Selektiver Rückbau
Rückbaubare Konstruktion

Studie
zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung
in der Baubranche



smart living lab

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt
Schweizerische Eidgenossenschaft

EPFL

Küpfer C., Fivet, C. (2021)
Selektiver Rückbau- Rückbaubare Konstruktion:
Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche.
DOI: 10.5281/zenodo.5131243 (160 Seiten)

Structural Xploration Lab · http://sxl.epfl.ch
EPFL Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne · Lausanne/Freiburg · Schweiz
smart living lab · www.smartlivinglab.ch

Leitung

Corentin Fivet, EPFL

Redaktion

Célia Küpfer, EPFL
Corentin Fivet, EPFL

Neue Abbildungen und Urheberrechte

Julie Allémann, EPFL
Maxence Grangeot, EPFL
Célia Küpfer, EPFL

Lektorat

Julien Grisel, bunq architectes
Catherine de Wolf, EPFL
Maléna Bastien Masse, EPFL
Barbara Lambec, EPFL
Jan Brütting, EPFL

Übersetzung ins Deutsche

Nina Haftka
Jan Brütting, EPFL

Im Auftrag vom

Bundesamt für Umwelt · www.bafu.admin.ch
Abteilung Abfall und Rohstoffe
Sektion Rohstoffkreisläufe
CH-3003 Bern, Schweiz
Dr. David Hiltbrunner (Begleitung)

DOI: 10.5281/zenodo.5131243
© EPFL, 2021

Dokument erstellt am 26/07/21

Diese Studie wurde vom BAFU in Auftrag gegeben. Für den Inhalt sind ausschliesslich die Beauftragten verantwortlich.

Titelbild: Selektiver Rückbau in Lysbüchel (Abbildung: baubüro in situ/Martin Zeller).

Zusammenfassung 4

Panorama der Fallstudien 6



Abfall von Schweizer Gebäuden reduzieren / Erkenntnisse und Lösungsansätze 8



Selektiver Rückbau 20



Rückbaubare Konstruktion 72

Perspektiven 150

Lexikon 152

Abkürzungen und Akronyme 153

Danksagungen 154

Bildnachweise 155

Ausführliches Inhaltsverzeichnis 158

Zusammenfassung

Seit mehreren Jahrzehnten trägt die Baubranche in besorgniserregender Weise zur **Zerstörung unseres Planeten** bei. Heute wird in Europa die Hälfte der verwendeten Materialien durch den Bausektor verbraucht, während in der Schweiz zwei Drittel der Abfälle von Baustellen und Gebäudeabbrüchen stammen. Die unablässige Anhäufung von Abfall und der steigende Verbrauch von Rohstoffen tragen direkt zur Zerstörung der Ökosysteme bei und beeinträchtigen die menschliche Gesundheit.

Die **Lösungen** für einen verantwortungsvolleren Umgang mit Ressourcen sind vielfältig: Reduktion der Neuproduktion von Bauteilen, Erhöhung der Lebensdauer von Bauteilen am und ausserhalb des Standorts, bessere Sortierung von Abfällen am Ende der Lebensdauer und Erhaltung der bereits investierten grauen Energie in Bauteilen und Gebäuden durch Wiederverwendung. Obwohl diese Strategien komplexe Anpassungen erfordern, hängen sie alle von der korrekten Umsetzung zweier sehr spezifischer und für die Schweiz ungewöhnlicher Massnahmen ab: dem selektiven Rückbau und der rückbaubaren Konstruktion.

Beim **Selektiven Rückbau** werden die Bestandteile eines Gebäudes am Ende ihrer Nutzungsdauer entnommen, mit dem Ziel ihre innewohnenden Qualitäten zu erhalten. Dank einer genauen Diagnose der durch den Rückbau freigesetzten Ressourcen wird angestrebt, jedes Bauteil dem am besten geeigneten Entsorgungsprozess (Recycling, Verbrennung, Deponie) oder einem neuen Lebenszyklus (Wiederverwendung vor Ort oder anderswo, für eine vergleichbare oder geringere Nutzung, mit oder ohne Reparatur und Anpassung) zuzuführen. Dies hat den Effekt, dass die konventionellen Entsorgungsoptionen durch weniger energieintensive Prozesse (Reparatur, Wiederverwendung vor Ort, Weiterverwertung ausserhalb des Standorts) ergänzt werden.

Bei der **Rückbaubaren Konstruktion** werden Gebäude so konstruiert, dass sie zwei bestimmte Eigenschaften haben: Die erste ist die räumliche Rückbaubarkeit, nämlich die Voraussetzungen eines Raumes, unterschiedliche Nutzungen aufzunehmen und sich zu verändern, wenn sich Lebensstile und funktionale Bedürfnisse ändern, trotz der Schwierigkeiten der Vorhersage. Die zweite Eigenschaft ist die technische Rückbaubarkeit, also die Möglichkeit, dass die Komponenten eines Gebäudes ohne Verlust der technischen oder funktionalen Qualität demontiert werden können. Durch die Anwendung grundlegender Prinzipien des rückbaubaren Entwurfs (Komponenten mit hohem Wiederverwendungspotenzial, zugänglichen Verbindungen usw.) will das Projekt Teil einer langfristigen Vision des Bauens sein und die Lebensdauer von Gebäuden und anschliessend deren Komponenten verlängern.

Heute werden selektiver Rückbau und rückbaubare Konstruktion als Bestandteile der **Kreislaufwirtschaft** in der Praxis nur unzureichend angewendet. Diese Studie zielt darauf ab, einige der vorrangigen Hindernisse für deren Umsetzung abzubauen. Diese Hindernisse sind zum Beispiel der fehlende Austausch zwischen Fachleuten, das mangelnde Weitergeben von bewährten Verfahren, aber auch die **unzureichende Übersicht an Möglichkeiten**. Die Studie richtet sich in erster Linie an alle Berufsgruppen, die an der Planungs-, Bau- und Rückbauphase von Gebäuden beteiligt sind. Auch Bauherrschaft und Gesetzgebende finden hier eine Beschreibung der Möglichkeiten und Herausforderungen zu diesem Thema. Einige Themenbereiche sind auch für die Ausbildungseinrichtungen gedacht.

Diese Sammlung stützt sich auf eine **Literaturrecherche** sowie **32 Fallstudien** und **Interviews** mit Fachkräften und:

› fasst die Grundprinzipien beider Ansätze zusammen;
› dokumentiert und gibt Erfahrungsberichte und bewährte Verfahren weiter;
› liefert technische Referenzen für Bauunternehmen, Entwerferinnen/Entwerfer und Bauherrschaft;
› bietet einen aktuellen und detaillierten theoretischen Hintergrund sowie Referenzen für die weitere Entwicklung;
› skizziert die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung und Umsetzung für Schweizer Bauten.

Das zweite und dritte Kapitel befassen sich mit selektivem Rückbau und Konstruktionstechniken, die ein Potenzial zur Rückbaubarkeit aufweisen. Die jeweiligen Grundlagen werden am Beginn der Kapitel erläutert und dann durch die **spezifischen Prinzipien** für Projektmanagement und die einzelnen Gebäudefunktionen vervollständigt. Als Nächstes wird eine Bestandsaufnahme der bewährten Praktiken für jeden Bereich aufgezeigt. Eine Auswahl **konventioneller und innovativer Techniken** wird auf deren Potenzial zum Rückbau verglichen. All diese Elemente werden anschliessend durch Fallstudien veranschaulicht.

Diese Studie befasst sich in erster Linie, aber nicht ausschliesslich, mit bestehenden und zukünftigen Gebäuden in der Schweiz. Daher wurden vor allem Fallbeispiele innerhalb des Landes ausgesucht. Im zweiten Kapitel konnten, mit einem besonderen Augenmerk auf wegbereitende Schweizer Aktivitäten, eine grosse Mehrheit (85 %) der Fallstudien zu selektiven Rückbauten in der Schweiz ausfindig gemacht werden. Die Sammlung von **wenig bekanntem technischen Fachwissen** verdeutlicht das grosse Potenzial des selektiven Rückbaus zur Reduzierung von Bauabfällen, trotz der Herausforderungen auf verschiedenen Ebenen. Der Bericht zeigt, dass der selektive Rückbau auf eine Reihe von Elementen in Schweizer Gebäuden **bereits heute anwendbar** ist und somit schon eine Verlängerung der Nutzung über lokale Kreisläufe ermöglicht. Angesichts der bestehenden Herausforderungen beim Systematisieren des selektiven Rückbaus und dem Ermöglichen der Wiederverwendung von Komponenten werden in dem Bericht mehrere parallele Entwicklungspotenziale vorgestellt (obligatorische Ressourcendiagnose, angepasste Ausbildung und Besteuerung, Rückbaubarkeit als Kriterium usw.).

Im dritten Kapitel führte die Datenlage dazu, dass die Fallstudien zumeist aus Nordwesteuropa stammen. Durch deren Analyse zeigt die Studie Praktiken der rückbaubaren Konstruktion auf, die mit geringfügigen Anpassungen auf Schweizer Gebäude **potenziell anwendbar sind**. Die Sammlung zeigt auch, dass die potenzielle Dauer der Ressourcennutzung durch ein angepasstes Projektmanagement verlängert wird (Langlebigkeit von Informationen, neue Modelle der Verantwortlichkeit, Dokumentation für neue Lebenszyklen usw.). Schliesslich stellt der Bericht **Massnahmen** vor (obligatorische Bauteil- und Gebäudepässe, spezifische Ausbildung, Unterstützung für Kreislaufmodelle usw.), mit dem Ziel, die Rückbaubarkeit konkret in die Strategien zu nachhaltigem Bauen zu integrieren und so das Veralten von Gebäuden und Bauteilen zu reduzieren.

Panorama der Fallstudien











Selektiver Rückbau

Rückbaubare Konstruktion

S.30
Einrichtung und Möblierung
S.134

S.34
Trennwände und Innenverkleidungen
S.128

S.40
Gebäudetechnik
S.122











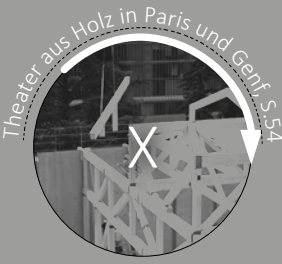


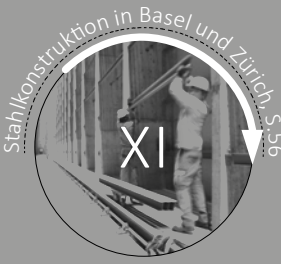














S.44 S.50

Gebäudehüllen **Holzkonstruktionen** **Metallkonstruktionen** **Betonkonstruktionen** **Mauerwerk**

S.114 S.85































Abfall von Schweizer Gebäuden reduzieren / Erkenntnisse und Lösungsansätze

Bauen als Quelle von Abfall 11
Trennen zur Aufwertung 12
Koordinieren zum Schliessen des Kreislaufs 15
Dokumentieren und Weitergeben 17
Referenzen 18



Abbildung 1 · In der Schweiz ist der Bausektor für die Produktion von mehr als ca. 16 Mio. Tonnen Bauabfällen pro Jahr verantwortlich (Wälti und Almeida 2016).

Bauen als Quelle von Abfall

Objekte ohne bekannten Nutzen sind Abfall. Ihre wirtschaftlichen, technologischen oder kulturellen Werte werden ganz oder teilweise erhalten oder wiedergewonnen, sobald ihnen ein neuer Nutzen anerkannt wird. Um die Abfallmenge, insbesondere von Bau- und Abbruchabfällen, zu reduzieren, ist es notwendig, dass jede nicht erneuerbare Komponente des Gebäudes ihre innewohnenden Qualitäten so lange wie möglich beibehält, um ein möglichst breites Spektrum an potenziellen Nutzungen zu ermöglichen.

Die **Auswirkungen auf die Umwelt** von Bau- und Abbruchabfällen sind besorgniserregend. Der Bausektor ist für ein Drittel des gesamten Abfalls in Europa verantwortlich, sowohl nach Gewicht als auch nach Volumen (Eurostat 2018, Pérez-Lombard et al. 2008, Allwood et al. 2012). Bau- und Abbruchabfälle machen 65 % der in der Schweiz anfallenden Abfälle aus (Wälti und Almeida 2016). Die Abfallentsorgung ist kostspielig in finanzieller, energetischer und ökologischer Hinsicht. Die Bereitstellung von Deponiestandorten ist eine territoriale Herausforderung, für die es keine wirkliche langfristige Lösung gibt.

Zudem ist das Fehlen einer systematischen Wiederverwertung von Bau- und Abbruchabfällen ausser des Downcyclings – das heisst abgesehen von Umwandlungen, die den Gebrauchswert einer Komponente verringern – eine verpasste Gelegenheit, die Nachfrage nach Rohstoffen für Neubauten zu reduzieren. Dies ist besonders problematisch wegen der Auswirkungen auf Ökosysteme und Klima, sowie dem begrenzten Angebot vieler nicht erneuerbarer Rohstoffe.

In den Industrieländern ist das Baugewerbe der materialintensivste Sektor und verbraucht rund 50 % des gesamten Materialbedarfs, gemessen in Volumen oder Masse (BIO Intelligence Service 2013, EEA 2010, Herczeg et al. 2014). In der Schweiz verbraucht die Baubranche jedes Jahr 70 Millionen Tonnen Material (Gauch et al. 2016). Die Verdichtung der urbanen Zentren und die ständigen typologischen Veränderungen von Wohn-, Arbeits- und Gewerbeflächen resultieren in einem permanenten Bedarf an Gebäudetransformationen. Dies hat einen direkten Einfluss auf die globale Erwärmung: 2017 wurde der Anteil des Kohlendioxids (CO_2) aus der Errichtung, dem Unterhalt und dem Abriss von Gebäuden auf 11 % aller von Menschen jährlich verursachten CO_2-Emissionen weltweit geschätzt (IEA 2019).

Die **Gründe** für die Umweltbelastung durch die Baubranche sind vielfältig und können auf vielen Ebenen identifiziert werden: langsame, aber stetige Sanierung des Gebäudebestands als Reaktion auf starken wirtschaftlichen Druck auf dem Immobilienmarkt und schnellere Nutzungsänderungen; Produktion von Bauteilen, die besonders energie- und materialintensiv sind; Wahl von Konstruktionsdetails, die eher einer schnellen, kostengünstigen Umsetzung als einem längerfristigen und verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen förderlich sind.

Die **Lösungen** sind ebenso vielfältig: Reduzierung der Neuproduktion von Bauteilen, Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Komponenten, Verlängerung der Lebensdauer von nicht erneuerbaren Komponenten am und ausserhalb des Standorts und bessere Sortierung des Abfalls am Ende seiner Lebensdauer. Diese Strategien sind jeweils eingebettet in die klimapolitischen Verpflichtungen des Bundes zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (Röthlisberger 2017) und in das Bestreben, neue wirksame Massnahmen für einen nachhaltigeren und zirkulären Umgang mit Ressourcen zu erreichen (BAFU 2020a).

Obwohl diese Strategien komplexe Annäherungen zwischen Logistik, Wirtschaftlichkeit und politischem Willen erfordern, hängen sie alle von der erfolgreichen Umsetzung zweier sehr spezifischer und in der Schweiz ungewöhnlicher Massnahmen ab: dem **Selektiven Rückbau** und der **Rückbaubaren Konstruktion**.

Trennen zur Aufwertung

Beim **Selektiven Rückbau** werden die Komponenten eines Gebäudes am Ende ihrer Nutzungsdauer voneinander getrennt, um möglichst alle ihre innewohnenden Qualitäten zu erhalten. Der selektive Rückbau ist bei jeder vollständigen oder teilweisen Veränderung des Gebäudes (Reparatur, Renovierung, Erweiterung, Rückbau, Abriss) anwendbar. Zum einen sorgt er für eine feinere Klassierung zwischen zu erhaltenden und zu entfernenden Teilen. Auf der anderen Seite sorgt er für eine bessere Sortierung der Abfälle, so dass sie individuell einem Lebensende (Recycling, Verbrennung, Deponie) oder einem möglichst geeigneten neuen Lebenszyklus (Wiederverwendung an einem anderen Ort, mit oder ohne Neudefinition der funktionalen Anforderungen) zugewiesen werden können. Selektiver Rückbau ist auf jedes bestehende oder neue Gebäude anwendbar, ist aber dann am wirkungsvollsten, wenn das Gebäude rückbaubar konzipiert ist.

Die **Rückbaubare Konstruktion** besteht darin, ein Gebäude so zu errichten, dass (1) eine geometrische (Abmessungen) oder topologische (Unterteilungen) Nutzungsänderung des gesamten oder eines Teils des Gebäudes möglich ist, ohne dass seine Bauteile verändert werden (**räumliche Rückbaubarkeit**) und (2) seine Bauteile ohne Verlust ihrer technischen und funktionalen Eigenschaften demontiert werden können (**technische Rückbaubarkeit**). Es geht also sowohl darum, einen Raum so zu gestalten, dass er unterschiedliche Nutzungen aufnehmen und sich mit den sich wandelnden Lebensgewohnheiten und funktionalen Bedürfnissen verändern kann; als auch darum, ein Produkt (hier Bauwerk) so zu gestalten, dass es am Ende seiner Nutzungsdauer zerlegt werden kann, um eine Wiederverwendung, Recycling, eine Energierückgewinnung oder eine Weiterverwendung der Komponenten vor Ort oder an einem anderen Standort zu ermöglichen (ISO14021 2016).

In der englischsprachigen Literatur ist der Begriff **Design-for-Disassembly** (**DfD**) gebräuchlich, welcher übersetzt „Entwurf für den Rückbau“ bedeutet. Der Begriff „rückbaubare Konstruktion“ wird hier bevorzugt, weil er einerseits erlaubt, die Aspekte der räumlichen und technischen Rückbaubarkeit gemeinsam zu behandeln und andererseits auf die Erhaltung der Eigenschaften der Bauteile vor und nach dem Rückbau besteht.

Die Kombination aus selektivem Rückbau und rückbaubarer Konstruktion erhöht die Lebensdauer der Komponenten in jeder Schicht des Gebäudes und ermöglicht ein umweltfreundlicheres Ende des Lebenszykluses und auch einen Übergang zwischen den Lebenszyklen. Beide Techniken reduzieren die Menge an Abbruch- und Umbauabfällen. Sie reduzieren den Energieaufwand für die Wiederaufbereitung des Bauteils am Ende seiner Lebensdauer. Sie reduzieren die Menge an Abfall und den Energiebedarf bei den Umwandlungsprozessen des Bauteils am Ende seiner Lebensdauer oder zwischen den Lebenszyklen. Sie erhöhen die Anzahl der wiederverwendbaren Komponenten und helfen, deren technische und funktionale Qualitäten so weit wie möglich zu erhalten. Dadurch schaffen sie neue lokale Arbeitsplätze, die für die Verarbeitung der Komponenten benötigt werden, und tragen gleichzeitig dazu bei, den Bedarf an Rohstoffen für neue Gebäude zu reduzieren. Schliesslich reduzieren sie die Belastung der Deponieflächen in der Region.

Das von Richard Rogers und Renzo Piano entworfene *Centre Pompidou* (Abbildung 2) ist ein **typisches Beispiel** für die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion. Unter anderem wird die traditionelle Einbindung der technischen Funktionen in das Tragsystem aufgebrochen und die Grundrisse sind flexibel und offen durch die grossen Spannweiten des Tragsystems. Darüber hinaus erlauben diese Prinzipien einen selektiven Rückbau bei jeder punktuellen Renovierung des Gebäudes.

Diese Voraussetzungen wurden zum Beispiel bei der 2018 durchgeführten Sanierung und Erneuerung der Verglasung der Westfassade und der Aussentreppen genutzt. In Anbetracht der Umweltauswirkungen von Glas wurden die Möglichkeiten des Recyclings und der Wiederverwendung der demontierten Teile analysiert (Abbildung 3). Die Geometrie der gebogenen Gläser und deren überlappende Montage erleichtern die Handhabung, Lagerung und Wiederverwendung der Gläser. Gleichzeitig wurde die Resttragfähigkeit der Elemente durch Simulationen getestet. Die Wiederverwendung der Bauteile in Gewächshäusern oder im Innenausbau würde es ermöglichen, sie vor der Mülldeponie oder dem energieintensiven Recycling zu bewahren und gleichzeitig den Bedarf an neuen Teilen reduzieren (169 architecture und Ménard 2018).



Abbildung 2 · Das *Centre Pompidou*, Paris.

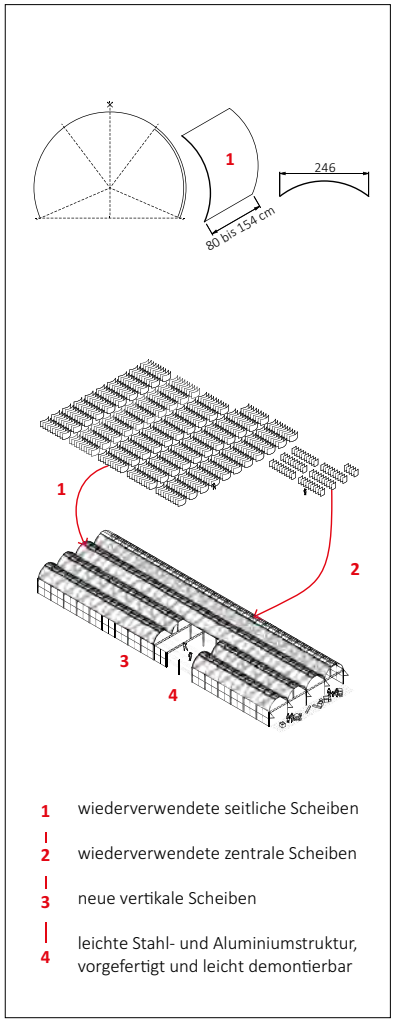


Abbildung 3 · Auszüge aus dem Ressourcenkatalog der durch die Teilsanierung des *Centre Pompidou* frei gewordenen Bauteile und ein Beispiel für ein Umnutzungsszenario, hier für ein Gewächshaus.

Die Prinzipien des selektiven Rückbaus und der rückbaubaren Konstruktion laden dazu ein, das Gebäude nicht als fertiges Produkt zu betrachten, sondern als ein **sich mit der Zeit entwickelndes Objekt**. Die rückbaubare Qualität einer Konstruktion und die selektive Qualität eines Rückbaus hängen ab von der Anpassungsfähigkeit der Systeme, der Trennbarkeit der Komponenten und der Unabhängigkeit der Systeme, die jeweils eine unterschiedliche Lebensdauer haben. Brand (1994) betrachtet das Gebäude eher in Zeiten als in Räumen und unterteilt es in sechs „Schichten" oder „*layers*". Er klassifiziert die Bauteile in Gruppen mit ähnlicher Lebensdauer, die von dauerhaft bis kurzlebig reichen, nach dem Konzept des „*pace layering*":

- der Standort;
- die Tragstruktur (Fundamente und tragende Elemente) ist oft das beständigste System der Konstruktion;
- die Lebensdauer der Gebäudehülle ist im Allgemeinen kürzer, um mit den häufigeren Änderungen in der Mode oder der Technologie Schritt zu halten;
- die Gebäudetechnik (Elektro- und Kommunikationsleitungen, Heizung, Lüftung und Klimatisierung, Sanitärbereiche und Aufzüge/Rolltreppen) werden oft in höherer Frequenz ersetzt oder angepasst;
- gleiches gilt für die Innenaufteilung, abhängig von der Funktion, die das Gebäude beherbergt;
- die Möbel werden täglich oder monatlich bewegt und am häufigsten ausgetauscht.



