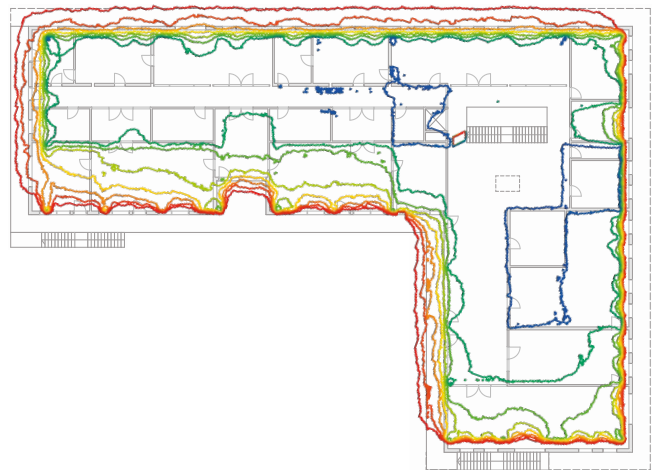


Abb. 49 Sonneneinstrahlung 8:00 Uhr und 18:00 Uhr im Sommer

Obergeschoss max. 8000 Lux



Erdgeschoss max. 8000 Lux

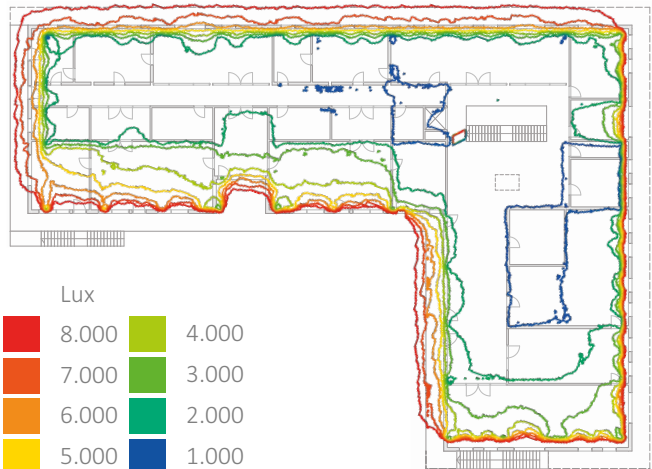


Abb. 50 Belichtungsstärke 08:00 Uhr Sommer

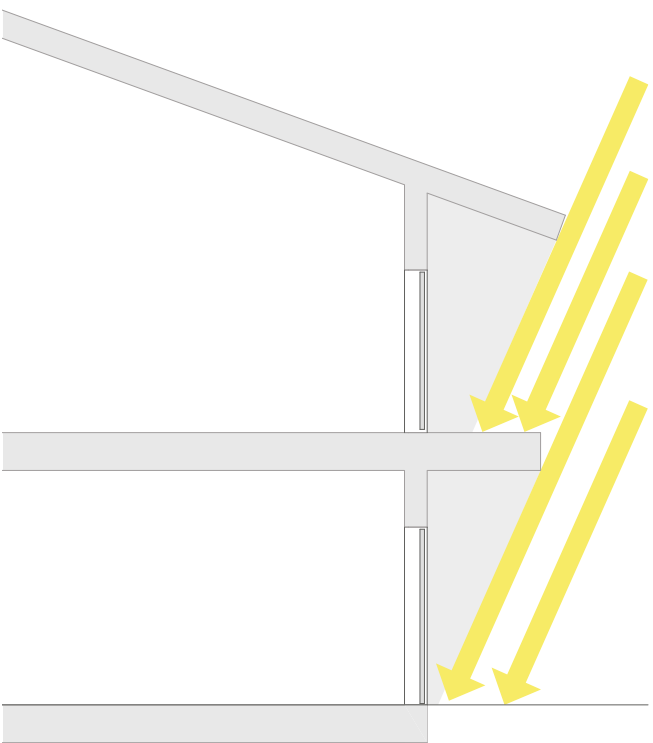
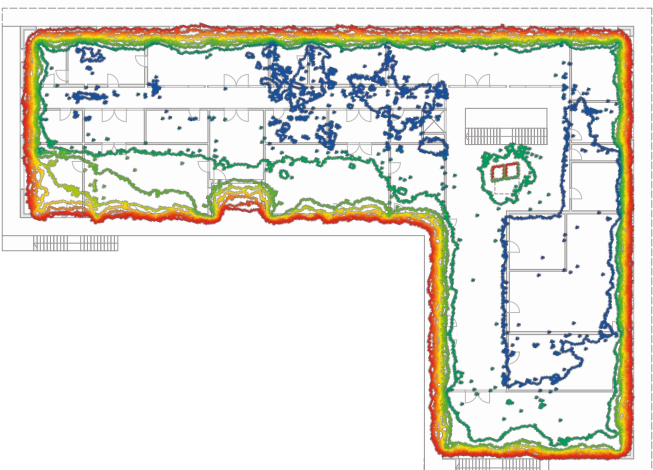


Abb. 51 Sonneneinstrahlung 12:00 Uhr im Sommer

Obergeschoss max. 8000 Lux



Erdgeschoss max. 8000 Lux

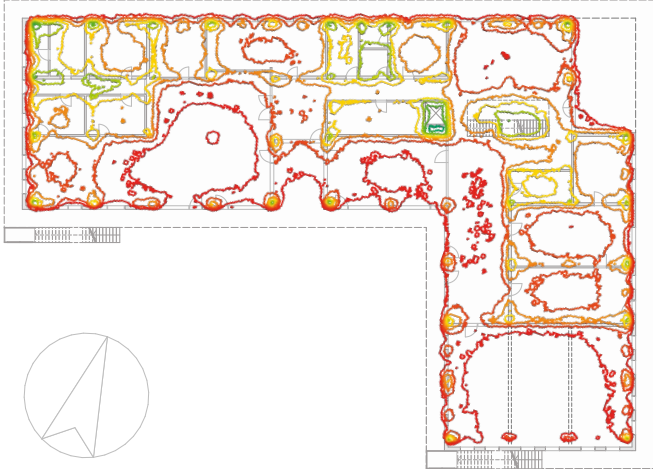


Abb. 52 Belichtungsstärke 12:00 Uhr Sommer

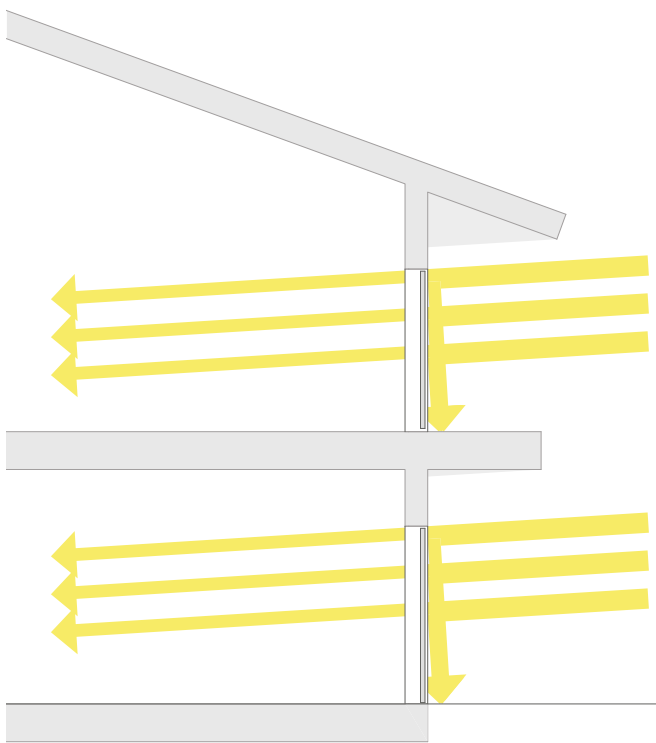
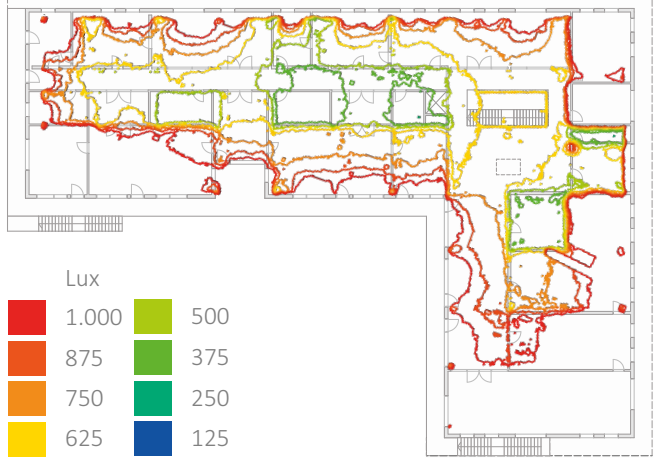


Abb. 53 Sonneneinstrahlung 9:00 Uhr und 16:00 Uhr im Winter

Obergeschoss max. 1000 Lux



Erdgeschoss max. 5000 Lux

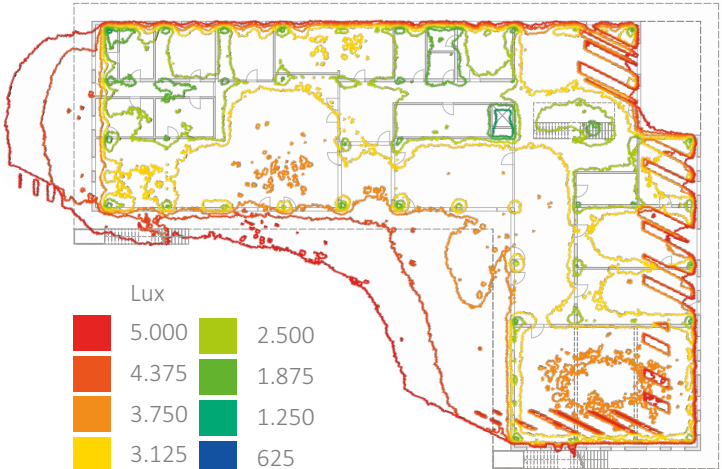


Abb. 54 Belichtungsstärke 09:00 Uhr Winter

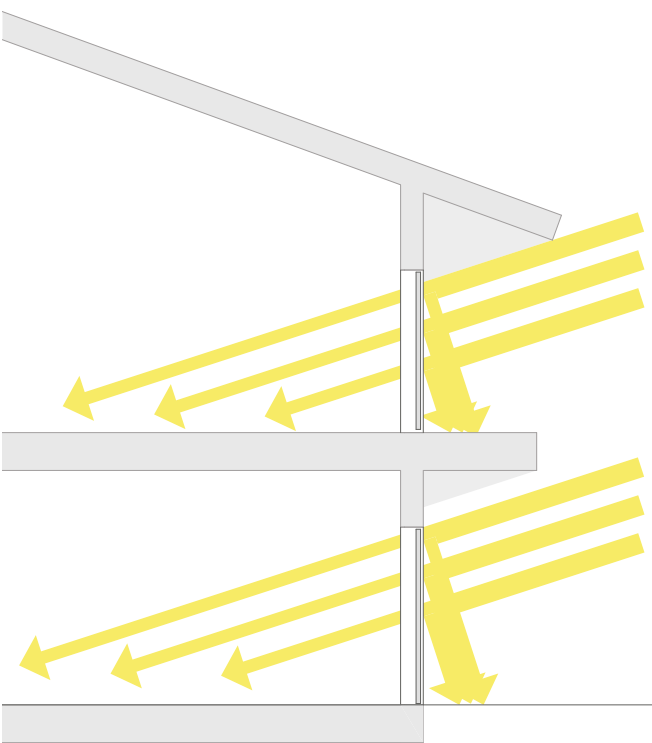


Abb. 55 Sonneneinstrahlung 12:30 Uhr im Winter

Obergeschoss max. 5000 Lux



Erdgeschoss max. 5000 Lux

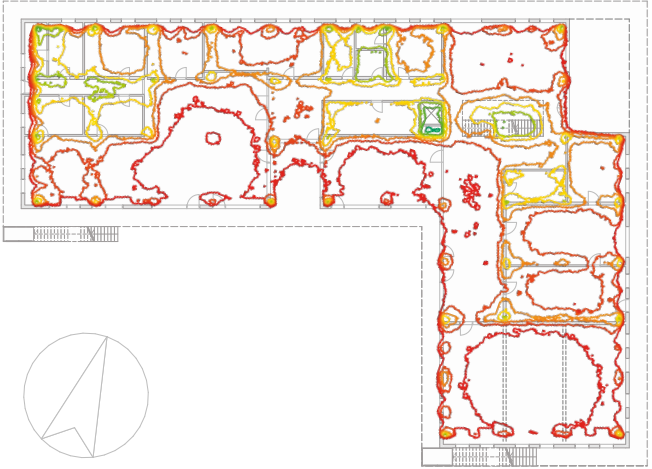


Abb. 56 Belichtungsstärke 12:00 Uhr Winter

4.8. STATISCHES KONZEPT

Der geplante Holzskelettbau ermöglicht ein von Wänden unabhängiges Tragwerk. Somit sind individuelle Raumaufteilungen in den Geschossen unabhängig voneinander möglich. Das Tragskelett besteht aus einer Kombination von Stützen und Trägern, die senkrechte beziehungsweise waagrechte Lasten aufnehmen und ableiten. Das Aussteifungssystem funktioniert gesondert hiervon. Dazu werden an unterschiedlichen Stellen des Gebäudes in den Riegeln einige schubsteif ausgebildete Massivholzwände auf beiden Geschossen zwischen die Träger gestellt und übernehmen so die aussteifende Funktion. Die Brettsperrholzwände zeichnen sich durch die Haupt und Nebentragrichtung, welche sie durch ihre Mehrschichtigkeit besitzen aus. Diese wird durch die ungerade Anzahl der Schichten bestimmt. Die stehenden Elemente sind hierbei für die vertikale Aussteifung und das verhindern des seitlichen Ausknickens verantwortlich, die horizontalen Schichten wirken als steife Scheibe. Durch die Stärke der Platte wird ebenfalls ein Ausknicken verhindert. Neben den Wänden sind gleichermaßen die Decken als Schubfeld ausgebildet und übernehmen somit die Funktion der horizontalen Aussteifung. Die Wind- und Stabilisierungslasten werden von den Decken aufgenommen und an die vertikalen Aussteifungselemente, die schubsteif ausgebildeten Wände, weitergegeben. Die anfallenden Stützlasten werden von den Trägern in die Stützen übertragen. Das Haupttragwerk aus Stützen und Trägern des Systems nimmt alle aufkommenden Lasten auf und überträgt diese bis ins Fundament. Die Stützen werden geschossweise gestoßen und können somit Druckkräfte direkt übertragen. Die Deckenlagen gleichen Träger fangen Lasten ab und leiten diese in die Stützen weiter. Die Träger und die Stützen werden mithilfe von versteckten Schraubverbindungen verbunden, die eine ästhetisch ansprechende Sichtbarkeit des Tragwerks im Gebäude ermöglichen. Somit übernimmt das Tragwerk aus Konstruktionsvollholzstützen und -trägern neben einer funktionalen eine gestalterische Rolle. Gleichzeitig sind diese Verbin-

dungen im Falle eines Rückbaus oder bei Schäden einfach rückbaubar und trennbar. (Vgl. Abb.57-62) (Vgl. Cheret, P., Schwaner, K., o.D.; Boos, M. et al., o.D.)

Im heutigen Ingenieurholzbau können im Holzskelettbau Spannweiten von bis zu zwölf Metern realisiert werden. Im Gebäude werden großteils Spannweiten von fünf Metern überspannt. Diese Art des Tragsystems bietet besonders in der Nutzbarkeit des Gebäudes weitere Vorteile. Durch einfache Aufstockungsmöglichkeiten, welche auch partiell umgesetzt werden können und Anbaumöglichkeiten in allen Richtungen ermöglicht das System eine Reaktion auf zukünftige Veränderungen des Raumbedarfs und Umstrukturierungen im Grundriss im Falle von Nutzerwechseln. Hierzu werden die Stützen und Träger bereits in der ersten Planung großzügiger dimensioniert, um die Lasten eines weiteren Geschosses aufnehmen zu können. Somit kann ein Abriss im Fall eines Benutzerwechsels oder einer Umnutzung sowie Erweiterungsbedarf vermieden werden und ermöglicht Umstrukturierungen des Gebäudes im Falle von demografischen Veränderungen. Gleichzeitig erlaubt das System eine unabhängige Fassadengestaltung mit großen Öffnungen, die gleichzeitig im Falle einer Umnutzung oder starker Abnutzung ausgetauscht und angepasst werden kann. (Vgl. Cheret, P., Schwaner, K., o.D.)

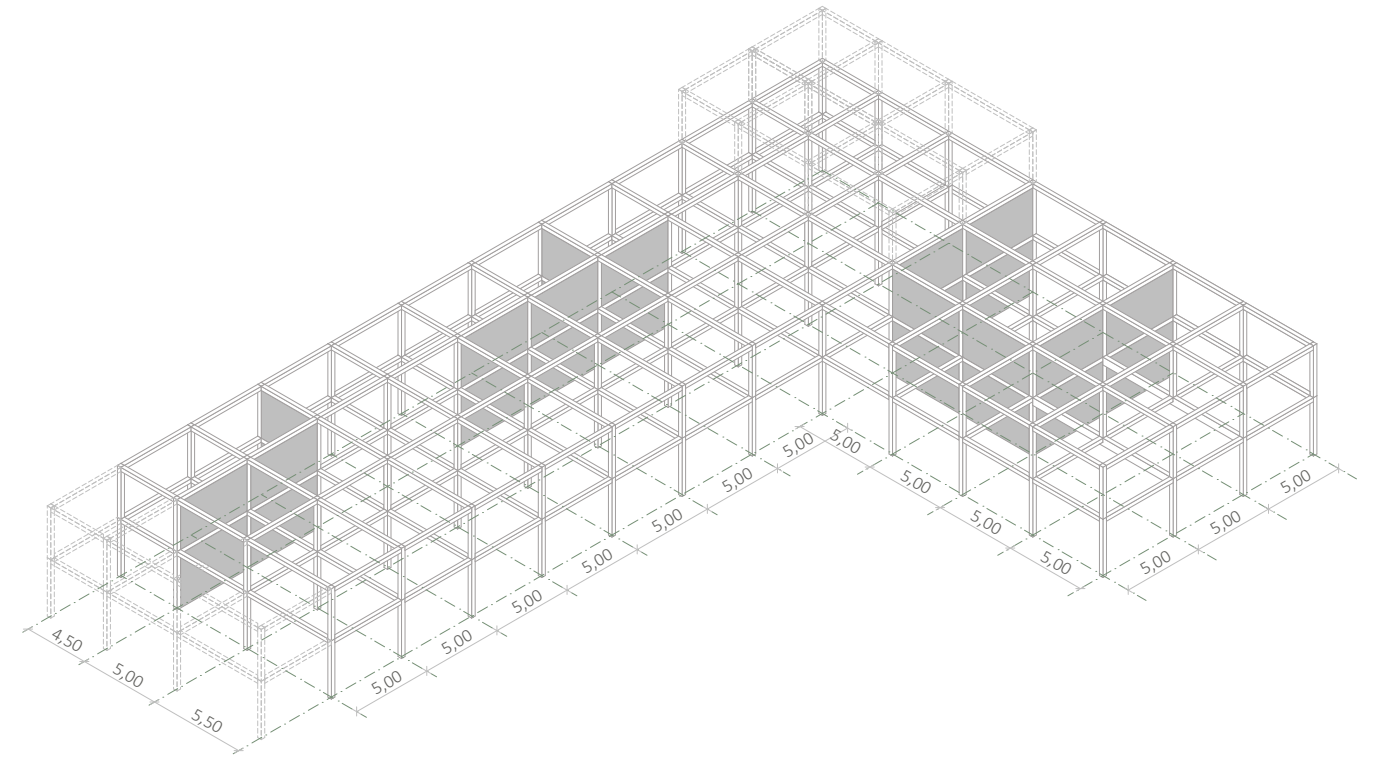


Abb. 57 Tragskelett mit vertikalen Aussteifungselementen

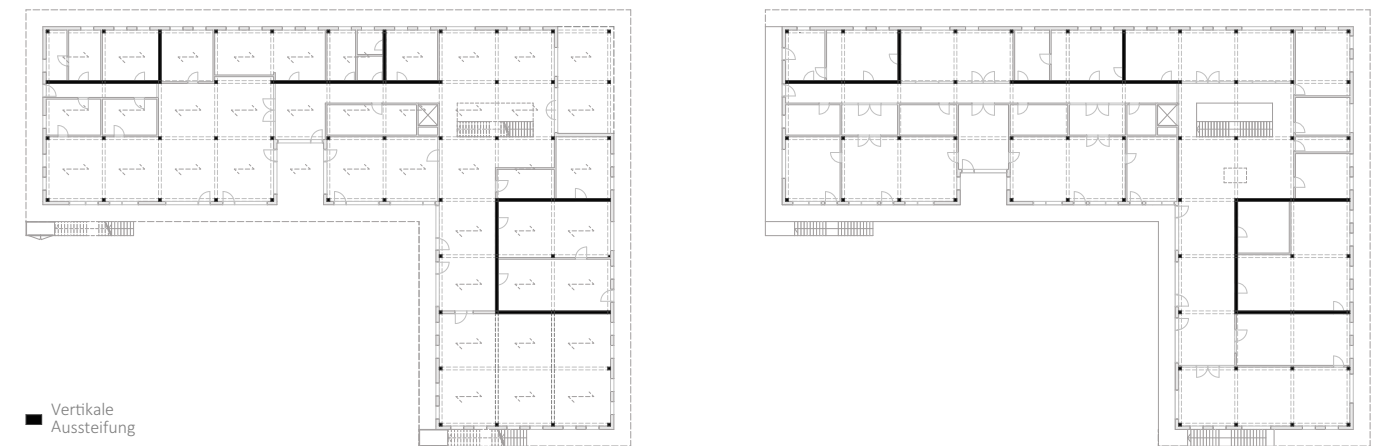


Abb. 58 Aussteifende Wände

Abb. 59 horizontale und vertikale Lastabtragung

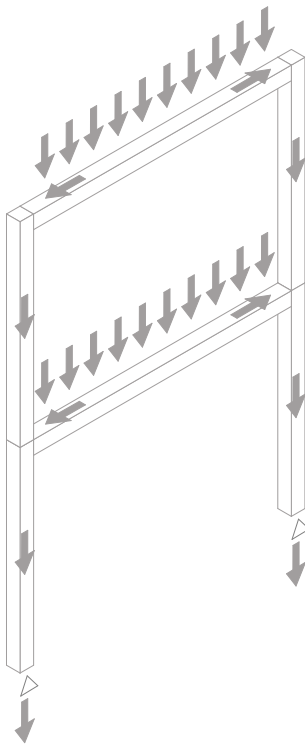
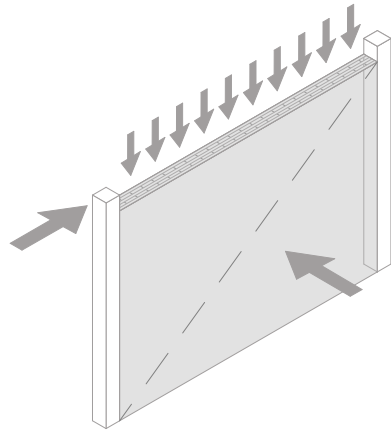
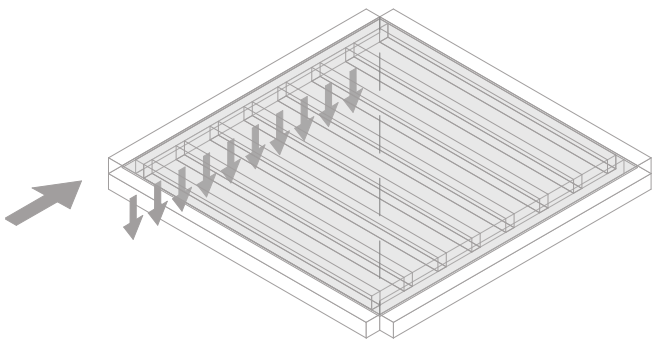
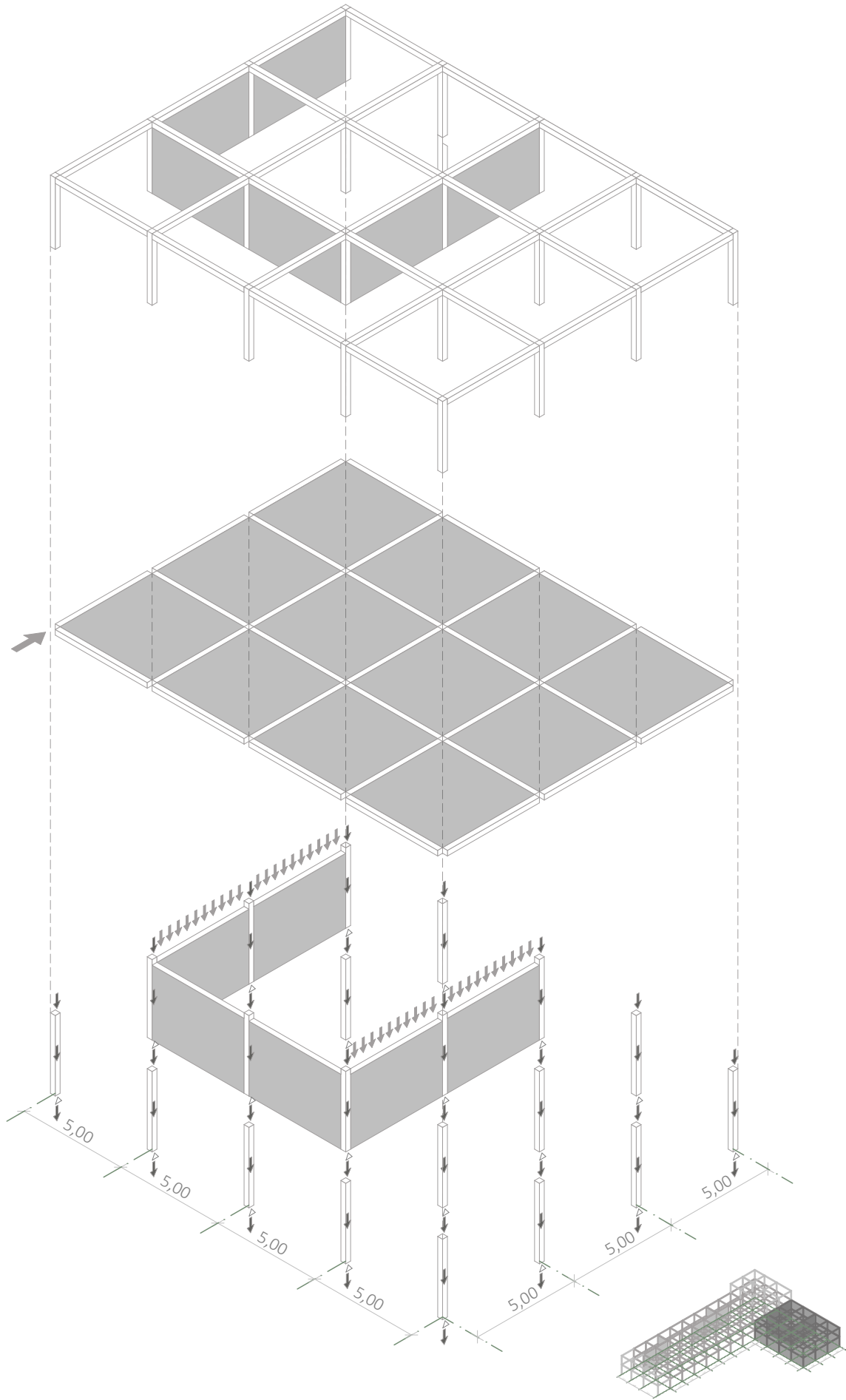