Abbildung 4 · Schicht-Modell nach Brand (1994).

Nach Brand ermöglicht die Gewährleistung der mechanischen Trennung zwischen Elementen verschiedener Schichten deren Austausch, ohne den Abriss anderer Elemente mit einer anderen Lebensdauer zu erzwingen. Diese mehrschichtige Vision wurde Ende der 1990er Jahre formuliert, in einem baulichen Kontext, der bereits durch das Aufkommen der Erdölindustrie und eine zunehmend zerstückelte Herangehensweise an die Gebäudeplanung geprägt war. In dieser Zeit vervielfachten sich auch die Energiestandards und die Anforderungen an die Sicherheit und den Komfort der Benutzerinnen und Benutzer, was zu einer zunehmend spezialisierten und verteilten Verwaltung von Planungsprozessen führte, welche bis heute bestehen.

Obwohl dieses Prinzip für viele Gebäude gilt, die nach einem „mehrschichtigen" System entworfen wurden, kann diese Vision nicht direkt auf das gesamte gebaute Erbe übertragen werden. Kirchen aus Stein sind Beispiele für monolithische Bauweisen, die die Zeit überdauert haben und auch heute noch den Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer entsprechen. Auch zeitgenössische Beispiele fordern diesen Ansatz heraus, wie zum Beispiel das Bürogebäude 2226 in Lustenau (Österreich), welches über kein konventionelles Heiz- und Lüftungssystem verfügt. Bei diesem Projekt werden Dämmung, Tragfähigkeit und ein Teil der Wärmeregulierung gemeinsam durch eine 78 cm starke einschalige Mauer und ein spezielles Fensterrahmendetail erreicht (Schoof 2014).

Ohne das ursprüngliche Argument einer Unabhängigkeit der Elemente mit unterschiedlichen Lebensdauern aus den Augen zu verlieren, um deren technische Rückbaubarkeit zu gewährleisten, sind diese Beispiele eine Einladung zu einer flexibleren Vision von Brands Ansatz, die ein Gleiten und Überlappen von einer Schicht zur anderen erlaubt und eine konzeptionellere Unterscheidung von „Schichten" vorschlägt, die dann mit Begriffen wie „Funktionen" oder „Anforderungen" verknüpft werden.

Koordinieren zum Schliessen des Kreislaufs

Selektiver Rückbau und rückbaubare Konstruktion sind zwei technische Zutaten, die notwendig sind, um die Einführung einer **Kreislaufwirtschaft** im Bausektor zu erleichtern. Die Kreislaufwirtschaft (Stahel 2019) steht im Gegensatz zum aktuellen Wirtschaftsparadigma, in dem Materialien einmalig gewonnen, produziert, verwendet und dann endgültig entsorgt werden (Abbildung 5). Die Kreislaufwirtschaft schöpft stattdessen den maximalen Wert von Gütern aus, indem sie ihre Lebensdauer verlängert oder sie am Ende ihrer Lebensdauer als neue Ressourcen wiederverwendet, und dadurch gleichzeitig Umweltbelastungen minimiert. Das städtische Gebiet wird nicht mehr nur als Ort der Nutzung, sondern auch als Rohstofflager wahrgenommen. Nach dem Konzept des „*Urban Mining*" wird der gebaute Bestand als regionale Quelle von Ressourcen betrachtet und nicht mehr nur als Abfallproduzent. Neben der Sanierung bestehender Gebäude werden der selektive Rückbau und die rückbaubare Konstruktion als weitere wichtige Antriebe der Kreislaufwirtschaft gesehen.

Seit kurzem wird in der Schweiz das Recycling – hier verstanden als jeder Vorgang, der zu einer Veränderung der physikalischen Eigenschaften eines Materials führt, im Gegensatz zur **Wiederverwendung**, die eine solche Veränderung vermeidet – stark gefördert. In einer Kreislaufwirtschaft ist das Recycling jedoch der letzte Ausweg, wenn Produkte nicht mehr verwendet, repariert oder wiederverwendet werden können. Tatsächlich beinhaltet das Recycling den Prozess der Wiederaufbereitung von Abfallstoffen zu Rohstoffen für neue Produkte, was jedoch immer noch eine erhebliche Menge an Energie verbraucht (Thormark 2000). Vor dem Recycling sollte die Lebensdauer des Bauteils verlängert werden, indem man dafür eine neue Verwendung findet, es repariert und schliesslich an anderer Stelle in neuen Konfigurationen wiederverwendet wird (Choppin und Delon 2014, Ghyoot 2018, EMAF 2016).

Lansinks Leiter (entwickelt 1979, Kristinsson et al. 2001) veranschaulicht und ordnet die Prozesse zum Umgang mit Ressourcen in dieser Reihenfolge entsprechend ihrer Umweltauswirkungen: vermeiden – minimieren – reparieren – wiederverwenden – recyceln – entsorgen. In dieser Darstellung steht die Wiederverwendung vor dem Recycling, was oft eher einer Strategie des Downcyclings entspricht. Beim Downcycling geht ein Teil der Qualität einer Komponente und ihres Materials durch Bearbeitungsvorgänge verloren.

Umgekehrt wird bei der Reparatur und Wiederverwendung versucht, die Form, die mechanischen und technologischen Eigenschaften und die in ein Bauteil investierte graue Energie zu erhalten. Aus energetischer Sicht geht es bei der Reparatur und Wiederverwendung darum, den Anstieg der Entropie des Materials zu verzögern und damit die Degradierung des Materials zu verlangsamen. Aus dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik bedeutet der Begriff der Entropie gewissermassen das Mass für die Unordnung der Materie. Mit zunehmender Weiterverarbeitung nimmt diese Störung stetig zu, bis sie den Einsatz neuer Ressourcen erfordert (Georgescu-Roegen und Grinevald 1979).

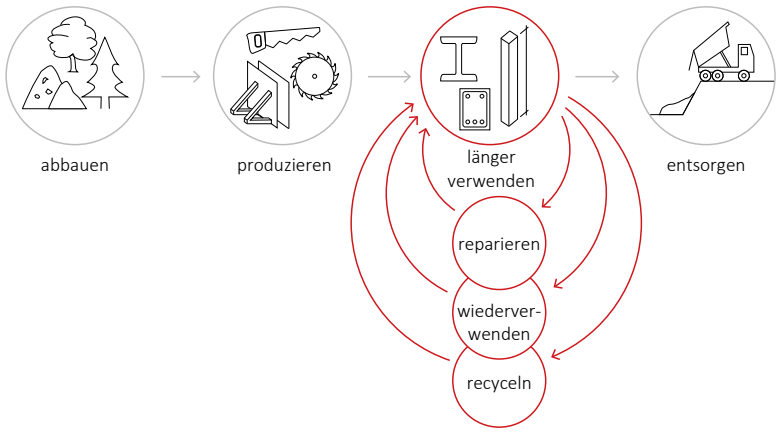


Abbildung 5 · Von einer linearen Wirtschaft zu einer *Kreislaufwirtschaft*.

Wie bei der Kreislaufwirtschaft im weitesten Sinne (BAFU 2020a) stehen der Anwendung der rückbaubaren Konstruktion und des selektiven Rückbaus noch eine Reihe praktischer Hindernisse gegenüber, darunter unzureichende aktuelle Normen und Vorschriften, eine noch nicht ausreichend vernetzte Branche, unerprobte wirtschaftliche Strategien, sowie zu wenig Medienberichterstattung und Kommunikation zwischen den Beteiligten (Chiron 2017). Die Hauptfiguren im selektiven Rückbau und der rückbaubaren Konstruktion sind vielfältig: öffentliche und fachliche Aufsichtsbehörden, Investorinnen/Investoren und Bauherrschaften, Lehrpersonen und Wissenschaftlerinnen/Wissenschaftler, Architektinnen/Architekten, Ingenieurinnen/Ingenieure, Technikerinnen/Techniker, Bauteams, Innenarchitektinnen/Innenarchitekten und Nutzerinnen/Nutzer (Canal architecture und Rubin 2017).

Alle diese Bereiche müssen ihre Ziele neu bewerten, neue Routinen einführen und manchmal neue Geschäftsmodelle erfinden, um den Kreislauf der Bauelemente zu schliessen. Eine Neuverteilung von Verantwortlichkeiten sowie eine Neustrukturierung von Abläufen und Koordinationsprozessen zwischen all diesen Beteiligten sind notwendig. Neue Konzepte (z. B. *Urban Mining*), Werkzeuge (z. B. *BIM – Building Information Modelling*) und Modelle (z. B. Bauteilpässe) bieten Möglichkeiten, einen systemischen Wandel in der Art und Weise einzuleiten, wie Gebäude produziert und instand gehalten werden (Debacker et al. 2017, EMAF 2016, Guldager Jensen und Sommer 2018, Luscuere 2016, Peters et al. 2017).



Abbildung 6 · Wiederverkauf der Bauteile aus dem Rückbau des Kornspeichers in Rive, Genf, etwa 1897.

Dokumentieren und Weitergeben

Diese Studie ist als Einstieg in die vielfältigen Techniken des selektiven Rückbaus bestehender Gebäude einerseits und der rückbaubaren Konstruktion andererseits gedacht. Diese beiden Ansätze werden in der Praxis zu wenig angewandt und dieser Bericht zielt darauf ab, einige der Haupthindernisse für diese Umsetzung abzubauen: nämlich den fehlenden Erfahrungsaustausch zwischen Fachleuten, den mangelnden Austausch bewährter Praktiken und das fehlende Aufzeigen der Möglichkeiten.

Der Zweck dieser Studie ist:

- Verbreiten von Erfahrungen und bewährten Methoden aus dem akademischen Bereich und der Praxis;
- Bereitstellen von technischen Referenzen für Bauunternehmerinnen/Bauunternehmer, Entwerferinnen/Entwerfer und Bauherrschaften;
- Anfertigen einer aktuellen und detaillierten Wissensbasis und Auflisten von Referenzen zur Weiterbildung für die Beteiligten;
- Skizzieren der Entwicklungsperspektiven und -chancen, die für Schweizer Gebäude gelten.

Diese Sammlung richtet sich in erster Linie an alle Gewerke, die an der Planungs-, Bau- und Rückbauphase eines Gebäudes beteiligt sind. Bauherrschaften und Gesetzgebende finden hier auch eine Beschreibung der Möglichkeiten und Herausforderungen in diesem Bereich.

Übersicht der Schichten

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit dem selektiven Rückbau. Das dritte Kapitel betrifft die rückbaubare Konstruktion.

Beide Kapitel bieten einen Überblick über die Techniken, die für jede Schicht oder Funktion des Gebäudes zur Verfügung stehen: Tragkonstruktion, Gebäudehülle, Innentrennwände, HLK (Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro) und Inneneinrichtung.

Die Übersicht:

- fasst die für jede Schicht spezifischen Prinzipien zusammen. Diese ergänzen die Listen mit allgemeinen Grundsätzen und Empfehlungen, die für alle Schichten gelten und zu Beginn jedes Kapitels vorgestellt werden;
- gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Praxis in der Schweiz;
- stellt eine Auswahl konventioneller und innovativer Techniken zusammen und vergleicht deren Potenzial hinsichtlich der Rückbaubarkeit;
- veranschaulicht diese Techniken anhand von Fallbeispielen;
- bietet eine Liste mit weiterführenden Informationsquellen und Referenzen.

Die Organisation basiert auf dem Konzept des *pace layering* (Brand 1994), das die Schichten des Gebäudes nach ihrer Lebensdauer unterscheidet. Die räumliche Rückbaubarkeit wird übergreifend in mehreren Schichten diskutiert. Diese nicht abschliessende Bestandsaufnahme des professionellen und akademischen Wissens basiert auf einer Literaturrecherche und einer Reihe von Interviews mit Fachleuten in der Schweiz.

Geografische Reichweite

Dieser Bericht bezieht sich in erster Linie, aber nicht ausschliesslich, auf bestehende und zukünftige Gebäude in der Schweiz. Es wurden daher Recherchen durchgeführt, um Fallstudien innerhalb des Landes zu identifizieren. Besondere Aufmerksamkeit wird in dieser Studie auf wegbereitende Schweizer Arbeiten gelegt, bei denen zum Beispiel Fassadenelemente und Tragwerke selektiv rückgebaut wurden. Auf nationaler Ebene werden die rückbaubare Konstruktion und der selektive Rückbau jedoch nicht in allen Schichten gleich häufig umgesetzt. Um diese Betrachtungen auf alle Funktionen eines Gebäudes auszudehnen, werden auch theoretische und praktische Erkenntnisse integriert, die im Ausland entwickelt wurden und mit kleinen Anpassungen potenziell auf Schweizer Gebäude anwendbar sind.

Referenzen

169 architecture, Ménard R. / 2018 Faire et refaire le verre. Pavillon de l'Arsenal, Paris.

Allwood J.M., Cullen J.M., Carruth M.A. / 2012 Sustainable Materials: With Both Eyes Open. UIT Cambridge, Cambridge.

BAFU / 2020a Bericht an den Bundesrat- Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz (Grüne Wirtschaft). BAFU, Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.

BIO Intelligence Service / 2013 Sectoral Resource Maps. Prepared in response to an Information Hub request. European Commission, DG Environment.

Brand S. / 1994 How Buildings Learn, What Happens After They're Built. Viking, New York.

Canal architecture, Rubin, P. (Eds.) / 2017 Construire Réversible. Paris.

Chen D., Ross B., Klotz L. / 2018 Parametric Analysis of a Spiraled Shell: Learning from Nature's Adaptable Structures. Designs 2, 46.

Chiron F. / 2017 Le réemploi dans la construction, Une perspective pour une architecture soucieuse des enjeux environnementaux. Thèse de Master. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, Nantes.

Choppin J., Delon N. / 2014 Matières Grises. Éditions du Pavillon de l'Arsenal, Paris.

Debacker W., Manshoven S., Peters M., Ribeiro A., De Weerdt Y. / 2017 Circular Economy and Design for Change within the Built Environment: Preparing the Transition. Proceedings of the International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, 114–117.

EEA / 2010 Material Resources and Waste- The European environment- State and outlook. Publications Office of the European Union.

EMAF / 2016 Circular in the Built Environment: Case Studies, A compilation of Case Studies from the CE100. Ellen MacArthur Foundation.

Eurostat / 2018 Waste statistic [online]. URL http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics (consulté 02.15.18).

Gauch M., Matasci C., Hincapié I., Hörler R., Böni H. / 2016 Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz. EMPA, BAFU, Bern.

Georgescu-Roegen, N., Grinevald, J. / 1979 La décroissance: entropie- écologie- économie. Sang de la Terre, Paris.

Guldager Jensen K., Sommer J. / 2018 Building a Circular Future - 3rd edition. Danish Environmental Protection Agency.

Herczeg M., McKinnon D., Milios L., Bakas I., Klaassens E., Svatikova K., Widerberg O. / 2014 Resource efficiency in the building sector (Final Report). European Commission, DG Environment, Rotterdam.

International Energy Agency (IEA) / 2019 Material efficiency in clean energy transitions [online]. URL www.iea.org/publications/reports/MaterialEfficiencyinCleanEnergyTransitions (consulté 08.05.2019).

ISO14021 / 2016 Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling).

Kristinsson J., Hendriks Ch. F., Kowalczyk T., te Dorsthorst B.J.H. / 2001 Reuse of Secondary Elements: Utopia or Reality. CIB World Building Congress, Wellington.

Luscuere L.M. / 2016 Materials Passports: Optimising value recovery from materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Waste and Resource Management 170, 25–28.

Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. / 2008 A review on buildings energy consumption information. Energy and buildings 40, 394–398.

Peters M., Ribeiro A., Oseyran J., Wang K. / 2017 Buildings as Material Banks and the need for innovative Business Models- Extract from an internal BAMB Report. Buildings As Material Banks.

Röthlisberger R. / 2017 Beurteilung der Erreichung der sektoralen Zwischenziele 2015 und erste Schätzung zur Zielerreichung 2020. Schweizerische Eidgenossenschaft & BAFU, Bern.

Schoof J. / 2014 Haus ohne Heizung: Bürogebäude von Baumschlager Eberle in Lustenau [online]. Detail.de. URL https://www.detail.de/artikel/haus-ohne-heizung-bueroge-baeude-von-baumschlager-eberle-in-lustenau-11703/ (aufgerufen am 02.10.20).

Stahel W. / 2019 The Circular Economy, A User's Guide. Edited by the Ellen MacArthur Foundationn, Routledge. ISBN: 978-0-367-20014-6

Thormark C. / 2000 Environmental analysis of a building with reused building materials. International Journal of Low Energy & Sustainable Building Vol. 1.

Wälti C., Almeida J. / 2016 Ent-Sorgen? Abfall in der Schweiz illustriert. BAFU, Bern.



Selektiver Rückbau

Ziele / Sorgfalt und Aufwertung 25
Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse 26
Vorbereitung für den Rückbau / Ressourcendiagnose 28

Einrichtung und Möblierung 30
Trennwände und Innenverkleidungen 34
Gebäudetechnik 40
Gebäudehüllen 44
Tragkonstruktion 50
Entwicklungsstrategien 64
Referenzen 68

Fallstudien:

I. Innenausbau in Bern
II. Holzboden in Lausanne
III. Das Kollektiv Rotor
IV. Böden eines Büros in Lausanne
V. Technische Installationen in Bern
VI. Kies auf einem Dach in Lausanne
VII. Fassaden in Zürich und Winterthur
VIII. Vorhangfassade in Biel
IX. Holzkonstruktion in Rheinau
X. Theater aus Holz in Paris und Genf
XI. Stahlkonstruktion in Basel und Zürich
XII. Betonplatten in Genf
XIII. Ortbetonelemente und Betonfertigteile in Europa
XIV. Wohngebäude aus Beton in Bern


GRAND MAGASIN DE MEUBLES
MAISON DUFOUR
DEPOT


PIANOS
RUE VERDAINE
9
RESTAURANT
CAFE BRASSERIE
PICOT



a



b



c

Ziele / Sorgfalt und Aufwertung

Die Umsetzung eines **Selektiven Rückbaus** bedeutet, die Elemente eines Gebäudes zu trennen und zu demontieren, dabei diese so wenig wie möglich zu verändern, möglichst wenig Abfall zu produzieren und die Elemente weiterzuverwerten. Ziel ist es, den Wert und die graue Energie, die in jeder Komponente enthalten sind, so weit wie möglich zu erhalten, indem die Optionen der Wiederverwendung vor Ort und ausserhalb des Standorts sowie des Recyclings bewertet werden. Mit anderen Worten: Es geht darum, den Downcycling-Prozess zu verlangsamen, also den Prozess, bei dem ein Material im Laufe seines Lebenszyklus und vor allem bei jedem neuen Einsatz seine Eigenschaften und Funktionalitäten verliert.

Der selektive Rückbau kann vollständig oder teilweise umgesetzt werden. Ein Beispiel für eine selektive Rückbautechnik ist das sorgfältige Entfernen und Zerlegen von Metallelementen, die ursprünglich verschraubt (Abbildung 11, S.29) oder einfach eingehängt wurden (Abbildung 7, S.25). Diese Vorgänge zielen in der Regel darauf ab, die Profile in einem neuen Projekt wiederzuverwenden, anstatt sie zu zerschneiden und zu recyceln.

Die Ziele sind daher:

- Begrenzen der Produktion von Abfällen;
- Erhalten des Werts von Bauteilen zur Wiederverwendung;
- Umleiten der für die Wiederverwendung geeigneten Komponenten statt zu recyceln;
- Fernhalten einer maximalen Menge an Material von Verbrennung und Deponierung.

Um dies zu erreichen, sind die Ansätze für den selektiven Rückbau:

- eine Beurteilung vor Arbeitsbeginn, Bewerten und Vergleichen der verschiedenen Strategien im Umgang mit den Ressourcen und bei Bedarf Durchführen einer Reihe von Tests;
- eine schichtweise Demontage des Gebäudes;
- die möglichst weitgehende Erhaltung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Komponenten bei Demontage, Lagerung und Transport.

Eine Vorbereitungs- und Planungsphase ist notwendig. Ziel dieser Phase ist es, die geeignetsten Methoden und Werkzeuge für die Werterhaltung der Komponenten zu evaluieren. Diese Bewertung erfolgt nach den technischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten, den verfügbaren Verwertungsmöglichkeiten und dem Umweltpotenzial.

Das belgische Kollektiv *Rotor*, wegbereitend im selektiven Rückbau, drängt auf die Notwendigkeit, die vorhandenen Gebäude bereits heute selektiv zurückzubauen und nicht auf die ergänzende Umsetzung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion in zukünftigen Gebäuden zu warten:

> „Es liegt auf der Hand, dass alle Empfehlungen [zur rückbaubaren Konstruktion] an die Entwerfer und Entwerferinnen von heute dazu dienen, die Arbeit der Rückbauenden von morgen zu erleichtern und damit leicht vermeidbaren Formen von Verschwendung vorzugreifen. Das bedeutet aber nicht, die Frage der Wiederverwendung in eine ungewisse Zukunft zu verschieben. Ein Grossteil des heutigen baulichen Erbes, in all seiner Vielfalt, eignet sich bereits jetzt für solche Eingriffe.“ (Ghyoot et al. 2018, eigene Übersetzung).

Darüber hinaus unterstützt eine genaue Betrachtung etablierter und neuer Demontagetechniken und -praktiken ein besseres Verständnis der rückbaubaren Konstruktion.

Abbildung 8 · An einer Lagerhalle in Uster wird ein teilweiser selektiver Rückbau manuell durchgeführt. Ein Teil der Stahlprofile wird zur Wiederverwendung in einem neuen Gebäude sorgfältig demontiert. Der Rest des Gebäudes wird abgerissen und dabei zerstört.

Abbildung 7 · (S. 22-23) Demontage des Kornspeichers in Rive, Genf, etwa 1897.

Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse

Selektiver Rückbau ist in der Schweiz nicht weit verbreitet: Von den jährlich anfallenden etwa 16 Millionen Tonnen Baustellenabfällen werden etwa 75 % recycelt, 20 % deponiert, 4 % verbrannt und nur ein Bruchteil wird wiederverwendet (Gauch et al. 2016). In der Tat wird nach heutigen Gewohnheiten und Vorgehensweisen am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes üblicherweise Gebrauch eines selektiven Abbruchs gemacht. Der selektive Abbruch unterscheidet sich jedoch vom selektiven Rückbau. Denn obwohl die beiden Methoden die Materialien trennen, zielt der selektive Abbruch nicht auf die Erhaltung der Form der Bauteile ab, sondern direkt auf die Sortierung der Abfälle nach Materialart, um das Recycling oder die Wärmerückgewinnung zu optimieren.

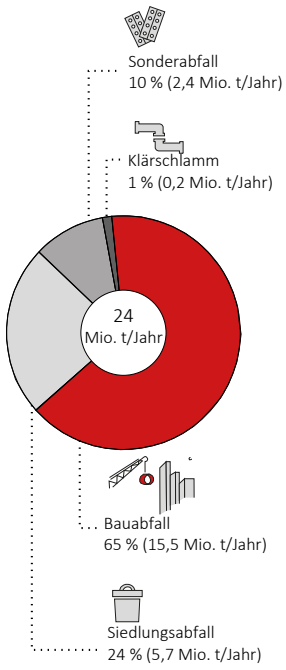


Abbildung 9 · Bau- und Abbruchaktivitäten sind für 65 % der Abfälle in der Schweiz verantwortlich.

In der Schweiz werden daher auf einer Abbruchbaustelle, sofern nicht ausdrücklich von der Bauherrschaft gewünscht, die Bauteile zerstörerisch getrennt, in der Regel vor Ort sortiert und meist dem Recycling zugeführt, entsprechend der „Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen“ (Bundesrat 2020). Beispielsweise werden die Metallteile eines Bauwerks bei einem Abbruch normalerweise mit schwerem Werkzeug zerlegt und dem Recycling zugeführt. Ebenso werden Massivholzböden herausgerissen und als minderwertiges Nebenprodukt recycelt (obwohl das Holz noch brauchbar wäre) oder Haushaltsgeräte werden entsorgt und recycelt.

Hingegen wird im Falle eines selektiven Rückbaus im Rahmen der Diagnose beurteilt, ob die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen es erlauben, die Metallprofile einzeln durch Trennschneiden oder Entfernen der Schrauben zu demontieren, die Dielen sorgfältig zu lösen und den Zustand der normgerechten Haushaltsgeräte zu prüfen und sie zu reinigen, um sie zu einem höheren Preis weiterzuverkaufen, der den zusätzlichen Arbeitsaufwand für die vorgenommene Wartung kompensiert. So zielt der selektive Rückbau darauf ab, Bauteile wieder in Umlauf zu bringen, indem die bereits investierte Energie, die Technologie, das Fachwissen, die Kultur und die Zeit erhalten bleiben.

Hauptfiguren

In der Schweiz sind folgende Fachleute im selektiven Rückbau aktiv:

- das Netzwerk von Bauteilbörsen, die über eine Demontageabteilung verfügen (z. B. die *Stiftung ProMaison* in Renens oder *Syphon AG* in Biel). Einige Börsen sind zu finden unter https://www.bauteilclick.ch/ im Abschnitt Anbieter. Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten liegt meist im Rückbau von Inneneinrichtungen wie Türen, Küchen, Bad- und Möbelelementen, Leuchten, Heizgeräten, selten Zwischendecken und einigen Bodenbelägen. Oft bieten diese Börsen dank einer Zusammenarbeit mit einem Abbruchunternehmen und/oder dem Zugang zu leistungsfähigeren Maschinen auch rückgebaute Konstruktionselemente an (massive Holzbalken, Metallstrukturen, Treppen usw.);
- wegbereitende Architekturbüros, die eine Expertise auf diesem Gebiet entwickelt haben (z. B. *baubüro in situ* in Basel und Zürich) sowie Projektleitungen, die heute punktuell mit Abbruchunternehmen für den selektiven Rückbau zusammenarbeiten (z. B. *Ingeni* und *FAZ architectes* in Genf, siehe Fallstudie XII). Diese Kooperationen ermöglichen es, die eigenen

Projekte mit gebrauchten Komponenten zu versorgen. Diese Hauptfiguren erweitern den selektiven Rückbau auf innovative Weise auf Gebäudehüllen und Tragwerke;

› Anbieterinnen und Anbieter von Nischenprodukten, die im Bereich Antiquitäten, Dekorationsstücke und Handel mit seltenen und hochwertigen Materialien für Renovierungen tätig sind.

Herausforderungen

Neben den von und für den Abbruch und die Recyclingindustrie entwickelten Sortiertechniken trifft der selektive Rückbau auf eine Reihe von Herausforderungen, von denen viele auch in der üblichen Bauwirtschaft bestehen (Addis 2006, Buser 2019, Chini 2001, Chini und Schultmann 2002, Choppin et al. 2014, Cuendet 2020, Dechantsreiter 2015, Fivet 2019, Ghyoot et al. 2018, Kibert und Chini 2000, Küpfer 2018, Nakajima und Russell 2014, Rieder 2020, Zwahlen 2020).

Die wichtigsten Herausforderungen in der Schweiz lassen sich wie folgt auflisten:

› die Recyclingindustrie ist gut etabliert und die aktuellen Abbruchnormen sind vollständig an sie angepasst;

› aktuelle Schweizer Gebäude wurden nicht für eine Demontage konzipiert: Bauweisen wie zum Beispiel Ortbeton und die Verwendung von Klebstoffen verhindern eine einfache Demontage;

› selektive Rückbaumethoden und -techniken sind nicht genügend bekannt;

› die notwendige Garantie für die Qualität der wiederverwendbaren Komponenten und die damit verbundenen Haftungsfragen bleiben eine grosse Hürde für die Weitergabe von Komponenten zwischen Gebäuden.

› die Bauvorschriften sind nicht auf den Einbau von gebrauchten Komponenten abgestimmt, was das Interesse an einer sorgfältigen Demontage verringert;

› der wirtschaftliche Nutzen und die Risiken für eine Anwendung in der Schweiz sind bis heute noch nicht eindeutig geklärt und die möglichen zusätzlichen Kosten für zusätzlichen Arbeitsaufwand oder Lagerung sind entscheidende Bedenken;

› der selektive Rückbau erfordert zusätzliche Zeit, während die Fristen für den Abbruch in der Regel knapp sind;

› die Abstimmung zwischen Abrissbaustelle und Zwischenlagerstätten ist aufwendig;

› die Reparatur oder Wiederverwendung vor Ort werden von den Beteiligten regelmässig als komplexer angesehen als ein entsprechender Neubau, trotz des möglichen ökologischen und sozialen Interesses;

› die Umweltauswirkungen sind nicht automatisch Teil der Entscheidungskriterien bei der Auswahl der Komponenten. Die Herausarbeitung der verschiedenen Umweltauswirkungen, obwohl nicht leicht zu berechnen, würde einen vollständigeren Vergleich von linearen und zirkulären Strategien ermöglichen.



Abbildung 10 · Transport einer Küchenabdeckung in Zollikofen

Vorbereitung für den Rückbau / Ressourcendiagnose

Zur Vorbereitung des Rückbaus wird ein **Inventar** der Bauteile erstellt, um gemeinsam mit den Beteiligten (Projektleitung, Bauherrschaft, Beraterinnen/Berater, potenzielle beauftragte Personen für den Rückbau, Abnehmerinnen/Abnehmer der abgebauten Ressourcen usw.) eine technische, ökologische und wirtschaftliche Bewertung der Rückbaustrategien vorzunehmen, und auf der Grundlage interdisziplinärer, präziser und objektiver Kenntnisse die geeigneten innovativen oder etablierten Techniken auszuwählen.

Das französische Kollektiv *Bellastock* nennt diesen Prozess die „**Ressourcendiagnose**“ (Bellastock und CSTB 2018, Interreg FCRBE 2020). Mit diesem Instrument schlägt das Kollektiv vor, die in Frankreich übliche „Abfalldiagnose“ zu vervollständigen, deren Schweizer Äquivalent die Verpflichtungen der Abfallverordnung (VVEA) sind. Diese besagen, dass die „Bauherrschaft der für die Baubewilligung zuständigen Behörde im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs Angaben über die Art, Qualität und Menge der anfallenden Abfälle und über die vorgesehene Entsorgung machen [muss]“ (Bundesrat 2020). Die **Ziele** der „Ressourcendiagnose“ sind (Bellastock und CSTB 2018):

- eine objektive Bewertung aller Strategien zur Weiterverarbeitung;
- eine detaillierte Beschreibung der Bauteile, die für eine Wiederverwendung in Frage kommen (Einführung von linearen, volumetrischen und einheitlichen Massangaben);
- eine weitreichende Einstufung dieser Komponenten (geometrische Vermessung, Beschreibung des Verschleisszustandes, chemische, mechanische und technische Beschreibung);
- die Erarbeitung potenzieller Wiederverwertungsmöglichkeit (mit einer Beschreibung und Zeichnung der neuen möglichen Einsatzbereiche, der Zielmärkte/-projekte/Wiederverkäufe, Details zu den durchzuführenden Aufbereitungsarbeiten, den Rahmenbedingungen des neuen Produkts);
- die Sicherung der Logistik und der Entscheidungsfindung (Entscheidungsdiagramm beinhaltet die Test- und Kontrollphasen, die Überprüfung der Fähigkeiten der lokalen Beteiligten, die wirtschaftliche Einschätzung, die Überprüfung der Umweltauswirkungen und der technischen Leistung).

Diese Diagnose wird in gegenseitig abhängigen Schritten durchgeführt. Zunächst erfolgt die Bestandsaufnahme der Komponenten vor Ort (einschliesslich Verschleissspuren, Montagedetails, Veränderungen, Materialangaben) und eine qualitative und quantitative Recherche (grafische und fotografische Dokumente, Bestellformulare usw.) (Administration de l’environnement, Luxembourg Institute of Science and Technology 2018). Dann müssen die Beteiligten die technische, ökologische und wirtschaftliche Bewertung durchführen, um die Machbarkeit des Rückbaus zu prüfen. Die für diese Bewertung erforderlichen Elemente sind (überarbeitet aus Addis und Schouten (2004) und Rotor asbl 2015a):

- ausreichende Informationen über die Bauteile und das Gebäude;
- technische und praktische Kenntnisse über Methoden des selektiven Rückbaus;
- die Einschätzung der Risiken (chemisch, statisch, usw.);
- die Möglichkeit, den zeitlichen Aufwand und spezielle technische Anforderungen abzuschätzen;
- das Vorhandensein und die Wahl einer Verwertungsstrategie;
- die Möglichkeit, die Kosten für die Demontage und den Wiederverkaufspreis abzuschätzen;
- idealerweise eine Schätzung der Vorteile für die Umwelt.

Diese Beurteilung kann durch Rückbauversuche vor Ort und eventuelle Laboruntersuchungen ergänzt werden. Nach dem Nachweis der Abwesenheit von Schadstoffen (Asbest, Blei, Steinkohlenteer usw.) sollen diese Tests die „Ressourcendiagnose“ vervollständigen, um die Vorgehensweise und Entscheidungsfindung abzusichern. *Rotor* (Ghyoot et al. 2018) erklärt, dass diese Tests, die an realen Proben durchgeführt werden, folgende Ziele haben:

- Bestätigen der Demontierbarkeit der Bauteile;
- Bestimmen der am besten geeigneten Demontagemethode und Werkzeuge;
- Abschätzen der benötigten Zeit;
- Vorhersehen der Anforderungen an die Handhabung;
- Beurteilen der Eignung des Bauteils, wieder eingebaut zu werden, und Einschätzen der Notwendigkeit, eine Gebrauchsanweisung zu erstellen;
- Abschätzen der Kosten für den gesamten Vorgang.

Parallel zur technischen Machbarkeitsstudie wird daher die wirtschaftliche Rentabilität des Vorhabens bewertet. *Rotor* schlägt vor zu überprüfen, ob die Kosten für Demontage und Handhabung multipliziert mit einem Risikofaktor unter dem Marktwert des Bauteils bleiben (Rotor 2017). Heute gehen Bauteilbörsen in der Schweiz bei Kostenschätzungen in ihrem Tätigkeitsbereich ähnlich vor. Der Voranschlag wird entsprechend ihrer Kapazitäten an Arbeitskräften und Werkzeugen und gemäss den Erfahrungen der Demontageleitung erarbeitet (Cuendet 2020, Zwahlen 2020).



Abbildung 11 · Demontage der temporären Eisbahn in Malley (VD), 2020.

Einrichtung und Möblierung

Zur Innenausstattung gehören Bad- und Kücheneinrichtungen sowie eingebaute und bewegliche Möbel.

Praxis

In der Regel werden Bad- und Küchenausstattung sowie ein Teil der Möbel dem Recycling oder der Entsorgung zugeführt. Dennoch wird ein weiterer Teil über den aktiven Markt für Secondhand-Möbel weitergeleitet. Dessen Erfolg ist jedoch abhängig von der Zeit, die für die Organisation der Spende oder des Verkaufs zur Verfügung steht, der Nachfrage, dem Wert der Möbel und von deren Beweglichkeit/Demontagemöglichkeit.

Für gut erhaltene Möbel, die ohne Demontage transportiert werden können, stützt sich der Secondhand-Markt auf eine Vielzahl von digitalen Hilfsmitteln und Mitwirkenden:

- Privatpersonen per Direktverkauf über Kleinanzeigen und soziale Netzwerke;
- Bauteilbörsen;
- Antiquitätengeschäfte;
- Wohltätigkeitsorganisationen und soziale Stiftungen (z. B. die Organisationen *Emmaüs* und *Heilsarmee* in der ganzen Schweiz und zahlreiche regionale und lokale Vereine);
- einige grosse Handelsketten, die unter bestimmten Bedingungen ein Rücknahmesystem für ihre alten Möbel anbieten.

Gleichzeitig investieren Unternehmen oft in demontierbare oder bewegliche Möbel. Dabei handelt es sich in der Regel um mobile Bürowände oder modulare Möbelsysteme (Regale, Bibliotheken, usw.). Diese Elemente sind so konzipiert, dass sie verschoben und oft mit einfachen Werkzeugen abgebaut und in einer neuen Konfiguration angeordnet werden können, zum Beispiel wenn sich das Unternehmen weiterentwickelt.

Neben Möbeln können auch viele Küchen- und Badeinrichtungen mit zusätzlicher Demontagezeit sorgfältig rückgebaut und dem Recycling entzogen werden. Ein Gebrauchtmarkt ist vorhanden. Vor allem in der Form von Bauteilbörsen, von denen viele mit Hilfe von Subventionen Menschen beschäftigen, die den traditionellen Arbeitsmarkt verlassen haben. Diese Börsen haben ein grosses praktisches Fachwissen entwickelt und ein Netzwerk mit Küchenplanerinnen und Küchenplanern sowie Architektinnen und Architekten aufgebaut, die ihre Dienste in Anspruch nehmen, um diese Elemente vor dem Abriss oder Umbau zu verschonen.

Küchen mit 55 oder 60 Zentimeter breiten Schränken können demontiert werden. In der Regel übersteigen die Arbeiten nicht mehr als einen Tag Aufwand mit einem Team von mehreren Arbeitskräften. Zuerst werden die Schubladen entfernt und dann die Schränke mit einem Schraubenzieher abgebaut. Die meisten Schwierigkeiten liegen jedoch in der Vorarbeit zur Demontage der Arbeitsplatten, die oft fest verleimt sind. Bei einer Marmorarbeitsplatte werden für eine querliegende Fuge (60 cm lang) mehr als 30 Minuten benötigt, und die Technik variiert von Fall zu Fall. Manchmal wird der erste Teil der Trennung mit einer Kreissäge durchgeführt und dann der letzte Abschnitt, der oft gegen die Fliesen verbaut ist, separat mit einem Industrieföhn, um die Fuge auszudehnen. In diesem Fall muss die Temperatur überwacht werden, da sie, wenn sie zu hoch ist, die Farbe des Steins verändern kann. Seitliche Silikonfugen sind oft breiter und können mit einem Trennmesser geschnitten werden. Besonderes Augenmerk muss auf Stellen gelegt werden, an denen Aussparungen, zum Beispiel für ein Waschbecken, die Platte schwächen. Der Umgang mit den Arbeitsplatten muss präzise und vollständig kontrolliert werden. Bei der *Syphon AG* (siehe Abbildung der Fallstudie I) werden oft mit Klemmen befestigte Holzbalken verwendet, um die empfindlichen Stellen dieser Teile zu verstärken. Harz-und Klebstoffreste können leicht abgeschliffen werden. Küchen, die weniger als 20 Jahre alt sind, werden vorrangig behandelt, ältere Ausstattungen finden heute schwer Abnehmerinnen und Abnehmer (Rieder 2020).

Für die Badausstattung kann eine vergleichbare Arbeit mit dem Schneiden von Fugen und dem Entfernen von Elementen durchgeführt werden.

Ausführlichere Informationen (auf Fraunzösisch) werden von *CDR Construction* in Zusammenarbeit mit *bruxellesenvironnement* bereitgestellt (Stockmans 2016). Die elf Demontageanleitungen sind teilweise auf Schweizer Gebäude anwendbar und veranschaulichen Schritt für Schritt Demontagetechniken im Hinblick auf die Wiederverwendung für Waschbecken und Armaturen, Duschkabinen und Zubehör, Küchen und Einbaumöbel.

Hindernisse

Die Hürden für den selektiven Rückbau von Inneneinrichtungen sind stark mit dem Bedarf an praktischen Kenntnissen und Erfahrung, wirtschaftlichen Zwängen und Gewohnheiten auf den Baustellen verbunden.

Zunächst einmal basiert der Prozess des selektiven Rückbaus von Küchen- und Badeinrichtungen, auch wenn er teilweise der Umkehrung der Montage nahekommt, auf praktischen Kenntnissen und Erfahrungen, die im Laufe der Zeit vor Ort erworben wurden, da die Verbindungen dieser Elemente nicht ausdrücklich für eine Demontage konzipiert wurden. Einige dieser Verbindungselemente werden für den einmaligen Gebrauch und aus minderwertigen Materialien (PVC, sehr dünnem Stahl, usw.) hergestellt. Durch die Demontage- und Montagevorgänge entsteht daher ein „Spiel", welches in einigen Fällen so gross ist, dass ein zusätzliches Befestigungssystem zum ursprünglichen erforderlich ist. Diese Erfahrung ist wichtig für die Auswahl der Werkzeuge, den Ablauf und die zu treffenden Vorkehrungen. Eine mangelnde Erfahrung erhöht die Schadensquote und beeinträchtigt die Rentabilität des Betriebs. Diese Auswirkung war in der unten dargestellten Fallstudie deutlich zu sehen, da die Arbeitskräfte an den beiden Standorten deutlich unterschiedliche Qualifikations- und Erfahrungsniveaus aufwiesen. Die Vermittlung von Fachkenntnissen, die Schulung der Arbeitskräfte und die Einbindung von Fachleuten, die solche Elemente installieren, sind Voraussetzung für einen reibungslosen Betriebsablauf (Rieder 2020).

Zudem wird der selektive Rückbau von Inneneinrichtungen trotz der technischen Machbarkeit durch die Konkurrenz aus anderen Bereichen eingeschränkt. Da die sorgfältige Demontage der meisten Komponenten eine längere Zeit in Anspruch nimmt, erfordert sie eine höhere Anfangsinvestition, was das Verfahren risikoreicher macht als eine herkömmliche Abfallentsorgung. Dieser Wettbewerb wird durch einen zu niedrigen Entsorgungspreis verschärft, der weder abschreckend wirkt noch sicherzustellt, dass die die Investitionen mit den Einsparungen durch die Weiterverwendung von Bauteilen statt der Entsorgung ausgeglichen werden. Gleichzeitig beinhaltet der Preis von neuen Bauteilen, die in grossen Mengen verkauft werden, nicht alle externen Faktoren und sie sind daher besonders billig, was es schwierig macht, mit gebrauchten Bauteilen zu konkurrieren, die zeitaufwändige und/oder komplexe Demontagevorgänge erfordern (Rieder 2020).

Schliesslich gehören der selektive Rückbau und die Verwertung von Innenausbauten trotz ihres ökologischen und sozialen Interesses, ihrer technischen Machbarkeit und der Existenz eines Marktes – vorerst noch abhängig von Subventionen – nicht zu den Gewohnheiten auf Baustellen. Angesichts billigerer, schnellerer und etablierter Alternativen sieht der Baukostenplan keinen festen Posten für die Durchführung einer Bestandsaufnahme oder eines selektiven Rückbaus vor, nicht einmal teilweise, was es umso schwieriger macht, sie in einen Bauablauf einzubeziehen (Zwahlen 2020).

Fallstudie I **Innenausbau in Bern**

Die *Syphon AG* ist ein öffentliches Schweizer Unternehmen, das Arbeitsplätze im Bereich Recycling und Wiederverkauf von Bauteilen für Menschen am Rande des traditionellen Arbeitsmarktes schafft. Wie andere Schweizer Bauteilbörsen auch, erhält das Unternehmen Subventionen, in diesem Fall von den lokalen Behörden. Das Unternehmen ist im Bereich des Rückbaus von Innenausstattungen tätig und hat sich auf die Demontage von Küchen spezialisiert. *Syphon* leistet etwa hundert Einsätzen pro Jahr, zusätzlich zur Demontage von kompletten Bädern und der Rückgewinnung von demontierbaren Haushalts- und technischen Geräten, Beleuchtungskörpern und anderen Teilen, die keine Hebebühnen benötigen. Das Unternehmen interveniert meist in Einfamilienhäusern und manchmal in kleinen Wohn- oder Bürogebäuden, um das zu entnehmen, was mit einfachen Werkzeugen, ohne Gerüste und von Hand abgebaut werden kann und für das ein Gebrauchtmarkt existiert. Die beiden folgenden Beispiele sind repräsentativ für ihre Aktivitäten.

In Zollikofen ist ein kürzlich renoviertes Haus aus den 1950er Jahren zum Abriss vorgesehen. Das Architekturbüro des neuen Projekts schreibt die Demontage von Innen- und Aussenelementen aus, die für einen selektiven Rückbau geeignet sind, aber kein höheres Budget als deren Entsorgung erfordern. Die *Syphon AG* erhält den Zuschlag für alle Elemente bis auf die Küchen- und Badmöbel, die an einen professionellen Küchenspezialisten mit einem niedrigeren Angebot vergeben werden. Die gesamte Küche, die Heizkörper, Handtuchwärmer, wärmeerzeugende Geräte, Haushaltsgeräte (Gefrierschrank, Waschmaschine, usw.), Badmöbel und -zubehör, Handläufe, Türgriffe und Beleuchtungskörper wurden mit dem Ziel der Wiederverwendung selektiv demontiert. Die demontierten Elemente wurden dann geprüft, gereinigt und zum Verkauf angeboten. Dies geschieht entsprechend den auf den vorherigen Seiten beschriebenen Techniken. Die Demontage der Küche durch nicht auf Rückbau spezialisierte Beauftragte führt zu einer Unterschätzung des Zeitaufwands und zeigt, wie wichtig Erfahrung bei der Auswahl der Werkzeuge und der Handhabungsmethoden ist, um den guten Zustand der Teile zu gewährleisten.