Abb. 60 Lastübertragung der Bauteile

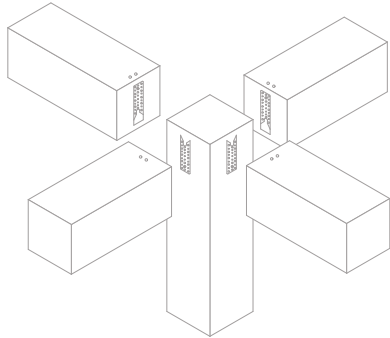
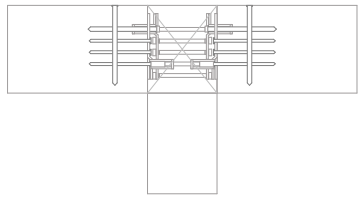


Abb. 61 Verbindung von Trägern und Stützen

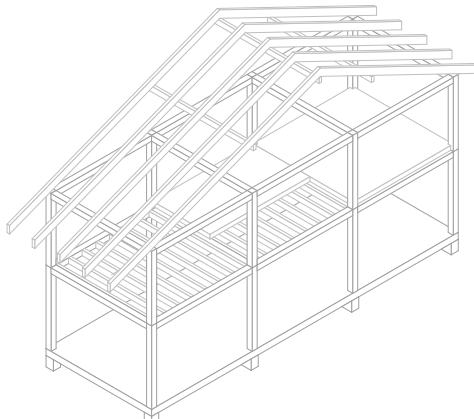
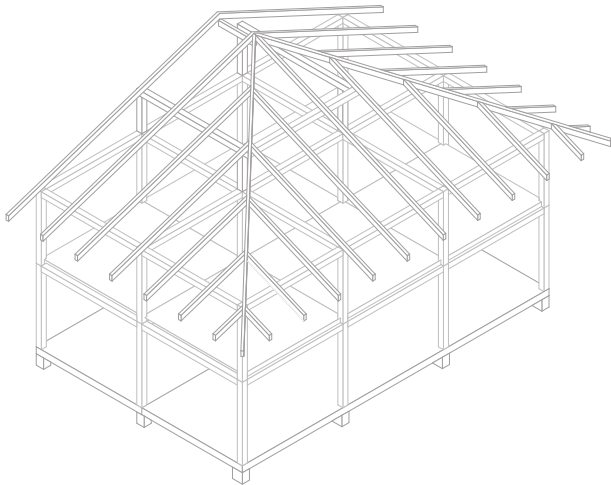


Abb. 62 Holzskelettbau mit Schrägdach

4.9. BRANDSCHUTZKONZEPT

Die Brandschutzanforderungen an Kindertagesstätten werden durch die Landesbauordnung geregelt sowie durch die Zuordnung zu einer Gebäudeklasse eingeordnet. Das Gebäude wird zur Gebäudeklasse 3 zugeordnet. Kindertagesstätten zählen zwar zu den Sonderbauten, jedoch sind damit keine außerordentlichen Verordnungen verbunden. Für den Fall eines Brandes sind zwei voneinander baulich unabhängige Rettungswege erforderlich. Der erste Rettungsweg aus Gruppenräumen muss direkt ins Freie führen, über einen notwendigen Flur oder in einer Bypass-Lösung über andere Räume unabhängig eines Spielflurs ins Freie führen. Im Erdgeschoss ist durch die den Kindern zugänglichen Außentüren die direkte Flucht in den Außenraum als erster Rettungsweg möglich. Der Zweite erfolgt über den Spielflur. Dieser darf laut Begriffsdefinition Brandlasten enthalten, solange eine ausreichende Fluchtbreite gewährleistet wird. Im Obergeschoss erfolgt der erste Rettungsweg im Bereich der Krippe über einen notwendigen Flur, welcher durch Türen von allen Räumen abgetrennt ist und keine Brandlasten enthält. Dieser führt auf den Balkon zur notwendigen Treppe. Der zweite Fluchtweg erfolgt in diesem Bereich im südlichen Teil direkt ins Freie und im nördlichen Teil durch Zwischentüren ins Freie beziehungsweise in den abgetrennten Spielflur des Kindergartens. Im Bereich des Kindergartens führt lediglich in der Bibliothek der erste Rettungsweg über den notwendigen Flur ins Freie. Aus dem Teambereich sowie dem Rollenspielbereich gelangt man mithilfe der Bypasslösung über den multifunktionalen Raum auf den Balkon und hin zur notwendigen Treppe. Der zweite Fluchtweg erfolgt hier ebenfalls über den Spielflur auf den Balkon oder ins Erdgeschoss. (Vgl. Abb.63, 64) (Vgl. Feuerwehr Heidelberg. (Hrsg.), 2020, S.3ff)

Laut der baden-württembergischen Landesbauordnung muss von jedem Aufenthaltsraum ein Notausgang zu einem notwendigen Treppenraum oder direkt ins Freie in einer maximalen Entfernung von 35 Metern führen. Diese Anforderung kann durch die

Balkone und die zwei angrenzenden Treppen sowie den notwendigen Flur im Krippenbereich erfüllt werden. (Vgl. §11 Abs.1)

Das Gebäude zählt zur Gebäudeklasse drei, da die Oberkante Fußboden bei 3,60 Metern liegt. Im Falle einer Aufstockung um ein Geschoss, läge sie ebenfalls unter der für die Zuordnung einer Gebäudeklasse entscheidenden sieben Meter Marke, bei 6,80 Meter. Daher müssen die Innenwände feuerhemmend ausgeführt sein, der Erdgeschossboden feuerbeständig und die Außenwände von innen nach außen feuerhemmend sowie von außen nach innen feuerbeständig sein. Für den Fall einer Erweiterung sind dadurch keine nachträglichen Aufrüstungen notwendig. (Vgl. BaunetzWissen u (Hrsg.), o.D.)

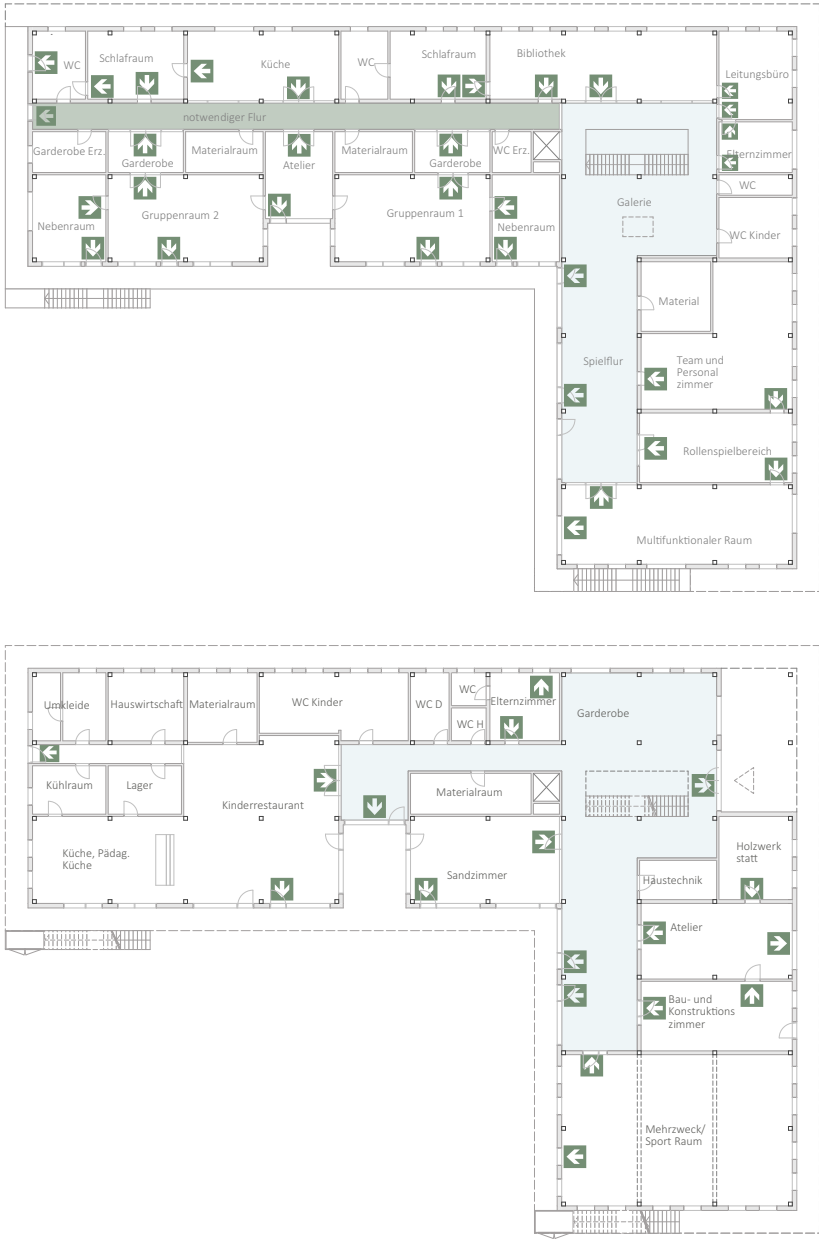


Abb. 63 Flucht- und Rettungswege

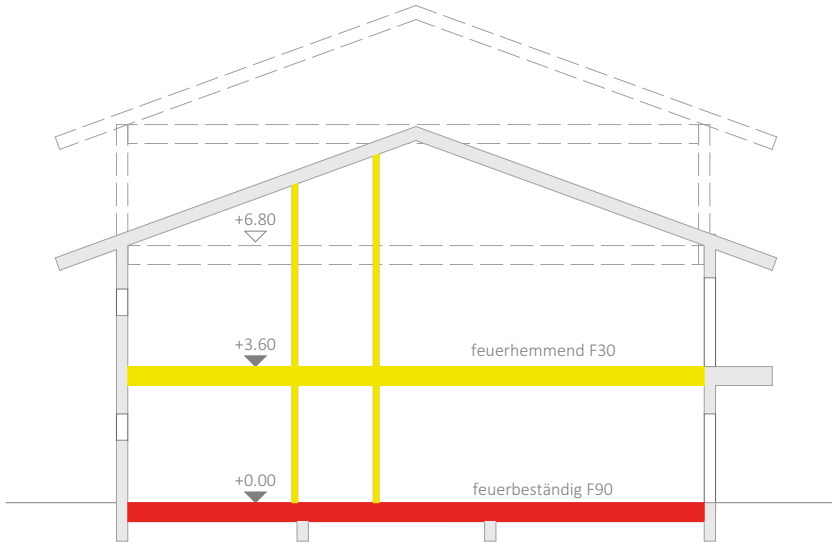


Abb. 64 Brandschutzanforderungen Gebäudeklasse 3

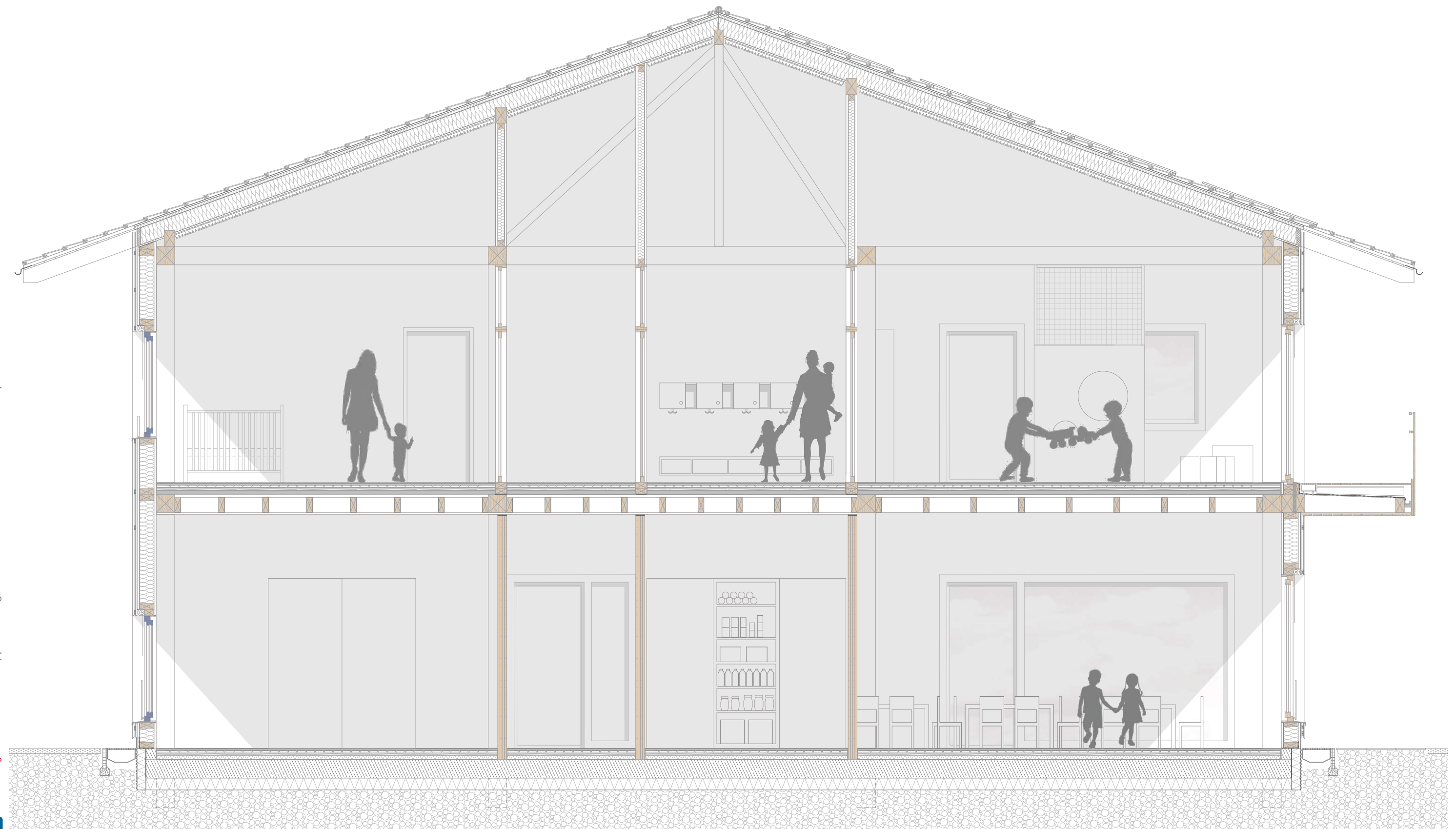


Abb. 65 Gebäudeschnitt Nord-Süd M. 1:50

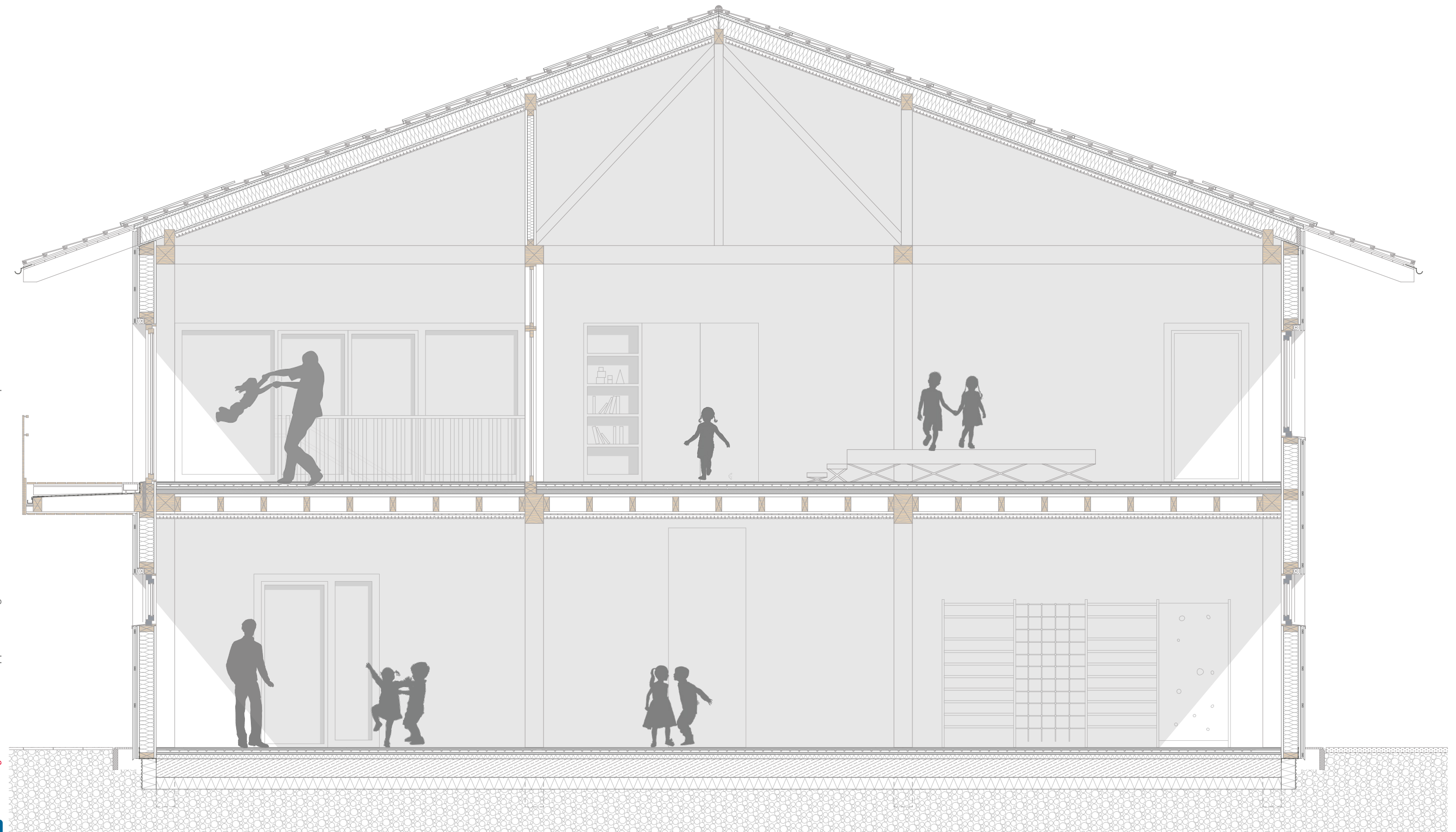


Abb. 66 Gebäudeschnitt Ost-West M. 1:50

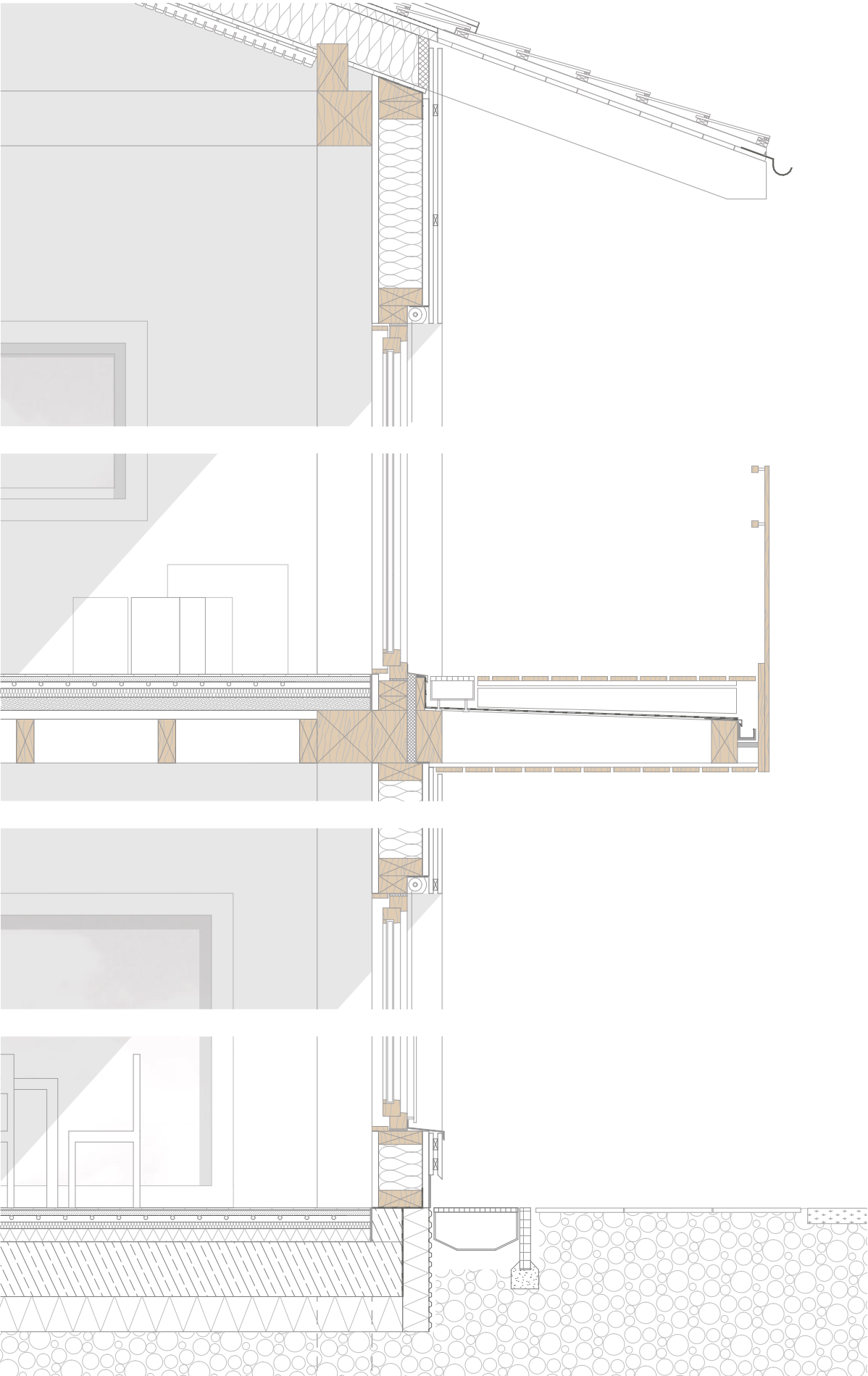


Abb. 67 Fassadenschnitt Süd M. 1:25

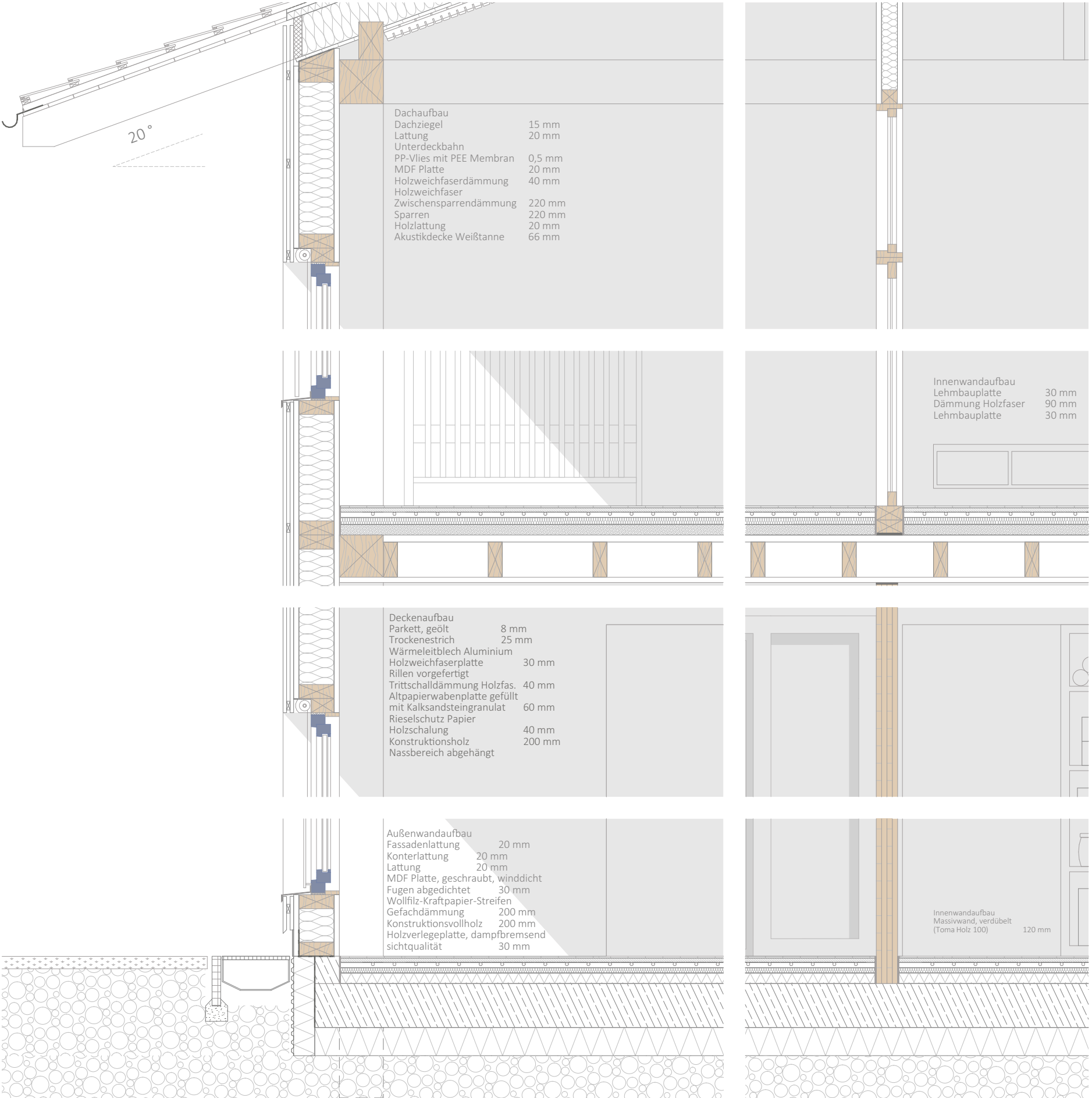
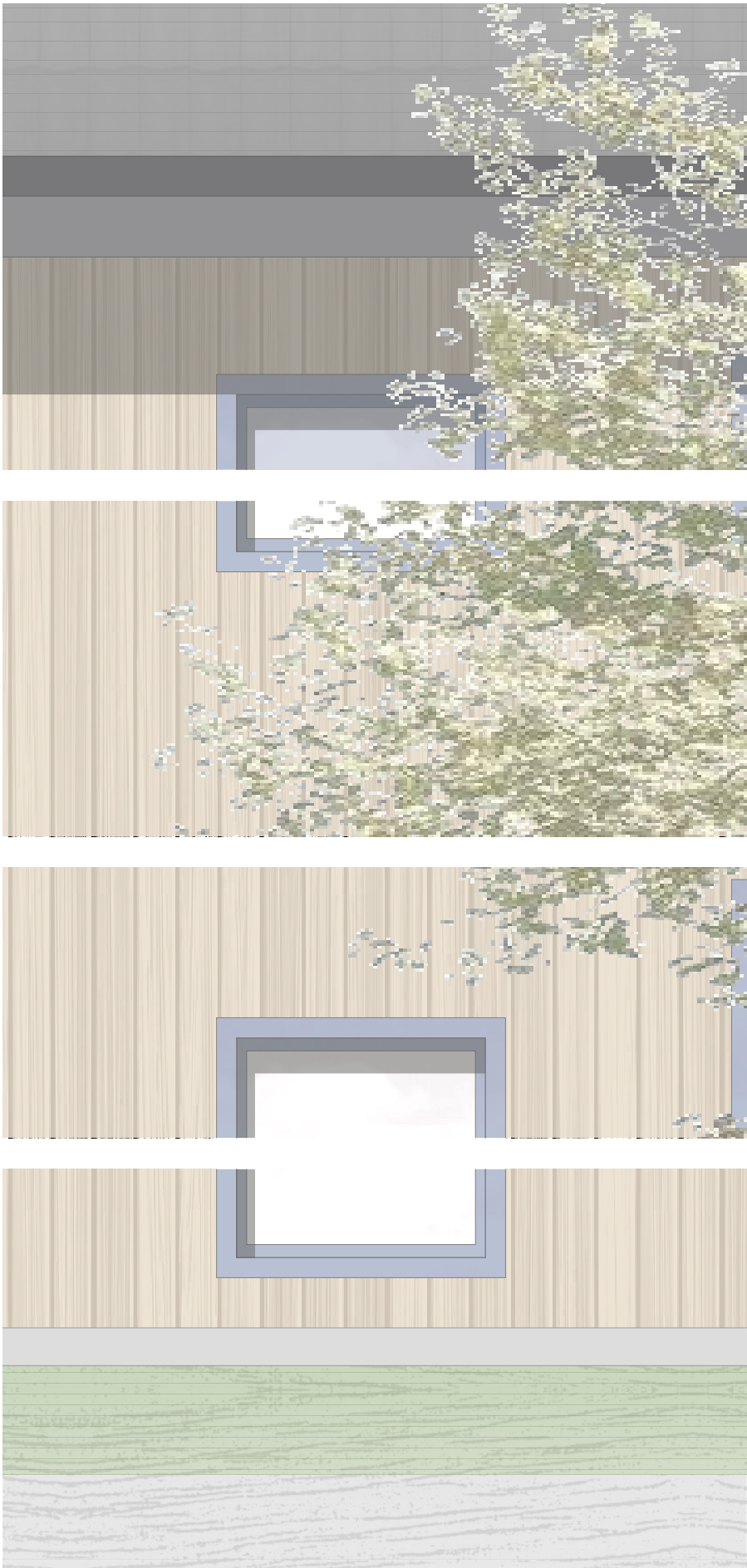


Abb. 68 Fassadenschnitt Nord M. 1:25

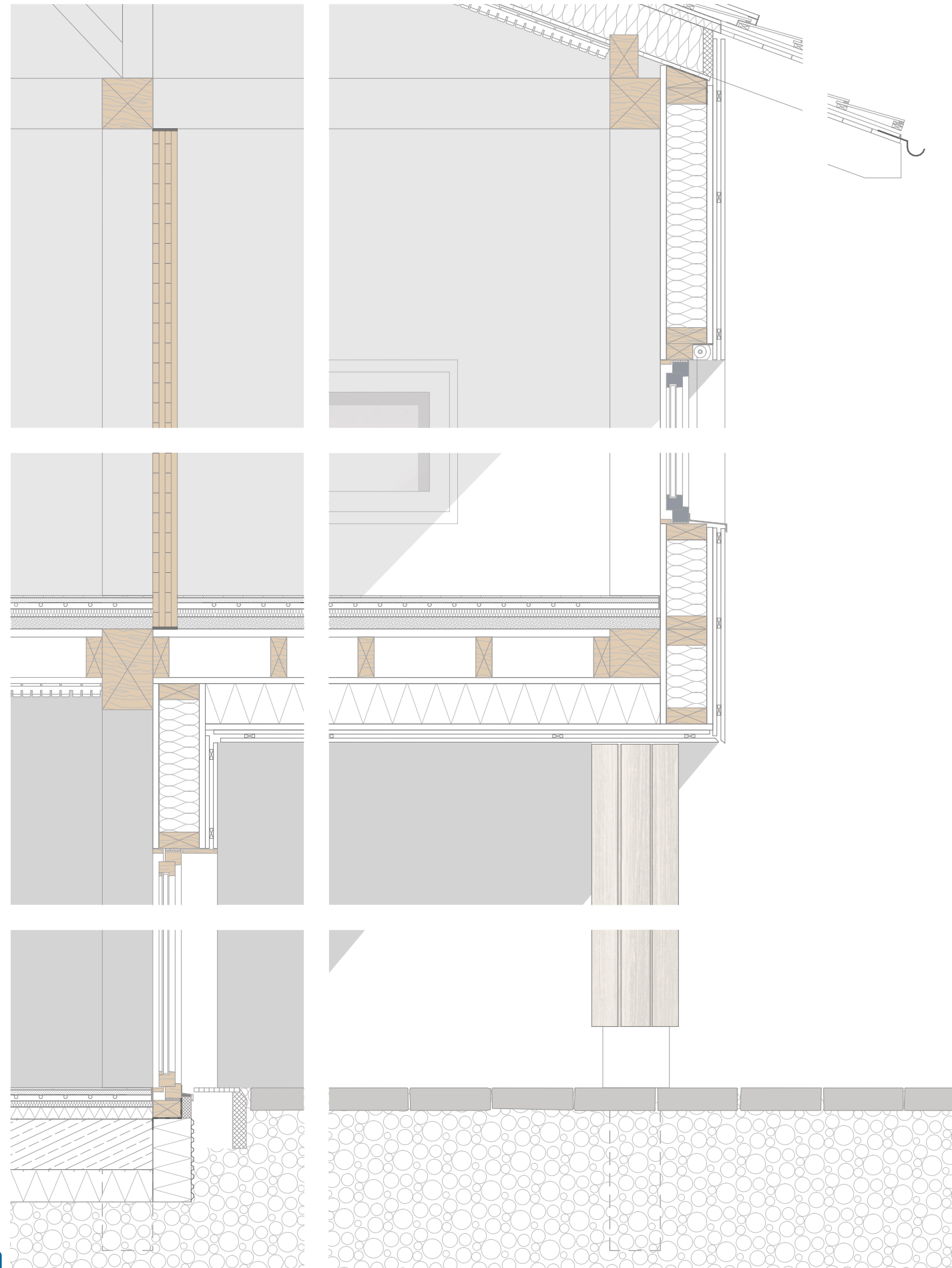


Abb. 69 Fassadenschnitt West M. 1:25

4.10. BAUTEILE UND MATERIALIEN

In der Auswahl der Materialien fällt die Entscheidung zu verwendeten Baumaterialien und Aufbauten zugunsten der Raumatmosphäre, den Anforderungen an Schall- und Wärmeschutz sowie insbesondere der kreislaufgerechten Bauweise. Die verschiedenen Parameter stehen sich dabei nicht im Wege, da bei vorausschauender genauer Planung und gezieltem Einsatz der Materialien gute Lösungen im Einklang aller Aspekte gefunden werden können. Grundsätzlich liegen für die Raumakustik von Bildungsräumen Richtlinien des Fraunhoferinstituts vor. In Kindertagesstätten werden die Anforderungen an den baulichen Lärmschutz je nach Schutzbedürfnis der Räume gestellt. In Ruhe- und Schlafräumen, die einen hohen Schutzbedarf und ein geringes Emissionspotenzial aufweisen, sollte das bewerte Bau-Schalldämmmaß R'_w von Wänden nicht 47 dB überschreiten. Decken sollten über einen bewerten Norm-Trittschallwert $L'_{n,w}$ von 53 dB sowie einen R'_w Wert von 55 dB erfüllen. Die gleichen Werte müssen in Bewegungs-, Werk- und Essräumen sowie in Gangbereichen erfüllt werden, da diese zwar ein niedriges Schutzbedürfnis aber gleichzeitig ein hohes Emissionspotenzial aufweisen. Wände in Gruppenräumen und dem Eingangsbereich müssen die Werte R'_w 52 dB und Decken R'_w 55 dB sowie $L'_{n,w}$ 53 dB erfüllen. Zwischen Räumen mit hohem Emissionspotenzial oder starkem Schutzbedürfnis und angrenzenden Bereichen sollte der R'_w Wert bei 42 dB liegen. (Vgl. Leistner, P., Drotleff, H., Leistner, M., 2016, S.18)

Für einige Lagen der mehrschichtigen Bauteile des Gebäudes werden Vollholz oder Holzwerkstoffe eingesetzt, da diese während ihres Einsatzes im Gebäude den Vorteil bieten, CO₂ zu speichern, gleichzeitig aber auch nach ihrem Gebrauch im End-of-Life Zyklus eine adäquate Weiterverwendung finden. Beispielsweise können Vollholzprodukte, die der Klasse A1 und A2 laut der Altholzverordnung zugeordnet werden, nach ihrer Demontage hochwertig weiterverwendet werden, da zukünftig die Nachfrage auf dem Markt von gebrauchten Gütern steigen

wird. Auch die verwendeten biologischen Faserstoffe können nach einem sortenreinen Rückbau einem qualitativ ausgezeichneten Recycling durch stoffliche Wiederverwendung zugeführt werden. Zudem ist selektiv zurückgebautes Vollholz einem hochwertigen Downcycling in Form von einer stofflichen Weiterverwertung zuführbar. Alle aus nachwachsenden Rohstoffen bestehende Materialien, sowohl Vollholz als auch biologische Faserstoffe bieten an ihrem Lebensende zusätzlich die Möglichkeit, einer energetischen Verwertung. Des Weiteren werden im Gebäude in den mehrschichtigen Bauteilen statt konventionell üblichen Gipskartonplatten bei den Trockenbauwänden Lehmbauplatten eingesetzt. Diese werden mit Lehm verputzt und sorgen für ein angenehmes Raumklima, erfüllen den geforderten Brandschutz und sind durch die lösliche Verbindung von der Unterkonstruktion sortenrein trennbar. Der langlebige Baustoff bietet nach seiner Rückgewinnung die Möglichkeit einer hochwertigen stofflichen Wiederverwendung, ebenso die Holzwerkstoffe. In Bereichen des Erdreiches müssen andere Materialien ausgewählt werden, da beispielsweise die für Wände und Decken als Dämmung geeignete Holzfaserwolle aufgrund von fehlender Feuchteresistenz und Druckbeständigkeit im Erdreich nicht verwendet werden kann. Gleiche Eigenschaften weisen andere biologische Dämmstoffe auf, weshalb im Bereich des Fundaments auf Schaumglas-Dämmschotter, welcher in Säcken verbaut und damit sortenrein rückgewonnen und wiederverwendet werden kann, zurückgegriffen wird. Auch die tragenden Bauteile, welche Kontakt mit dem Erdreich haben, werden aus Beton mit Recyclinganteil aus dem Abbruchmaterial des Bestandsgebäudes ausgeführt. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 116)

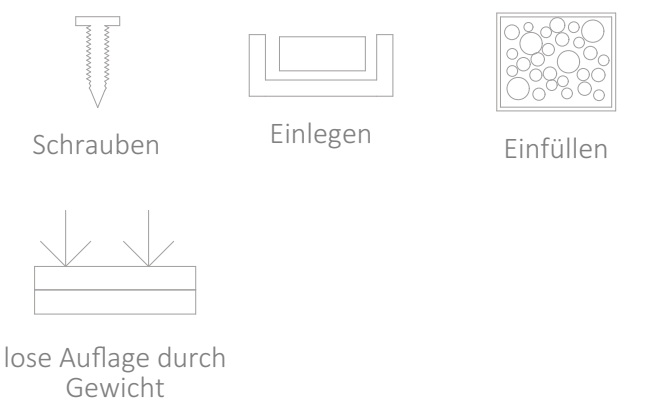
Die Bauteile wie Außen- und Innenwände können bereits im Werk vorgefertigt und vollständig an die Baustelle geliefert werden, da sie in ihrer Höhe unter vier Metern liegen, was der gewöhnlichen Transporthöhe eines Lastkraftwagens entspricht. Gleichzeitig kann dieser Elemente mit einer Länge von bis zu 13,50 Metern transportieren und somit

können längere Wandabschnitte bereits zusammengefügt transportiert werden. Da die Deckenelemente liegend transportiert werden müssen, werden diese als Sondertransport angeliefert. Der Dachaufbau erfolgt vor Ort. (Vgl. Abb. 64-68) (Vgl. Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S., 2017, S.145)

4.10.1. GRÜNDUNG, BODEN

Aufgrund des statischen Systems kann die Gründung in Form von Punktfundamenten erfolgen, welche Material einsparen und Aushubmassen geringhalten. Die Bodenplatte sowie die Punktfundamente sind aus Recycling-Stahlbeton, dem in der Herstellung Abbruchmaterial der Bestandsunterkellerung sowie der Bestandsbodenplatte beige-mengt werden. Als Dämmung wird im Erdbereich Schaumglas Dämmschotter verwendet, welcher aus Altglas hergestellt wird und nach sortenreiner Rückgewinnung zurück in den Kreislauf geführt werden kann. Der Spritzwasserschutz erfolgt durch eine Aluminiumverkleidung, die bis 15 cm über die Geländeoberkante geführt wird, da zusätzlich eine Rinne um das gesamte Gebäude verläuft, die wie eine grobe Kiessicht den nötigen Abstand der Holzverkleidung zum Gelände verringert. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.46f, 70; BaunetzWissen t (Hrsg.), o.D; BaunetzWissen o (Hrsg.), o.D.; Kürth, O. b, 2019; Köhnken, M., o.D.)

4.10.1.1. FÜGUNGSTECHNIKEN



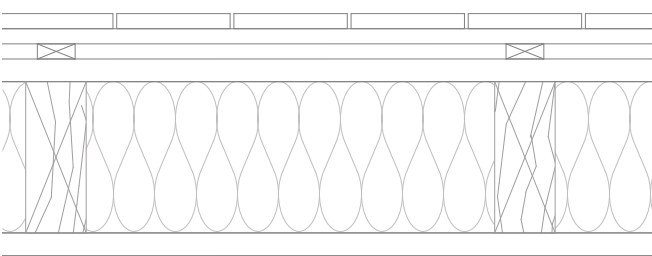
4.10.1.2. KREISLAUFPOTENZIAL

Der Dämmschotter in den Säcken kann ohne Qualitätsverlust rückgewonnen und wiederverwendet

werden. Der Recycling-Beton der Punktfundamente kann zwar erneut recycelt werden, jedoch erfolgt die Entnahme und die Rückführung in den Kreislauf unter Qualitätsverlust. Das Aluminiumblech kann sortenrein rückgewonnen werden und durch seine Eigenschaft der Einschmelzbarkeit in gleicher oder in anderer Form und Funktion in nahezu derselben Qualität wiederverwendet werden. Dafür ist entscheidend, dass das verbaute Aluminium lediglich mit organischen Beschichtungen zum Korrosionsschutz behandelt wurde. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S.46f, 70, 74, 136)



4.10.2. AUSSENWAND



Außenwandaufbau	
Fassadenlattung Lärche	20 mm
Konterlattung	20 mm
Lattung	20 mm
MDF Platte, geschraubt, winddicht	
Fugen abgedichtet	30 mm
Wollfilz-Kraftpapier-Streifen	
Gefachdämmung Holzfaser, Lignin-gebunden	200 mm
Konstruktionsvollholz Fichte	200 mm
Holzverlegeplatte, dampfbremsend sichtqualität	30 mm

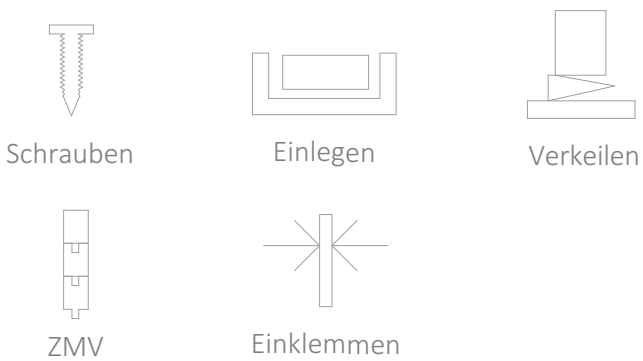
Anforderung $R'_{w,res}$ bei etwa 35 dB

Die Anforderungen an Außenwände liegen darin, den Diffusionswiderstand von innen nach außen zu verringern, um Feuchteinträge zu reduzieren. Außerdem sollte die Winddichtheit außenseitig gege-

ben sein, um eine Wärmeabfuhr durch Konvektion zu reduzieren. Innenseitig ist die Luftdichtheit der Bauteilschicht wichtig, da ein Feuchteintrag durch Konvektion so vermieden beziehungsweise verkleinert werden kann. Der Außenwandaufbau erfolgt von innen nach außen wie folgt: Innen werden Holzverlegeplatten aus Weißtannenholz mit eingeklemmten Quellbändern, dampfbremsend, luft- und winddicht in Sichtqualität angebracht. Diese können durch Zimmermannsverbindungen leimfrei miteinander verbunden werden. Dahinter folgt die sich selbst tragende Schicht aus einem Ständerwerk aus Konstruktionsvollholz mit 200 auf 10 Millimetern sowie einer dazwischenliegenden Gefachdämmung mit 200 Millimetern Stärke aus Altpapier hergestellten Zellulosefasern. Darauf folgt eine MDF Platte, die an die Ständer geschraubt wird und die Winddichtheitsebene ausbildet. Die Fugen werden mithilfe eines Wollfilz-Kraftpapier-Streifens abgedichtet. Daran wird die Lattung befestigt, worauf die Konterlattung und die anschließende vertikale Fassadenlattung als Außenverkleidung folgt. Diese Art einer hinterlüfteten Fassade bietet eine ausgebildete wasserführende Schicht und gleichzeitig ermöglicht sie einen einfachen Austausch der Fassadenbekleidung bei Abnutzung oder Alterungserscheinung. Konstruktiv wird die Fassadenbekleidung zusätzlich durch den Dachüberstand sowie den Balkon geschützt. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 49, 113, 131; Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S., 2017, S.92f)

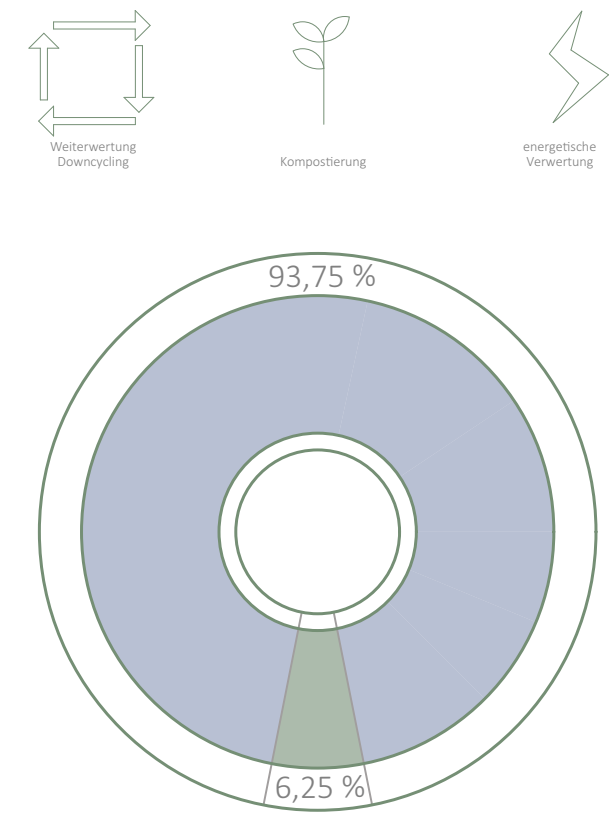
4.10.2.1. FÜGUNGSTECHNIKEN

*ZMV= Zimmermannsverbindung



4.10.2.2. KREISLAUFPOTENZIAL

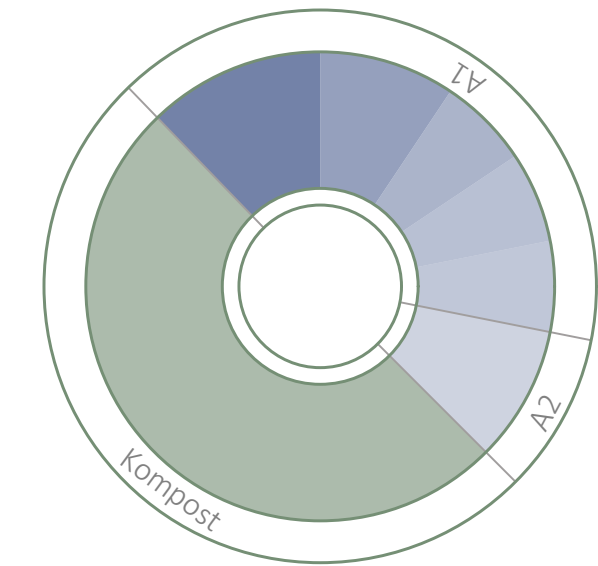
Das geringste Wiederverwendungspotenzial der Außenwand liegt in der Fassadenlattung, die durch Witterungseinflüsse stark beansprucht wird und bei Bedarf nach einigen Jahren ausgetauscht werden muss. Durch ihre unbehandelte Oberfläche lässt sie sich jedoch durch die Zuführung zu einer energetischen Verwertung zurück in den Kreislauf führen, allerdings wird dabei gespeichertes CO₂ freigesetzt. Das Konstruktionsvollholz und die MDF Platte können weiterverwertet werden. Die Holzfaserdämmplatten können bestenfalls weiterverwertet oder kompostiert werden. (Vgl. Abb. 70) (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 72, 151, 155)



Weiterverwertung Downcycling
energetische Verwertung

Abb. 70 Kreislaufpotenzial Aussenwand (eigene Darstellung)

4.10.2.3. ABFALLKATEGORIE

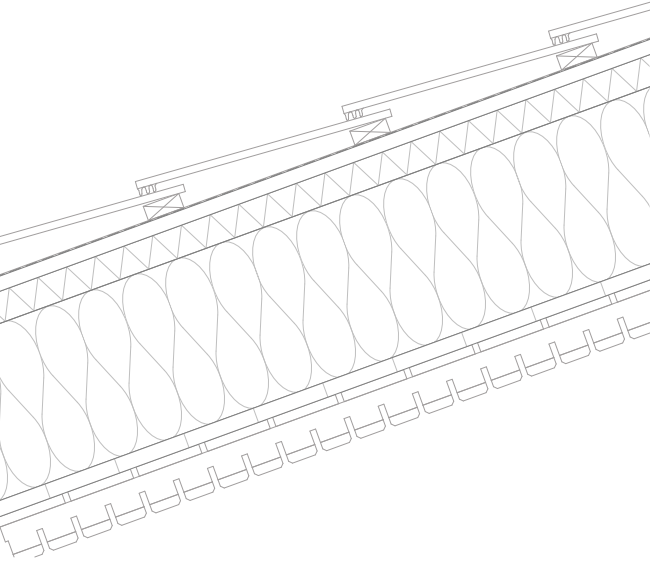


*A1 und A2- Altholzkategorie 1 und 2

- KVH 12,5 %
- Holzverlegeplatte 9,4 %
- Lattung 6,25 %
- Konterlattung 6,25 %
- Hinterlüftung 6,25 %
- MDF 9,4 %
- Holzfaserplatte 50 %

Abb. 71 Abfallkategorie Aussenwand (eigene Darstellung)

4.10.3. DACH



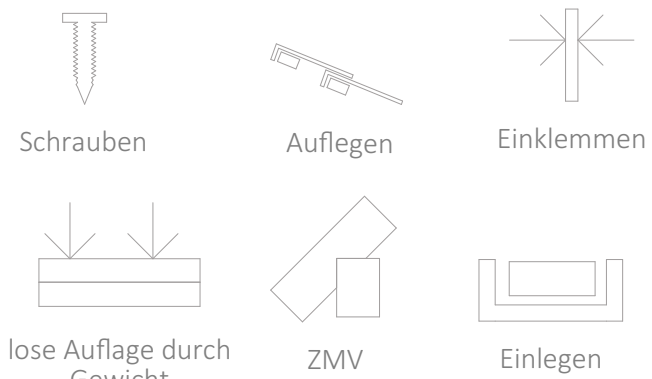
Dachaufbau

Dachziegel	15 mm
Lattung	20 mm
Unterdeckbahn	
PP-Vlies mit PEE Membran	0,5 mm
MDF Platte	20 mm
Holzweichfaserdämmung	40 mm
Holzweichfaser	
Zwischensparrendämmung	220 mm
Sparren KVH Fichte	220 mm
Holzlattung	20 mm
Akustikdecke Weißtanne	66 mm

Die hauptsächliche Aufgabe des Daches liegt im Schutz der Unterkonstruktion vor Regen- und Witterungseinflüssen. Daher werden seine Bekleidungsschicht und die Abdichtungsbahnen sehr beansprucht. Der Dachaufbau erfolgt von außen nach innen wie folgend: Die Dacheindeckung erfolgt durch Dachziegel, welche durch die Bauteilbörse Restado, auf der sie als Sonderposten verkauft werden, erworben werden. Sie werden auf einer Lattung aufgebracht. Unter der Lattung befindet sich eine Unterdeckbahn aus einem PP-Vlies mit PEE Membran, welche geklammert wird. Darunter folgt eine weitere Abdichtungsebene aus MDF, welches die Winddichtheit herstellt. Wiederum liegt unter dem MDF eine dünnere Schicht einer Holzweichfaserdämmung, die auf der statischen Ebene der

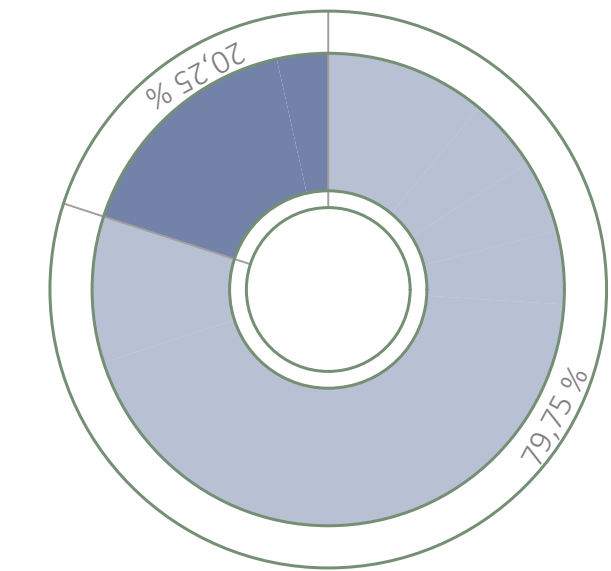
Sparren mit einer Holzweichfaser Zwischensparrendämmung in einer Stärke von 220 Millimetern aufliegt. Darunter erfolgt eine Holzlattung. Wahlweise wird an der Unterseite eine Akustikdecke aus Holzlamellen in Sichtqualität aus Weißtanne angeschraubt. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 112, Franke, B., o.D.)