In Muri bei Bern werden die gleichen Arbeiten an einem Haus durchgeführt, das ebenfalls zum Abriss vorgesehen ist. Gemäss dem Wunsch der Bauherrschaft, leicht rückbaubare Ausstattung wiederzuverwenden, beauftragte das Architekturbüro die *Syphon AG* mit der Demontage der Innen- und Aussenelemente, die ohne Hebebühne und aufwändige Schutzeinrichtungen demontiert werden konnten. Im Moment des Weiterverkaufs der Bauteile rentiert sich der Aufwand der *Syphon AG*. Bei diesem Projekt demontierten sie sorgfältig: die komplette Küche, Möbel, Badeinrichtungen und -geräte, Heizungsanlagen, einzelne Haushaltsgeräte, Lampen und Vorhänge. Alle diese Komponenten werden für die Wiederverwendung zum Verkauf angeboten. Es ist zu beachten, dass die zurückgewonnenen Fenster ohne Zertifizierung nicht vollständig in ein neues, genehmigungspflichtiges Projekt integriert, sondern nur von einer Privatperson verwendet werden können. Bei beiden Häusern werden die verbleibenden Elemente (Hülle, Tragkonstruktion, Innentrennwände und Verkleidungen, technische Anlagen) nach dem Durchgang der *Syphon AG* auf konventionelle Weise abgerissen.

› Arbeiten: Rückbau und Abriss von freistehenden Einfamilienhäusern;

› Standorte: Muri bei Bern (BE) und Zollikofen (BE);

› Bauherrschaft: Eigentümerinnen/ Eigentümer der abzureissenden Häuser;

› Projektleitung: Architektinnen/ Architekten der neuen Häuser;

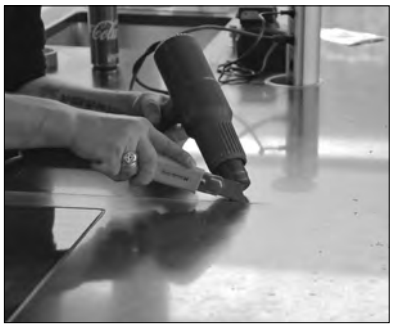
› Beauftragte: *Syphon AG*, sowie ein professioneller Küchenausstatter für die Baustelle in Zollikofen;

› Verwertungstrategie: Weiterverkauf von gebrauchten Bauteilen im Geschäft der *Syphon AG* und direkter Weiterverkauf an einen Kunden im Fall des Küchenausstatters;

› Rückbauzeitraum: 2020;

› Quellen: Rieder 2020, Zwahlen 2020;

› Abbildungen: (a) Erwärmen einer Fuge zur Unterstützung des Schneidens mit einem Cutter; (b) Trennschneiden einer Fuge; (c) Unterstützen einer Arbeitsfläche mit Balken; (d) Abschleifen von Leim- und Harzresten; (e,f,h) Wiederverkauf von gebrauchten Geräten und Teilen; (g) ausgebaute Sanitäreinrichtungen.


a


b


c


d


e


f


g


h

Trennwände und Innenverkleidungen

Praxis

Böden, Decken und Wände werden meist mit mechanischen Werkzeugen abgeschabt oder herausgerissen. Alte Böden werden manchmal wegen ihres kulturellen Wertes ausgebaut. Die Verwendung von mobilen Trennwandsystemen in Büroräumen vereinfacht das Verschieben.

Bei Fussböden können einige mechanisch befestigte Beläge mit geeigneten Werkzeugen zerstörungsfrei entfernt werden: Unterböden und Teppichfliesen sind einfach zu handhaben (siehe Fallstudie IV), während Parkett zeitaufwändiger ist (siehe Fallstudie II). In Mörtel gebettete Fliesen (siehe Fallstudie III) erfordern technisch machbare, aber komplexe und besonders zeitaufwändige Demontage- und Aufbereitungsprozesse.

Für Decken konnten die hier kontaktierten Schweizer Bauteilbörsen kein erfolgreiches Beispiel für den Rückbau von Zwischendecken liefern. Grund dafür scheint die Fragilität dieser Materialien zu sein, da deren Verziehen schwer zu vermeiden ist (Cuendet 2020, Rieder 2020, Zwahlen 2020). In Belgien hat das Kollektiv *Rotor* einen Teil seiner Aktivitäten auf die Demontage von Büroeinrichtungen einschliesslich Zwischendecken konzentriert, da diese sehr häufig ausgewechselt werden. Die Fallstudie III gibt einen Überblick über ihre Arbeit und die entwickelten Methoden.

Der vorsichtige Rückbau von Trennwänden beschränkt sich heute meist auf abnehmbare Bürotrennwände. Diese können in der Regel in umgekehrter Reihenfolge des Montageplans demontiert werden. Türen werden nur berücksichtigt, wenn sie einen Rahmen haben, dessen Befestigung zugänglich ist. Schweizer Bauteilbörsen beschränken sich auf die Rückgewinnung von Türen aus hochwertigen Materialien, um die Rentabilität der Arbeiten zu gewährleisten.

Hindernisse

Der Kleber oder Mörtel, mit dem bestimmte Beläge (z. B. Parkett oder Fliesen) befestigt werden, die Zerbrechlichkeit der Materialien (z. B. Gips- oder Spanplattenverkleidungen), das Verdecken von Kanten (z. B. Rahmen von Innentrennwänden, die vor dem Einbringen des Unterlagsbodens verlegt werden) oder das Verstecken von Befestigungssystemen (z. B. durch Schalung, Putz, Tapete), behindern eine sorgfältige Trennung (Cuendet 2020, Rieder 2020, Zwahlen 2020). Für Trennwände, bei denen die technische Machbarkeit keine Einschränkung darstellt, machen die zusätzlichen Kosten aufgrund des Zeitaufwands für die Demontage diese oft unwirtschaftlich.

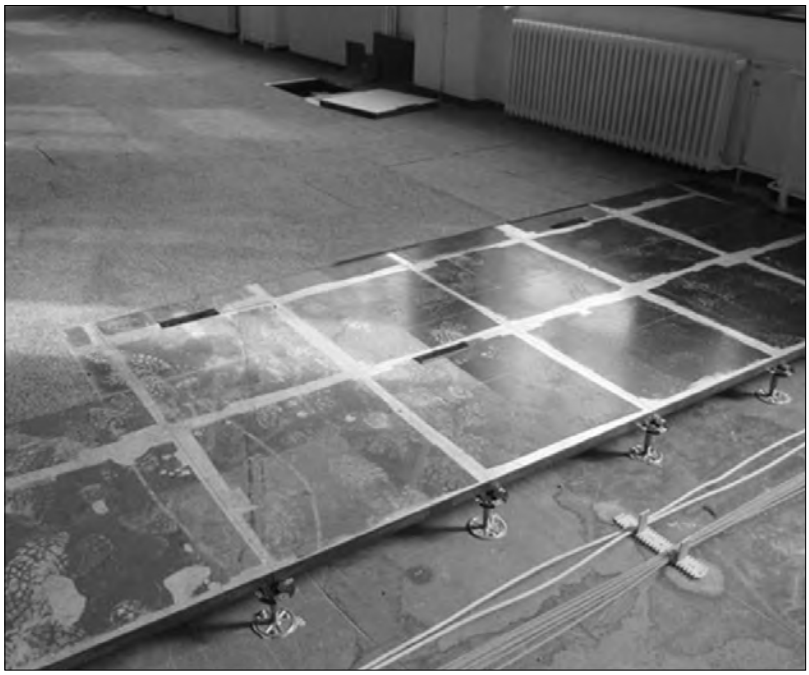


Abbildung 12 · Demontage eines Doppelbodens und Teppichfliesen zur Wiederverwendung in der Schweiz.

Fallstudie II **Holzboden in Lausanne**

Bei Holzböden auf Balken können die Nägel entfernt und schwimmende Böden mit Hilfe eines Brecheisens und Holzmeissels demontiert werden. Diese Technik wurde bei der Renovierung des Waadtländer Parlaments angewandt. Es wurde beschlossen, die ursprünglichen Parkettböden zu demontieren und weiterzuverkaufen. Um das erste Brett zu entfernen, hat das Demontageteam von *ProTravail* einen speziellen Spachtel entwickelt, um die falsche Nut zu durchtrennen und die Demontage des alten Parketts vorzunehmen.

› Rückbauort: Parlament des Kantons Waadt, Lausanne (VD);

› Bauherrschaft: Kanton Waadt;

› Beauftragte: *Fondation ProMaison*, Renens;

› Verwertungsstrategie: Weiterverkauf von gebrauchten Bauteilen im Lager von *ProMaison;*

› Fläche: ca. 130 m^2;

› Quelle: Cuendet 2020;

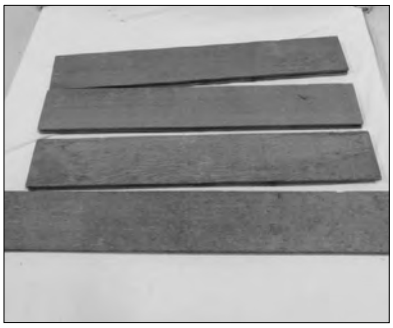
› Abbildungen: Der Holzboden des Waadtländer Parlaments in Lausanne vor (a), während (b) und nach (c) der Demontage.



a



b



c

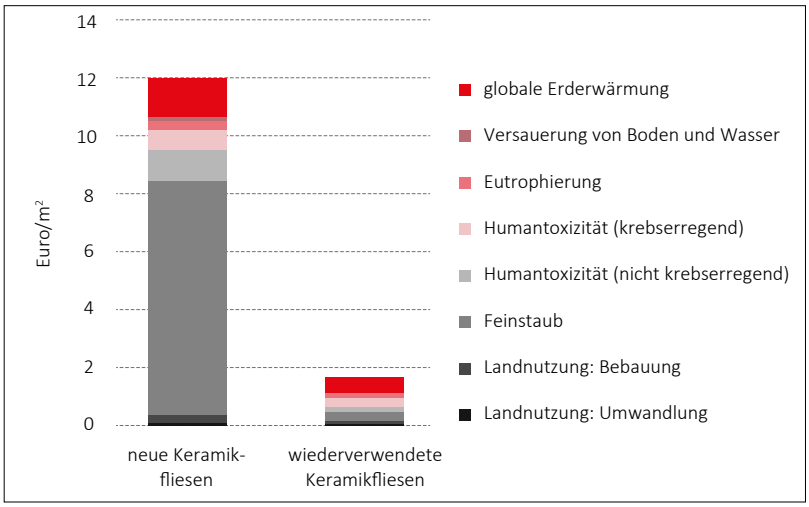
Fallstudie III **Das Kollektiv Rotor**

Besonders aktiv im selektiven Rückbau ist das belgische Kollektiv *Rotor,* eine Agentur für Konzeption, Beratung und Forschung, die sich auf die Aufwertung von Bauelementen spezialisiert hat. Dank ihres praktischen Fachwissens, ihrer Systemkenntnisse und ihrer Forschungsaktivitäten, führt *Rotor* gross angelegte Demontagen durch, entwickelt Methoden für den Wiederaufbau, berät öffentliche und private Personen beim Management von Ressourcen im Bausektor und schlägt wirtschaftliche Modelle und politische Empfehlungen vor. Als integraler Bestandteil ihrer Aktivitäten hat das Kollektiv eine Reihe von Büchern und Referenzberichten über den selektiven Rückbau und die Wiederverwendung veröffentlicht (Ghyoot 2017, Ghyoot et al. 2018, Rotor asbl 2015b). *Rotor* trägt auch als Hauptmitwirkende zum europäischen Forschungsprojekt *Interreg NWE „FCRBE – Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe*“ („Ermöglichen der Zirkulation von rückgewonnenen Bauelementen in Nordwesteuropa“) bei, dessen erste Ergebnisse über Werkzeuge und Methoden beim Rückbau veröffentlicht wurden (Interreg FCRBE 2020).

In der Praxis hat sich das interdisziplinäre Kollektiv auf den selektiven Rückbau von Büroeinrichtungen, die einem besonders schnellen Wechsel unterliegen, spezialisiert. Die Agentur hat Demontagetechniken für viele Elemente der Innenraumaufteilung entwickelt und demontiert regelmässig Türen, Bodenbeläge, Zwischendecken, Trennwände, Beleuchtungskörper usw. Besonderes Augenmerk wird auch auf die Zugänglichkeit und Qualität der für den Zusammenbau benötigten Informationen gelegt. Unter den entwickelten Techniken schlägt das Kollektiv vor, mit Mörtel verbundene Fliesen zu demontieren, indem man die Fugen mit einer Säge vorschneidet und in eine saure Lösung taucht, um die Rückstände zu entfernen. Die Fliesen werden dann mit Wasserhochdruck gereinigt, getrocknet, verpackt und sind bereit, in ein neues Projekt integriert zu werden. Eine Lebenszyklusanalyse (cstc.be und Rotor o.J.) zeigte, dass die Wiederverwendung dieser Fliesen im Vergleich zur Verwendung neuer Fliesen die Umweltauswirkungen um 85 % reduziert.

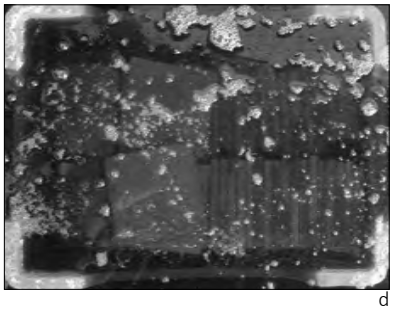
› Quellen: Ghyoot 2017, Ghyoot et al. 2018, Rotor asbl 2015b, Interreg FCRBE 2020, cstc.be und Rotor o.J.;

› Abbildungen: *Rotor* hat eine Reihe von Demontageprotokollen entwickelt; hier der sorgfältige Rückbau von Zwischendecken (b), die Entfernung von Marmorplatten nach dem Vorschneiden der Mörtelfuge (f) und die Reinigung von Mörtelspuren auf Keramikfliesen in einer Säurelösung (c,d,e). Die Belastungen der Lebenszyklen von neuen Fliesen (Daten von *eco-invent*) wurden verglichen mit wiederverwerteten Fliesen in Belgien. (a) zeigt die Ergebnisse mit entsprechenden Kosten auf. Die Umweltauswirkungen als Kosten zu veranschaulichen ist ein delikates Vorgehen, das die Integration dieser Auswirkungen in das wirtschaftliche Denken erleichtern soll. Ganz unten: Bilder der Demontage der Bürotrennwände (g), ergänzt durch eine bebilderte Anleitung für den Wiederaufbau (h).


14
12
10
8
6
4
2
0
Euro/m²
neue Keramik-fliesen
wiederverwendete Keramikfliesen
globale Erderwärmung
Versauerung von Boden und Wasser
Eutrophierung
Humantoxizität (krebserregend)
Humantoxizität (nicht krebserregend)
Feinstaub
Landnutzung: Bebauung
Landnutzung: Umwandlung
a


b

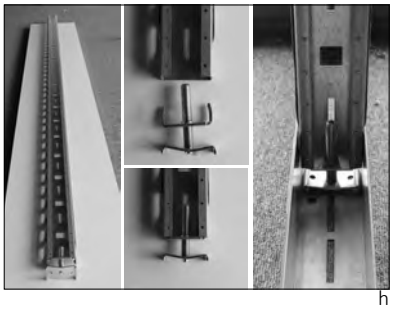

c


d


e


f


g

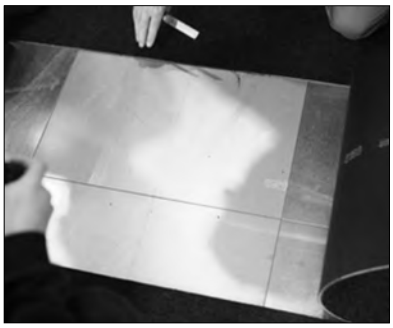

h

Fallstudie IV **Böden eines Büros in Lausanne**

Die Aufwertung der Bauteile des ehemaligen Hauptsitzes des *Internationalen Olympischen Komitees* (*IOK*) wurde in Zusammenarbeit mit der *EPFL* untersucht. Diese organisierte auch den Workshop *Youth for Reuse* unter der Leitung des belgischen Kollektivs *Rotor* und des deutschen Architekturbüros *AFF* und in Partnerschaft mit lokalen Verkaufsstellen. Ziel dieses Workshops war es, Strategien zur regionalen Aufwertung durch Wiederverwendung oder Recycling von Bauteilen zu identifizieren. Unter den Elementen, die vorsichtig demontiert werden konnten, hatten die Holz-Metall-Bodenplatten, auf denen herausnehmbare Teppichfliesen verlegt waren, grosses Potenzial. Diese seit den 1960er Jahren gebräuchliche Art der Doppelböden wird auf Stelzlager verlegt und ermöglicht den Zugang zu den darunter verlaufenden technischen Leitungen.

Dieses System ist leicht zu demontieren: Die Teppichfliesen – nicht geklebt – werden gesammelt und auf Paletten gestapelt und die Platten von den Stelzen abgehoben. Das französische Unternehmen *Mobius réemploi* hat sich auf die Rückgewinnung und den Verkauf zur Weiterverwendung dieser Platten spezialisiert und die technische Machbarkeit in grossem Massstab nachgewiesen. Beim *IOK* ist die Wiederverwendung aus wirtschaftlichen, organisatorischen, kulturellen und logistischen Gründen jedoch nur teilweise gelungen. Ein Teil des Teppichs wurde vorübergehend anstelle eines neuen Teppichs für eine Veranstaltung wiederverwendet, und ein kleiner Teil der Platten wurde vom *Olympischen Museum* als Ersatzmaterial aufbewahrt. Ein grosser Teil der Komponenten wurde recycelt (Bach 2017).

- Rückbauort: Gebäude des ehemaligen Sitzes des *IOK*, Lausanne (VD);
- Bauherrschaft: *IOK*;
- Teilnehmende am Workshop *Youth for Reuse*: *EPFL-EAST* (Lausanne) beraten von *Rotor* (Brüssel) und *AFF* (Berlin);
- Beauftragte: Konsortium von Recyclingunternehmen;
- Verwertungsstrategie: Vorbereitung der Doppelböden für das Recycling durch *SRS*, Basel/Bussigny, und Wiederverwendung durch das *Olympische Museum* und eine kantonale Kulturveranstaltung;
- Rückbauzeitraum: 2016;
- Quelle: Bach 2017;
- Abbildungen: Selektiver Rückbau und Palettierung von Teppichfliesen (a,b), die Doppelbodenplatten werden hingegen recycelt (c).



a



b



c

Gebäudetechnik

Zu den gebäudetechnischen Elementen gehören Geräte, Halterungen und Installationen von Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektroelementen (HLK). Bei Leitungen und Anlagen ist die technische Machbarkeit eines selektiven Rückbaus derzeit gering, da diese Installationen in den meisten Fällen schwer zugänglich sind. Bei Geräten (Warmwasserbereiter, Waschmaschinen, usw.) sind die technischen Schwierigkeiten geringer, aber die wirtschaftlichen, kulturellen und garantiebedingten Einschränkungen sind immer noch Hindernisse.

Praxis

Auf Baustellen wird systematisch eine selektive Sortierung von Metallen durchgeführt. Die spezialisierte Entsorgung von Stahl (Verbindungsstücke), Kupfer (Wasser- und Heizungsanlagen sowie Stromleitungen), Aluminium (Befestigungsschienen), usw. ermöglicht einen ausreichend hohen finanziellen Ertrag, um sie praktisch umzusetzen. HLK-Geräte werden nur selten wiederverwendet und meist an ein Entsorgungszentrum geleitet, wo wiederverwertbare Materialien getrennt und zurückgewonnen werden. Diese Recyclingleistung ist gut etabliert und wird auf nationaler Ebene durch den Vorgezogenen Recyclingbeitrag (VRB) und die Vorgezogene Entsorgungsgebühr (VEG) unterstützt (Swiss Recycling 2015).

Mit zusätzlicher Demontagezeit können Leuchten, Schalter, Schienen und Steckdosen mit zugänglichen Befestigungen sorgfältig demontiert und weiterverkauft werden, wenn sie normgerecht und in gutem Zustand sind. Die meisten Elektro-, Haushalts- und Heizungs-/Lüftungsgeräte können leicht demontiert werden, haben aber häufig Probleme mit der Garantie. Welche Möglichkeiten es heute gibt, noch funktionsfähige Geräte nachzurüsten, zeigen die Aktivitäten der Bauteilbörsen in der Schweiz.

Darüber hinaus sei ein zweites Mal erwähnt, dass eine Auswahl von Demontagetechniken mit dem Zweck der Wiederverwendung von *CDR Construction* Schritt für Schritt beschrieben wird. Die Handbücher, die für die belgische Baubranche entwickelt wurden und die Ähnlichkeiten mit den Schweizer Installationen aufweisen (Stockmans 2016), schliessen auch Steckdosen und Schalter, Heizkörper und Thermostatventile, Leuchten und Zubehör mit ein.

Hindernisse

Die systemischen Hürden beim Rückbau sind ähnlich wie bei ‚Einrichtung und Möblierung'. Hinzu kommen Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der technischen Machbarkeit, veralteten Geräten und der Frage der Garantie.

Zunächst einmal ist die technische Machbarkeit ein grosses Hindernis: Technische Anlagen sind in den meisten Fällen nicht dafür ausgelegt, abgebaut zu werden. Beispiele hierfür sind in Beton eingegossene Kabel und Rohrleitungen sowie Fussbodenheizungen, die mit einem Unterlagsboden nass eingebaut worden sind. Einige Anlagen sind auch zu empfindlich, um abgebaut zu werden. Zum Beispiel sind Sprinkleranlagen, zusätzlich zu den Sicherheitsaspekten, fragil und dadurch schwer zu demontieren, ohne sie zu verbiegen. Ausserdem ist die Unbrauchbarkeit von Geräten, die schwer zu reparieren sind oder nicht mehr den aktuellen Standards entsprechen, ein grosses Hindernis. So sind zum Beispiel Flachsteckdosen nicht mehr innerhalb der Norm und die zurückgewonnenen Teile können nur noch zum Austausch alter, defekter Flachsteckdosen verwendet werden.

Im Allgemeinen sollten bei einer neuen Installation möglichst wenige Teilstücke und wenige Verbindungen erforderlich sein. Es würde sonst das Interesse am Rückbau alter Anlagen einschränken. Bei der Wiederverwendung entspricht das vorhandene Element selten genau den Dimensionen des neuen Projekts. Wenn also die Abmessungen nicht ausreichen, werden Elemente zusammengesetzt. Das Risiko einer undichten Stelle in einer Leitung steigt jedoch mit der Anzahl der Verbindungen. Das Risiko eines Unterbruchs oder sogar eines Brandes (möglicher Staubeintritt) eines elektrischen Netzes steigt mit der Anzahl der Verbindungsstellen. Was die Wasserleitungen betrifft, ist es möglich, sie zu schweissen, allerdings hängt die Funktionstüchtigkeit von der Qualität der hergestellten Verbindungen ab.