4.10.3.1. FÜGUNGSTECHNIKEN



4.10.3.2. KREISLAUFPOTENZIAL

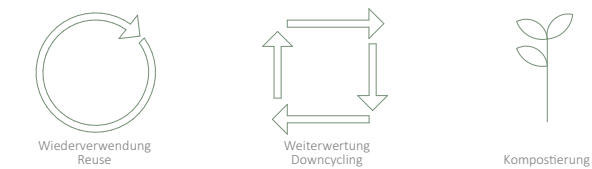
Können die Dachziegel nach einem Rückbau sortenrein und unbeschädigt entnommen werden, sind die wiederverwendbar. Bei Beschädigung können die Bruchstücke zu einem Anteil von bis zu 40% der Produktion von neuen Ziegeln zuge-



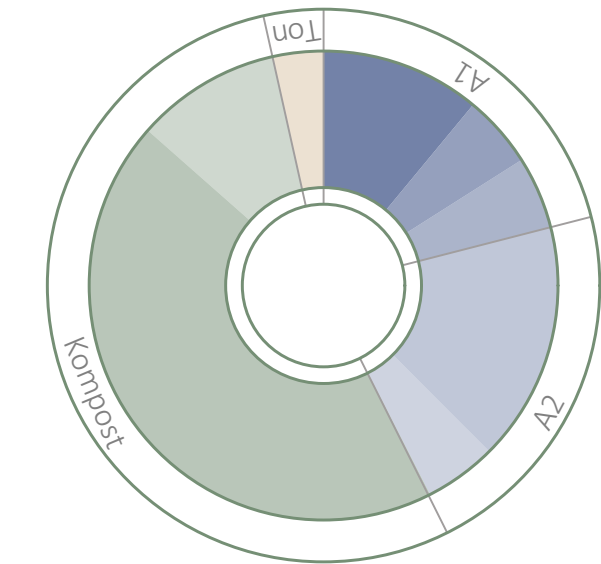
- Wiederverwendung Reuse
- Weiterverwertung Downcycling

Abb. 72 Kreislaufpotenzial Dach (eigene Darstellung)

führt werden. Die Lattung kann je nach Zustand weiterverwertet oder kompostiert werden. Das PP-Vlies kann wie die MDF Platte und das Konstruktionsvollholz weiterverwertet werden. Die Zwischensparrendämmung kann entweder durch eine Weiterverwertung oder kompostiert zurück in den Kreislauf geführt werden. Die Akustikdecke kann in gutem Zustand abgeschraubt und wiederverwendet werden. (Vgl. Abb. 72) (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 77, 161)



4.10.3.3. ABFALLKATEGORIE

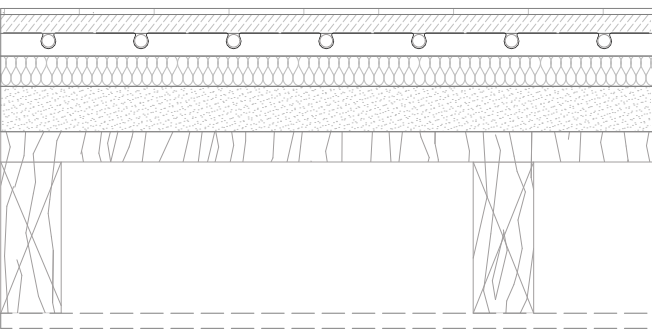


- KVH 11 %
- Lattung 5 %
- Lattung 5 %
- Akustikdecke 16,5 %
- MDF 5 %
- Zwischensparrendämmung 44 %
- Holzfaserdämmung 10 %
- Dachziegel 3,75 %

*A1 und A2- Altholzkategorie 1 und 2

Abb. 73 Abfallkategorien Dach (eigene Darstellung)

4.10.4. DECKE



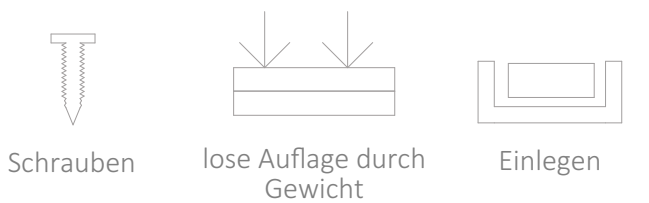
Deckenaufbau	
Parkett, geölt	8 mm
Trockenestrich	25 mm
Wärmeleitblech Aluminium	
Holzweichfaserplatte	30 mm
Rillen vorgefertigt	
Trittschalldämmung Holzfas.	40 mm
Altpapierwabenplatte gefüllt mit Kalksandsteingranulat	60 mm
Rieselschutz Kraftpapier	
Holzschalung	40 mm
Konstruktionsvollholz Fichte	200 mm
Nassbereich abgehängt	
Kinderrestaurnt und Spielflur	
Akustikdecke Weißtanne	66 mm

Anforderung: R`w 55 L`n,w 53

Die aussteifende Funktion der Decken übernehmen Vollholzbalken, auf denen eine Holzschalung angebracht wird. In einigen Räumen sind die Balken sichtbar ausgeführt, in anderen, wie etwa den Sanitär und Küchenbereichen, werden zur unsichtbaren Rohr- und Leitungsführung Abhangdecken angeschraubt. Im Spielflur sowie im Kinderrestaurant werden Holzlamellen Akustickdecken montiert. Auf der Holzschalung wird eine aus Altpapier hergestellte Wabenpappe mit einer 60 mm hohen Aufbauhöhe, die mit Kalksteingranulat gefüllt ist, als Schüttung aufgebracht. Unterseitig ist ein Rieselschutz aus Papier integriert. Im Falle des Rückbaus kann das Kalksteingranulat abgesaugt und damit die Bestandteile sortenrein getrennt und recycelt werden. In dieser Ebene können durch Einschnitte Installationen verlaufen. Auf die Schüttung wird die Trittschalldämmung aus Holzfasern aufgelegt. Anschließend wird ebenfalls eine Holzweichfaserplatte mit vorgefertigten Rillen für die Wärmeleitbleche aus Aluminium zur Installation der Fußbodenheizungsrohre montiert. Auf ihr wird ein Trockenestrich mit 40 mm Stärke verlegt, dieser lässt sich im Falle eines Rückbaus leicht lösen und sortenrein trennen. Zudem wird keine Trocknungszeit auf der Baustelle benötigt. Er eignet sich außerdem aufgrund seiner Wärmeleitfähigkeit als Schicht zwischen dem Fußbodenbelag und der Fußbodenheizung. In den Gruppenräumen der Kita, den Schlafräumen sowie den Mitarbeiterbereichen und den Werkstätten des Kindergartens wird Parkett verlegt, dieser ist robust und eignet sich auch für Einrichtungen wie Kindergärten, zudem kann er zur Instandhaltung nachgeölt und sogar abgeschliffen werden. In den Flurbereichen, welche hoch frequentiert sind, werden Linoleumpaneele im Klicksystem verlegt, welche gegenüber herkömmlichem Linoleum keinen gespachtelten Untergrund sowie keine Verklebung benötigen. Die Paneele bestehen aus Holzfasernplatten, auf denen das Linoleum oberseitig und als Gegenzug eine Korksicht unterseitig angebracht wird. In den Nassräumen werden Keramikfliesen im Trockenverfahren verlegt. Die Fugen, welche durch die schwimmende Verlegung und einem Überstand der an der Unterseite der Fliese angebrachten Korksicht entstehen, werden mithilfe einer Dispersionsmasse verschlossen. Somit kann die Montage schnell erfolgen und benötigt nur kurze Trocknungszeiten. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S.53ff, 84, 92)

schalldämmung aus Holzfasern aufgelegt. Anschließend wird ebenfalls eine Holzweichfaserplatte mit vorgefertigten Rillen für die Wärmeleitbleche aus Aluminium zur Installation der Fußbodenheizungsrohre montiert. Auf ihr wird ein Trockenestrich mit 40 mm Stärke verlegt, dieser lässt sich im Falle eines Rückbaus leicht lösen und sortenrein trennen. Zudem wird keine Trocknungszeit auf der Baustelle benötigt. Er eignet sich außerdem aufgrund seiner Wärmeleitfähigkeit als Schicht zwischen dem Fußbodenbelag und der Fußbodenheizung. In den Gruppenräumen der Kita, den Schlafräumen sowie den Mitarbeiterbereichen und den Werkstätten des Kindergartens wird Parkett verlegt, dieser ist robust und eignet sich auch für Einrichtungen wie Kindergärten, zudem kann er zur Instandhaltung nachgeölt und sogar abgeschliffen werden. In den Flurbereichen, welche hoch frequentiert sind, werden Linoleumpaneele im Klicksystem verlegt, welche gegenüber herkömmlichem Linoleum keinen gespachtelten Untergrund sowie keine Verklebung benötigen. Die Paneele bestehen aus Holzfasernplatten, auf denen das Linoleum oberseitig und als Gegenzug eine Korksicht unterseitig angebracht wird. In den Nassräumen werden Keramikfliesen im Trockenverfahren verlegt. Die Fugen, welche durch die schwimmende Verlegung und einem Überstand der an der Unterseite der Fliese angebrachten Korksicht entstehen, werden mithilfe einer Dispersionsmasse verschlossen. Somit kann die Montage schnell erfolgen und benötigt nur kurze Trocknungszeiten. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S.53ff, 84, 92)

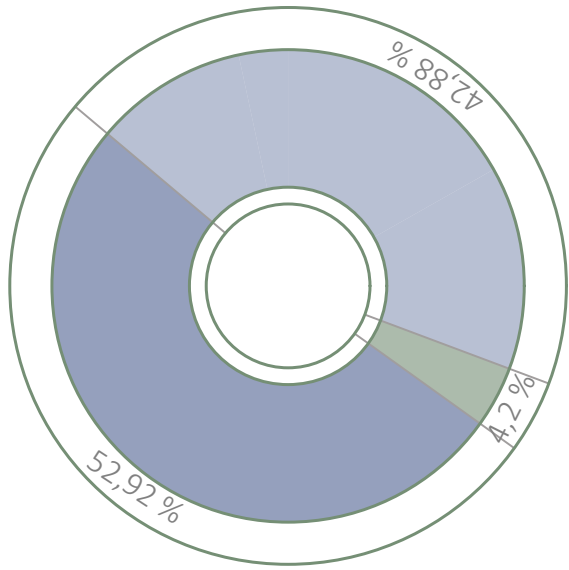
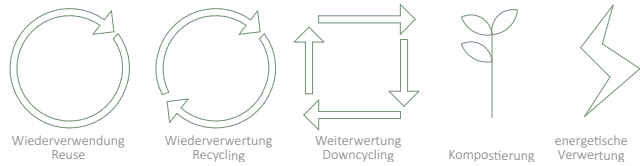
4.10.4.1. FÜGUNGSTECHNIKEN



4.10.4.2. KREISLAUFPOTENZIAL

Wiederverwendet werden kann das Kalksandsteingranulat. Wiederverwertet werden Wärmeleitbleche aus Aluminium und die Pappwabenplatte. Der

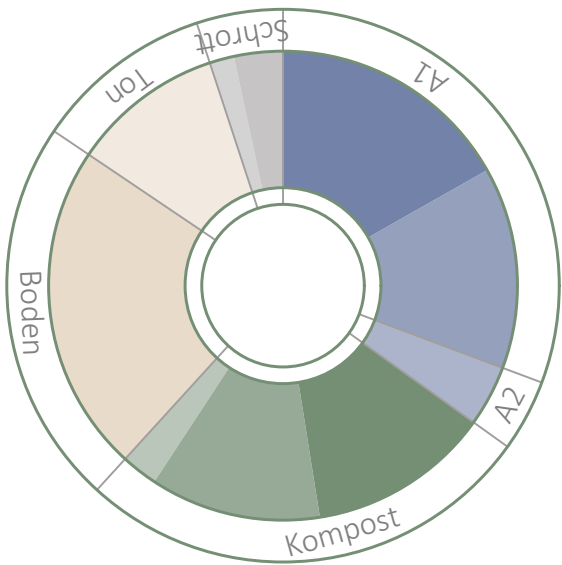
Weiterverwertung zugeführt werden Heizungsrohr, KVH, Trockenestrich und die Holzschalung. Die Holzfaserdämmung wird entweder wiederverwertet oder wie die Holzweichfaser kompostiert. Das Kraftpapier wird einer energetischen Verwertung zugeführt. Sollte die Holzschalung beschädigt sein, wird diese ebenso der energetischen Verwertung zugeführt. (Vgl. Abb. 74) (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 151, 161, 165)



- Wiederverwertung Recycling
- Weiterverwertung Downcycling
- energetische Verwertung

Abb. 74 Kreislaufpotenzial Decke
(eigene Darstellung)

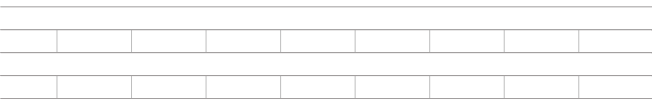
4.10.4.3. ABFALLKATEGORIE DER BAUSTOFFE



- *A1 und A2- Altholzkatgorie 1 und 2
- Holzschalung 16,8 %
 - KVH 13,9 %
 - Parkett 4,2 %
 - Holzweichfaser 12,6 %
 - Tritschall 11,76 %
 - Altpapierwabenpappe 2,52 %
 - Kalksteingranulat 22,68 %
 - Tonestrichziegel 10,5 %
 - Aluminiumbleche 3,36 %
 - Kupferrohre 1,68 %

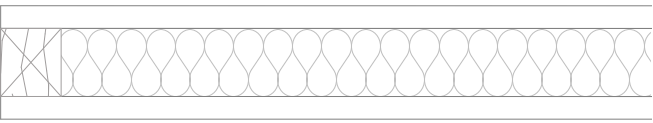
Abb. 75 Abfallkategorien Decke
(eigene Darstellung)

4.10.5. INNENWÄND



Innenwandaufbau
Massivwand, verdübelt
(Thoma Holz 100) 120 mm

Anforderung: 47 R`w



Innenwandaufbau
Lehmbauplatte 30 mm
Dämmung Holzfaser 90 mm
Holzständer KVH 90 mm
Lehmbauplatte 30 mm

Anforderung: 47 R`w

Im gesamten Gebäude werden verschiedene Arten von Innenwänden verbaut. Sie haben insbesondere die Funktion, die Räume akustisch und optisch voneinander zu trennen. Daher sind auch in der Kombination mit den Deckenelementen, auf denen sie aufliegen, die akustische Trennung durch das Aufliegen auf flexiblen Dämmstreifen entscheidend, um so Schallübertragungen durch andere Bauteile zu verhindern. Zum einen werden im Bereich der aussteifenden Wände Massivwände der Firma Thoma Holz in einer Stärke von 25 Zentimetern eingesetzt, die dank einer Verbindung aus Dübeln leimfrei sind. Ebenso werden für weitere Zwischenwände Massivwände der Firma in einer geringeren Stärke von 14 beziehungsweise 12 Zentimetern eingesetzt. Zudem sind einige Wände als Leichtbau geplant, um Ressourcen und Kosten zu sparen und einfache Elektroleitungsführung zu ermöglichen. Die Leichtbauwände bestehen hierbei aus mit Lehmputz verputzten Lehmbauplatten, die beidseitig an einer Ständerwand aus Konstruktionsvollholz mit einer Holzfaserzwischen-dämmung

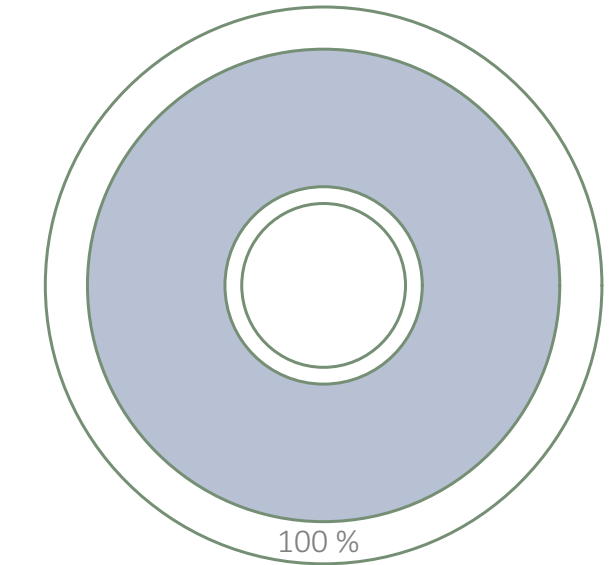
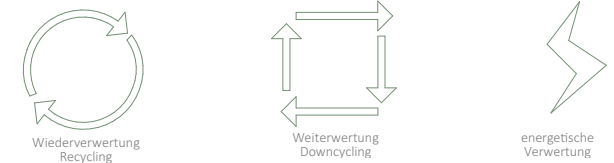
angeschraubt werden. (Vgl. Thoma Holz GmbH (Hrsg.), 2020, S.6ff)

4.10.5.1. FÜGUNGSTECHNIKEN



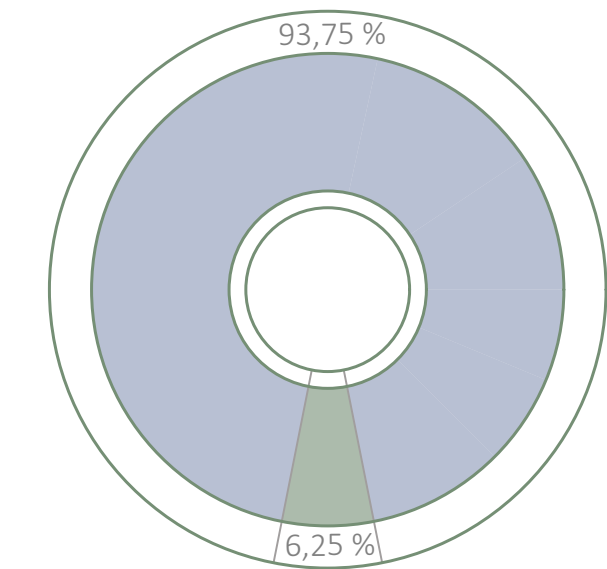
4.10.5.2. KREISLAUFPOTENZIAL

Die Lehm- und Holzbauplatten werden wiederverwertet. Die Holzständer aus KVH sowie die Holzfaserdämmplatten können weiterverwertet werden. Die Massivwand aus leimfreien Brettspertholz kann in gutem Zustand weiterverwertet oder einer energetischen Verwertung zugeführt werden. (Vgl. Abb. 76, 77) (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 155)



- Weiterverwertung Downcycling

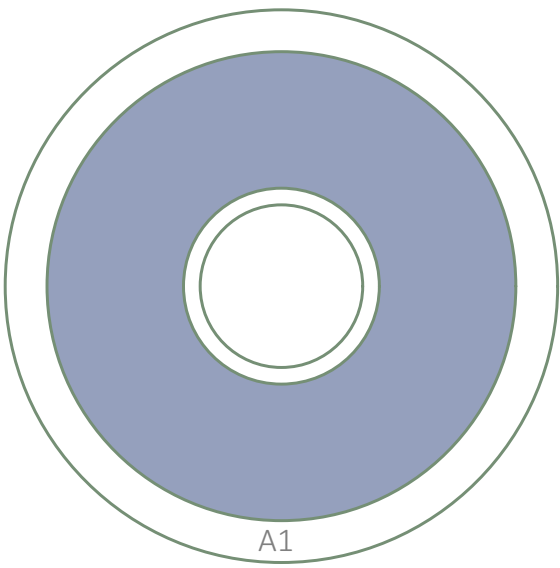
Abb. 76 Kreislaufpotenzial Massivinnenwand
(eigene Darstellung)



- Weiterverwertung Downcycling
- energetische Verwertung

Abb. 77 Kreislaufpotenzial Leichtbauinnenwand (eigene Darstellung)

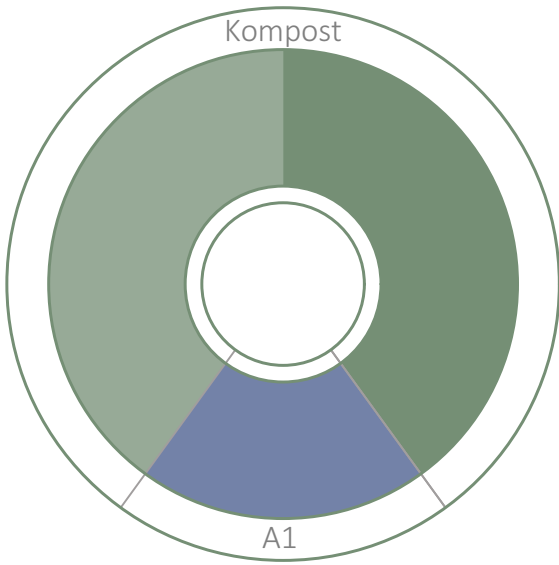
4.10.5.3. ABFALLKATEGIE DER BAUSTOFFE
Massivwand



- *A1 - Altholz-kategorie
- Massivholz 100 %

Abb. 78 Abfallkategorien Massivbauwand (eigene Darstellung)

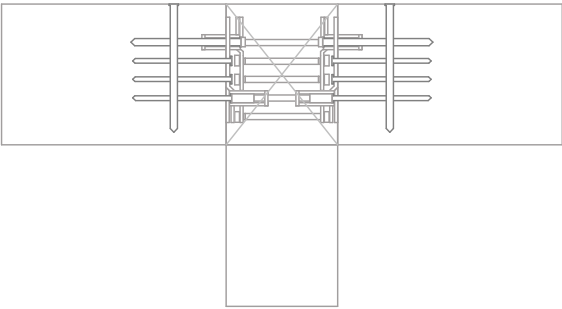
Leichtbauwand



- *A1 - Altholz-kategorie 1
- KVH 20 %
- Holzfaserdämmung 40 %
- Lehm- bauplatte 40 %

Abb. 79 Abfallkategorien Leichtbauinnenwand (eigene Darstellung)

4.10.6. STÜTZEN-TRÄGER



Konstruktionsvollholz Fichte 250 mm

4.10.6.1. FÜGUNGSTECHNIKEN



4.10.6.2. KREISLAUFPOTENZIAL

Durch die Verwendung von unbehandeltem Konstruktionsvollholz für die Stützen und Träger und deren Schutz vor Witterung verfügen diese über eine große Langlebigkeit. Zudem entsteht durch die hohe Anzahl der im Projekt verbauten Träger und Stützen in gleichen Längen und Abmessungen ein hohes Weiterverwendungspotenzial für einen Wiedereinbau in einem anderen Gebäude im Anschluss an einen Rückbau. Durch die löslichen Schraubverbindungen kann das Holz schadensfrei rückgebaut und an anderer Stelle erneut eingebaut werden. Die Schraubverbindungen lassen sich, da sie aus Metall sind, wiederverwerten. (Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 141)



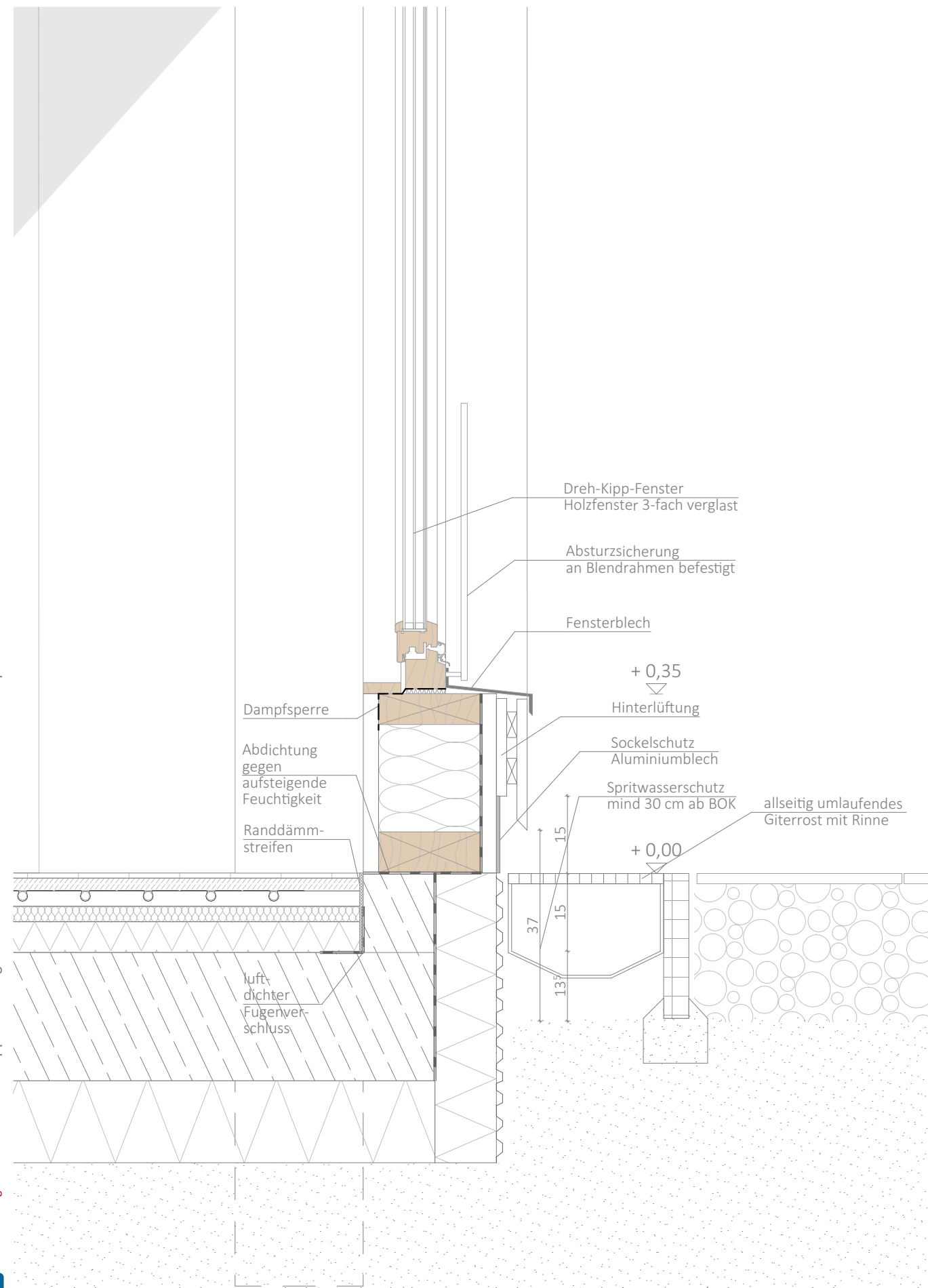


Abb. 80 Detail Sockel M. 1:10

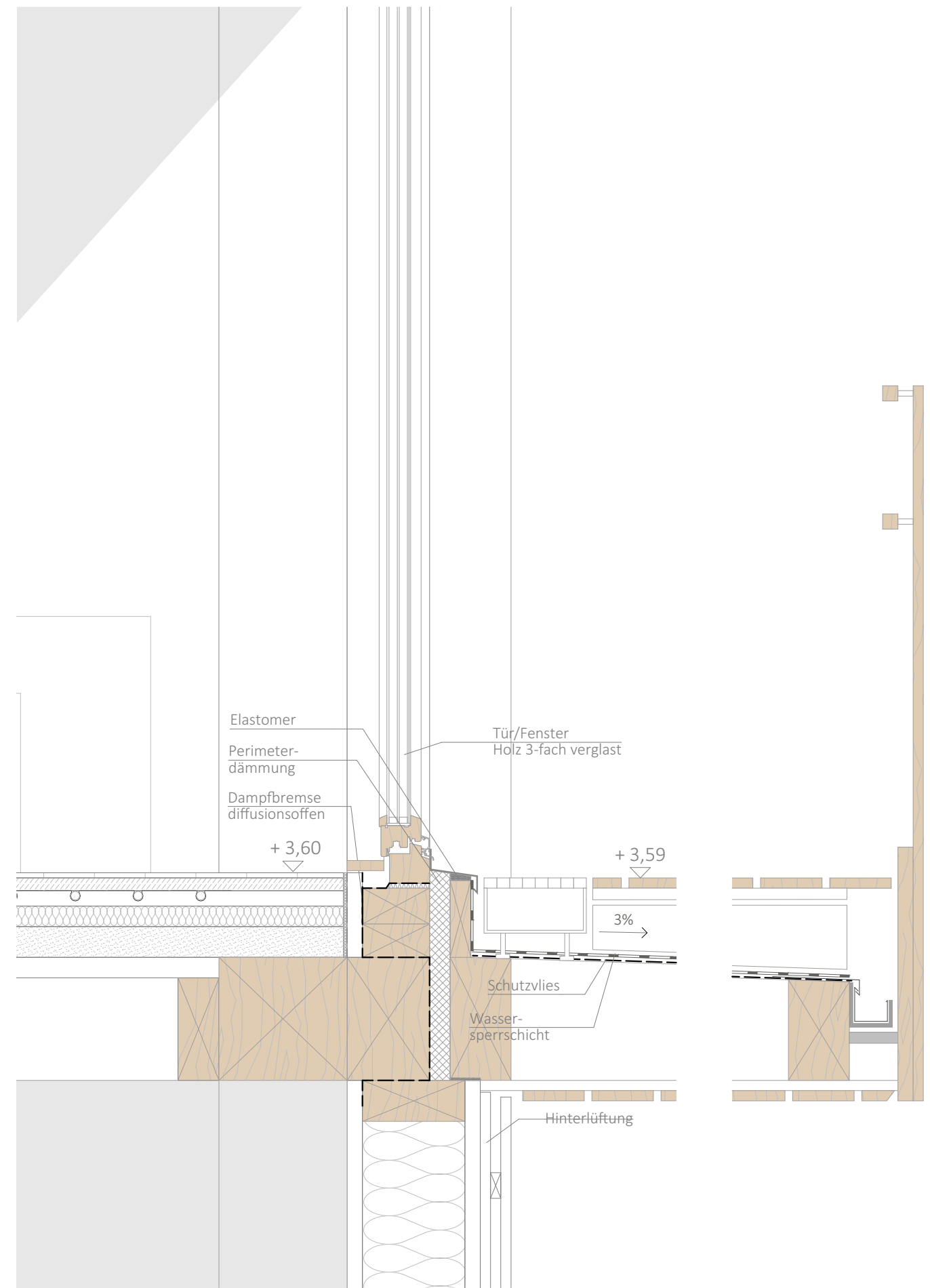


Abb. 81 Detail Balkonanschluss M. 1:10

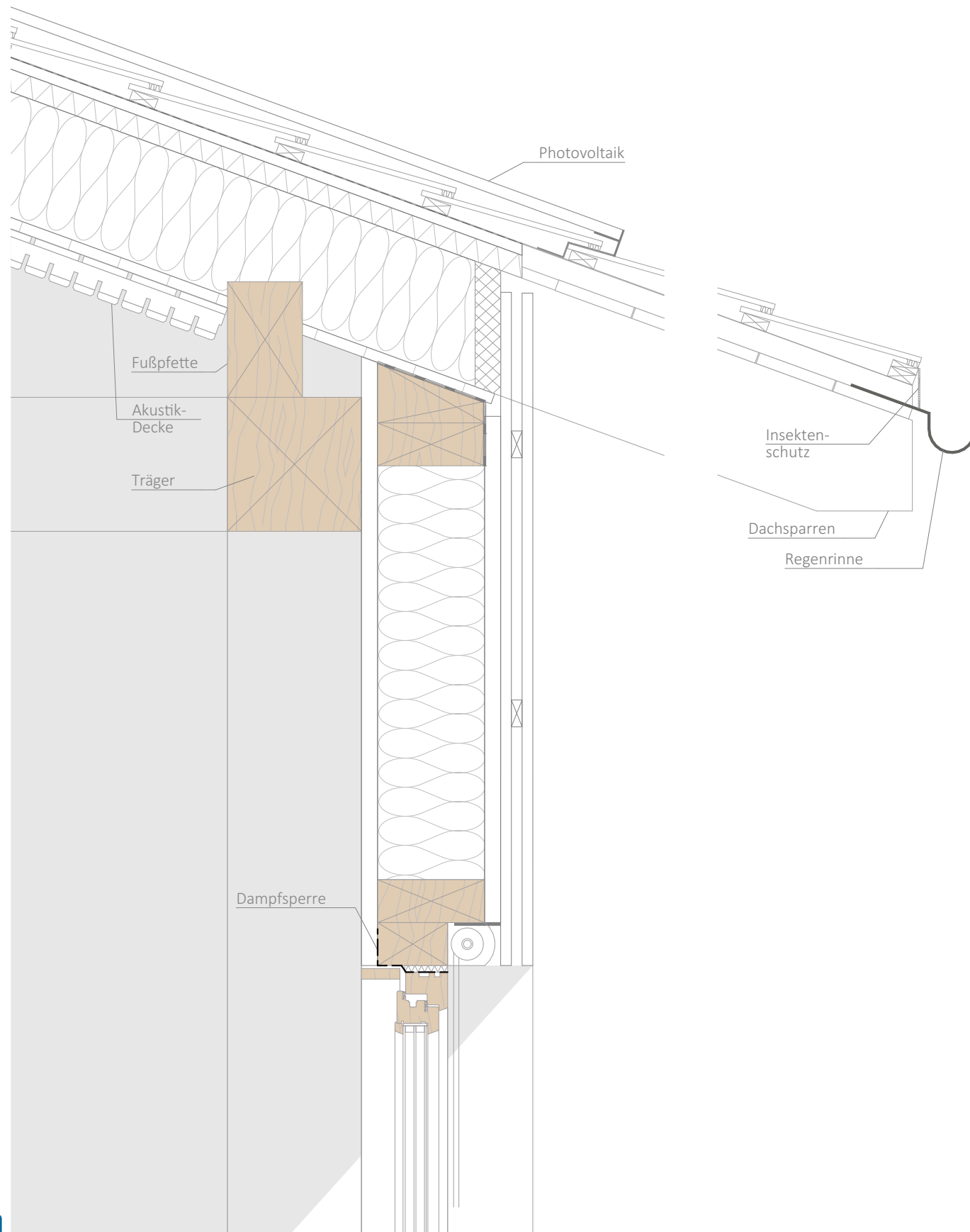


Abb. 82 Detail Dachanschluss M. 1:10

4.11. RÜCKBAUKONZEPT

Die Grundlage eines jeden Rückbaus bildet die Kenntnis über das Objekt. Das Gelingen des Rückbaus obliegt den Bauherr*innen. Vor dem Rückbau muss eine Überprüfung der Bauteile stattfinden, bei der auch mögliche Gefahren- oder Schadstoffe identifiziert werden. Wurden einzelne Bauteile der Kindertagesstätte im Laufe ihrer Nutzung keiner weiteren Behandlung mit schädlichen Stoffen unterzogen oder solche hinzugefügt, ist das Gebäude frei von Schadstoffen und bietet somit ein geringes Risiko für Umweltbelastungen in Folge seines Rückbaus. Durch die Plangrundlage können alle Massen erfasst werden und dementsprechend Verwertungs- oder Entsorgungskonzepte erstellt werden. Die verbauten Stoffe können größtenteils Wiederverwendet- und verwertet werden. Um ein hohes Kreislaufpotenzial zu erreichen, müssen geeignete Werke oder Bauprojekte gefunden werden, um die Bauteile ihrer weiteren Nutzung zuzuführen. Bestenfalls befinden sich diese in näherer Umgebung, um Emissionen im Transport einzusparen. Ein solcher Bedarf im Umfeld des Projektes ist zum jetzigen Stand für den Zeitpunkt des Rückbaus der Kindertagesstätte noch nicht absehbar. Gleichzeitig muss im Rückbauverfahren darauf geachtet werden, die Biodiversität wie beispielsweise die Bestandsgebäude zu schützen und zu schonen. Aufgrund des begrenzten Platzangebotes am Standort muss der Rückbau schrittweise erfolgen sowie die Baustoffe nacheinander abtransportiert werden. (Vgl. DGNB GmbH (Hrsg.), o.D.)

Entscheidend für die Maximierung des Kreislaufpotenzials ist der sortenreine Rückbau sowie die Vermeidung von Beschädigungen oder Vermischungen. In der Kindertagesstätte kann der Rückbau in verschiedenen Varianten erfolgen. Durch das Tragsystem kann das Gebäude in Teilen rückgebaut, entkernt oder komplett rückgebaut werden. Im Prinzip erfolgt der Rückbau im Umkehrschluss zur Errichtung. Außerdem kann das Gebäude je nach Zustand in einzelne Bauteile zerlegt werden, dafür können ganze Fassadenelemente sowie In-

nenwände, Stützen, Träger und Decken ausgebaut und in einem anderen Projekt wieder unabhängig voneinander eingebaut werden und damit eine Weiterverwendung im Gebäudekreislauf finden. (Vgl. Abb. 82) Hierbei sollten im Vorfeld geschoss- oder raumübergreifende Installationen entfernt werden, um den schadenfreien Ausbau der raumbegrenzenden Elemente zu ermöglichen. Dann werden die Teile, wie sie bereits als vorgefertigte Elemente zur Baustelle bei der Errichtung gebracht wurden, in der gleichen Weise und Reihenfolge ausgebaut. Lediglich beim Dach muss der Rückbau in einzelnen Schichten erfolgen, da die Dimensionen des Daches zu groß für einen Transport sind und einige Teile nur durch Auflage befestigt sind. Nach dem Rückbau des Daches kann das Gebäude geschossweise rückgebaut werden, beginnend bei den nichttragenden Elementen bis hin zu den tragenden und aussteifenden Elementen. In gleicher Weise kann auch eine Entkernung des Gebäudes stattfinden, in dem zu Beginn Installationen ausgebaut und anschließend das Dach und alle nichttragenden Elemente ausgebaut werden. Hierbei ist der Schutz der Holzskellettkonstruktion und der aussteifenden Wände vor Witterungen zu beachten. (Vgl. Abb. 83) (Vgl. DGNB GmbH (Hrsg.), o.D.; Florian, M., o.D.; Pörtner, J., o.D.; OÖ Landesabfallverband (Hrsg.), o.D.)

Des Weiteren kann das Gebäude in seine einzelnen Schichten rückgebaut werden, um die stoffliche sortenreine Trennung aller Materialien zu gewährleisten. (Vgl. Abb. 84) Dieses Verfahren erfolgt in mehreren Stufen. Da keine schadstoffbelasteten Bauteile in der Kindertagesstätte erhalten sind, sofern im Laufe der Nutzung keine hinzugefügt wurden, entfällt der Schritt der Lokalisierung und des Ausbaus dieser belasteten Bauteile. Demnach werden zuerst Türen, Türstöcke, Fenster, Installationen und der Aufzug ausgebaut. Anschließend werden alle Bauteile schrittweise Schicht für Schicht ausgebaut und entnommen, die nicht zum Rohbau, dem tragenden Skelett und den aussteifenden Wänden zählen. Dies betrifft das Dach, die Fassade und den Großteil der Innenwände. Die ausgebauten Teile

können dank löslicher Verbindungen in einzelnen Baustoffkategorien sortenrein gesammelt werden. Zuletzt werden die aussteifenden Wände sowie Stützen und Träger rückgebaut, die ebenfalls durch die einstoffliche und klebefreie Bauweise der Massivwände und der Schraubverbindungen von Stützen und Träger nach ihren Altholzkategorien gesammelt und abtransportiert werden können. Zuletzt muss der Beton der Bodenplatte aufgebrochen, der Bauschutt gesammelt und abtransportiert werden. Die Bauweise bietet allen Materialien durch die bei der Errichtung gewählten Verbindungen die höchstmögliche Chance, in ihrer Qualität erhalten zu bleiben, eine große Verwertbarkeit aufzuweisen, um einer Wiederaufbereitung zu neuen Baumaterialien zugeführt zu werden. (Vgl. DGNB GmbH (Hrsg.), o.D.; Florian,M., o.D.; Pörtner, J., o.D.; OÖ Landesabfallverband (Hrsg.), o.D.)

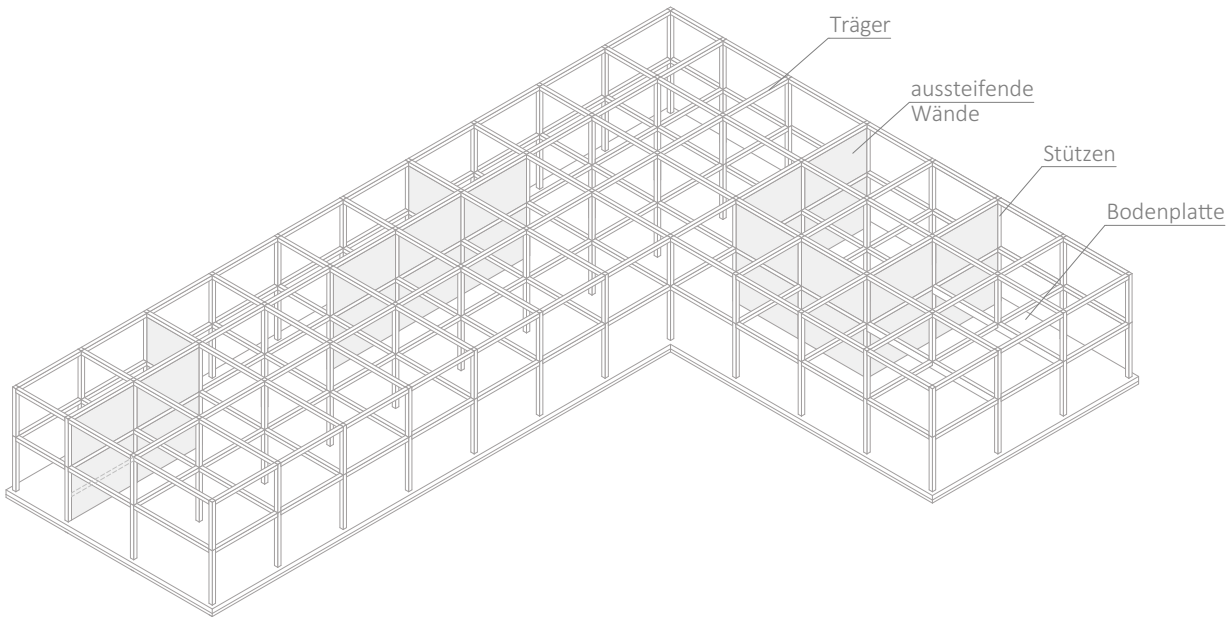


Abb. 84 Entkernung

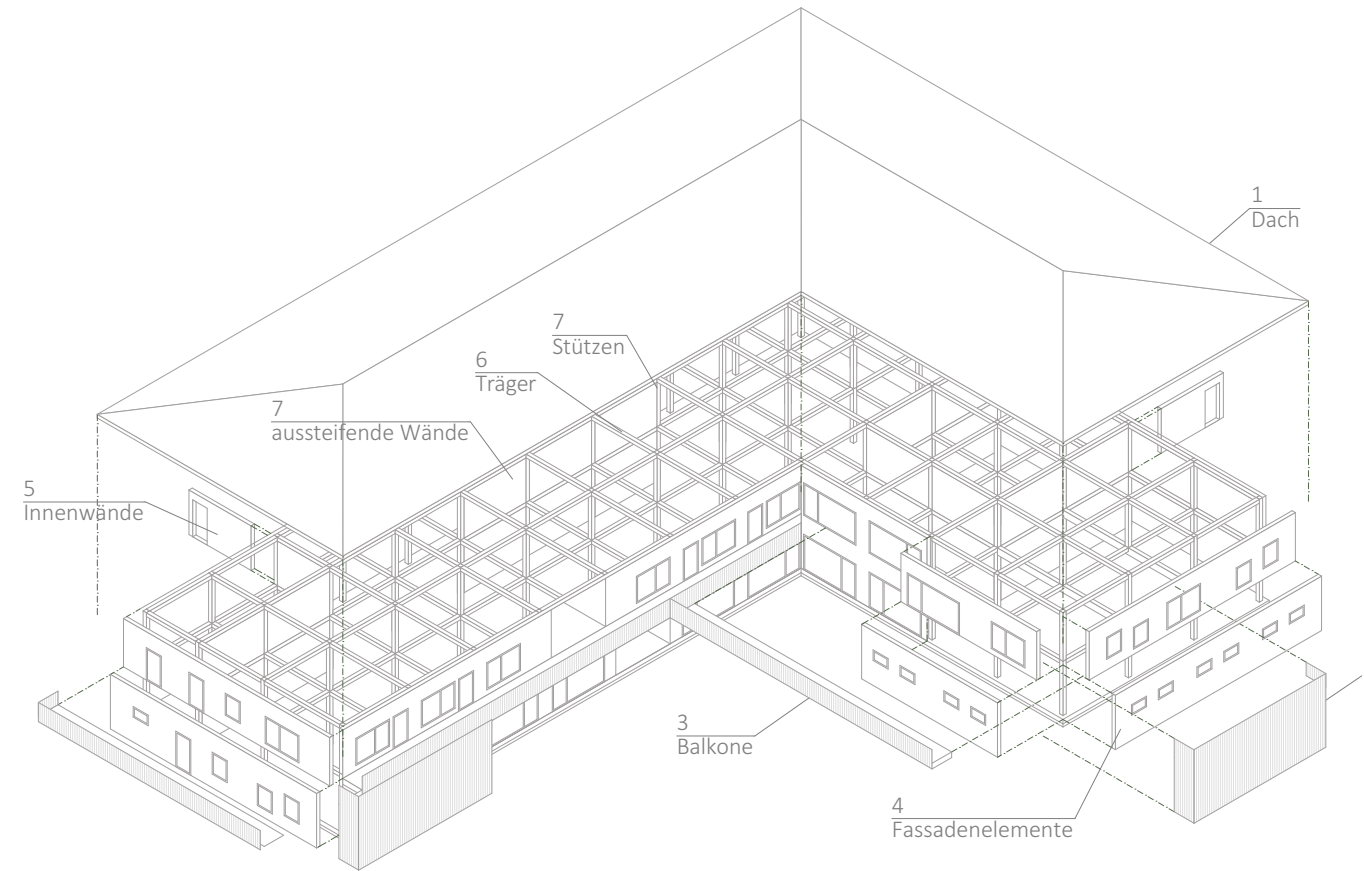


Abb. 83 Rückbau durch die Entnahme von Elementen

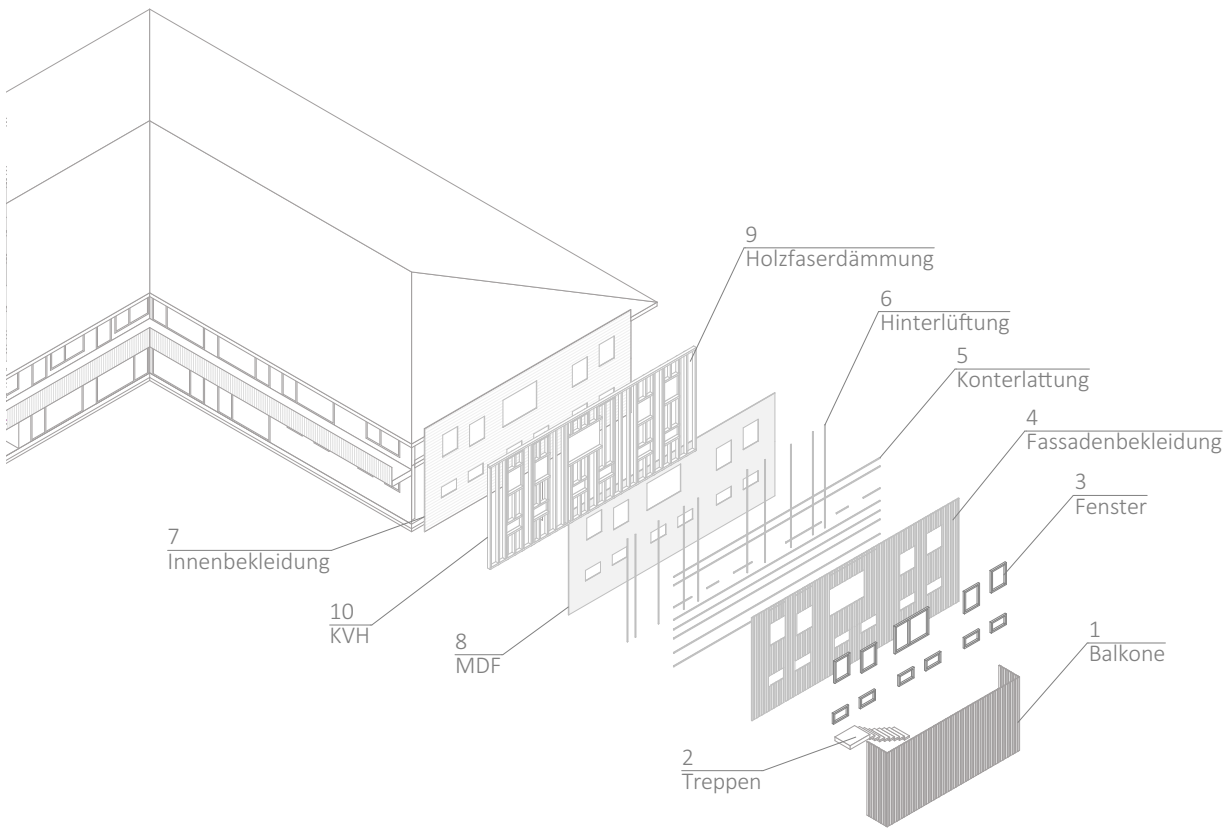


Abb. 84 Rückbau der Bauteilschichten am Beispiel Fassade

4.12. DISKUSSION

Aus der Umsetzung der kreislaufgerechten Bauweise im Entwurf der Kindertagesstätte lassen sich einige Probleme und Herausforderungen erkennen. Das Ziel, ein vielfältig nutzbares Gebäude zu errichten, welches auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer*innen eingehen kann und einem demografischen Wandel durch seine flexible Struktur standhalten kann, ist in ästhetisch ansprechender Art zum Großteil gelungen. Die Kreislauffähigkeit des Gebäudes in Hinblick auf die Erhaltung der Rohstoffe im Kreislauf und die Vermeidung von Deponieware konnte hauptsächlich ermöglicht werden. Durch die verwendeten Materialien, Fügungstechniken und die Rückbaubarkeit weist die Realisierung der Bauweise zwar überwiegend positive Ergebnisse, aber dennoch nachteilige Aspekte auf. Im Sinne einer vollständigen Kreislauffähigkeit sowie den Aspekten der Nachhaltigkeit sind Einschränkungen und Begrenzungen der Handlungsmöglichkeiten aufgetreten.

Grundlegend konnte durch die Planung in einem Zusammenspiel aus den Raumanforderungen der Bauaufgabe und den Aspekten der zirkulären Bauweise eine Lösung gefunden werden, die beide Seiten vereint. Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte, welche im theoretischen Teil der Arbeit behandelt wurden, auf die erfolgreiche Umsetzung und die Grenzen der kreislaufgerechten Bauweise diskutiert.