Schliesslich wird der Markt für gebrauchte Geräte auch eingeschränkt, weil beim Wiederverkauf für diese Geräte Garantien und die Schweizer Gesetze einzuhalten sind. Nach Art. 210 des Schweizerischen Obligationenrechts muss der Verkäufer ab der Lieferung einer neuen Sache eine zweijährige Garantie gewähren. Dieser Zeitraum kann beim Verkauf von Gebrauchtwaren auf ein Jahr verkürzt werden. Bauteilbörsen verfügen nicht über ausreichende Prüfeinrichtungen, um für ihre Gebrauchtgeräte eine ausdrückliche Garantie zu gewähren. Im Gegenzug bieten die Händler derzeit einen flexibleren Kundendienst und Austauschservice an.



Abbildung 13 · Zurückgewonne Sanitäranlagen, in den Depots der Firma *Syphon* in Biel gelagert.

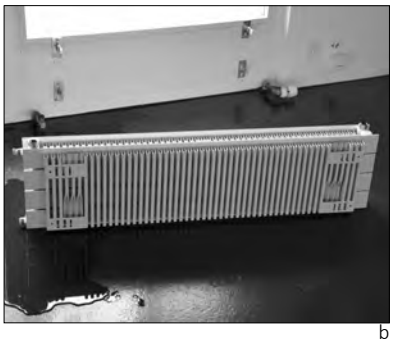
Fallstudie V **Technische Installationen in Bern**

Beim Einsatz der *Syphon AG* in zwei zum Abriss vorgesehenen Einfamilienhäusern (siehe Abbildung der Fallstudie I), entnahm das Rückbauteam Heizungs- und Elektrogeräte, die grösstenteils neueren Datums, normgerecht und in gutem Zustand waren. Sie kommen nicht auf die Mülldeponie und werden nach einer Überprüfung der Funktion und einer Reinigung in das Angebot für Gebrauchtgeräte der *Syphon AG* integriert.

- Arbeiten: Rückbau/Abbruch von Einfamilienhäusern;
- Standorte: Muri bei Bern und Zollikofen (BE);
- Bauherrschaft: Eigentümerinnen/Eigentümer der abzureissenden Häuser;
- Projektleitung: Architektinnen/Architekten der neuen Häuser;
- Beauftragte: *Syphon AG*;
- Verwertungsstrategie: Weiterverkauf von gebrauchten Installationen im Geschäft der *Syphon AG*;
- Rückbauzeitraum: 2020;
- Quellen: Rieder 2020, Zwahlen 2020;
- Abbildungen: Mit Ausnahme der Entleerung unterscheidet sich die Vorgehensweise bei der Demontage eines Heizkörpers nicht wesentlich von einer umgekehrten Installation. Ein Behälter für das austretende Wasser und ein Schraubenschlüssel sind die entscheidenden Werkzeuge. Dank der schnellen und einfachen Ausführung und der Aktualität der Geräte ist die Verkaufsfrequenz hoch.



a



b



c

Während die Glasfassaden von Bürogebäuden ein gutes technisches Potenzial haben, ist die Demontage der Fassaden vieler Wohnbauten heute technisch schwierig, weil deren Bauweise wenig rückbaubar ist.

Praxis

Heute werden die Materialien von abgerissenen Fassaden den entsprechenden Recycling- oder Verbrennungsanlagen zugeführt (Département de la sécurité et de l'environnement 2013). Bei Flachdächern sind das Absaugen und die Wiederverwendung von Kies und Granulat, die bei der Bedachung verwendet werden und nicht kontaminiert sind, eine weit verbreitete Praxis. Andere Materialien werden im Allgemeinen recycelt oder verbrannt.

Ein selektiver Rückbau von Fassadenverkleidungen kann realisiert werden, wenn die rückbaubaren mechanischen Befestigungen zugänglich sind. Dies können zum Beispiel geschraubte Platten oder Bleche sein. Fenster mit zugänglichen Befestigungselementen können oft umgekehrt zum Montageschema rückgebaut werden (Rieder 2020). Die Fassaden von Bürogebäuden haben Potenzial für einen sorgfältigen, selektiven Rückbau. In einigen Fällen kann die Dämmung, auch wenn sie geklebt ist, mit einem Messer gelöst werden. Die niedrigen Preise dieser Produkte auf dem Markt schränken diese Art der Praxis jedoch ein:

> „Nur eine kleine Anzahl von Betreibern, hauptsächlich in den Niederlanden, bieten sie regelmässig zum Verkauf an. Der Wiederverkauf dieser Produkte ist jedoch nicht der Kern ihres Geschäftsmodells: Angesichts der niedrigen Kosten dieser Produkte auf dem Markt ist es schwierig, ihre Wiederverwendung zu einer vollwertigen Tätigkeit zu machen. Bei den Unternehmen, die wiederverwendete Dämmstoffe anbieten, handelt es sich um Abbruchunternehmen, die diese Elemente auf ihren Baustellen wiedergewinnen und ergänzend einen Wiederverkaufskanal für diese Produkte entwickeln" (Opalis 2020, eigene Übersetzung).

Bei Dächern betrifft der selektive Rückbau bisher vor allem die Verkleidung. Mechanisch befestigte Elemente, wie zum Beispiel Platten, Kies, verschraubte Bleche, Falzziegeln, Schieferplatten (für die betreffenden Regionen) oder Platten auf Stelzlagern, sind gute Kandidaten für den Rückbau. Granulat kann abgesaugt und wiederverwendet werden, wenn es nicht kontaminiert ist (siehe Abbildung der Fallstudie VI).

Hindernisse

Abgesehen von den Verkleidungen, stellt die oft beschädigte Isolierung eine mögliche Quelle für Gesundheitsrisiken dar. Abdichtungsschichten werden in der Regel eingeschweisst, ihr Hauptzweck ist die Abdichtung, sie zu zerschneiden würde ihre Eigenschaften zur Wiederverwendung erheblich beeinträchtigen. Im Vergleich zu den angrenzenden Teilen, sind Schweissnähte kritische Punkte in Bezug auf mögliche Probleme. Ausserdem würden jedes Verletzen und Durchlöchern die Eigenschaften der Beschichtungen verändern und so zu Flicken an diesen Stellen führen.



Abbildung 14 · Dämmung zurückgewonnen zur Wiederverwendung.

Bei Fassaden ist durch den grossflächigen Einsatz konventioneller Putze und Befestigungsmethoden (Dübel und Kleber) ein Rückbau der äusseren Dämmung eingeschränkt (Rieder 2020, Zwahlen 2020). Die wiederverwendete Dämmung kann damit nur in Streifen, die kaum breiter als 20 bis 30 Zentimeter sind, verlegt werden. Auch hier gilt, dass die Erhöhung der Anzahl der Elemente und damit der Verbindungsstellen die Leistung verringert und das Risiko von Schäden erhöht.

Bei Verglasungen müssen die Herkunft und Qualität der Fenster formal anerkannt sein und den Normen entsprechen. Ein dreifach verglastes Fenster kann nicht offiziell in einem genehmigungspflichtigen Projekt verwendet werden, wenn seine Herkunft und Leistungsfähigkeit von der Verkaufsfirma nicht garantiert werden kann. Ausserdem verdeckt die mögliche umschliessende Dämmung an der Fassade oft die Fensterrahmenbefestigungen und erschwert so deren Demontage.

Für selektive Rückbauarbeiten auf Dächern betonen sowohl Bellastock (2014) als auch die *Fondation ProTravail* (Cuendet 2020) die Einschränkungen bezüglich Sicherheit, die mit Arbeiten in der Höhe verbunden sind.

Fallstudie VI **Kies auf einem Dach in Lausanne**

Die Flachdächer des ehemaligen Hauptquartiers des ***IOK*** waren Warmdächer, die von aussen gedämmt, mit Abdichtungsbahnen geschützt und dann mit Rundkies oder mit einer begrünten Schicht abgedeckt wurden. Während die Abdichtungsbahnen abgerissen und verbrannt werden mussten, wurden 67 Tonnen Rundkies abgesaugt und per Lastwagen zur Wiederverwendung auf eine 26 km entfernte Baustelle der *SBB* transportiert (Bach 2017).



- Bauherrschaft: *Internationales Olympisches Komitee*, Lausanne (VD);
- Teilnehmende am Workshop *Youth for Reuse*: *EPFL-EAST*, Lausanne, beraten von *Rotor*, Brüssel, und *AFF*, Berlin;
- Beauftragte: Konsortium von Recyclingunternehmen;
- Rückbauort: ehemaliges Hauptquartier des *IOK*, Lausanne (mit Ausnahme eines denkmalgeschützten Gebäudes) (VD);
- Verwertungsstrategie für den Kies: vor dem Rückbau bestimmtes Unternehmen; der Kies wird auf einer anderen Baustelle des zuständigen Entsorgungsunternehmen des Konsortiums wiederverwendet;
- Rückbauzeitraum: 2016;
- Quelle: Bach 2017;
- Abbildung: Absaugen des Kieses auf dem Dach des *IOK* im Hinblick auf die Wiederverwendung.

Fallstudie VII **Fassaden in Zürich und Winterthur**

Für das Projekt der Aufstockung eines Teils der *Halle 118* in Winterthur wollte das Architekturbüro *baubüro in situ* mit gebrauchten, in der Schweiz wiedergewonnenen Materialien bauen, insbesondere solcher von Abbruchbaustellen. Dieses in der Schweiz beispiellose Projekt, das ein Überdenken des Entwurfs- und Beschaffungsmodells erforderte, verlangte einen erheblichen Aufwand zum Suchen passender Bauteile. Dieses Unterfangen veranschaulichte einige der Möglichkeiten für einen selektiven Rückbau im grossen Stil in der Schweiz. Für die Fassaden dienten zwei Gebäude als Hauptquellen.

Die erste Demontagebaustelle ist das zum Abbruch vorgesehene Bürogebäude *Orion* in Zürich. Bei diesem Bürogebäude mit einer Grundfläche von etwa 12'000 m^2 wurde ein selektiver Rückbau am unteren Teil der Fassade durchgeführt. Vertikale Steinplatten wurden ebenso ausgebaut wie 76 der 400 vorhandenen dreifach verglasten Fenster im Erdgeschoss (Poignon 2018).

Der zweite Rückbaustandort ist die Druckerei *Ziegler* in Winterthur. Beim Rückbau dieses Industriegebäudes wurden 1'100 m^2 orangefarbene Wellblech-Fassadenverkleidungen, 25 dreifach verglaste Alu-PVC Fenster, die heute noch erhältlich sind und vor 12 Jahren eingebaut wurden, sowie Dämmplatten ausgebaut (Poignon 2018).

- Rückbauorte: Druckerei *Ziegler*, Winterthur (ZH); Bürogebäude *Orion*, Zürich (ZH);
- Verwertungsstrategie: Aufstockung eines Teils der *Halle 118*, Winterthur (ZH);
- Bauherrschaft für die Aufstockung: Pensionskasse *Stiftung Abendrot*, Basel (BS);
- Projektleitung für die Aufstockung: *baubüro in situ AG*, Zürich (ZH);
- Rückbauzeitraum: 2018.
- Quelle: Poignon 2018;
- Abbildungen: Teilrückbau der Fassaden des Bürogebäudes *Orion* in Zürich (a-e), mit manueller Demontage der Fassadenverkleidung aus Stein und der Fenster mittels Saugnapf-Griffen. Manueller Rückbau der 1'100 m^2 Wellblech, Dämmung und 25 Fenster in der Druckerei *Ziegler* (f-i).


a


b


c


d


e


f


g


h


i

Fallstudie VIII **Vorhangfassade in Biel**

Erhaltung, Instandhaltung und Wiederverwendung vor Ort sind komplementäre Strategien, die die Langlebigkeit von Gebäuden fördern. Zusammen mit dem selektiven Rückbau und der rückbaubaren Konstruktion arbeiten diese Ansätze parallel, um die Abfallerzeugung zu reduzieren und die Ressourcennutzung zu erweitern. Als Schweizer Beispiel zeigt das *Farelhaus*, wie diese Praktiken sich ergänzen und zusammenwirken.

Das 1959 eingeweihte *Farelhaus* ist ein sechsstöckiges Gebäude, das von Max Schlup, einem Vertreter der Schweizer Nachkriegsmoderne, entworfen wurde. Lange Zeit für Gemeindeaktivitäten genutzt, litt das Gebäude unter mangelnder Wartung und Investitionen. Da es nicht ausreichend genutzt wurde, wurde einer Gruppe Architektinnen und Architekten die Finanzierung des Kaufs und der Renovierung erlaubt. Der projektbezogene Ansatz zielte darauf ab, die Schäden am Gebäude zu minimieren, die vorhandenen Bauteile, die räumlichen Qualitäten, das Erscheinungsbild und den Denkmalwert des Gebäudes zu erhalten und die bereits vorhandenen Bauteile wiederzuverwenden. Parallel zum Renovationskonzept wurde ein Betriebskonzept entwickelt. Es wurde dann entschieden, das Programm an die Besonderheiten des Gebäudes anzupassen, um die vorhandene Raumaufteilung und Ausstattung zu erhalten. Die Architektinnen und Architekten, die gleichzeitig als Bauherrschaft und Projektleitung tätig waren, massen den vorhandenen Bauteilen eine grosse Bedeutung bei und entschieden, Nutzungen zu wählen, die zum spezifischen thermischen Komfort dieses Gebäudes passen und nur minimale Eingriffe benötigen.

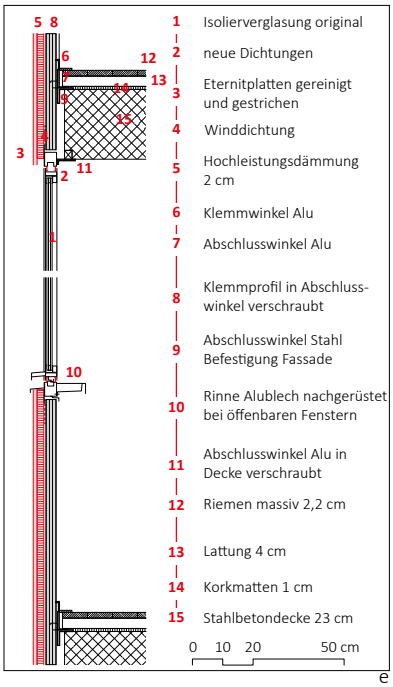
Es wurden allgemeine Prinzipien für die Praxis des selektiven Rückbaus umgesetzt: Vor der Festlegung der Interventionsstrategie wurde das Gebäude durch Archivrecherchen und Begehungen vollständig dokumentiert. Ein Team aus geeigneten Unternehmerinnen und Unternehmern sowie Fachleuten wurde zusammengestellt und schnell miteinbezogen; Prototypen in einem Raum vor Ort ermöglichten Tests, zum Beispiel für Wasserdichtigkeit und Materialoberflächen.

Das Gebäude wurde also als „Ersatzteillager" betrachtet: Die Keller wurden durchsucht, um Originalmaterialien zu finden. Die Ausstattung (Waschbecken, Klinker, Wandpaneele) der Räume mit den grössten Veränderungen wurden demontiert und in anderen Räumen wiederverwendet. Die Fassade wurde fast vollständig demontiert, gereinigt und wieder montiert. Durch die Unterhaltsmassnahmen konnte auch die Nutzung schlecht gewarteter Anlagen verlängert werden: Die teilweise verrosteten Fussboden- und Deckenheizungen wurden dank geschickter Umleitungen wieder in Betrieb genommen. Die Holzwände und Platten wurden gereinigt und erhalten. Die Gipselemente wurden geglättet und aufgefrischt. Der massive Parkettboden wurde restauriert.

Für die Fassade, die den thermischen Anforderungen der 1950er Jahre entsprach, wurde ein Verfahren zur Restaurierung und Wiederverwendung vor Ort entwickelt. Ein Multikriterien-Ansatz lenkte den Entscheidungsprozess. Dazu gehörten der Energieverbrauch in der Betriebsphase, die graue Energie, der Investitionsbedarf, das Risiko für die Nutzenden und die Mieterhöhung, der Denkmalschutz, der Grad der Zerstörung der vorhandenen Bauteile und das Risiko von Wasserschäden. Die Kombination dieser Kriterien führte zum punktuellen Austausch der Erdgeschossverglasung und zur Erhaltung der übrigen Fassadenelemente. Die *Eternit*-Verkleidung wurde demontiert, gereinigt, behandelt und über einer neuen 2 cm starken Hochleistungsdämmung wieder eingesetzt. Die Fugen wurden erneuert und die Aluminiumprofile sorgfältig von Hand gereinigt und anschliessend wieder zusammengebaut.


a


b



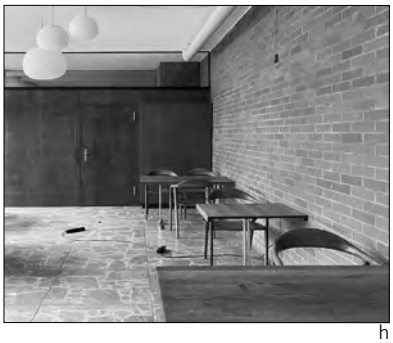
e


c


d


f


g


h

› Entwurf: Max Schlup;

› Ursprüngliche Nutzung: Evangelisch-reformierte Kirche Biel;

› Bauherrschaft und Projektleitung für die Renovierung (seit 2015): *Farelhaus AG*;

› Sanierungsfachleute: *Atelier für Konservierung und Restaurierung Hans Jörg Gerber*;

› Standort: Biel (BE);

› Status: 1959 eröffnet, 2015 wegen mangelnder Nutzung verkauft und seither schrittweise renoviert;

› Klassifizierung: Gebäude als schützenswertes K-Objekt inventarisiert von der Denkmalpflege des Kantons Bern;

› Programm: Pfarrkomplex und dann ein öffentliches multifunktionales Haus;

› Fläche: ca. 5'600 m^2;

› Quellen: Cieslik und Frank 2017, Farelhaus AG 2020, Farelhaus AG und 0815 architekten o.J., Furrer 2017;

› Abbildungen: Das *Farelhaus* – 1959 (a) und 2020 nach der Renovierung (b) – wurde zwischen 1957 und 1959 erbaut (c,d). Das einfache System der Vorhangfassade ermöglichte es, die Bauteile zu demontieren und nach der Reinigung wieder zu montieren (e-g). Nach entsprechenden Behandlungen bleiben die ursprünglichen Materialien und Komponenten (*Eternit*, Verglasung, Ziegeln, Platten, Holzarbeiten, usw.) sichtbar und nehmen am neuen Lebenszyklus teil (h).

Praxis

In der Regel, und sofern die Bauherrschaft nichts anderes wünscht, werden heutzutage Konstruktionselemente zerstörerisch abgerissen und die Materialien zumeist recycelt oder downgecycelt.

Eine bereits gängige Praxis in der Vergangenheit ist der selektive Rückbau von **Metallprofilen**. Durch die Vielseitigkeit und Langlebigkeit von Metallprofilen kann ihr Rückbau durch Trennschneiden oder Abschrauben durchgeführt werden. Während im Schweizer Bausektor jährlich etwa 500'000 Tonnen Metallschrott (aus tragenden und nicht tragenden Bauteilen) anfallen (Wüest & Partner 2015), argumentieren Addis und Schouten (2004), dass die meisten Metallstützen und -träger von Abbruchbaustellen wiederverwendbar sein sollten. Zum Beispiel bieten sich Industriehallen besonders für den Rückbau an und werden regelmässig abgebaut, um Platz für neue Nutzungen in Stadtrandgebieten zu schaffen.

Bei **Holz** sind der Rückbau von Konstruktionen und die Wiederverwendung von Bauteilen uralte Praktiken, die vor der industriellen Revolution weit verbreitet waren. Auch heute noch lassen sich Holzkonstruktionen gut mit zerlegbaren Montagetechniken kombinieren. Wenn die Konstruktionen nicht ausschliesslich aus Holz bestehen, können Verbindungen aus Metallteilen demontiert werden, indem die wenigen Nägel, Schrauben und Bolzen mit geeigneten Werkzeugen wie einem Brecheisen und einem *nail kicker* („Nagelauszieher") entfernt werden (Falk und Guy 2007, Ghyoot et al. 2018, Cuendet 2020). Wenn Elemente geklebt sind, können sie eventuell in der Nähe der Befestigung mit einer Säge abgetrennt werden. Nach dem Entfernen von Nägeln und Schrauben können die Profile neu zugeschnitten, eventuell gehobelt und geschliffen werden. Falk und Guy (2007) beschreiben detailliert die für Holzkonstruktionen erforderlichen Werkzeuge.

Bei **Beton** können die **vorgefertigten Elemente** theoretisch durch Aufsägen der Verbindungsfugen getrennt werden. Tragende Strukturen im mehrgeschossigen Wohnungsbau wurden zum Beispiel in Deutschland, Finnland, Schweden und den Niederlanden selektiv zurückgebaut. Dabei konnten tragende Betonfertigteile durch Auseinandernehmen oder Sägen zurückgewonnen werden (Huuhka et al. 2019). Diese Elemente wurden vor Ort und anderswo wiederverwendet. Mettke (2008) identifizierte Techniken für die Demontage und das Anheben von tragenden Betonfertigteilen aus abzureissenden Wohngebäuden in Deutschland und zeigte Beispiele von Neubauten, die diese Elemente für eine ähnliche oder andere Funktion wiederverwenden. Ein hydraulischer Abbruchhammer kann zum Ablösen von Elementen (z. B. von geklebten Dämmstoffresten) verwendet werden, eine Kettensäge oder ein kleiner Bagger mit Meissel zum Schneiden der Fugen.

Für **Ortbeton** bleiben Sägen und Abtragen aussergewöhnliche Praktiken, aber besondere Kontexte, wie zum Beispiel dichte städtische Umgebungen, haben zur Entwicklung sorgfältiger Demontagetechniken geführt. Die Fallstudie XII beschreibt die Details eines Verfahrens zum Sägen der Decken eines Gebäudes in Genf. Ein solcher Rückbau kann sich auf zwei günstige technische Aspekte stützen: einerseits eine geringe oder kaum vorhandene Degradation der „inneren" Betonelemente, die nicht der äusseren Umgebung und Wasser ausgesetzt sind, und andererseits existieren bereits alle Werkzeuge und Techniken zur Bestimmung des Zustandes des Betons und der Bewehrung (visuelle Zustandserfassung, Sklerometer, Georadar, Belastungstests, Rissmassstab, usw.).



a



b

Abbildung 15 · Rückbau einer Holzkonstruktion in der Schweiz.