Die grundlegende Problematik des hohen Abfallaufkommens und die damit einhergehende Flächenversiegelung, die heutzutage im Abriss von Gebäuden auftritt, konnte im Entwurf insofern berücksichtigt werden, da durch die Wahl der Materialien die einzelnen Schichten der Bauteile in ihren Abfallkategorien nicht zu dauerhaften Deponierungen führen.

Tritt der Fall ein, dass einzelne Bauteilschichten an ihrem Lebensende angelangt sind, fallen sie unter die unterschiedlichen Kategorien der Abfallsortie-

rung und schließen somit als Altholz der Klassen 1 und 2, Schrott, Kompost, Boden und Ton ihren Kreislauf auf unterschiedliche Weise. Die Altholzkategorien A1 und A2 können teilweise nachgenutzt werden, indem sie sortenrein zu Hackschnitzel verarbeitet werden und in die Produktion von Spanplatten oder Möbeln einfließen oder als Biomasse energetisch verwertet werden. Der Nachteil in der thermischen Verwertung liegt im Ausstoß des gespeicherten CO₂. Die kompostierbaren Materialabfälle hingegen bieten die Grundlage für neues Wachstum von Pflanzen. Der anfallende Schrott kann durch Einschmelzen umgeformt und genutzt werden und verliert kaum an Qualität. Zudem kann er durch dessen Verkaufswert finanzielle Vorteile bieten. Die anfallenden Bodenmassen und der Ton sind im Einzelfall schwieriger weiter zu verwerten, da einerseits die Nachfrage für eine weitere Nutzung und die Möglichkeit zur Einbindung in den Herstellungsprozess neuer Materialien vorhanden sein muss, zum anderen ist die Verwendung solcher Rezyklate heute in der Herstellung neuer Werkstoffe begrenzt. Da alle eingesetzten Baumaterialien unbehandelt sind, bürden diese keine Risiken für die Umwelt, sollten sie als Füllung im Bergbau oder Straßenbau eingesetzt werden. (Vgl. HolzProKlima (Hrsg.), 2015)

Grundsätzlich wurde der Entwurf in seiner Gestaltung und die Wahl der Materialien der Bauteilaufbauten nach der Priorisierung der Kreislauffähigkeit einzelner Stoffe getroffen. Die Kindertagesstätte wird in der Planung auf den tatsächlichen Bedarf reduziert. Die Grundsätze „Refuse“, „Rethink“ und „Reduce“ findet hier in mehreren Ebenen statt. Die Größe des Gebäudes beschränkt sich auf die räumlichen Anforderungen der Nutzer*innen, auf ein Überangebot wird dabei verzichtet. Die Flächen werden effizient genutzt, da sie oftmals einen Mehrwert bieten, indem sie vielseitig nutzbar sind. Beispielsweise konnte großenteils auf reine Erschließungsflächen verzichtet werden, da ihnen durch ihre räumliche Anordnung und die Belichtung die Nutzung als Spielfläche zugeschrieben

wird. Durch die zurückhaltende Gestaltung und simple Form der Räume sind diese allein durch den Austausch von Möblierung für verschiedene Zwecke nutzbar. Außerdem können die Räumlichkeiten außerhalb der Belegung durch die Kindertagesstätte aufgrund ihrer schlichten Gestaltung für andere Zwecke genutzt werden. Ebenfalls sind die Bauteile und deren Anordnung mit dem Gedanken der Effizienz gewählt. Die Anzahl der Schichten ist gering gehalten und beschränkt sich auf deren notwendige Funktionen. Nach Möglichkeit wurden einstoffliche Bauteile wie bei den Massivholzinneiwänden eingesetzt.

Die Möglichkeit der Weiternutzung durch andere Besitzer*innen, also ein „Reuse“ der Kindertagesstätte, wurde ebenso im Entwurf mitbedacht, da beispielsweise eine innere Umstrukturierung des Gebäudes einfach erfolgen kann. Die weiteren Punkte einer kreislaufgerechten Bauweise, das „Repair“, „Refurbish“, „Remanufacture“ und „Repurpose“ werden durch die einfache Zugänglichkeit der Bauteile und deren Unabhängigkeit vom statischen System umgesetzt, da diese Reparaturen den Austausch einzelner Teile oder deren Entnahme ermöglichen.

Die Baustoffe sind nach ihrem Kreislaufpotenzial im Sinne ihrer Wiederverwendbarkeit und ihrer Nachhaltigkeit ausgewählt. Daher sind hauptsächlich nachwachsende Rohstoffe wie Holz eingesetzt worden. Außerdem werden metallische Materialien eingesetzt, die in ihrer Qualität über den Nutzungszyklus eines Gebäudes hinaus für die Zukunft erhalten bleiben. Das geringste Potenzial im Entwurf weist der verwendete Beton auf, der als Fundament und Bodenplatte eingesetzt wird. Seine Rückführung in einen Gebäudekreislauf wird nur schwer möglich sein, da der Anteil an Recycling Beton bei der Herstellung von neuem Material heutzutage gering ist und der ökonomische Nachteil meist entscheidend zu dessen Einsatz in anderer Weise wie beispielsweise im Straßenbau führt. Bei der Auswahl der nachwachsenden Rohstoffe werden solche aus nachhaltigem Anbau verwendet,

da andernfalls auch diese Materialien sich nicht im Zyklus eines Gebäudes von selbst erneuern können und somit künftigen Generationen nur in geringerem Maß zur Verfügung ständen. Aktuell kommt es bei einigen Baustoffen zu ansteigenden Preisen und Lieferschwierigkeiten, besonders bei Holz. Dies liegt unter anderem an dem steigenden Bedarf der USA und Chinas sowie an der Zerstörung von Wäldern durch immer häufiger vorkommende Brände beispielsweise in Nordamerika. In Zukunft wird daher mehr auf Alternativen als Baumaterial zurückgegriffen werden müssen. Unter anderem deshalb ist es wichtig, die Langlebigkeit der Baustoffe zu maximieren. Trotz der Nachteile können alle im Projekt eingesetzten Baustoffe in unterschiedlicher Qualität ihren Kreislauf schließen.

Die Umsetzung des Urban Mining Gedanken im Entwurf der Kindertagesstätte kann aus zwei Perspektiven betrachtet werden. Zum einen bietet das Gebäude eine Grundlage für die Zukunft, da es während dessen Nutzung ein Rohstofflager darstellt, aus dem nach seinem Lebenszyklus geschöpft werden kann. Zum anderen war ein Urban Mining aus bestehenden Quellen für den aktuellen Entwurf fast nicht umsetzbar. Abgesehen von den Dachziegeln, welche als B-Ware auf einer Bauteilbörse verfügbar waren, konnten keine Baustoffe aus bestehenden Gebäuden direkt entnommen und eingesetzt werden. Die Problematik, weshalb auch das Bestandsgebäude kaum geeignetes Material bieten kann, entsteht aufgrund seiner Größe und der Behandlung von Baustoffen mit Lackierungen und unlöslichen Verbindungen. Auch Fenster und Türen sind aufgrund ihres Alters für den Neubau wertlos, da sie den energetischen Anforderungen heutzutage nicht gerecht werden können. Dieses Problem kann unter Umständen auch für das aktuelle Gebäude auftreten, sollten sich zukünftig die Standards noch weiterentwickeln. Der Vorteil im entworfenen Gebäude liegt allerdings in der Tatsache, dass die Baustoffe in unbehandelter Weise verbaut sind und demnach in Zukunft an jegliche Anforderungen beispielsweise im Brandschutz durch Schichtungsänderungen oder Verbreiterung

von Schichten angepasst werden können.

Ein zurückgreifen auf Ressourcen am Bauplatz war lediglich in der Erhaltung des Baumbestands möglich und der Beimischung von recycelten Gesteinskörnungen des Betons des Bestandskellers in der Herstellung des neuen Betons für die Punktfundamente und die Bodenplatte. Hierfür konnten jedoch nur Teile der benötigten Masse durch recycelte Gesteinskörnungen ersetzt werden, weshalb der Beton für den Neubau trotzdem die Beimischung von Zement und Wasser erfordert und damit einen großen CO₂ Ausstoß verursacht.

Besser geplant werden konnte die Lebens- und Nutzungsdauer des Gebäudes. Hier kann im Entwurf durch verschiedene Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen die Langlebigkeit des Gebäudes und der Baustoffe positiv beeinflusst werden. Auf sozialer Ebene bietet der Holzskelettbau einige Möglichkeiten, was die weitere Entwicklung des Gebäudes betrifft. Das statische Konzept lässt eine flexible Grundrissaufteilung zu, die die Änderung einzelner Räume, Erweiterungen durch Anbau und Aufstockung oder die Teilung des Gebäudes in mehrere Bereiche ermöglicht. Durch die vom Tragwerk unabhängige Fassade ist auch die äußerliche Veränderung des Gebäudes ausführbar. Auf der Bauteilebene wird die Langlebigkeit beispielsweise des Tragwerks durch dessen Schutz vor Witterungseinflüssen maximiert. Die Abnutzung der einzelnen Materialien und Schichten erfolgt in unterschiedlichen Zeiträumen, welche von der Nutzungsbeanspruchung und der Langlebigkeit einzelner Stoffe abhängt. Beispielsweise besteht bei der Fassadenlattung je nach Beanspruchung bereits nach 40 Jahren der Bedarf eines Austausches. Durch die Wahl der hinterlüfteten Fassade mit verschraubten Latten ist dieser simpel umzusetzen. Ebenso können die Lehmbauplatten im Innenbereich oder der Fußbodenbelag bei hoher Beanspruchung ersetzt werden, wenn sie ihre Funktionsfähigkeit verlieren sollten oder die ästhetischen Ansprüche der Nutzer*innen nicht mehr erfüllen können. Auch die Möglichkeiten der Revision von Leitungen und

Rohren durch deren Führung in zugänglichen Bereichen ermöglicht einen partiellen Austausch und deren Reparatur und erhöhen somit die Lebensdauer und die Funktionsfähigkeit des Gebäudes. (Vgl. Nehls, A., 2021)

Die Kreislauffähigkeit, die erst durch die Rückbaubarkeit des Gebäudes auf Materialebene erfolgreich ist, wurde von Beginn an in die Planung mit einbezogen. Zum einen werden durch die Wahl löslicher Verbindungen zwischen den Bauteilschichten der Austausch einzelner Materialien und die Zugänglichkeit der Bauteile ermöglicht. Zum anderen sollte die Maßnahme eines Rückbaus unumgänglich umgesetzt werden, kann das Gebäude aufgrund seiner Fügungstechniken in seine einzelnen Schichten zerlegt oder bauteilweise auseinandergenommen werden. Auch eine Entkernung, bei der das Tragwerk allein mit seinen aussteifenden Elementen bestehen bleibt, ist umsetzbar. Durch die Schraubverbindungen des Holzskelettbauwerks ist dieses ebenfalls in Teilen rückbaubar, sollte das Gebäude verkleinert werden. Für die einzelnen Bauteile sind weitere Verwendungs- und Verwertungswege vorgesehen. In der Praxis sind sicherlich trotz löslicher Verbindungen einige Herausforderungen im Rückbau gegeben. Die weitere Verwertung der Bauteile muss zum Zeitpunkt des Rückbaus erneut geplant und geprüft werden, da die konstruktiven Fähigkeiten mit dem aktuellen Stand der Technik abgeglichen werden müssen. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Entnahme von ganzen Bauteilen wie beispielsweise den Fassaden, Massivholzinneiwänden, Decken oder Trägern und Stützen gut vorstellbar, da diese in großer Stückzahl beziehungsweise gleichen Querschnitten und Längen vorhanden sind und dementsprechend ein hohes Potenzial eines Wiedereinsatzes in einem anderen Gebäude aufweisen. Nicht abzusehen sind aber die Abnutzung der Bauteile, Veränderungen von thermischen Anforderungen wie beispielsweise in den Fassaden und Fenstern oder erhöhte Brandschutz Anforderungen, die eine höhere Dimensionierung der Bauteile auf Abbrand erfordern können. An einigen Stellen wird durch Nachrü-

tung eine Möglichkeit der Aufwertung bestehen, in anderen Fällen kann dies zur Unbrauchbarkeit von Bauteilen führen. Außerdem können einzelne Bauteilschichten wie beispielsweise Fliesen an Wänden oder Bodenbeläge nur schwer schadensfrei entnommen werden und müssen demnach ausgetauscht und die beschädigten Stoffe entsorgt werden. Der Vorteil besteht im geplanten Projekt sicherlich darin, dass der schlechteste Weg einer Entsorgung der Bauteile keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt und damit auf die folgenden Generationen haben wird. Lediglich wenige Bauteile wie der Beton des Fundaments, der Aufzug oder die Fenster und Türen stellen keine nachhaltige Komponente des Gebäudes dar, da sie mithilfe unlöslicher Verbindungen aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt sind. In Zukunft werden einzelne Alternativen zu finden sein, die dieselben statischen und technischen Eigenschaften wie beispielsweise die Wasserundurchlässigkeit von Beton aufweisen können, um eine nachhaltige Alternative zu konventionellen Baustoffen zu bieten. Die Bodenfläche, die durch das Gebäude verbaut wurde, wird sich im Falle eines Rückbaus erst über Jahre regenerieren. Positiv fällt im Entwurf der Kindertagesstätte die Tatsache auf, dass auf eine Unterkellerung verzichtet werden konnte, weshalb dieser Prozess vergleichsweise kürzer ausfällt. In der Gesamtbetrachtung lässt sich feststellen, dass trotz rückbaugerechter Planung einige der Komponenten des Gebäudes nicht vollständig in Gebäudekreisläufen erhalten bleiben können.

Zusammenfassend positiv zeigt sich die Tatsache, dass der Entwurf in den drei Aspekten der Nachhaltigkeit eine Grundlage für die Zukunft bieten kann. Im Sinne der sozialen Nachhaltigkeit lässt er einfacher realisierbare Umnutzungen durch seine Raumhöhen und sein statisches Konzept zu und kann auf den demografischen Wandel der Gesellschaft reagieren. Allerdings können kaum lokale Wertschöpfungsketten gefördert werden, wie dies beispielsweise im Kindergarten in Bizau möglich war, da in der Stadt Mössingen zwar Holz verarbeitet wird, dieses jedoch nicht direkt aus umliegen-

den Wäldern stammt. Abgesehen vom Holz werden die meisten Baustoffe aus unbekannten Quellen bezogen, deren Arbeitsbedingungen zur Gewinnung von Rohstoffen nur schwer nachzuvollziehen und zu überprüfen sind. Höchstwahrscheinlich ist die Gewinnung von Sand für die Betonherstellung mit schlechten Arbeitsbedingungen und Ausbeutung verbunden, was keine soziale Nachhaltigkeit darstellt. Die ökonomische Nachhaltigkeit im Entwurf wird durch den Vorteil der Rückbaubarkeit gegeben, der durch seine Wiederverwendung und Verwertung Deponierungskosten vermeidet und im besten Fall Profit einbringen kann durch den Verkauf von Bauteilen oder metallischen Baustoffen. Gerade Materialien wie Holz sind in der ersten Anschaffung teurer, bieten aber den Mehrwert des potenziellen Wiedereinsatzes. Dies gilt allerdings nicht für stark beanspruchte Bauteile wie die Fassadenbekleidung oder den Fußboden, die nach ihrer Nutzung im Gebäude keinen Gewinn bringen werden. Die ökologische Nachhaltigkeit erfüllt das Gebäude durch den Verzicht auf eine Unterkellerung, die Erhaltung des Baumbestandes am Grundstück und den hohen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, die aus nachhaltigen Quellen bezogen werden. Sie können sich im Laufe des Gebäudezyklus erneuern und stehen somit zukünftigen Generationen weiterhin zur Verfügung. Um eine maximale ökologische Nachhaltigkeit zu schaffen, müssten einige Dinge beachtet werden. Zum einen müsste die Versiegelung der Bodenflächen durch ein mehrstöckiges Gebäude minimiert werden. Zum anderen sollten nur nachwachsende Rohstoffe verwendet werden oder solche, die in ihrer Qualität über den Nutzungszyklus eines Gebäudes hinaus erhalten bleiben können für den Bau eingesetzt werden, um den folgenden Generationen die gleichen Baustoffmassen in der gleichen Qualität bieten zu können. Ebenso müssten alle Herstellungsprozesse unter ausschließlicher Verwendung erneuerbarer Energien erfolgen und die Transporte ohne den Ausstoß von CO₂. In dieser Form ist die Erbauung eines Gebäudes dieser Größe und der räumlichen und konstruktiven Anforderungen nach heutigem Stand beinahe unmöglich.

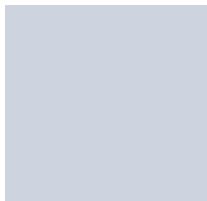
Die Herausforderung in der Umsetzung der einzelnen Aspekte der kreislaufgerechten Bauweise lagen weniger in der ästhetischen Gestaltung der Räume als in der Schließung von Kompromissen in der Wahl der Baustoffe, da diese individuelle Vor- und Nachteile bieten. Beispielsweise sind in der Wahl des Dämmstoffes die geringeren Dämmeigenschaften von nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen wie EPS anzumerken, sowie die daraus hervorgehende verstärkte Aufbaudicke. Zudem wurde im Entwurf die Aufteilung der Räume vom Stützraster des Holzskelettbaus in gewisser Weise beeinflusst, da die Stützen in der Kindertagesstätte neben ihrer tragenden Funktion ein raumbildendes Element darstellen. Auch die Wahl des Fußbodenbelags erforderte Abwägungen in der Robustheit, Ästhetik und der Wiederverwertbarkeit des Materials. Der Entwurf kann theoretisch eine Grundlage für zukünftige Generationen bieten, da die Struktur des Gebäudes in der Theorie einfach umzusetzende Veränderungen zulässt und sich an mehrere Nutzungszwecke anpassen kann. Ob in der Praxis ein Umbau erfolgt, sollte das Gebäude nicht mehr seinen Zweck erfüllen können, bleibt ungewiss, da dieser trotz allem mit einem Planungsaufwand verbunden ist und die Eigentümer*innen über den weiteren Lebensweg des Gebäudes entscheiden. Auch ein Rückbau und die Wiederverwendung und Verwertung der Bauteile in möglichst hoher Qualität lassen sich theoretisch umsetzen. Hier hängt das Gelingen in der Praxis einerseits von der Nachfrage für Bauteile und Baustoffe sowie der Umsetzung des Rückbaus und der damit einhergehenden Beschädigung und Verunreinigung der Baustoffe ab. Der Erfolg oder Misserfolg der kreislaufgerechten Bauweise, was den Erhalt von Ressourcen, die Vermeidung von Deponieware und die Flexibilität der Struktur angeht, zeigt sich daher erst Jahre später.

Die Tatsache, dass in der Realität kaum Langzeiterfahrungen der Bautechniken und Konstruktionsweisen der kreislaufgerechten Bauweise vorliegen, liegt an mangelnden Realisierungsbeispielen solcher Bauvorhaben. Heute scheitert die Umsetzung

oftmals an fehlendem „know-how“ im Bereich der Rückbauplanung, der Planung mit alternativen Baustoffen, die eine klimafreundlichere Alternative zu konventionellen Baustoffen darstellen sowie der Anwendung löslicher Fügungstechniken, die in einigen Bereichen an ihre Grenzen stoßen.

Staatliche Förderungen könnten dabei helfen, die Forschung in den Bereichen zur Entwicklung alternativer Baustoffe, Aufbereitungsmöglichkeiten vorhandener Bauabfälle und neue Fügungstechniken zu entwickeln. Zudem könnten gesetzlich festgelegte Verpflichtungen zum Einsatz kreislauffähiger Baustoffe und recycelter Produkte die Umsetzung der kreislaufgerechten Bauweise vorangetrieben werden. Die heutige digitale Vernetzung und die Planung mit 3D Software bieten grundsätzlich gute Voraussetzungen einer vorausschauenden Planung eines Gebäudes durch seinen gesamten Lebenszyklus sowie die Einschätzung von vorhandenem Potenzial aus Bestandsgebäude für zukünftige Bauvorhaben.

Trotz aller Abwägungen und Einschränkungen liegt die Zukunft des Bauens in einer kreislaufgerechten Bauweise, da durch eine lineare Wirtschaft das Ende der Ressourcen herbeigeführt wird. Da dennoch immer neue Gebäude benötigt werden und gleichzeitig ältere ihre Funktionstüchtigkeit verlieren, werden diese Bauaufgaben in Zukunft nur durch den Erhalt von Materialien im Kreislauf realisierbar sein.



05

FAZIT

05. FAZIT

Die Arbeit hat sich mit der Frage auseinandergesetzt, inwieweit heutzutage die Umsetzung der zirkulären Bauweise möglich ist und worin ihre Einschränkungen bestehen. Außerdem wurde die Qualität eines kreislaufgerechten Entwurfs in Hinblick auf Ästhetik, räumlicher Komfort, Materialien und Konkurrenzfähigkeit geprüft. Aus den untersuchten Prinzipien der zirkulären Bauweise und ihre praktische Umsetzung in einem Entwurf lassen sich einige Erkenntnisse gewinnen. Das Vorhaben, ein öffentliches Gebäude in einer kreislaufgerechten Bauweise mit hohen qualitativen Ansprüchen an Raum und Ästhetik konnte im Entwurf umgesetzt werden. Grundlegendes Ziel des kreislaufgerechten Bauens ist die Erhaltung von verbauten Ressourcen in Gebäuden als anthropogenes Lager, um diese in möglichst hoher Qualität zu bewahren und bei deren Rückbau in gleicher Funktion einen Wiedereinsatz zu ermöglichen. Dies ist nur möglich, wenn Planer*innen bereits zu Anfang ihrer Arbeit in Zusammenarbeit mit den Auftraggeber*innen mögliche Strukturänderungen durch Nutzungsänderungen und das Gebrauchsende eines Gebäudes in die Planung einfließen lassen und deren Konstruktion daraufhin ausrichten. Die wichtigsten Grundsätze sind dafür die Erhaltung der Qualität von Baustoffen in der Nutzungsphase in einem Gebäude bis über dessen Rückbau hinaus, um hochwertige Weiterverwendungen zu ermöglichen und ein hohes Recyclingpotenzial der Materialien nach der Entnahme zu erhalten. Dadurch entsteht außerdem die Möglichkeit, sich in Zukunft unabhängig von anderen Ländern selbst mit Rohstoffen versorgen zu können, indem die bereits bestehenden Gebäude als anthropogene Lager eine neue Quelle für Baumaterialien bilden. Gleichzeitig müssen flexible statische Konzepte strukturelle Veränderungen von Gebäuden in ihrer Aufteilung ermöglichen. Die Gebäude bilden durch die Umsetzung der Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens wertvolle Grundlagen für zukünftige Bauaufgaben.

Wie sich in der Arbeit herausgestellt hat, gilt es unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen, um das Potenzial der Nachnutzung von Rohstoffen zu maximieren. Zum einen zählt hierzu, mit löslichen Verbindungen zu arbeiten und somit eine sortenreine Trennbarkeit aller Materialien im Falle eines Rückbaus zu garantieren und auf die Behandlung von Stoffen mit chemischen Mitteln oder anderen unlöslichen Lackierungen sowie giftigen Substanzen zu verzichten. Zum anderen ist die Wahl der Baustoffe entscheidend, da diese unterschiedliche Kreislaufpotenziale aufweisen. Genauer betrachtet bieten hier biotische Baustoffe im Vergleich zu abiotischen Bauteilen den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer biologischen Abbaubarkeit in sortenreiner Form durch Kompostierung immer zurück in den Kreislauf geführt werden können und zudem nachwachsende Rohstoffe sind, was bedeutet, dass sie bei nachhaltiger Entnahme in absehbarer Zeit im gleichen Maß erneut verfügbar sind. Der Nachteil biotischer Stoffe besteht darin, dass darin gespeichertes CO₂ im Falle einer Verbrennung freigesetzt wird und in die Atmosphäre gelangt. Abiotische Baustoffe hingegen sind in ihrer Recyclingfähigkeit unterschiedlich einzustufen. Bei einigen dieser Baustoffe ist eine erneute Verwertung nur unter Qualitätsverlust möglich. Einige dieser Baustoffe enden langfristig als Deponieware. Hier sind jedoch ebenfalls große Unterschiede der einzelnen Materialien vorhanden, da beispielsweise Metalle in ihrer reinen Form durch Einschmelzung immer wieder eingesetzt werden können. Nachteilig sind daher besonders Kunststoffe oder gemischte Baustoffe, die aus Zusammensetzungen verschiedener Stoffe entstehen, wie beispielsweise Beton. Diese lassen sich oftmals nach ihrem Gebrauch nur schwer oder gar nicht voneinander trennen und enthalten zudem teilweise giftige Stoffe. Für diese Art von Materialien sollten zukünftig mehr recycelte Bestandteile in der Herstellung neuer Bauteile eingesetzt werden, wie es in anderen Ländern bereits praktiziert wird. Daher gilt es immer im individuellen Fall eines Bauvorhabens die Vor- und Nachteile der einzelnen Materialien abzuwägen. Neben ihrem Kreislaufpotenzial spielen örtliche

Verfügbarkeit und die Förderung regionaler Wertschöpfungsketten eine große Rolle.

Für die Kreislauffähigkeit von Gebäudeteilen sind jedoch nicht nur die einzelnen Baustoffe entscheidend, vorteilhaft sind ebenso serielle Bauteile und sortenreine Aufbauten, da diese das Verfahren des Rückbaus durch eine geringere Anzahl an Trennschritten vereinfachen und deren Wiederverwendungspotenzial steigern. Für Einbauten wie beispielsweise Fenster und Türen, die im Ganzen am Ende eines Nutzungszyklus ausgebaut und an anderer Stelle wieder eingebaut werden können, bieten sich gängige Formate an, um die Chancen auf einen erneuten Gebrauch zu steigern. Da jeglicher Abriss eines Gebäudes unvermeidlich mit dem Verlust von Qualität der Baumaterialien einhergeht, sollte grundsätzlich die Langlebigkeit eines Gebäudes durch entwerferische Maßnahmen angestrebt werden. Dazu zählt die Betrachtung der demografischen Entwicklung der Bevölkerung auf lange Sicht. Oftmals ist es daher sinnvoll, durch offene Strukturen im Grundriss Änderungen in der Raumaufteilung zuzulassen. Ebenso hilfreich sind Raumhöhen, die diverse Nutzungsmöglichkeiten erlauben, um eine Umnutzung von Gebäuden durch einfache Umbaumaßnahmen zu ermöglichen.

Das Ziel der Diplomarbeit, eine qualitativ hochwertige Betreuungseinrichtung für Kinder in einer kreislaufgerechten Bauweise zu entwerfen, konnte somit im Großteil erreicht werden. Dennoch unterliegt die vollkommene Umsetzung der Bauweise in dem hier gegebenen Rahmen einigen Einschränkungen. Besonders durch Richtlinien und Gesetze sowie örtliche Gegebenheiten sind die Mittel teilweise restriktiv. Einige Bereiche der zirkulären Bauweise wie beispielsweise die Wahl der Fügungen und der Materialien konnten trotz bautechnischer Anforderungen besser umgesetzt, andere wie der Einbezug recycelter Baustoffe und gebrauchter Materialien eher schwieriger oder gar nicht umgesetzt werden. Trotzdem ist das Ergebnis ein qualitativ ansprechendes und räumlich zur Bauaufgabe abgestimmtes Gebäude. Besonders durch die Wahl

der Materialien und die Raumaufteilung bietet die Kindertagesstätte eine gute Atmosphäre und viele Freiheiten zur freien Bewegung und Entfaltung der Nutzer*innen. Auch die Grundsätze einer kreislaufgerechten Bauweise wurden in der Konstruktion umgesetzt. Demnach stellt das Gebäude im Falle einer Realisierung eine gute Grundlage für spätere Generationen dar, die von den Räumlichkeiten und den verbauten Rohstoffen profitieren können. Die angewendeten Prinzipien, wie die flexible Nutzbarkeit und die Erweiterbarkeit sowie die Rückbaubarkeit sind eine guten Ausgangspunkt für ein langes Bestehen des Gebäudes und schlussendlich im Falle eines Abrisses ein hohes Potenzial der Rückführbarkeit der Materialien und daraus folgend deren lange Erhaltung im Kreislauf.

Eine besondere Herausforderung stellt jedoch aktuell die Einbindung bereits verbauter Rohstoffe aus anthropogenen Lagern in der Planung dar. In dem hier vorliegenden Fall hätte sich insbesondere das auf dem Grundstück bestehende Gebäude aus dem Jahre 1972, welches im Zuge des Neubaus abgerissen wird, für einen Recyclingprozess und eine Wiederverwendung von Bauteilen angeboten. Dies scheitert jedoch durch die damalige und auch heute noch konventionelle Bauweise, die auf Verklebungen und anderen unlöslichen Verbindungen aufbaut. Daher sind die Bestandteile im Abrissverfahren kaum voneinander trennbar und somit nur schwer einer Weiterverarbeitung für neue Baustoffe zuzuführen. Lediglich Teile des Betons können hier eine Verwertung als beigemischte recycelte Körnung im Betonfundament des Neubaus finden. Andere Bauteile wie Fenster oder Türen sind aufgrund ihres Alters und des damaligen technischen Standards heute nicht einsetzbar. Auch die Möglichkeit, auf andere sonstige anthropogene Lager zurückzugreifen, gestaltet sich bislang schwierig, da der Handel mit Abfällen in Bauteilbörsen in Deutschland zum einen noch nicht lange existiert, kein verbreitetes oder gängiges Konzept ist und daher lediglich eine geringe Auswahl und ein begrenztes Angebot bietet.

Andere Aspekte der kreislaufgerechten Bauweise lassen sich, wie der Entwurf zeigt, einfacher umsetzen. Hierzu zählt die Einplanung der Rückbaubarkeit im Entwurfsprozess von Beginn an. Dies gelingt unter anderem, weil heute noch über den Komfort verfügt werden kann, aus einer großen Auswahl an Baustoffen zu wählen. Deshalb ist es umso wichtiger, durch neue Konstruktionsweisen, insbesondere durch lösliche Fügungen der Bauteile diese für die folgenden Generationen zu erhalten, auch wenn dies bedeutet, sich von konventionellen Aufbauten mehrschichtiger Bauteile zu lösen. Zudem zeigt der Entwurf ein hohes Wiederverwendungspotenzial durch die Kombination aus einem vermehrten Einsatz von biotischen Baustoffen wie Holz, pflanzlichen Dämmstoffen, Trennlagen aus Papier und abiotischen Baustoffen wie Leimbauplatten, Trockenestrich und Aluminiumblechen, die in den Kreislauf ohne oder mit geringem Qualitätsverlust rückgeführt und somit erneut in Gebäuden eingesetzt werden können.

Im Gesamtbild betrachtet kann der Entwurf die Anforderungen der Wettbewerbsauslobung erfüllen und in seiner Qualität mit vergleichbaren Bauvorhaben standhalten. Daher zeigt die Arbeit ein zukunftsfähiges Beispiel eines öffentlichen Gebäudes, welches zur Sensibilisierung der Bevölkerung für die kreislaufgerechte Bauweise beitragen kann.

Im umgesetzten Projekt der Kindertagesstätte sind durch dessen Lage und räumliche Gegebenheiten in Zukunft weitere Nutzungen vorstellbar, insbesondere in den Phasen, in denen keine Kinderbetreuung benötigt wird. Sollte zukünftig der Bedarf sinken, da weniger Kinder einen Betreuungsplatz benötigen, könnte das Gebäude aufgrund der Raumgrößen ebenfalls als Einrichtung der Stadt für beispielsweise Musikunterricht, Theater oder kulturelle Veranstaltungen dienen. Die Werkstätten lassen sich ebenfalls für kreative Zwecke nutzen beispielsweise im Zuge einer Jugendeinrichtung mit Freizeitangeboten und Schulaufgabenhilfe sowie als Räumlichkeiten einer Volkshochschule. Gleichzeitig kann beispielsweise der Krippenbe-

reich durch eine Aufstockung vergrößert werden, wenn der Bedarf an Betreuungsplätzen für die unter dreijährigen Kinder steigt.

Durch die simple Verlegung der Schächte und der Haustechnik lassen sich die Innenwände in ihrer Einteilung der Räume flexibel und unabhängig ändern. Eine Separierung in zwei getrennte Bereiche wäre ebenfalls denkbar. Des Weiteren kann das Gebäude bis auf sein Tragwerk den Holzskelettbau entkernt werden und somit eine neue, in ihren Öffnungen auf eine andere Nutzung abgestimmte Außenhülle erhalten. Sollte es dennoch zu einem kompletten Abriss des Gebäudes kommen, ist ein sortenreiner Rückbau und die Rückführung der Materialien in den Kreislauf in unterschiedlichen Qualitätsstufen grundsätzlich bei den meisten Bauteilen möglich.

Die Arbeit zeigt somit die aktuellen Möglichkeiten und die Grenzen des kreislaufgerechten Bauens. Demnach steckt hinter der Anwendung der ressourcenschonenden und kreislaufgerechten Bauweise ein großes Potenzial, auch im Hinblick auf aktuelle Forschungen oder umgesetzte Projekte in anderen Ländern, in denen bereits mehr Gebäude nach den Prinzipien errichtet wurden und Baustoffe aus rezyklierten Materialien, die in Versuchen auf ihre konstruktiven und statischen Eigenschaften erforscht und untersucht werden, vermehrt zum Einsatz kommen. Wie aus einigen dieser Versuche hervor geht, liegt oftmals das Potenzial zum Einsatz recycelter Materialien höher, als dies bislang gesetzlich genehmigt und praktisch umgesetzt wird. Besonders in Deutschland wird daher durch die Vorbilder in den Nachbarländern wie Dänemark und den Niederlanden in dieser Hinsicht in Zukunft eine positive Entwicklung stattfinden können. Weiterhin gilt es in unterschiedlichen Bereichen eine Entwicklung anzustreben sowie innovative Ansätze in der Verwertung von Altmaterial weiter zu verfolgen und zu erforschen sowie die Vernetzung von Gebäuden und Bauvorhaben auszuweiten, um größere Handlungsmöglichkeiten zu bieten. (Vgl. Hillebrandt, A. et al., 2018, S. 69, 80, 113, 210)

06. LITERATURVERZEICHNIS

LITERATUR

Becker, G., Haselhuhn, R., Hemmerle C., Kämpfen, B., Krippner, R., Kuhn, T. E., Maslaton, M., Maurer, C., Reinberg, G. W. & Seltmann, T. (2016). *Gebäudeintegrierte Solartechnik*. München: DETAIL.

El khouli, S., Johan, V., Zeumer, M. (2014). *Nachhaltig konstruieren*. München: DETAIL.

Hillebrandt, A. Riegler-Floors, P., Rosen, A. & Seggewies, J.-K. (2018). *Atlas Recycling*. München: DETAIL.

Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S. (2017). *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau*. München: DETAIL.

König, H., Kohler, N., Kreißig, J. & Lützkendorf, T. (2009). *Lebenszyklus- analyse in der Gebäudeplanung*. München: DETAIL.

Pech, A., Aichholzer, M., Doubek, M., Höfferl, B., Hollinsky, K.-H., Passer, A., eibinger, M. & Woschitz, R. (2016). *Holz im Hochbau*. Basel: Birkhäuser.

Peter, S. & Drewes, D. (2019). *Materials in Progress*. Basel: Birkhäuser.

Spieker, S., Becker-Textor, I., Diskowski, D. Männel, A., Meuser, N., Steinfeldt, E., Suhrweier, D. & Süberkrüb, A. (2020). *Handbuch und Planungshilfe Krippen, Kitas und Kindergärten*. Berlin: DOM publishers.

van Uffelen, C. (2020). *Kindergarten, Krippe, Hort, KiTa*. Berlin: Macmillan Publishers.

INTERNETQUELLEN

Achatz, A., Margelik, E., Romm, T., Kasper, T., Jäger, D. (2021). *KreislaufBAUwirtschaft. Projektendbericht 2021*. Umweltbundesamt. (angesehen am 21.05.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0757.pdf>

Alu.ch (Hrsg.). (o.D.). Recycling von Aluminium. Alu.ch. (angesehen am 30.06.21.). Verfügbar von: <https://alu.ch/werkstoff/recycling/>

Asam, C., Schlag, C., Kickartz, M. (2011, Januar). *Künstliche Mineralfaserdämmstoffe*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). (angesehen am 13.05.21.). Verfügbar von: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/berichte-kompakt/2011/DL_1_2011.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bahr, C. & Kunibert, L. (o.D.). *Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen*. Fraunhofer IRB. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.irbnet.de/daten/baufo/20108035025/Endbericht.pdf>

Basten, M. und Schäfer, B. (2021, Januar). *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018*. Bundesverband Baustoffe — Steine und Erden e.V.. (angesehen am 30.06.21.). Verfügbar von: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-12.pdf>

BaunetzWissen a (Hrsg.). (O.D.). *Rückbaubarkeit*. BaunetzWissen. (angesehen am 12.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/rueckbaubarkeit-676000>

BaunetzWissen b (Hrsg.). (o.D.). *Recycling*. BaunetzWissen. (angesehen am 12.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/recycling-675291>

BaunetzWissen c (Hrsg.). (o.D.). *Ökobilanz von Linoleum*. BaunetzWissen. (angesehen am 12.6.21.). Verfügbar von: https://www.baunetzwissen.de/boden/fachwissen/_linoleum/oekobilanz-von-linoleum-151716

BaunetzWissen d (Hrsg.). (o.D.). *Expandiertes Polystyrol (EPS)*. BaunetzWissen. (angesehen am 11.6.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/expandiertes-polystyrol-eps-152198>

BaunetzWissen e (Hrsg.). (o.D.). *Mineralwolle*. BaunetzWissen. (angesehen am 11.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/mineralwolle-152218>

BaunetzWissen f (Hrsg.). (o.D.). *Holzspäne*. BaunetzWissen. (angesehen am 02.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/holzspaene-1088441>

BaunetzWissen g (Hrsg.). (o.D.). *Kork*. BaunetzWissen. (angesehen am 02.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/kork-940661>

BaunetzWissen h (Hrsg.). (o.D.). *Zellulosefaserdämmstoffe*. BaunetzWissen. (angesehen am 03.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/zellulosefaserdaemmstoffe-793615>

BaunetzWissen i (Hrsg.). (o.D.). *Hanf*. BaunetzWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/hanf-152196>

BaunetzWissen j (Hrsg.). (o.D.). *Jute*. BaunetzWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/jute-4828662>

BaunetzWissen k (Hrsg.). (o.D.). *Schilfrohr*. BaunetzWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/schilfrohr-966931>

BaunetzWissen l (Hrsg.). (o.D.). *Schafwolle*. BaunetzWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/schafwolle-152192>

BaunetzWissen m (Hrsg.). (o.D.). *Bitumen und seine Geschichte*. BaunetzWissen. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/flachdach/fachwissen/bitumendachbahnen/bitumen-und-seine-geschichte-156015>

BaunetzWissen n (Hrsg.). (o.D.). *Bitumeneigenschaften und Zusammensetzung*. BaunetzWissen. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/flachdach/fachwissen/bitumendachbahnen/bitumeneigenschaften-und-zusammensetzung-156019>

BaunetzWissen o (Hrsg.). (o.D.). *Recyclingbeton*. BaunetzWissen. <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/recyclingbeton-930267>

BaunetzWissen p (Hrsg.). (o.D.). *Recycling von Glas*. BaunetzWissen. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/herstellung-eigenschaften/recycling-von-glas-2445257>

BaunetzWissen q (Hrsg.). (o.D.). *Recycling von Flachglas im Bauwesen*. BaunetzWissen. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/glas/tipps/fachbuecher/recycling-von-flachglas-im-bauwesen-7473302>

BaunetzWissen r (Hrsg.). (o.D.). *Mineralwolle*. BaunetzWissen. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/mineralwolle-152218>

BaunetzWissen s (Hrsg.). (o.D.). *Schaumglas*. BaunetzWissen. <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/>

fachwissen/daemmstoffe/schaumglas-152164

BaunetzWissen t (Hrsg.). (o.D.). *Schaumglasschotter*. BaunetzWissen. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/schaumglasschotter-1533653>

BaunetzWissen u (Hrsg.). (o.D.). *Gebäudeklassen*. BaunetzWissen. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/gebaeudeklassen-3134967>

BaunetzWissen v (Hrsg.). (o.D.). *Kindergarten in Bizau*. BaunetzWissen. (angesehen am 16.07.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/objekte/bildung/kindergarten-in-bizau-3050087>

BaunetzWissen w (Hrsg.). (o.D.). *Kindertagesstätte in Bad Reichenhall*. BaunetzWissen. (angesehen am 16.07.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/heizung/objekte/kultur-bildung/kindertagesstaette-in-bad-reichenhall-7062437>

BauWissenOnline (Hrsg.). (2016, 02.Februar). *123 Außenwände aus Porenbeton*. BauWissenOnline. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: https://www.bauwion.de/sites/default/files/123_aussenwaende_aus_porenbeton_0.pdf

bernardo bader Architekten c (Hrsg.). (o.D.). *Kindergarten Bizau 2009*. Bernardo bader Architekten. (angesehen am 17.07.21.). Verfügbar von: <https://www.bernardobader.com/projekt/kindergarten-bizau>

BFT International (Hrsg.). (o.D.). *Ökologische und ökonomische Analysen von Geopolymerbeton--Mischungen für Außenbauteile*. BFT International. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_2011-12_oekologische_und_oekonomische_Analysen_von_Geopolymer-_beton-_Mischungen_fuer_1305834.html

Boos, M., Hansen, G., Greve, N., Betti, C. (o.D.). *Holzskelettbau*. Ökologisch bauen. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: <https://www.oekologisch-bauen.info/hausbau/bauweisen/holzbau/holzskelettbau.html>

Böcksch, R. (2021, 18. März). *Die Welt ist nicht genug*. Statista. (angesehen am 16.06.21.). Verfügbar von: <https://de.statista.com/infografik/10574/oekologischer-fussabdruck-die-welt-ist-nicht-genug/>

Brockjan, K., Maier, L., Kott, K., Sewald, N. (2021). *13 Umwelt, Energie und Mobilität. Auszug aus dem Datenreport 2021*. Statistisches Bundesamt (Destatis). (angesehen am 16.06.21.). Verfügbar von: https://www.destatis.de/DE/Service/Statistik-Campus/Datenreport/Downloads/datenreport-2021-kap-13.pdf?__blob=publicationFile

Buchberger, S., Hofbauer, G., Mangold, L., Truong, K. (2019,März). *Das Konzept der Circular Economy als Maxime für Beschaffung und Vertrieb in der Industrie*. Technische Hochschule Ingolstadt. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: https://www.thi.de/fileadmin/daten/Working_Papers/thi_workingpaper_46_hofbauer.pdf

Buchert, M., Sutter, J., Alwast, N., Schütz, N., Weimann, K. (2017). *Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten*. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekobilanzielle-betrachtung-des-recyclings-von>

Buchmann, M. a (o.D.). *Betonrecycling – Verwertung bestehender Substanz*. InformationsZentrum Beton. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.beton.org/wissen/nachhaltigkeit/betonrecycling/>

Buchmann, M. b (o.D.). *Was ist Zement?*. InformationsZentrum Beton. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/was-ist-zement/>

Buchmann, M. c (o.D.). *Textilbeton-leicht, tragfähig und nachhaltig*. InformationsZentrum Beton. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton/>

Buchwald, A. (2007). *Geopolymere Bindemittel - Teil 1: Was sind Geopolymere?*. Leibniz- Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften Universitätsbibliothek. (angesehen am 16.06.21.). Verfügbar von: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/tema%3ATEMA20080103790/Geopolymere-Bindemittel-Teil-1-Was-sind-Geopolymere/>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (Hrsg.). (o.D.). *Mineralische Rohstoffe*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/min_rohstoffe_node.html

Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat a (Hrsg.). (o.D.) *Baufachliche Richtlinien Recycling 4.7. Demontage und Wiederverwendung*. Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: https://www.bfr-recycling.de/kapitel_4.7.html

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat b (Hrsg.). (o.D.). *Baufachliche Richtlinien Recycling 5.2. Anforderungen an Bauprodukte*. Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: https://www.bfr-recycling.de/kapitel_5.2.html

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.). (2018, August). *Neue Produkte: Aus Natur gemacht*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (angesehen am 20.05.21.). Verfügbar von: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/NeueProdukteAusNaturGemacht.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (Hrsg.). (o.D.). *Jährliches Abfallaufkommen in Österreich*. Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/cms.do?get=/portal/informationen/daten-zahlen-grafiken.main

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit a (Hrsg.). (2020, 30.Oktober). *Kreislaufwirtschaftsgesetz*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://www.bmu.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit b (Hrsg.). (2020, 17. Juni). *Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. (angesehen am 01.06.21.). Verfügbar von: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit c (Hrsg.). (o.D.). *Mantelverordnung*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.bmu.de/faqs/mantelverordnung/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit d (Hrsg.). (2020, 09.Oktober). *Die Obhutspflicht im KrWG*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/die-obhutspflicht-im-kreislaufwirtschaftsgesetz/>

Burkert, A. (2018, 13.November). *Recycling: Porenbeton aus Bauschutt*. Haustec. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.haustec.de/management/markt/recycling-porenbeton-aus-bauschutt>

Boos, M., Hansen, G., Greve, N., Betti, C. a (o.D.). *Holzwerkstoffplatten*. Ökologisch Bauen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.oekologisch-bauen.info/hausbau/bauweisen/holzbau/holzwerkstoffplatten.html>

Boos, M., Hansen, G., Greve, N., Betti, C. b (o.D.). *Seegras Dämmstoff aus dem Meer*. Ökologisch Bauen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/naturdaemmstoffe/seegras.html>

Boos, M., Hansen, G., Greve, N., Betti, C. c (o.D.). *Porenbeton (Gasbeton)*. Ökologisch Bauen. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/massivbaustoffe/porenbeton.html>

Campanella, D. (2021). *restado – Der Marktplatz für zirkuläre Baustoffe*. Restado. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: <https://restado.de/ueber-restado/>

Cheret, P., Schwaner, K. (o.D.). *KAPITEL 4: Der zeitgenössische Holzbau*. Informationsdienst Holz. (angesehen am 15.05.21.). Verfügbar von: <https://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/kapitel-4-der-zeitgenoessische-holzbau/holzbausysteme-eine-uebersicht>

Chemie.de a (Hrsg.). (o.D.). *Polyethylen*. Chemie.de. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyethylen.html>

Chemie.de b (Hrsg.). (o.D.). *Ethen*. Chemie.de. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.chemie.de/lexikon/Ethen.html>

Dechantsreiter, U. (o.D.). *Regionale Bauteilbörsen*. Bauteilnetz Deutschland. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/stdws_adresse/bauteilboersen.html

Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, A., Asmus, S., Schmidt, S., Knappe, F., Reinhardt, J., ... Lau, J.-J. (2015, Oktober). *Instrumente zur Wiederverwertung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen*. Umweltbundesamt. (angesehen am 20.05.21.). Verfügbar von: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_93_2015_wiederverwertung_von_bauteilen_0.pdf

Derbigum (Hrsg.). (2014, Oktober). *Flachdachabdichtungen aus nachwachsenden Rohstoffen*. Derbigum. (angesehen am 03.06.21.). Verfügbar von: <http://www.lech-bfd.de/Bio-Bitumen%20Auszug%20aus%20Studie.pdf>

Destatis. Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (o.D.). *Stadtbevölkerung steigt bis 2030 weltweit um eine Milliarde*. Destatis. Statistisches Bundesamt. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/bevoelkerung-arbeit-soziales/bevoelkerung/Stadtbevölkerung.html>

Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen DGNB a (Hrsg.). (o.D.). *Das Konzept der circular Economy*. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen DGNB. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://www.dgnb.de/de/themen/circular-economy/#toolbox-1>

Deutsches Architekturmuseum DAM (Hrsg.). (o.D.). *Kindertagesstätte, Bad Reichenhall, Deutschland*. DAM Deutsches Architekturmuseum. (angesehen am 14.07.21.). Verfügbar von: <https://www.dam-preis.de/de/94/dam-preis-2021/nominierungen/?action=detail&id=614>

Delinga, S. (2021, 22. Juli). *Solarzellen auf jedem Dach*. Tagesschau. (angesehen am 18.07.21.). Verfügbar von: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/solardachpflicht-baden-wuerttemberg-101.html>

DGNB GmbH (Hrsg.). (o.D.). *Rückbauplanung*. DGNB GmbH. (angesehen am 26.10.21). Verfügbar von : https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/rueckbau/kriterien/DGNB-Kriterium-Gebaeude-Rueckbau_PRO1-R_Rueckbauplanung.pdf?m=1594385469&

Eisenmenger, N., Schaffartzik, A., Krausmann, F. (2011, Juli). *Ressourcennutzung in Österreich*. Bericht 2011. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium). <https://zenodo.org/record/3529695#.YLSw7aFCTIU>

Feuerwehr Heidelberg. (Hrsg.). (2020, September). *Brandschutzmerkblatt Tageseinrichtungen für Kinder*. Feuerwehr Heidelberg. (angesehen am 17.07.21.). Verfügbar von: https://www.heidelberg.de/site/Heidelberg_ROOT/get/documents_E1499014049/heidelberg/Objektdatenbank/37/PDF/VB/Merkbl%C3%A4tter/37_PDF_BF-VB-Brandschutzmerkblatt%20-%20Tageseinrichtungen%20f%C3%BCr%20Kinder.pdf

Florian, M. (o.D.). *Rückbaukonzept*. ifMU GmbH. (angesehen am 26.10.21). Verfügbar von : <https://www.ifmu.de/gebaeude/abbruch-rueckbau/rueckbaukonzept/>

Franke, B. (o.D.). *Sonderposten C65P2 schieferton engobiert*. (angesehen am 28.07.21.). Verfügbar von: Restado. <https://restado.de/baustoff/sonderposten-c65p2-schieferton-engobiert/>

GDA Gesamtverband der Aluminiumindustrie (Hrsg.). (o.D.). *Recycling*. GDA Gesamtverband der Aluminiumindustrie. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <http://www.aluinfo.de/recycling.html>

Gerstmann, H. (2015). *Sonnenschutz für Energieeffiziente Gebäude*. ES-SO. (angesehen am 05.07.21.). Verfügbar von: https://bvst.at/images/pdfs/ES-SO_Handbuch_2012_Ausgabe2_DE.pdf

Global Foodprint Network (Hrsg.). (o.D.). *How many earths?*. Global Foodprint Network. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.footprintnetwork.org/>

Grimm, R. a (2016, 01. September). *Was regelt die Bauproduktenverordnung?*. BaustoffWissen. (angesehen am 03.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baustoffwissen.de/kategorie-ausbildung/azubi-ratgeber/hintergrundwissen/bauproduktenverordnung-definition-eu-ce-kennzeichnung-leistungserklaerung-harmonisierte-technische-spezifikationen/>

Grimm, R. b (2018, 29. Mai). *Wohngesundheit: Bindemittel in Spanholzplatten*. BaustoffWissen. (angesehen am 05.06.21.). Verfügbar von: https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_technik_trends/spanholzplatten-wohngesundheit-bindemittel-formaldehyd-voc-formaldehydfrei-f0-emissionsklassen-polyurethanharz-magnesit/

Grimm, R. c (2017, 06. Juni). *Naturdämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen*. BaustoffWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/naturdaemmstoffe-aus-nachwachsenden-rohstoffen-marktanteil-eigenschaften-brandverhalten/>

Grimm, R. d (2013, 07. November). *Holzfaserplatten: keine Dämmwunder – aber viele andere Vorteile*. BaustoffWissen. (angesehen am 03.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/wohngesunder-daemmstoff-holzfaserplatten/>

Grimm, R. e (2016, 16. Februar). *Was ist Gussasphaltestrich?*. BaustoffWissen. (angesehen am 13.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/baustoff-kork-vom-bodenbelag-bis-zum-daemmstoff/>

Grimm, R. f (2018, 27. Februar). *Baustoff Kork: Vom Bodenbelag bis zum Dämmstoff*. BaustoffWissen. (angesehen am 04.06.21.). Verfügbar von: https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/boden_und_wand/gussasphaltestrich-definition-untergrund-oberboden-eigenschaften-einsatzbereiche-vorteile-hartbitumen/

Grimm, R. g (2013, 12. November). *Überblick: Die häufigsten Hartschaum-Dämmplatten*. BaustoffWissen. (angesehen am 17.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/hartschaum-daemmplatten-polystyrol/>

Grimm, R. h (2015, 24.November). *Zement-Mörtel-Putz: Was ist der Unterschied?*. BaustoffWissen. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/fassade_und_massivbau/zement-moertel-putz-was-ist-der-unterschied/

Hagelstein, N. (o.D.). *U Wert beim alten Fenster. Hausjournal*. (angesehen am 15.07.21.). Verfügbar von: https://www.hausjournal.net/u-wert-alte-fenster#google_vignette