Hindernisse

Im Falle von **Metall** sind die Abbruchunternehmen daran gewöhnt, mit der Recyclingindustrie zusammenzuarbeiten, die in der Schweiz gut etabliert ist und mit einem schnellen Rückbau assoziert wird. Selektiver Rückbau mit dem Ziel der Wiederverwendung der Profile ist selten, da er zusätzliche Zeit für Demontage und Planung erfordert. Darüber hinaus profitiert der Rücknahmeprozess nicht von einem stabilen System zur Weiterverwertung. Gleichzeitig erfordert der Wiederverkauf von tragenden Elementen deren Neuzertifizierung, ein Prozess, der kostspielig sein kann und dadurch die Preise von wiederverwendetem und neuem Stahl gleichsetzt (Earle et al. 2014). Bei Metall verringern Korrosion sowie das Vorhandensein von potenziell toxischer Farbe, Löchern oder geschweissten Elementen das Potenzial zur Wiederverwendung (Addis 2006).

Holz kann sich im Laufe der Zeit durch Feuchtigkeit verändern. Die Verwendung neuer Produkte wie zum Beispiel Grobspanplatten (auch OSB-Platten für „Oriented Strand Board“) ist hinderlich, da diese bedingt durch ihre verleimte Herstellung fragiler als Massivholzelemente sind (Earle et al. 2014, Falk und Guy 2007).

Für **Beton**, ist neben den systembedingten Schwierigkeiten auch der wirtschaftliche Aufwand beträchtlich und kommt zu den technischen Problemen wie der Demontage, dem Transport und dem Wiederzusammenbau hinzu.



Abbildung 16 · Selektiver Rückbau der Metallkonstruktion der *Halle Lustucru* in Arles (a). Die Elemente werden auf dem Boden sortiert (b).

Fallstudie IX **Holzkonstruktion in Rheinau**

Die 1811 eingeweihte Holzbrücke zur Überquerung des Rheins bei Eglisau (ZH) wurde rund 100 Jahre später mit der Korrektion des Rheins abgebaut. Die tragenden Elemente, da traditionell zusammengebaut, konnten abgetragen und beim Bau eines Wagenschopfes wiederverwendet werden. Der Wagenschopf aus wiederverwendeten Eichen- und Fichtenbalken steht bis heute im Nachbardorf Rheinau (Günter 2015, Fivet und Brütting 2020).

- Rückbauort: Holzbrücke in Eglisau (ZH);
- Verwertungssystem: Wiederverwendung für das Tragwerk eines Wagenschopfes in Rheinau (ZH);
- Grösse der rückgebauten Brücke: Brückenfläche: ca. 750 m^2;
- Fläche des Bauernhauses: ca. 600 m^2;
- Status: Brücke benutzt ca. von 1811 bis 1919; Wagenschopf benutzt ca. seit 1920;
- Quellen: Günter 2015, Fivet und Brütting 2020;
- Abbildungen: Die Spuren der alten Befestigungen (c) zeigen, dass Elemente der Eglisauer Brücke (a) für die Dachkonstruktion eines Wagenschopf in Rheinau (b) wiederverwendet wurden.



a



b



c

Fallstudie X **Theater aus Holz in Paris und Genf**

In Paris wurde für die *Comédie Française* während der Renovierung ihres Gebäudes ein Holzbau errichtet, der ein temporäres Theater beherbergte. Der eigens für das Theater entworfene, 60 x 20 m grosse Kubus mit Satteldach, wurde zwischen eine Doppelkolonnade des Palais Royal eingefügt (Rappaz 2014). Nach dem Ende der ersten Nutzung wurde das Bauwerk von der Stadt Genf gekauft, um ein provisorisches Gebäude für die *Opéra des Nations*. zu errichten. Die vertikalen Paneele und Elemente des Dachwerks wurden demontiert und nach Genf transportiert. Ein grosser Teil der Konstruktion in Genf besteht aus Elementen der Konstruktion in Paris. Um den Anforderungen der musikalischen Aufführungen gerecht zu werden, wurde die Konstruktion umgebaut, um 5 m verlängert und in der Achse der Fachwerkträger um 8 m verbreitert, so dass 260 zusätzliche Zuschauer Platz finden. Die ursprüngliche Konstruktion wurde um einen doppelten Längsträger ergänzt und mit zwei Querträgern gekoppelt, um ein Trägerraster zu generieren. Ausserdem wurde die Verbindung zum Boden an die Genfer Grünfläche angepasst. Das Pariser Bauwerk hatte kein Fundament, weil es damals direkt auf dem Hof des Palais Royal errichtet wurde. Der Vorschlag des Schweizer Ingenieurbüros, gerammte Fichtenpfähle zu verwenden und diese nach der Nutzung sorgfältig zurückzubauen, um den Standort wieder möglichst in den vorherigen Zustand zu versetzen, reduzierte die Auswirkungen auf die Umwelt (Lignum Genève 2015, Charpente Concept 2016). Heute wird das Gebäude zum zweiten Mal selektiv rückgebaut. Schraubverbindungen ermöglichen eine sorgfältige Trennung der Elemente, denen dann ein drittes Leben im Ausland versprochen wurde (Bonier 2016).

› 1. Rückbau:

› Rückbaustelle: temporäres Theater der *Comédie Française* im Palais Royal in Paris, F;

› Bauherrschaft des Theaters: *Comédie Française*;

› Architekturbüro des Theaters: *Société d'Architecture Alain-Charles Perrot & Florent Richard*, F;

› Status: verwendet von 2012 bis 2014, dann zwischen Sommer 2014 und Februar 2015 demontiert und per LKW nach Genf transportiert;

› 2. Rückbau:

› Rückbauort: temporäres Gebäude der *Opéra des Nations* in Genf (GE);

› Bauherrschaft der Oper: *Fondation du Grand Théâtre Genève*;

› Architekturbüro der Oper: *BRAA SA* (GE);

› Ingenieurbüro/Holzbau für die Oper: *Charpente Concept SA* (GE);

› Status: im Einsatz von 2016 bis 2019, wird abgebaut;

› Fläche: 2'600 m^2;

› Quellen: Rappaz 2014, Lignum Genève 2015, Charpente Concept 2016, Bonier 2016;

› Abbildungen: Nach drei Jahren Einsatz in Paris (a) wird das temporäre Theater abgebaut. Seine Paneele und das Dachwerk werden dann für das provisorische Opernhaus der Nationen in Genf wiederverwendet (b). Im Jahr 2020 wird die Struktur dank der rückbaubaren Bauteile (g) wieder demontiert (c). Die in den Boden gerammten Pfähle reduzieren die Auswirkungen auf das Gelände (h,i).


a


b


c


d


e


f


g


h


i

Fallstudie XI **Stahlkonstruktion in Basel und Zürich**

Das bereits zurvor beschriebene Projekt zur Aufstockung eines Teils der *Halle 118* in Winterthur (siehe Abbildung der Fallstudie VII) basiert weitgehend auf gebrauchten Elementen. Für die neue Stahlkonstruktion wurden Bauteile von drei Abbruchbaustellen wiederverwendet. Das Vorgehen verdeutlicht beispielhaft die selektiven Rückbauprozesse.

An einem ersten Standort in Basel wurden 60 Tonnen Stahlprofile demontiert. Sie stammen aus der Konstruktion des *Coop*-Verteilzentrums Lysbüchel. Dieses wurde vor 15 Jahren gebaut, war dann aber ungenutzt und für den Abriss vorgesehen:

„Seine Stahlkonstruktion bestand aus IPE und HEA Profilen, mit sekundären Trägern zwischen den Hauptträgern, die mit geschweissten Verbindungen befestigt wurden. Je nach Ebene lagen die Hauptträger, die mit den Stützen verbunden sind, als einfache Träger vor oder als Durchlaufträger über zwei Spannweiten. Schraubverbindungen bildeten die Gelenke. Nur die Knotenbleche, die als Laschen fungierten, wurden geschweisst. Demontage und Wiederaufbau waren somit ohne Trennschleifer oder Brenner möglich." (Hegner-van Rooden 2019, eigene Übersetzung).

An einem zweiten Industriestandort, einer ehemaligen Textilmaschinenfabrik im Kanton Zürich, wurden 210 IPE120 und 90 IPE100 (insgesamt 11 Tonnen) manuell demontiert. Auf 20 Ebenen waren die Profile auf Metallkonsolen gesetzt, die im Beton verankert waren. Der selektive Rückbau wurde nur in den beiden untersten Ebenen durchgeführt. Die Metallprofile der 18 oberen Reihen wurden in traditioneller Weise zusammen mit dem Rest der Betonkonstruktion abgerissen (Abbildung 7) (Poignon 2018). Auf der dritten Baustelle, einem Bürogebäude, wurde eine sechsstöckige verzinkte Stahltreppe, die 12 Tonnen wog und 28 Jahre alt war, demontiert und per Helikopter angehoben.

- Rückbauorte: *Coop*-Verteilzentrum, Lysbüchel (BS); Textilmaschinenfabrik *Zellweger*, Uster (ZH); Bürogebäude *Orion*, Zürich (ZH);
- Verwertungsstrategie: Aufstockung eines Teils der *Halle 118*, Winterthur (ZH);
- Bauherrschaft für die Aufstockung: Pensionskasse *Stiftung Abendrot*, Basel;
- Projektleitung: *baubüro in situ AG*, Zürich;
- Rückbauzeit: ~ 2018;
- Quellen: Hegner-van Rooden 2019, Poignon 2018;
- Abbildungen: Übersicht der Demontage- (b), Hebe- (a) und Lagerarbeiten (c) beim selektiven Rückbau der Stahlkonstruktion des *Coop*-Lagers in Lysbüchel und der Demontage per Helikopter einer Stahltreppe in Zürich zur Wiederverwendung (d,e).



a



b



c



d



e

Fallstudie XII **Betonplatten in Genf**

In einem dichten städtischen Kontext wird die Ortbetonstruktur eines Wohngebäudes in Lancy (GE) sorgfältig mit einer Betonsäge zurückgebaut. Dieser selektive Rückbau durch Zerschneiden ermöglicht nicht nur den Schutz der umliegenden Bebauung vor verschiedenen Belästigungen, sondern auch die Rückgewinnung der Betonplatten. Diese Platten werden nicht zerkleinert, sondern dienen als gebrauchte Bauelemente für ein anderes Genfer Projekt. Tatsächlich werden die in Lancy gesägten Platten als Bodenbelag im neuen Betriebsgebäude des Alpinen Botanischen Gartens in Meyrin (GE) wiederverwendet. Die Aufwertung dieser urban mine erlaubt es gleichzeitig, die Menge an Baustellenabfall und an neuen Rohstoffen zu reduzieren.

Die angewandte Rückbaumethode bedient sich einer bestehenden Technik, die in besonders dichten städtischen Kontexten oder bei Teilabbrüchen üblich ist. In der Reihenfolge des Rückbauprotokolls planen die Ingenieurinnen und Ingenieure zuerst die Sicherung der Baustelle und zeichnen anschliessend die Konturen der zu schneidenden Plattenstücke. Dann wird die Platte von unten mit einem Gerüst abgestützt, die Hebepunkte werden fixiert. Ein erster Teil der Platte wird mit einer Betonsäge geschnitten. Die Säge ist auf einer Schiene abgestützten, um einen geraden Schnitt zu gewährleisten. Die von *Bellastock* veröffentlichte Erfassungs- und Schneideanleitung über Schneideversuche von Wänden in Clos Saint-Lazare (F) (Bellastock und CSTB 2018) wird als Referenz aufgeführt, insbesondere für die Schneidemethode mit Hilfe einer Schiene. Nach dem Lösen wird die Platte mit einem Kran angehoben.

Nach der Demontage werden die geschnittenen Teile per Lastwagen zur Wiederverwendung nach Meyrin transportiert. Vor Ort vervollständigen gesägte Teile von anderen Genfer Rückbaustellen mit Betonkonstruktionen das Lager. Die gebrauchten Platten werden dann bei Bedarf auf die richtige Grösse zugeschnitten und auf einem Kiesbett verlegt, um den Belag des Vorplatzes und den Boden des neuen Betriebsgebäudes des Alpinen Botanischen Gartens zu bilden.

Der Erfolg dieser Wiederverwendung wird durch eine Reihe von Faktoren unterstützt, darunter: (1) eine etablierte Rückbautechnik, (2) ein stätdischer Kontext, der einen sorgfältigen Rückbau erfordert, (3) ein Architekturbüro des „empfangenden" Projekts, das an einem ökologischen Ansatz interessiert ist, (4) eine grosse Unterstützung der Bauherrschaft des „empfangenden" Projekts, (5) die Beteiligung desselben Bauingenieurbüros sowohl am „spendenden" Gebäude als auch am „empfangenden" Projekt, sowie (6) eine grosse Anzahl potenzieller „spendender" Gebäude unter den Baustellen des Ingenieurbüros, was die Chancen erhöht, die richtige Menge an Platten in der richtigen Grösse rechtzeitig zu bekommen.

- Rückbaustelle: Wohnblock wird in Lancy (GE) abgerissen;
- Ingenieurbüro: *Ingeni* (GE);
- Abbruchunternehmen: *Belloni SA*, Carouge (GE);
- Verwertungsstrategie: Wiederverwendung von 160 m^2 Platten für das Projekt des Betriebsgebäudes für die Stadt Meyrin (GE) (Projektleitung: *FAZ Architekten*; Ingenieurbüro: *Ingeni*);
- Status: laufend;
- Quellen: Bellastock und CSTB 2018, Favre und Gonçalves 2020;
- Abbildungen: Ablauf (j): Nach der Sicherung der Baustelle durch das Anbringen von Geländern wird ein Gerüst zur Unterstützung von ca. 30 m^2 der Deckenplatte installiert (d) und im Laufe des Rückbaus verschoben. Mit einer Säge schneidet die Arbeitskraft Blöcke zu, die mit dem Kran abtransportiert werden können. Die Säge wird von einer Schiene geführt (b,c), was an das von *Bellastock* bei Clos Saint-Lazare verwendete Verfahren erinnert (a). Die Blöcke werden dann nacheinander vom Kran abgesetzt (e). Wenn ein Block angehoben wird, kann die Arbeitskraft dank des Holzdecks (f) nicht durch eine Lücke fallen. Zusammen mit Deckenplatten von anderen Genfer Baustellen werden die in Lancy ausgeschnittenen Elemente in Meyrin als Bodenplatten wiederverwendet (g-i).


a


b


c


d

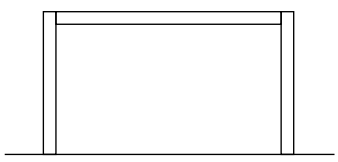

e

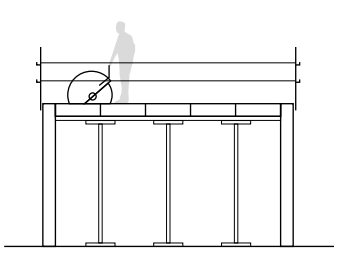

f

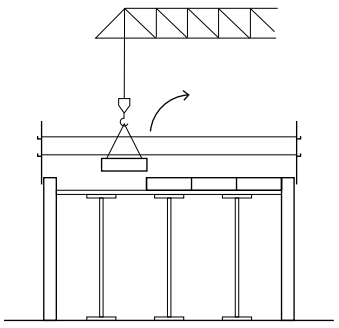

g


h


i






j

Fallstudie XIII **Ortbetonelemente und Betonfertigteile in Europa**

Huuhka et al. (2015, 2019) beleuchteten mehrere Versuche zum selektiven Rückbau von Teilen aus vorgefertigten Betonkonstruktionen. Die aufgelisteten Rückbauten wurden zwischen 1986 und 2010 an Mehrfamilienhäusern in Deutschland, den Niederlanden und Nordeuropa durchgeführt. Die Rückbauarbeiten werden etagenweise durchgeführt, da viele dieser Arbeiten darauf abzielen, bestehende Gebäude zu verkleinern, das heisst, Stockwerke von Gebäuden zu entfernen, die zu diesem Zeitpunkt als zu hoch angesehen werden, während die unteren Etagen erhalten bleiben. Ein selektiver Rückbau, der durch Zerlegen und/oder Sägen erfolgt, ermöglicht die Erhaltung dieser unteren Teile und die Rückgewinnung von Fertigteilen, von denen viele als tragende Elemente in neuen Gebäuden von geringer bis mittlerer Höhe wiederverwendet werden.

Im Rahmen dieser Versuche hat der selektive Rückbau von vierstöckigen Gebäuden in Göteborg (SE) dank eines Systems von ineinandergreifenden Elementen die Rückgewinnung von 80 bis 85 % der tragenden Platten ermöglicht. Der Preis der erhaltenen Platten liegt schätzungsweise bei einem Drittel der Kosten neuer Platten. Die Platten wurden beim Bau von 320 Wohnungen in der Region Göteborg eingesetzt. In Middelburg (NL) wurde nach einer Machbarkeitsstudie ein Projekt zur Erhaltung von 12-stöckigen Wohngebäuden durch Verkleinern und Renovieren ausgewählt. Bei dem Projekt sollten auch Platten aus dem Rückbau der oberen 7 Stockwerke wiederverwendet werden. Es wurden darum Studien durchgeführt, um die Rückbaubarkeit und Wiederverwendbarkeit der Betonelemente sowie die Stabilität des Gebäudes während des Rückbaus zu überprüfen. Die Wand- und Deckenelemente konnten vorsichtig getrennt werden, da die gegossene Betonfuge nur eine schlechte Haftung zu den Fertigteilen hatte. Die Verbindungen zwischen den Platten und den Wänden wurden mit einer Diamantsäge getrennt. Am Ende wurden mehr als 900 Elemente demontiert (Coenen et al. 1990, Huuhka et al. 2019).

Zuvor hatte Mettke (2008) den Rückbau von Betonfertigteilbauten in Deutschland untersucht. Sie beschreibt die Trennwerkzeuge (Hydraulikhammer, Kettensägen, Minibagger mit Meissel) und Hebemethoden (Befestigung von Griffen) und die Ähnlichkeit zum Bauen mit armiertem Beton.

› Quellen: Huuhka et al. 2015, 2019, Coenen et al. 1990, Mettke 2008;

› Abbildungen: Die drei Hochhäuser in Middelburg, gebaut zwischen 1971 und 1972, hatten ursprünglich jeweils 12 Stockwerke (a). Im Jahr 1986 wurde angesichts eines Leerstandes von ca. 20 % die Renovierung der Türme in Angriff genommen und einer der Türme um 7 Stockwerke verkleinert. Von diesem Turm wurden nur die 5 unteren Etagen vor Ort erhalten (b). Die Gussfugen zwischen den Wand- und Deckenelementen wurden gesägt (h). Die durch den selektiven Rückbau wiedergewonnenen Elemente wurden beim Bau von drei neuen Wohnriegeln, die in anderen Teilen der Stadt verteilt sind, wiederverwendet (c). Ein Hubgestell wurde dafür eigens konstruiert (d). Sägen und Heben von Betonelementen in Deutschland (f-g).



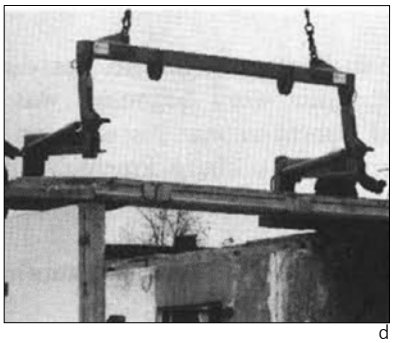
a



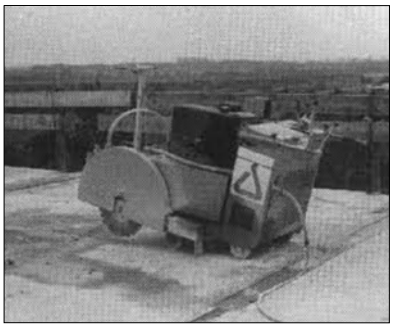
b



c



d



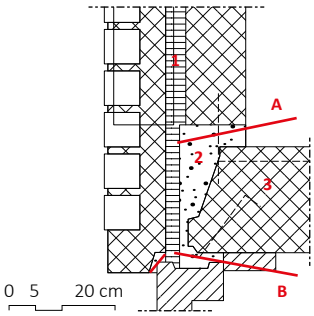
e



f



g



1 vorgefertigte Wand bestehend aus:
- › Aussenwand 8,5 cm, bestehend aus Ziegeln in Mörtel eingebettet
- › Dämmung Polystyrol 3 cm
- › Beton 9 cm

durch Stahl-Ankerstangen in Position gehalten

2 Fuge aus Gussbeton

3 vorgefertigte Betonplatte

A/B Schnitte durchgeführt beim Rückbau

h

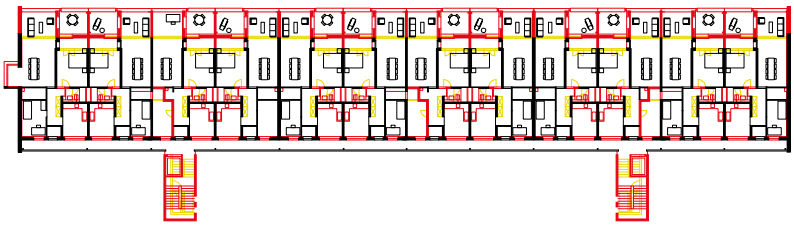
Fallstudie XIV **Wohngebäude aus Beton in Bern**

Angesichts der Schwierigkeiten bei der Wiederverwendung von Ortbetonkonstruktionen abseits der Baustelle, sind Renovierungs-, Konservierungs- und Erweiterungsstrategien entscheidende Ansätze zur Verlängerung der Lebensdauer von Ortbetonbauten und -bauteilen. Darüberhinaus stellen diese Ansätze den Komfort und Denkmalschutz direkt in Frage und werden mit Energiezielen konfrontiert. Viele Mehrfamilienhäuser, die seit der Nachkriegszeit gebaut wurden, sind betroffen.

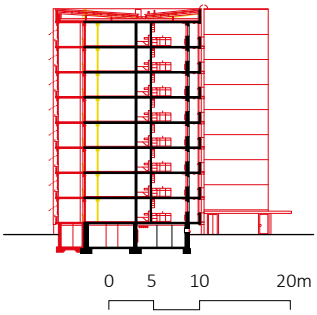
Das 1955 entworfene *Tscharnergut* ist eine Wohnbauanlage westlich von Bern. Seit der Einweihung im Jahr 1966 ist die Zahl der Bewohnenden bis 2006 um mehr als 30 % und bis 2017 um fast 50 % gesunken. Im Jahr 2006 wurde ein Architekturwettbewerb durchgeführt, um Optionen für eine Renovierung oder einen Ersatz und damit einen Abriss zu untersuchen. In Absprache mit den übrigen Bewohnenden wurde die Renovierungslösung gewählt. An einem ersten Gebäude wurde zwischen 2013 und 2017 ein Pilotprojekt durchgeführt: Ein Anbau im Westen des Gebäudes erweiterte die Wohnbereiche im Innen- und Aussenbereich um etwa drei Meter; neue vertikale Erschliessungsblöcke bedienen alle Etagen und die Neupositionierung von Trennwänden ermöglichte eine Diversifizierung der Wohnungsgrössen.