Hitzler, H. & Valdova, K. (2020, 31.Juli). *08/2020 „Abfall als Nährstoff – Mensch als Nützling“*: Kreislauforientierte Materialverwendung*. Bayerische Architektenkammer. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.byak.de/ben-blog/detailseite/beitrag/2020/07/31/27.html>

HolzProKlima (Hrsg.). (07.01.2015). *Fragen und Antworten rund um das Thema Holzrecycling und Altholz*. Sonnenseite. (angesehen am 24.10.21). Verfügbar von: <https://www.sonnenseite.com/de/umwelt/fragen-und-antworten-rund-um-das-thema-holzrecycling-und-altholz/>

Internationale Gussasphalt-Vereinigung IGV (Hrsg.). (o.D.). *Die Vorteile von Gussasphalt auf einen Blick*. International Mastic Asphalt Association. (angesehen am 14.06.21.). Verfügbar von: <https://mastic-asphalt.eu/de/gussasphalt/vorteile-von-gussasphalt>

Irmer, J., (2017, 20.März). *Lignin-Ein Rohstoff mit viel Potenzial*. Bioökonomie Baden-Württemberg. (angesehen am 03.06.21.). Verfügbar von: <https://www.biooekonomie-bw.de/fachbeitrag/dossier/lignin-ein-rohstoff-mit-viel-potenzial>

Jakobiak, R., von See, D., Andres, P.,Hülsmann, A., Knoop, M. (2019). *Leitfaden zu DIN EN 17037*. Dabonline. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.dabonline.de/wp-content/uploads/2021/01/Leitfaden-DIN-EN-17037-Tageslicht-in-Gebaeuden.pdf>

Kier, G. (2021, 26. Juli). *Corona-Effekt hat nur ein Jahr gewirkt: Erdüberlastungstag fast so früh wie 2019*. Germanwatch. (angesehen am 28.08.21.). Verfügbar von: <https://germanwatch.org/de/20509>

Kloß, J. (2020, 27.April). *Gips als Baustoff: Vorteile und Nachhaltigkeit beim Bauen*. UTOPIA. (angesehen am 20.06.21.). Verfügbar von: <https://utopia.de/ratgeber/gips-als-baustoff-vorteile-und-nachhaltigkeit-beim-bauen/>

Klimafakten.de, Stiftung 2, swisscleantech (Hrsg.). (o.D.). *Klimawandel : Was er für das Bauen bedeutet, und was der Bausektor darüber wissen muss*. Klimafakten.de. (angesehen am 20.05.21.). Verfügbar von: <https://www.klimafakten.de/sites/default/files/images/reports/printversion/branchenberichtbausektor.pdf>

Knauf Gips (Hrsg.). (o.D.). *Brandschutz mit Gipsputz*. Knauf Gips. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.knauf.de/profi/fachkompetenzen/brandschutz/brandschutz-mit-gipsputz/>

Kolb, B. (2021). *Polystyrol XPS- Ökobilanz*. Forum Nachhaltiges Bauen. (angesehen am 12.06.21.). Verfügbar von: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polystyrol+XPS>

Köhnken, M. (o.D.). *Außenbekleidungen aus Holz*. BaunetzWissen. (angesehen am 05.06.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/holz-im-aussenbereich/aussenwandbekleidungen-aus-holz-7493426>

Kranich, S. (2020, 30. Juli). *Carbonbeton: Daraus werden nicht nur Häuser gemacht*. Das Haus. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.haus.de/bauen/carbonbeton-cube-dresden>

Krämer, A. (Hrsg.). (o.D.). *Das drei Säulen Modell der Nachhaltigkeit*. The Sustainable People. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://thesustainablepeople.com/das-drei-saeulen-modell-der-nachhaltigkeit/>

Kreislaufwirtschaft BAU (Hrsg.). (o.D.). *Aktuelle Daten 2018. Anfall mineralischer Bauabfälle*. Bundesverband Baustoffe — Steine und Erden e.V. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/#aktuelleDaten>

Kürth, O. a. (2018, April). *Einsatz von Recyclingbaustoffen: Perspektiven und Hindernisse*. EU-Recycling + Umwelttechnik. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: <https://eu-recycling.com/Archive/19241>

Kürth, O. b. (2019, Januar). *Recyclingbeton noch ohne Marktdurchdringung*. EU-Recycling + Umwelttechnik. (angesehen am 11.06.21.). Verfügbar von: <https://eu-recycling.com/Archive/22163>

Kürth, O. c. (2018, April). *Wofür sich Faserbeton-Verbundwerkstoffe eignen*. EU-Recycling + Umwelttechnik. (angesehen am 11.06.21.). Verfügbar von: <https://eu-recycling.com/Archive/19261>

Kürth, O. d. (2017, September). *Recycling von Ziegelbruch*. EU-Recycling + Umwelttechnik. (angesehen am 12.06.21.). Verfügbar von: <https://eu-recycling.com/Archive/16929>

Kürth, O. e. (o.D.). *Gipsrecycling: noch etliche Steine im Weg*. EU-Recycling + Umwelttechnik. (angesehen am 12.06.21.). Verfügbar von: <https://eu-recycling.com/Archive/9575>

Leistner, P., Drotleff, H., Leistner, M. (2016, Oktober). *Richtlinie I Akustik in Lebensräumen für Erziehung und Bildung*. Fraunhofer Institut. (angesehen am 10.07.21.). Verfügbar von: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/Laerm_IBP_Richtlinie_Akustik_Erziehung_und_Bildung_2016.pdf

Lung, T. (Hrsg.). (o.D.). *Tageslichtquotient*. Thomas Lung Ingenieur- und Gutachterbüro Berlin. (angesehen am 18.09.21.). Verfügbar von: <https://ip-lung.de/leistungen/tageslichtquotient/>

Lutter, S., Giljum, S., Gözet, B., Wieland, H. (2018, November). *Die Nutzung natürlicher Ressourcen Bericht für Deutschland 2018*. Umweltbundesamt. (angesehen am 12.05.21.). Verfügbar von: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/deuess18_de_bericht_web_f.pdf

Madaster (Hrsg.). (o.D.). *Madaster- Das Kataster für Materialien*. Madaster. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: <https://madaster.de/plattform/>

Mansel, M. (o.D.). *Calciumcarbonat*. Malerblatt. (angesehen am 12.06.21.). Verfügbar von: <https://www.malerblatt.de/glossar/calciumcarbonat/>

Müller, S. (o.D.). *Eigenschaften des Baustoffs*. LehmbauKontor Berlin/Brandenburg. (angesehen am 06.06.21.). Verfügbar von: <https://lehmbaukontor.de/eigenschaften-von-lehm/eigenschaften-des-baustoffs/>

Mörsch, T. (2018, 17. Juli). *Zukunftsmodell Kreislaufwirtschaft: EU-Projekt MOVECO veröffentlicht neue Onlineplattform*. Kooperation international. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://www.kooperation-international.de/aktuelles/nachrichten/detail/info/zukunftsmodell-kreislaufwirtschaft-eu-projekt-moveco-veroeffentlicht-neue-onlineplattform/>

Naturanum (Hrsg.). (o.D.). *Lehm als Baustoff*. Naturanum. (angesehen am 06.06.21.). Verfügbar von: <https://www.naturanum.de/themen/lehm-als-baustoff/>

Nehls, A. (11.06.2021). *Warum Bauholz zur Zeit knapp und teuer ist*. Deutschlandfunk. (angesehen am 24.10.21). Verfügbar von: https://www.deutschlandfunk.de/probleme-der-baubranche-warum-bauholz-zurzeit-knapp-und-724.de.html?dram:article_id=498705

Oebbekke, A. (2021, 7.März). *Madaster: Kataster für verbaute Materialien nun auch in Deutschland*. Bau-

links. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baulinks.de/webplugin/2021/0368.php4>

OIB (Hrsg.). (2011, 04.April). *VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES*. Österreichisches Institut für Bautechnik. (angesehen am 07.05.21.). Verfügbar von: <https://www.oib.or.at/sites/default/files/bpv.pdf>

OÖ Landesabfallverband (Hrsg.). (o.D.). *Was tun bei Gebäudeabbrüchen?*. Umwelt Profis. (angesehen am 26.10.21). Verfügbar von: https://www.umweltprofis.at/kirchdorf/service_und_infos/fuer_umbau_und_abbrucharbeiten.html

Pfäffinger, J. (o.D.). *Kindergarten mit Holzschindelfassade*. Forum Holzbau. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: https://www.forumholzbau.com/pdf_09/nl39_pfaeffinger.pdf

Plastikalternative (Hrsg.). (o.D.). *Was ist eigentlich PLA?*. Plastikalternative. (angesehen am 13.06.21.). Verfügbar von: <https://www.plastikalternative.de/was-ist-pla/>

PSA Publishers Ltd. (Hrsg.). (2020, 15.April). *Gebäude als Hintergrund*. German-architects. (angesehen am 10.07.21.). Verfügbar von: <https://www.german-architects.com/de/architecture-news/bau-der-woche/gebaude-als-hintergrund>

Pörtner, J. (o.D.). *Die letzte Phase eines Gebäudes: Der Rückbau*. Plan.One. (angesehen am 26.10.21). Verfügbar von : <https://plan.one/blog/letzte-phase-gebaeude-rueckbau/>
Radeloff, D. & Reitberger, F. (2007, September). *Herstellung und Entsorgung von Gipsplatten*. Bayerisches Landesamt für Umwelt. (angesehen am 13.06.21.). Verfügbar von: https://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/bau_und_abbruchabfaelle/doc/gipsplatten_07.pdf

RepaNet / BauKarussell (Hrsg.). (2020). *Mission Statement*. BauKarussell. (angesehen am 25.05.21.). Verfügbar von: <https://www.baukarussell.at/ueber-baukarussell/mission-statement/>

Raumprobe (Hrsg.). (o.D.). *Metall Wissen*. Raumprobe. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.raumprobe.com/de/materialwissen/metall?tab=definition+metall>

Roach, T., Vollmar, M., Kranz, S. (2016, 05.August). *Welterschöpfungstag: Die Welt ist nicht genug*. (angesehen am 04.08.21.). Verfügbar von: *WWF*. <https://www.wwf.de/themen-projekte/biologische-vielfalt/welterschoepfungstag-die-welt-ist-nicht-genug>

Rolland, C. (2001, September). *Positionspapier zur Verordnung von Abfällen aus abfallwirtschaftlicher Sicht*. Umweltbundesamt. (angesehen am 01.05.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE187.pdf>

Rost, N. (2007, 19.September). *Recycling-Rohstoffquelle des 21. Jahrhunderts*. Regionalentwicklung.de. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://www.regionalentwicklung.de/regionales-wirtschaften/technologien-rohstoffe/recycling/>

Ruiz Duràn, C., Lemaitre, C., Braune, A. (2019, Januar). *Circular Economy Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein*. DGNB. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen. (angesehen am 25.04.21.). Verfügbar von: <https://www.dgnb.de/de/verein/publikationen/#iframe-7>

Schulz, S. C. (2020, 21. Juli). Polyethylen (PE): *Was du über den Kunststoff wissen musst*. Utopia. (angesehen am 16.06.21.). Verfügbar von: <https://utopia.de/ratgeber/polyethylen-pe-was-du-ueber-den-kunststoff-wissen-musst/>

Schumacher, A. (2019, 20. Februar). *Offener Kindergarten*. Herder. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: <https://www.herder.de/kindergarten-paedagogik/kita-leitung/handlungskonzepte-und-profile/offener-kindergarten/>

dergarten/

Schumann, A., May, S., (o.D.) *Das Prinzip Carbonbeton*. Carbocon. (angesehen am 10.06.21.). Verfügbar von: <https://www.carbocon.de/carbonbeton/>

Sironi, M. (2017, 28. Februar). Effizientes Kühlen mit Eisspeicher. Ikz.de Gebäude- und Energietechnik. (angesehen am 18.07.21.). Verfügbar von: <https://www.ikz.de/detail/news/detail/effizientes-kuehlen-mit-eisspeicher/>

Stadt Mössingen Stadtverwaltung a (Hrsg.). (o.D.). *Kurzportrait & Struktur*. Stadt Mössingen. (angesehen am 15.07.21.). Verfügbar von: <https://www.moessingen.de/de/Wirtschaft-Bauen/Standort-Moessingen/Kurzportrait-Struktur>

Stadt Mössingen Stadtverwaltung b (Hrsg.). (o.D.). *Zu Hause in Mössingen*. Stadt Mössingen. (angesehen am 15.07.21.). Verfügbar von: <https://www.moessingen.de/de/Stadt-Buerger/Unser-Moessingen/Zu-Hause-in-Moessingen>

Stadt Mössingen Stadtverwaltung c (Hrsg.). (o.D.). *Kinderbetreuung*. Stadt Mössingen. (angesehen am 15.07.21.). Verfügbar von: <https://www.moessingen.de/de/Stadt-Buerger/Bildung-Familie/Kinderbetreuung>

Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2021, 26. Juli). *Bauen und Wohnen*. Statistisches Bundesamt. (angesehen am 20.08.21.). Verfügbar von: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publicationen/Downloads-Bautaetigkeit/baugenehmigungen-baustoff-pdf-5311107.pdf;jsessionid=5628B7812F-2BE9172A0F99E35D8562DF.live722?__blob=publicationFile

SwissLife (Hrsg.). (2017, 08.Mai). *Wie lange lebt ein Haus?*. SwissLife. (angesehen am 05.08.21.). Verfügbar von: <https://www.swisslife.com/de/home/hub/wie-lange-lebt-ein-haus.html>

Textor, M. R., Bostelmann, A. (2020). *Aktuelle statistische Daten zur Kindertagesbetreuung*. Das Kita-Handbuch. (angesehen am 17.07.21.). Verfügbar von: <https://www.kindergartenpaedagogik.de/fachartikel/kita-politik/bildungspolitik/1650>

The Zeobond Group (Hrsg.). (o.D.). Life Cycle Analysis. The Zeobond Group. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <http://www.zeobond.com/life-cycle-analysis.html>

Thoma Holz GmbH (Hrsg.). (2020). *Bausystem Holz 100 Planungshandbuch*. Thoma Holz. (angesehen am 10.07.21.). Verfügbar von: <https://www.thoma.at/thoma-planungshandbuch/>

Umwelt Bundesamt a (Hrsg.). (2020, 06. November). *Abfallrecht*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 27.04.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht>

Umwelt Bundesamt b (Hrsg.). (2020, 18.August). *Abfallaufkommen*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 28.04.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>

Umwelt Bundesamt c (Hrsg.). (2017, 08.Mai). *Urban Mining*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 01.05.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining#strategie-zur-kreislaufwirtschaft->

Umwelt Bundesamt d (Hrsg.). (2016, 10. Februar). *Das anthropogene Lager*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 01.05.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/das-anthropogene-lager#das-anthropogene-lager-als-sekundarrohstoffquelle>

Umwelt Bundesamt e (Hrsg.). (2016, 10. März). *Biotische Rohstoffe*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 15.06.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/biotische-rohstoffe>

Umwelt Bundesamt f (Hrsg.). (2019, 11. April). *Recycling-Gesteinskörnungen aus Bau- und Abbruchabfällen*. Umwelt Bundesamt. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.umweltbundesamt.de/recycling-gesteinskoernungen-aus-bau#hinweise-zum-recycling>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Hrsg.). (o.D.). *Ressourceneffizienz im Bauwesen*. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. (angesehen am 10.05.21.). Verfügbar von: <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/>

Viessmann Climate Solutions SE (Hrsg.). (o.D.). *Eisspeicher- innovative Energiequelle*. Viessmann. (angesehen am 15.07.21.). Verfügbar von: <https://www.viessmann.de/de/wohngeshaeude/waermepumpe/eis-energiespeicher.html>

Wagner, E. (2021). *Photovoltaikanlage und die Dachneigung*. Rechnerphotovoltaik.de. (angesehen am 16.07.21.). Verfügbar von: <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/voraussetzungen/dachneigung>

Westermeyer, A. (2018, September). *Leitfaden zum richtigen Umgang mit Baurestmassen auf Baustellen*. Wirtschaftskammer Österreich. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/broschuere-baurestmassen.pdf>

Xella Porenbeton Schweiz (Hrsg.). (o.D.). *Kreislaufwirtschaft I Recycling*. Xella Porenbeton Schweiz. (angesehen am 04.05.21.). Verfügbar von: <https://www.ytong.ch/de/recycling.php>

Zelger, T., Mötzl, H., Scharnhorst, A. & Wurm, M. (2009, 22. Oktober). *Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen*. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie. (angesehen am 15.05.21.). Verfügbar von: http://www.nachhaltigkeit-massiv.at/wp-content/uploads/images-nachhaltigkeit-massiv/AP03_Nutzungsdauer_Endbericht_20091022.pdf

§§4, 5, 6, Abschnitt 2, I Nr. 181/2015 RBV BGB. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20009212>

KrWG Teil 1 §14 Abs.2

§ 17 Absatz 1,2 Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke Baunutzungsverordnung. <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=BauNVO&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true#BJNR004290962BJNE003103116>

§ 34 Absatz 2 Aufenthaltsräume. https://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/eqr/page/bsbawueprod.psml/action/portlets.jw.MainAction?p1=18&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-BauOBW2010pP34&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint

§ 11 Absatz 1 Notwendige Treppenräume, Ausgänge. <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=BauOAV+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>

07. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Abfallhierarchie.

Hülter, K. (o.D.). *Abfallhierarchie*. Bonnorange. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://www.bon-norange.de/nachhaltigkeit/reuse/abfallhierarchie>

Abbildung 2: Abfallaufkommen 2018.

eigene Darstellung nach den im Text aufgeführten Quellen

Abbildung 3: lineare Wirtschaft.

MyLife (Hrsg.). (2021, 16. März). *Auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft*. myLife. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://my-life.lu/de-auf-dem-weg-zu-einer-kreislaufwirtschaft-30514/>

Abbildung 4: Kreislaufwirtschaft.

MyLife (Hrsg.). (2021, 16. März). *Auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft*. myLife. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://my-life.lu/de-auf-dem-weg-zu-einer-kreislaufwirtschaft-30514/>

Abbildung 5: biologischer und technischer Kreislauf.

Initiative Zink (Hrsg.). (o.D.). *C2C – Das Designkonzept*. Initiative Zink. (angesehen am 02.05.21.). Verfügbar von: <https://www.zink.de/zink/nachhaltigkeit/c2c-cradle-to-cradle/>

Abbildung 6: biologischer und technischer Kreislauf.

Buchberger, S., Hofbauer, G., Mangold, L., Truong, K. (2019,März). *Das Konzept der Circular Economy als Maxime für Beschaffung und Vertrieb in der Industrie*. Technische Hochschule Ingolstadt. (angesehen am 24.10.21.). Verfügbar von: https://www.thi.de/fileadmin/daten/Working_Papers/thi_workingpaper_46_hofbauer.pdf

Abbildung 7: Diagramme.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2021, 26.Juli). *Bauen und Wohnen Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff*. Destatis. (angesehen am 03.05.21.). Verfügbar von: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautätigkeit/baugenehmigungen-baustoff-pdf-5311107.pdf;jsessionid=5628B7812F2BE9172A-0F99E35D8562DF.live722?__blob=publicationFile

Abbildung 8: Piktogramme.

eigene Darstellung

Abbildung 9: Kindergarten Bizau.

bernardo bader Architekten a (Hrsg.). (o.D.). *Kindergarten Bizau*. Bernardo bader Architekten. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: <https://www.bernardobader.com/projekt/kindergarten-bizau>

Abbildung 10: Grundriss Erdgeschoss.

BaunetzWissen x (Hrsg.). (o.D.). *Grundriss Erdgeschoss*. BaunetzWissen. (angesehen am 05.07.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/objekte/bildung/kindergarten-in-bizau-3050087/gallery-1/7>

Abbildung 11: Kindergarten Bizau.

bernardo bader Architekten b (Hrsg.). (o.D.). *Kindergarten Bizau*. Bernardo bader Architekten. (angesehen am 04.07.21.). Verfügbar von: <https://www.bernardobader.com/projekt/kindergarten-bizau>

Abbildung 12: Kindertagesstätte in Bad Reichenhall.

BaunetzWissen y (Hrsg.). (o.D.). *Kindertagesstätte in Bad Reichenhall*. BaunetzWissen. (angesehen am 05.07.21.). Verfügbar von: <https://www.baunetzwissen.de/heizung/objekte/kultur-bildung/kindertagesstaette-in-bad-reichenhall-7062437>

Abbildung 13: Neubau einer Kindertagesstätte.

Sommer, S. a (o.D.). *Neubau einer Kindertagesstätte*. Studio ito. (angesehen am 05.07.21.). Verfügbar von:

<https://studio-ito-architekten.de/projekte/brf/>

Abbildung 14: Neubau einer Kindertagesstätte

Sommer, S. b (o.D.). *Neubau einer Kindertagesstätte*. Studio ito. (angesehen am 05.07.21.). Verfügbar von: <https://studio-ito-architekten.de/projekte/brf/>

Abbildung 15: Verortung

eigene Darstellung

Abbildung 16: Bestandskindergarten Eingang

eigene Aufnahme

Abbildung 17: Bestandskindergarten von Osten

eigene Aufnahme

Abbildung 18: Bestandskindergarten Grundriss M. 1:500

eigene Darstellung

Abbildung 19: Schwarzplan M. 1:5000

eigene Darstellung

Abbildung 20: Städtische Einrichtungen M. 1:7500

eigene Darstellung

Abbildung 21: Lageplan M. 1:1000

eigene Darstellung

Abbildung 22: Piktogramme

eigene Darstellung

Abbildung 23: Modellfoto

eigene Aufnahme

Abbildung 24: Erdgeschoss M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 25: Obergeschoss M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 26: Straßenansicht

eigene Darstellung

Abbildung 27: Ansicht Nord M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 28: Ansicht Ost M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 29: Ansicht Süd M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 30: Ansicht West M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 31: Schnitt B-B M. 1:200

eigene Darstellung

Abbildung 32: Schnittansicht West M. 1:200

eigene Darstellung

- Abbildung 33: Modellfoto*
eigene Aufnahme
- Abbildung 34: Aktivzonen und Ruhebereiche*
eigene Darstellung
- Abbildung 35: Durchwegung*
eigene Darstellung
- Abbildung 36: Eingangsbereich*
eigene Darstellung
- Abbildung 37: Schnitt A-A M. 1:200*
eigene Darstellung
- Abbildung 38: Galleriebereich*
eigene Darstellung
- Abbildung 39: Schnittansicht Süd M. 1:200*
eigene Darstellung
- Abbildung 40: Spielflur Obergeschoss*
eigene Darstellung
- Abbildung 41: Kinderrestaurant*
eigene Darstellung
- Abbildung 42: Sandzimmer*
eigene Darstellung
- Abbildung 43: Energiekonzept*
eigene Darstellung
- Abbildung 44: Vertikale Rohr- und Leitungsführung*
eigene Darstellung
- Abbildung 45: Lüftungsdiagramm*
eigene Darstellung
- Abbildung 46: Sonnenverlauf Sommer und Winter*
eigene Darstellung
- Abbildung 47: Tageslichtquotient Obergeschoss*
eigene Darstellung
- Abbildung 48: Tageslichtquotient Erdgeschoss*
eigene Darstellung
- Abbildung 49: Sonneneinstrahlung 8:00 Uhr und 18:00 Uhr im Sommer*
eigene Darstellung
- Abbildung 50: Beleuchtungsstärke 8:00 Uhr Sommer*
eigene Darstellung
- Abbildung 51: Sonneneinstrahlung 12:00 Uhr im Sommer*
eigene Darstellung
- Abbildung 52: Beleuchtungsstärke 12:00 Uhr Sommer*
eigene Darstellung

- Abbildung 53: Sonneneinstrahlung 9:00 Uhr und 16:00 Uhr im Winter*
eigene Darstellung
- Abbildung 54: Beleuchtungsstärke 9:00 Uhr Winter*
eigene Darstellung
- Abbildung 55: Sonneneinstrahlung 12:30 Uhr im Winter*
eigene Darstellung
- Abbildung 56: Beleuchtungsstärke 12:00 Uhr Winter*
eigene Darstellung
- Abbildung 57: Tragskelett mit vertikalen Aussteifungselementen*
eigene Darstellung
- Abbildung 58: Aussteifende Wände*
eigene Darstellung
- Abbildung 59: horizontale und Vertikale Lastabtragung*
eigene Darstellung
- Abbildung 60: Lastabtragung der Bauteile*
eigene Darstellung
- Abbildung 61: Verbindung von Trägern und Stützen*
eigene Darstellung
- Abbildung 62: Holzskelettbau mit Schrägdach*
eigene Darstellung
- Abbildung 63: Flucht- und Rettungswege*
eigene Darstellung
- Abbildung 64: Brandschutzanforderungen Gebäudeklasse 3*
eigene Darstellung
- Abbildung 65: Gebäudeschnitt Nord-Süd M. 1:50*
eigene Darstellung
- Abbildung 66: Gebäudeschnitt Ost-West M. 1:50*
eigene Darstellung
- Abbildung 67: Fassadenschnitt Süd M. 1:25*
eigene Darstellung
- Abbildung 68: Fassadenschnitt Nord M. 1:25*
eigene Darstellung
- Abbildung 69: Fassadenschnitt West M. 1:25*
eigene Darstellung
- Abbildung 70: Kreislaufpotenzial Aussenwand*
eigene Darstellung
- Abbildung 71: Abfallkategorien Aussenwand*
eigene Darstellung
- Abbildung 72: Kreislaufpotenzial Dach*
eigene Darstellung

Abbildung 73: Abfallkategorien Dach

eigene Darstellung

Abbildung 74: Kreislaufpotenzial Decke

eigene Darstellung

Abbildung 75: Abfallkategorien Decke

eigene Darstellung

Abbildung 76: Kreislaufpotenzial Massivinnenwand

eigene Darstellung

Abbildung 77: Kreislaufpotenzial Leichtbauinnenwand

eigene Darstellung

Abbildung 78: Abfallkategorien Massivinnenwand

eigene Darstellung

Abbildung 79: Abfallkategorien Leichtbauinnenwand

eigene Darstellung

Abbildung 80: Detail Sockel M. 1:10

eigene Darstellung

Abbildung 81: Detail Balkonanschluss M. 1:10

eigene Darstellung

Abbildung 82: Detail Dachanschluss M. 1:10

eigene Darstellung

Abbildung 83: Rückbau durch die Entnahme von Elementen

eigene Darstellung

Abbildung 84: Entkernung

eigene Darstellung

Abbildung 85: Rückbau der Bauteilschichten am Beispiel Fassade

eigene Darstellung