Dieses Pilotprojekt wurde auf unterschiedliche Weise aufgenommen. Eine der Genossenschaften entschied sich, den Ansatz nicht zu übernehmen und somit ein Gebäude zu ersetzen, und begründete dies unter anderem mit Schwellen, die den Zugang für Menschen mit eingeschränkter Mobilität verhindern, sowie der nur teilweisen Einhaltung von Energiestandards. Eine weitere Genossenschaft hat beschlossen, dem Beispiel des Pilotprojekts zu folgen, und die Renovierung eines zweiten Wohnblocks im *Tscharnergut* ist im Gange (Herzog 2016).

- Standort: *Tscharnergut*, Bümpliz (BE);
- Programm: Genossenschaftswohnungen;
- Entwurf (Wettbewerb 1955): Hansruedi Lienhard und Ulyss Strasser
- Kundschaft Renovierung: *Fambau Genossenschaft* (BE);
- Architekturbüros der Renovierung (2015): *Rolf Mühlethaler Architekt* und *Matti Ragaz Hitz Architekten AG*;
- Status: Gebäude als schützenswertes Objekt inventarisiert von der Denkmalpflege des Kantons Bern;
- Fläche: ca. 12’000 m^2 / Gebäude;
- Quellen: Herzog 2016, rolf mühlethaler architekt et al. 2019;
- Abbildungen: Im *Tscharnergut* (c) lässt der Farbunterschied des Putzes den 3 m tiefen Anbau bei einem der Wohnblöcke erahnen (g). Seine Betonkonstruktion wurde entkernt, konserviert und erweitert (d-f). Der typische Grundriss (a) und Schnitt (b) zeigen das Erhaltene in schwarz, den Rückbau in gelb und den Neubau in rot.



a



b



c



d



g



e



f

Entwicklungsstrategien

Die Erhebung der selektiven Rückbautechniken zeigt ein erhebliches technisches Potenzial, auch wenn es aktuell ungleichmässig auf die Schichten und Bausysteme verteilt ist. Ausserdem wurden die aktuellen Hindernisse und Grenzen zur Umsetzung in der Praxis in der Schweiz aufgezeigt. Neben der Notwendigkeit, die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion auf zukünftige Projekte anzuwenden, zeigte die Überprüfung auch, wie wichtig die Weitergabe von Informationen, die Verbreitung guter Verfahren und die Schlüsselrolle bestimmter Hauptfiguren für den Erfolg dieser Rückbauten sind. Angesichts dessen werden Empfehlungen benötigt, um den selektiven Rückbau unter den gängigen Vorgehensweisen auf Baustellen zu unterstützen.

Verschiedene hier gelistete Publikationen fassen Empfehlungen zusammen, welche aus einer nationalen oder internationalen Sicht heraus formuliert sind. Im Jahr 2018 hat das Kollektiv *Rotor* zusammen mit einem interdisziplinären Team eine Reihe von Empfehlungen veröffentlicht, die sich an Zielgruppen wie Behörden, gesetzgebende Organe, Arbeitskräfte, Ausbildende, Projektleitungen, Forscherinnen/Forscher, usw. richten (Ghyoot et al. 2018). In erster Linie für das Umfeld des belgischen Bauens und Rückbauens formuliert, finden diese Entwicklungsvorschläge grösstenteils ein Echo im Schweizer Bauwesen. Diese Arbeit gibt einen guten Einblick in die Problematik des Rückbaus, diente als wichtiges Grundlagematerial für die Erarbeitung der folgenden Empfehlungen und bezieht sich teilweise direkt auf diese.

Anbieten von Ausbildungen

Praktische und technische Kenntnisse sind Voraussetzung für die optimale Durchführung des selektiven Rückbaus, der Ressourcenbewertung und der Weitergabe der Vorgehensweisen. Theoretische und praktische Schulungen müssen diese Vermittlung in einer für alle Beteiligten angepassten Weise ermöglichen.

Wer kann handeln? Schulungszentren spielen eine wichtige Rolle bei der Organisation und Durchführung einer solchen Ausbildung (Ghyoot et al. 2018) Die Ausbildung wird durch Partnerschaften mit Hauptfiguren des Sektors und Beteiligten aus den Installations- und Rückbauberufen bereichert (OREE 2018).

Wie wird das erreicht? Es ist notwendig, Ausbildungskurse zum Thema Rückbau und Abfallmanagement/-verwertung für die verschiedenen Beteiligten einzurichten. In einem ersten Schritt sollte diese theoretische und praktische Ausbildung in bestehende Ausbildungsgänge für Planungs-, Bau- und Abbruchberufe integriert werden (Dechantsreiter et al. 2014, Ghyoot et al. 2018, OREE 2018). Anschliessend sollen eigenständige Module, in Form von Weiterbildungen oder Umorientierungen, eine Spezialisierung ermöglichen. Der Beruf *„valoriste“* (in Belgien oder in Frankreich „Techniker/in Aufwertung Gebäuderessourcen“) sollte gelehrt werden und die ausgebildeten Personen sollten ein wichtiger Bestandteil von Planungs- und Interventionsteams werden. Schliesslich müssen unterstützende Systeme für Abbruchunternehmen in Partnerschaft mit den Installationsunternehmen vorgeschlagen werden. Mit Blick auf die unmittelbare Rolle der Abbruchunternehmen bei der Abfallentsorgung argumentiert OREE (2018, eigene Übersetzung), „[um] effizientere Methoden einzuführen, wäre die Schaffung von Schulungen oder die Unterstützung für Demontageunternehmen durch die Industrie von Vorteil, da sie am besten in der Lage sei, einen effizienten Rückbau und eine sichere Lagerung von Bauteilen zu gewährleisten. Zum Beispiel kann ein Fliesenleger mühelos das Entfernen vieler Fliesen sicherstellen, ohne die Integrität des Bauteils zu beeinträchtigen, wobei Demontagekräfte dazu nicht immer in der Lage sind. Es könnte daher interessant sein, Partnerschaften zu schaffen, um den Austausch zwischen diesen Fachleuten zu erleichtern.“ Die regelmässige Aktualisierung dieser Schulungen soll es ermöglichen, die neusten technischen Fortschritte zu vermitteln und Erfahrungen auszutauschen.

Beispiel: Die 1993 in San Diego gegründete amerikanische Organisation *The ReUse People* bietet Module zum Rückbau für verschiedene Zielgruppen an (Ausbildungen zu Grundlagen des Rückbaus, Teamleitung, Unternehmensleitung und Ausbildung der Ausbildenden). Das Angebot umfasst Schulungen für Abbruch- und Generalunternehmen. Diese Ausbildungen finden direkt in den Büros und an den Arbeitsorten der Unternehmen statt (The ReUse People 2020, 2013).

In Belgien wurden 2017 der Beruf „*valoriste généraliste*“ („Techniker/in Aufwertung Gebäuderessourcen“) und die damit verbundene Ausbildung dank der Arbeit mehrerer Hauptfiguren offiziell vom *Französischsprachigen Amt für Berufe und Qualifikationen* anerkannt (Be Circular 2020, Service Francophone des Métiers et des Qualifications 2019). Diese Anerkennung ist das Ergebnis eines Pilotprojekts, das vom Verband *RESSOURCES* initiiert und von der Verwaltung *Bruxelles Environnement* unterstützt wurde. Eine ähnliche Anerkennung wurde in Deutschland erzielt (Dechantsreiter 2015).

Im Register der Infrastrukturen hat *CDR Construction* (*Brüsseler Berufsreferenzzentrum für den Bausektor*) in Brüssel einen Übungsraum eingerichtet und der selektiven Entsorgung und Wiederaufbereitung von gebrauchten Elementen gewidmet (Holef 2018).



Abbildung 17 · Schulungsbereich von *CDR Construction* für die Montage und Demontage von gebrauchten Komponenten

Einführung einer obligatorischen Ressourcendiagnose

Die Ressourcendiagnose ist eine wichtige Entscheidungshilfe für den selektiven Rückbau und die Abfallreduzierung. Ausführlich im Abschnitt ‚Vorbereitung für den Rückbau / Ressourcendiagnose‘ beschrieben, ermöglicht sie, alle Verwertungsstrategien zu bewerten, Entscheidungen zuverlässiger zu treffen und wiederverwendbare Elemente zu identifizieren, bevor mit dem Abriss begonnen wird (Bellastock und CSTB 2018, Ghyoot et al. 2018, OREE 2018). Die Erfassung dieser Bestände durch die Behörden würde es auch ermöglichen, genauere Statistiken über die Ströme aus dem städtischen Rohstofflager zu erstellen. Diese Zahlen erlauben dann eine bessere Kenntnis über das Vorkommen von Baustoffen und die Festlegung gezielter Massnahmen, die an regionale Besonderheiten angepasst sind (Ghyoot et al. 2018).

Wer kann handeln? Die gesetzgebenden Organe, in Zusammenarbeit mit den Berufsverbänden, sind in der Lage die notwendigen Dokumente/Formulare zu erstellen und schliesslich detaillierte Inventare zu verlangen, bevor sie Abrissgenehmigungen erteilen. Die Nutzbarkeit und Effektivität eines geeigneten Instruments werden durch die Zusammenarbeit mit Beteiligten der Kreislaufwirtschaft unterstützt.

Wie wird das erreicht? Eine Testphase für die Anwendung dieser umfassenden Ressourcendiagnose kann auf freiwilliger Basis oder für ausgewählte öffentliche Aufträge vorgeschlagen werden. Die Behörden müssen Standardformulare und benutzerfreundliche Instrumente zur Verfügung stellen. Sie werden auch aufgefordert, die Wahl der „Diagnostikerinnen und Diagnostiker“ gesetzlich zu regeln. Schulungen sollten erlauben, die Qualität dieser Bewertungen durch autorisierte Fachleute sicherzustellen. Tatsächlich zeigte Dirk Wassink in einer von *Rotor* zitierten statistischen Analyse von 1073 Genehmigungsanträgen in Seattle, die eine Ressourcendiagnose erforderten, eine starke Beziehung zwischen der Schätzung des Wiederverwendungspotenzials und dem Profil der gutachtenden Person (Wassink 2016 zitiert nach Ghyoot et al. 2018). Unabhängig davon, ob es sich bei den bewertenden Personen um Mitarbeitende aus dem Wiederverkauf, einer externen Beratung, einem Generalunternehmen, einem Abbruchunternehmen oder um Eigentümerinnen/Eigentümer handelte, variiert die Schätzung des Anteils der verwertbaren Bauteilen um mehr als den Faktor 10. Ein letzter Schritt zu dieser Empfehlung wird die Integration der Ressourcendiagnostik in bestehende Normen wie SIA 430 und den Baukostenplan sein (Rieder 2020, Zwahlen 2020). Dies würde es ermöglichen, diese Bewertung und mögliche Eingriffe in die Ausschreibungen und den Bauzeitplan einzubeziehen.

Beispiel: Die Stadt Seattle wird als Beispiel dafür genannt, dass sie eine Bestandesaufnahme der wiederverwendbaren Bauteile im Antrag auf eine Abrissgenehmigung zur Pflicht gemacht hat (Ghyoot et al. 2018, Seattle Department of Construction & Inspections 2020, Wassink 2016).

Integrieren des selektiven Rückbaus und der Wiederverwendung in öffentliche Aufträge

Wenn es die Typologie und die Verwertungsmöglichkeiten zulassen, sollten die öffentlichen Ausschreibungen den selektiven Rückbau und die Wiederverwendung als Auswahlkriterien einführen. Solche exemplarischen und vortschrittlichen Ansätze könnten die Effektivität der verfügbaren Instrumente überprüfen und die Unternehmen zur Wiederverwendung der Bauteile auf und ausserhalb der Baustelle ermutigen. Ausserdem würde es erlauben, verschiedene Vorgehensweisen beim Ressourcenmanagement zu vergleichen. Sofern die Verwertungsstrategien es zulassen, die zurückgewonnen Bauteile weiterzureichen, wäre ein weiterer Schritt die stufenweise und gut begleitete Einführung einer Mindestquote an zurückgewonnenen Elementen, je nach Typologie und angepasst an die Art des Gebäudes (Ghyoot et al. 2018). Die Konsultation mit den verschiedenen Interessengruppen sollte es ermöglichen, ehrgeizige, aber realistische Regelungen festzulegen. Die Ausweitung dieses Kriteriums auf den privaten Sektor wäre ein bedeutender Schritt in der Entwicklung des Ressourcenmanagements.

Wer kann handeln? Die öffentliche Hand ist in Zusammenarbeit mit den Berufsverbänden in einer guten Position, die Aufnahme solcher Kriterien in die Vergaben zu unterstützen. Die Zusammenarbeit mit Fachleuten in der Branche wird es ihnen ermöglichen, präzise und realistisch zu handeln. Auch private Bauherrschaften sind eingeladen, dieses Kriterium von sich aus in ihre Ausschreibungen aufzunehmen.

Beispiel: In Frankreich sieht der Artikel L. 228-4 des Umweltgesetzes seit Januar 2020 vor, dass „im Bereich des Bauens oder der Renovierung von Gebäuden [die öffentliche Auftragsvergabe] die Anforderungen zur Bekämpfung der Treibhausgasemissionen und der Kohlenstoffspeicherung berücksichtigt und die Verwendung von Materialien sicherstellt, die wiederverwendet werden oder aus erneuerbaren Ressourcen stammen“ (eigene Übersetzung).

Anpassen der Besteuerung für Rückbauaktivitäten

Im Einklang mit dem *Aktionsplan der Europäischen Union für die Kreislaufwirtschaft* (Europäische Komission 2015), der den Einsatz wirtschaftlicher Instrumente zur Verlängerung der Lebensdauer von Gütern fördert, könnten selektive Rückbauaktivitäten, die mehr Arbeitszeit erfordern, durch steuerliche Massnahmen unterstützt werden. Die Behörden würden so die Schaffung von festen Arbeitsplätzen in nachhaltigen Tätigkeitsbereichen, die Ressourceneffizienz und die Reduktion von Bauabfällen durch Steuervorteile unterstützen (Nakajima und Russell 2014, RREUSE 2017, 2013).

Wie? Die Steuersätze könnten für eine Reihe von Aktivitäten im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft gesenkt werden, zum Beispiel für selektiven Rückbau und Verwertungsstrategien. Im Kanton Waadt können Unternehmen, die in bestimmten Bereichen tätig sind, „unabhängig ob es sich um ein Start-up, ein ausländisches Unternehmen oder ein KMU [(kleines oder mittleres Unternehmen)] handelt, das einen neuen Geschäftsbereich entwickelt“ (eigene Übersetzung), teilweise oder vollständig von der direkten Kantons- oder Gemeindesteuer für einen Zeitraum von maximal 10 Jahren befreit werden (Service de la promotion de l’économie et de l’innovation 2020). Diese Ausnahmen können auf die genannten Aktivitäten ausgeweitet werden.

Beispiel: Wie von RREUSE (2017) identifiziert, gibt es in Europa steuerliche Massnahmen im Bereich der Wiederverwendung und Reparatur. In Frankreich und Belgien profitiert das Sammeln, Aufbereiten und Wiederverwenden von Gebrauchtwaren durch Sozialunternehmen von Steuerermässigungen (Befreiung von der Mehrwertsteuer in Frankreich und ein Steuersatz von 6 % unter bestimmten Bedingungen in Belgien). Etwa zehn weitere europäische Länder haben die Mehrwertsteuer auf Reparaturdienstleistungen für bestimmte Haushaltsgegenstände reduziert (Meuli 2019). Eine Ausweitung dieser Praktiken auf die Rückgewinnung und die Aufwertung von Bauteilen würde den Rückbau und die Aufwertung von Ressourcen in grossem Massstab direkt unterstützen.

Unterstützen der Innovation

Im Bereich des selektiven Rückbaus müssen die notwendigen Voraussetzungen für Experimente und vertiefte Forschung gegeben sein. Zusammen mit einer empirischen Verlässlichkeit, die auf Erfahrungen in Rückbau, Renovierung und Wiederverwendung beruht, würden Zertifizierungssysteme für gebrauchte Bauteile zur Zuverlässigkeit der Techniken beitragen. Dies würde den fliessenden Prozess von der Demontage bis zum Verkauf und der Integration von verwertbaren Elementen in Projekten unter Einhaltung der aktuellen Normen unterstützen (Storey und Pedersen 2014).

Wer kann handeln? Forschungs- und Technologie-Zentren sind gut aufgestellt, um diese Art von Forschung und Erprobung durchzuführen. Auch Ingenieurunternehmen und ihre Forschungs- und Entwicklungsabteilungen können ihre Fähigkeiten und Erfahrungen für diese Art von Innovation (Ghyoot et al. 2018) und die Sammlung von Erfahrungen nutzen. Normative und gesetzgebende Organe könnten unter bestimmten Bedingungen auch die notwendige Flexibilität für Experimente bieten (Bouchain 2017, Castaros 2017).

Wie? Es wäre relevant, die Forschung vorrangig auf Zertifizierungsmethoden für die Elemente zu konzentrieren, welche das grösste Potenzial in Bezug auf Volumen/Masse im Gebäude als auch in Bezug auf die technische Machbarkeit und das Interesse auf dem Gebrauchtmarkt haben. Storey und Pedersen (2014) argumentieren, dass ein Teil dieser Forschung zunächst durch Forschungsfonds im öffentlichen Interesse finanziert werden sollte. Sobald sich ein Markt etabliert hat, könnten kommerzielle Organisationen und Ingenieurunternehmen die Arbeit übernehmen. Die Anwendung von rückbaubaren Konstruktionsprinzipien im Neubau wird diese technischen Schwierigkeiten indirekt und langfristig erleichtern.

Referenzen

Addis B. / 2006 Building with Reclaimed Components and Materials: A Design handbook for Reuse and Recycling. Earthscan, London.

Addis W., Schouten J. / 2004 Design for reconstruction, principles of design to facilitate reuse and recycling- C607. Construction Industry Research & Information Association, London.

Administration de l'environnement, Luxembourg Institute of Science and Technology / 2018 Anleitung zum Erstellen des Inventars von Baumaterialen beim Gebäuderückbau / Guide pour l'élaboration de l'inventaire des matériaux de construction lors de la déconstruction d'un bâtiment. Le Gouvernement du Grand-Duché du Luxembourg, Ministère du Développement durable et des Infrastructures, Esch-sur-Alzette.

Bach R. / 2017 45 expériences simples pour 1 projet exceptionnel, La déconstruction des anciens bâtiments administratifs du Comité International Olympique.

Be Circular / 2020 Valoriste, un métier d'avenir [online]. Be Circular be brussels. URL https://www.circulareconomy.brussels/valoriste-un-metier-davenir/ (aufgerufen am 04.07.20).

Bellastock / 2014 REPAR, Réemploi comme passerelle entre architecture et industrie. ADEME, Angers.

Bellastock, CSTB / 2018 REPAR #2 : Le réemploi passerelle entre architecture et industrie. ADEME, Angers.

Bonier, S. / 2016 L'Opéra des Nations promis à la Chine [online]. Le Temps. URL https://www.letemps.ch/culture/lopera-nations-promis-chine (aufgerufen am 03.07.20).

Bouchain P. / 2017 Le permis de faire, l'esprit plus que la lettre. Interview von Sonnette S. Tracés 19, 7–12.

Bundesrat / 2020 SR 814.600 Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA). Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.

Buser B. / 2019 Le réemploi génère la créativité. Interview von Sonnette S. & Frochaux M. Tracés 14–15, 6–9.

Buser B. / 2020 ReUse- new Aesthetics. Konferenz im Konferenzzyklus „Reuse and New Aesthetics" organisiert von EAST lab. EPFL, Lausanne.

Castaros C. / 2017 Le permis de faire, une loi pour supprimer la loi. Tracés 19.

Charpente Concept / 2016 Opéra des Nations- L'envers du décor- 14 minutes [online]. URL https://www.youtube.com/watch?v=VxjUeYqHDUY (aufgerufen am 01.07.2020).

Chini A.R. (Ed.) / 2001 Deconstruction and materials reuse: Technology, economic, and policy- Rapport CIB 266. CIB, Rotterdam.

Chini A.R., Schultmann, F. (Eds.) / 2002 Design for Deconstruction and Materials Reuse- Rapport CIB 272. CIB, Rotterdam.

Choppin J., Delon N., Encore Heureux / 2014 Matière grise: matériaux/réemploi/architecture. Pavillon de l'Arsenal, Paris.

Cieslik T., Frank S. / 2017 Instandsetzung Farelhaus, Biel. „Der Nutzer passt sich dem Haus an". TEC21, 28–33.

Coenen M., Lentz G., Prak N. / 1990 De Kop is Era: Evalutie van de aftopping van een flat in Middelburg. Delft University Press, Delft. Die Publikation ist verfügbar bei IOS Press hier: http://resolver.tudelft.nl/uuid:d35bc47b-38fe-4bcf-bc7f-1199dbcef1cc.

cstc.be, Rotor / o.J. Carrelage de réemploi: aspects environnementaux.

Cuendet S. / 2020 Praxis und Bautechniken der *Fondation ProTravail*. Interview von Küpfer C.

Dechantsreiter U. / 2015 Entwicklung zukunftsfähiger Instrumente zum bewussteren Umgang mit gebrauchten Bauteilen- DBU Projekt AZ 28540 Referat 44. Forschungsvereinigung für Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e.V. (RWB), Bremen.

Dechantsreiter U., Horst P., Mettke A., Asmus S., Schmidt S., Knappe F., Reinhardt J., Theis S., Lau J.J. / 2014 Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Département de la sécurité et de l'environnement / 2013 Déchets et eaux de chantier: quand écologie rime avec économies. Kanton Waadt.

Earle J., Ergun D., Gorgolewski M. / 2014 Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials in Canada. Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials 20–37.

Europäische Komission / 2015 Closing the loop- An EU action plan for the Circular Economy- EUR-Lex - 52015DC0614. Brüssel.

Falk R.H., Guy B. / 2007 Unbuilding: Salvaging the Architectural Treasures of Unwanted Houses. The Tauton Press, Newtown.

Farelhaus AG / 2020 Farelhaus | Geschichte [online]. farelhaus.ch. URL https://www.farelhaus.ch/de/haus/erneuerung (aufgerufen am 27. 09.20).

Farelhaus AG, 0815 architekten / o.J. Farelhaus. Plakate.

Favre V., Gonçalves M. / 2020 Zwei Projekte für die Stadt Meyrin, Interview von Küpfer C.

Fivet C. / 2019 Sortir de l'esthétique du bricolage. Interview von Sonnette S. Tracés 14-15, 16–20.

Fivet C., Brütting J. / 2020 Nothing is lost, nothing is created, everything is reused: structural design for a circular economy. Structural Engineer 98, 74–81.

Furrer B. / 2017 Restauration Farelhaus, Biel. Das Wunder von Biel. TEC21 11, 12–13.

Gauch M., Matasci C., Hincapié I., Hörler R., Böni, H. / 2016 Projekt MatCH - Bau- Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz. EMPA, BAFU, Bern, St-Gallen.

Ghyoot M. / 2017 Objectif réemploi: Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale.

Ghyoot M., Devlieger L., Billiet L., Warnier A., Rotor / 2018 Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.

Günter A. / 2015 Der Brückenschlag. Verlag Stutz Druck, Wädenswil.

Hegner-van Rooden C. / 2019 Faire avec ce qui existe. Steeldoc 02/19. Zürich, 19–23.

Herzog A. / 2016 Im Denkmaldilemma. Hochparterre 11, 12–16.

Holef J. / 2018 Le CDR Construction ouvre un centre dédié au réemploi des matériaux de construction [online]. Be Circular be brussels. URL https://www.circulareconomy.brussels/le-cdr-construction-ouvre-un-centre-dedie-au-reemploi-des-materiaux-de-construction/ (aufgerufen am 04.07.20).

Huuhka S., Kaasalainen T., Hakanen J.H., Lahdensivu J. / 2015 Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish 1970s mass housing. Resources, Conservation and Recycling 101, 105–121.

Huuhka S., Naber N., Asam C., Caldenby C. / 2019 Architectural Potential of Deconstruction and Reuse in Declining Mass Housing Estates. NA 31.

Interreg FCRBE / 2020 Review of existing pre-demolition tools, policies, resources for identifying, quantifying and organizing the reclamation of reusable elements.

Kibert C.J., Chini A.R. (Eds.) / 2000 Overview of Deconstruction in Selected Countries. Rapport CIB 252. CIB, Rotterdam.

Küpfer C. / 2018 Éléments de réemploi, vers des stratégies activatrices de durabilité. Masterarbeit. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.

Lignum Genève / 2015 Opéra des Nations. Projetbroschüre.

Mettke A. / 2008 Neue Gebäude aus alten Platten.

Meuli K. / 2019 Lutte contre la surexploitation des ressources- Sortir de l'ère du tout-jetable. l'environnement, 8–13.

Mühlethaler, R. / 2019 Tscharnergut Bern 1958-1966 / 2013-2017.

Nakajima S., Russell M. (Eds.) / 2014 Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials- Rapport CIB 397. CIB, Rotterdam.

Opalis / 2020 Isolants [online]. Opalis. URL https://opalis.eu/en/node/199 (aufgerufen am 17.09.20).

OREE / 2018 Comment mieux déconstruire & valoriser les déchets du BTP? Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, ADEME, EDF, SNCF Réseau, Paris.

Poignon B. / 2018 Kopfbau- Halle 118 - Architecture of Reuse- Konferenz im Kurs „Building Design in the Circular Economy". EPFL, Lausanne.

Rappaz P. / 2014 Théâtre ambulant et modulaire L'opéra de Genève a acheté à la Comédie-Française son Théâtre éphémère. Tracés 07.

Rieder R. / 2020 Praxis und Rückbautechniken der *Syphon AG*. Interview von Küpfer C.

rolf mühlethaler architekt, mrh Architekten Bern, gartenmann engineering ag / 2019 Tscharnergut Bern 1958-1966 / 2013-2017 [online] URL https://ftnb.ch/assets/Uploads/Inhalte-Vertiefungssessionen/A4-Standards/3147150e70/1_Tschar-ni.-28.03.19-def_b_freigegeben.pdf (aufgerufen am 04.07.20).

Rotor / 2017 Rotor ou la déconstruction de l'architecture. Interview par L. Muller [online]. Chroniques d'architecture. URL https://chroniques-architecture.com/rotor-ou-quand-la-deconstruction-se-fait-architecture/ (aufgerufen am 30.06.20).

Rotor / 2015a Vade-mecum pour le réemploi hors site, Comment extraire les matériaux réutilisables de bâtiments publics ? Région de Bruxelles-Capitale.

Rotor / 2015b Vade-mecum pour le réemploi hors site, Comment extraire les matériaux réutilisables de bâtiments publics ? Rapport final – Partie 2 : Recommandations. Région de Bruxelles-Capitale, bruxelles environnement, Alliance Emploi-Environnement.

RREUSE / 2013 Differentiated VAT Rates and the Waste Hierarchy: An Opportunity to Improve Resource Efficiency and Socio-Economic Inclusion in Europe [online]. URL https://www.rreuse.org/differentiated-vat-rates-and-the-waste-hierarchy-an-opportunity-to-improve-resource-efficiency-and-socio-economic-inclusion-in-europe/ (aufgerufen am 04.07.20).

RREUSE / 2017 Reduced taxation to support re-use and repair. Brüssel.

Seattle Department of Construction & Inspections / 2020 Construction & Demolition Waste- Accomplishments - SDCI | seattle.gov [online]. seattle.gov. URL https://www.seattle.gov/sdci/vault/construction-and-demolition-waste (aufgerufen am 04.07.20).

Service de la promotion de l'économie et de l'innovation / 2020 Renseignez-vous sur le cadre fiscal et ses avantages [online]. vaud-economie.ch. URL https://www.vaud-economie.ch/services/nous-pouvons-vous-aider/renseignez-vous-sur-le-cadre-fiscal-et-ses-avantages (aufgerufen am 04.07.20).

Service Francophone des Métiers et des Qualifications / 2019 Valoriste généraliste [online]. URL http://www.sfmq.cfwb.be/index.php?id=2826 (aufgerufen am 04.07.20).

Stockmans / 2016 Réemploi des matériaux de construction [online]. Reuse.brussels. URL http://reuse.brussels/ (aufgerufen am 30.06.20).

Storey J.B., Pedersen M. / 2014 Overcoming the barriers to deconstruction and materials reuse in New Zealand. Barriers for deconstruction and reuse/recycling of construction materials, 130–145.

Swiss Recycling / 2015 Häufige Fragen (FAQ) [online]. Swiss Recycling. URL http://www.swissrecycling.ch/wissen/faq/ (aufgerufen am 01.07.20).

The ReUse People / 2020 TRI Deconstruction Training and Certification Programs [online]. URL https://thereusepeople.org/ReUseInstitute/ (aufgerufen am 11.12.20).

The ReUse People / 2013 Deconstruction Training [online]. URL http://www.deconstructiontraining.org/ (aufgerufen am 04.07.20).

Wassink D. / 2016 Salvage Assessments in Seattle : Reflecting on a Policy Tool to Increase Building Material Recovery.

Wüest & Partner / 2015 Bauabfälle in der Schweiz- Hochbau Studie 2015. BAFU, Bern.

Zwahlen M. / 2020 Möglichkeiten, Rückbau, Wiederverkauf und Betrieb der *Syphon AG*. Interview von Küpfer, C.



Rückbaubare Konstruktion

Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse 77
Herausforderungen und Hauptfiguren 78
Allgemeine Prinzipien 79
Prinzipien zum Projektmanagement 82

Tragkonstruktion 85

Gebäudehüllen 114

Gebäudetechnik 122

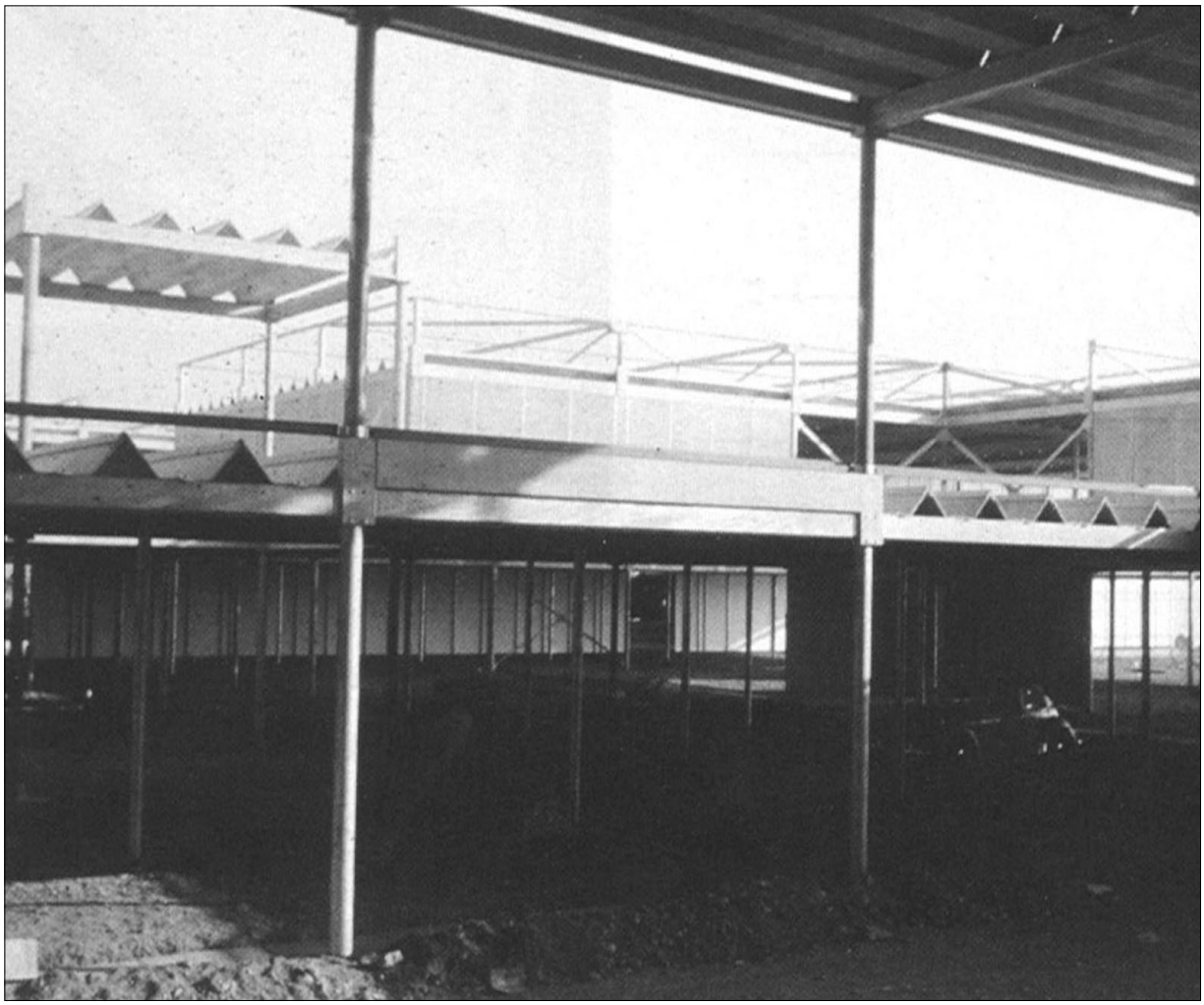
Trennwände und Innenverkleidungen 128
Einrichtung und Möblierung 134
Entwicklungsstrategien 136
Referenzen 142

Fallstudien:

XV. Naturstein tragend
XVI. Backstein tragend
XVII. Faserbeton verschraubt
XVIII. Betonfertigteile zusammengesteckt
XIX. Betonfertigteile verschraubt
XX. Betonfertigteile vermörtelt
XXI. Beton-Metall-Konstruktion
XXII. Metallkonstruktion
XXIII. Holz-Metall-Konstruktion
XXIV. Holzkonstruktion verschraubt
XXV. Fussboden aus Massivholz
XXVI. Fassade nicht tragend
XXVII. Metallfassade
XXVIII. Energetische Fassadenrenovierung
XXIX. Beleuchtung als Dienstleistung
XXX. Aufstockung und Dämmung
XXXI. Heizungsanlage für Büros
XXXII. Trennwände







a

Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse

Die rückbaubare Konstruktion zielt darauf ab, anpassungsfähige und demontierbare Gebäude zu entwerfen. Dabei soll die Lebensdauer des Gebäudes und seiner Komponenten verlängert werden, mit besonderem Augenmerk auf die Möglichkeiten zu Reparatur, Umbau und Rückbau der Komponenten für eine langfristige Raumnutzung. Ihre Prinzipien betreffen sowohl die **technische Rückbaubarkeit**, d. h. die Eignung von Komponenten, Teilsystemen und Systemen demontiert und wieder zusammengebaut zu werden, als auch die **räumliche Rückbaubarkeit**, d. h. die Eignung des Raumes, Nutzungsänderungen aufzunehmen und an diese angepasst zu werden (Durmisevic 2006).



b

Abbildung 19 · Der Pavillon von Max Bill für die *Expo 1964* in Lausanne verfolgte die Ziele der räumlichen und technischen Rückbaubarkeit (a). Am Ende der Ausstellung wurden die meisten Module von Baufirmen für den Einsatz als Produktionshallen gekauft. Ein solches Modul wurde zweimal demontiert und wieder zusammengebaut: zuerst in Yverdon für die Firma *Arkina*, dann in Yvonand durch die Baufirma *Geiliger* (b) (Gilliard 1992).

Angesichts der Beschleunigung des urbanen und sozialen Wandels, der Rolle des Bausektors bei der Abfallproduktion, der Erschöpfung verschiedener natürlicher Ressourcen und der Produktion von Treibhausgasen ist die rückbaubare Konstruktion heute eine der Schlüsselstrategien für eine nachhaltigere gebaute Umwelt. Im Bestreben, die gebaute Umwelt trotz schwierigen Vorhersagen so gut wie möglich auf verschiedene Szenarien vorzubereiten, ist dieser Ansatz Teil einer langfristigen Vision des Bauens. Diese schlägt vor, Gebäude so zu errichten, dass sie über die Nutzungszyklen hinweg den neuen Begebenheiten angepasst und weiterentwickelt werden können.

Eine breite und umfassende Anwendung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion würde, nicht ohne Herausforderungen, zum Erreichen der Klima- und Ressourcenmanagementziele der Schweiz beitragen (Nauser 2018, BAFU 2020).

Basierend auf den Ausführungen von Durmisevic (2006) lassen sich die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion auf mehreren Ebenen in einem Projekt anwenden:

- auf die **Materialien**, dabei sollten deren Degradation und Umweltauswirkungen möglichst vermindert und das Downcycling der Komponenten verzögert werden;
- auf die **Komponenten**, deren Austauschbarkeit weitere Nutzungen ermöglicht;
- auf die **Verbindungen** zwischen Komponenten und zwischen Teilsystemen, die dafür verantwortlich sind, die Rückbaubarkeit des Ganzen zu gewährleisten;
- auf die **Systeme** mit unterschiedlicher Lebensdauer, deren Eigenständigkeit und Anordnung lokale und angemessene Veränderungen ermöglichen muss;
- auf das **Gebäude**, dessen Dauerhaftigkeit von seiner Eignung abhängt, sich kurz-, mittel- und langfristig an Veränderungen der Nutzung und des Lebensstils anzupassen.

Abbildung 18 · (S. 74-75) der *Intelligent Workplace*, Pittsburg, eingeweiht 1997.

Herausforderungen und Hauptfiguren

Vor der industriellen Revolution war es üblich, Gebäude sorgfältig rückzubauen und fast ausnahmslos lokal vorhandene Ressourcen zu verwenden. Diese Kreislaufwirtschaft wurde unterstützt durch den Einsatz vielseitiger Bauteile, einer reduzierten Anzahl von Werkstoffen, rückbaubarer Verbindungen und durch ein hohes Verhältnis zwischen Material- und Lohnkosten. So war es zum Beispiel in ganz Europa üblich, Bauholz oder Steine für neue Bauten wiederzuverwenden. Infolge der industrialisierten Produktion und der Verfügbarkeit von neuen Herstellungsverfahren und optimierter Materialien (Barles 2014) wurden der Rückbau und die Aufwertung von Gebäuden überholt. Ausschlaggebend sind vor allem die gesunkenen Produktions- und Materialkosten durch die Revolution des globalen Gütertransports.

Heute steht die Anwendung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion vor grossen Herausforderungen. In der Schweiz sind die Hauptschwierigkeiten:

- begrenzte Kenntnisse über die gängigen Verfahren;
- die Verankerung von Gewohnheiten und Bequemligkeiten und damit der umfangreiche Einsatz von Verbundwerkstoffe und für den einmaligen Gebrauch konzipierte Montagemethoden;
- das lineare Wirtschaftsmodell und das aktuelle Eigentumssystem;
- die Schwierigkeiten bei der Vorhersage der zukünftigen Nutzungen von Gebäuden und Komponenten.

Es gibt mehrere Hauptfiguren, welche die Konzepte der rückbaubaren Konstruktion in der Praxis anwenden sollten:

- die Entwerfenden und Herstellenden (Designerinnen/Designer, Architektinnen/Architekten, Ingenieurinnen/Ingenieure, Industrielle, etc.);
- die Bau- und Abbruchunternehmen;
- die Personen in den Rücknahmezentren (Herstellungs-, Wiederverkaufs-, Recyclingunternehmen, etc.);
- die Investorinnen/Investoren (Pensionsfonds, Einzelpersonen, etc.);
- die tatsächlichen und potenziellen Benutzerinnen/Benutzer;
- die gesetzgebende Gewalt;
- die Ausbildungs- und Forschungszentren.

Allgemeine Prinzipien

In diesem Abschnitt wird eine umfangreiche Übersicht der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion vorgestellt und kritisch diskutiert. In Form einer Checkliste soll diese Zusammenstellung die Entscheidungsfindung bereits in der Anfangsphase des Projekts auf eine genaue und zugängliche Weise unterstützen. Die Checkliste ist nach Massstäben organisiert, reicht vom einzelnen Bauteil bis hin zum gesamten Gebäude, und stellt die allgemeinen Prinzipien der technischen und räumlichen Rückbaubarkeit vor. Diese Liste der allgemeinen baulichen Prinzipien arbeitet mit der Übersicht zum Projektmanagement zusammen. Beide wurden auf der Grundlage einer wissenschaftlichen Literaturrecherche und von Bauwerken erstellt und richten sich an das ausführende Gewerbe.

Quellen: Addis und Schouten 2004, Boothroyd und Alting 1992, Canadian Standards Association und Dwayne 2006, Canal architecture und Rubin 2017, Crowther 1999a, Debacker et al. 2017, Durmisevic 2006, 2018, Guldager et al. 2016, Guy und Ciarimboli 2008, Morgan und Stevenson 2005, Nordby 2009, Salama 2017, Sassi 2002, Thormark 2001, Tingley und Davison 2011.

Bemerkung: Diese Listen zu allgemeinen baulichen Prinzipien und zum Projektmanagement enthalten Empfehlungen, die für alle Schichten des Gebäudes gelten. Die spezifischen Prinzipien für jede Schicht werden darauffolgend separat dargestellt.

Auswählen von dauerhaften Materialien

Die Verwendung dauerhafter Materialien ist enorm wichtig, um eine lange Lebensdauer der Komponenten zu erreichen, um deren spätere Wiederverwendung oder Recycling zu erleichtern und um Umweltauswirkungen gesamtheitlich zu reduzieren. Es geht unter anderem darum, die Prinzipien von *Cradle to Cradle* zu beachten. Das Prinzip „von Wiege zu Wiege“ wurde vom deutschen Chemiker Michael Braungart und dem amerikanischen Architekten William McDonough in den späten 1980er Jahren definiert (Braugnart und McDonough 2011). Dieses Konzept zielt darauf ab, die Qualität von Rohstoffen über mehrere Lebenszyklen zu erhalten, insbesondere durch Unterscheiden und Trennen der organischen Materialien von den technischen Materialien. Die folgenden Prinzipien sind zu beachtenden:

- Auswählen gängiger und qualitativ hochwertiger Materialien, die widerstandsfähig und leicht zu reinigen sind und eine angemessene Wartungsfrequenz aufweisen, sowie das Trennen von organischen und technischen Materialien;
- Soweit möglich, Vermeiden von Verbundwerkstoffen, die nicht trennbar (Recycling) und nicht wandelbar (Wiederverwendung) sind, von überflüssigen Beschichtungen und von gefährlichen Materialien oder Bindemitteln;
- Bevorzugen von Bauteilen, die vielseitig einsetzbar sind und deren Verhalten im Laufe der Zeit bekannt und durch langjährige Erfahrung verifiziert ist;
- bei Unsicherheiten, Nachfragen bei Lieferanten und Fachkundigen im Bereich der Rückgewinnung.

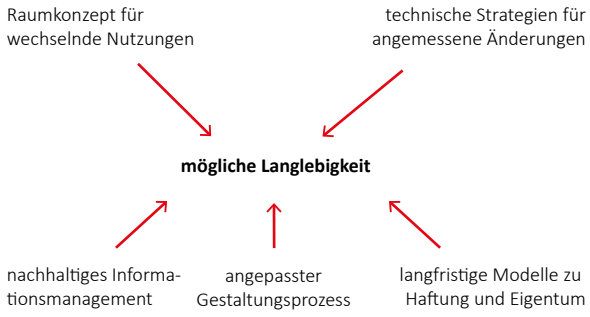


Abbildung 20 · Die Rückbaubarkeit eines Gebäudes muss sowohl räumlich als auch technisch gegeben sein. Dieses Potenzial hängt auch von einem angemessenen Projektmanagement und einer langfristigen Vision für das Gebäude und seiner Komponenten ab.

Sicherstellen der Langlebigkeit und Austauschbarkeit der Bauteile

Die Gestaltung aller Bauteile sollte deren Lebensdauer und ihr Wiederverwendungspotenzial optimieren. Die folgenden Grundprinzipien sind dabei zu beachtenden:

- Wählen modularer, austauschbarer Bauteile von einfacher Form und Standardgrösse, welche wiederholt und in verschiedenen Gebäudegenerationen verwendet werden können;
- Reduzieren der Anzahl und Art der Bauteile;
- Bevorzugen von vorgefertigten Bauteilen;
- Wählen von Bauteilen, deren Abmessungen und Gewicht eine einfache und sichere Handhabung ermöglichen;
- Vorsehen eines konsequenten Schutzes der Bauteile, mit besonderem Augenmerk auf Verschleissteile, Ecken und Kanten;
- Sicherstellen der visuellen und physischen Zugänglichkeit zu Verschleisspunkten und Gewährleisten der Verfügbarkeit von Ersatzteilen;
- Fördern der Auswahl von Bauteilen, die mehrere Funktionen mit ähnlicher Lebensdauer erfüllen.

Gewährleisten der Rückbaubarkeit der Verbindungen

Ein entscheidendes Kriterium ist die Rückbaubarkeit der Verbindungen zwischen Komponenten gleicher oder unterschiedlicher Schichten. Die folgenden Grundsätze sind zu beachtenden:

- Wählen rückbaubarer Verbindungen, die für den wiederholten Einsatz geeignet sind. Im Allgemeinen ist eine mechanische Befestigung, eine sogenannte „trockene" Befestigung (Schrauben, Klammern, Dübeln, etc.), einer chemischen Verbindung, auch „nasse" Verbindung (Kleber, Harze, etc.) genannt, vorzuziehen;
- wenn eine chemische Verbindung gewählt wird, sollten Bindemittel verwendet werden, die schwächer sind als die verbundenen Komponenten, sodass eine leichte Reinigung von Rückständen gewährleistet wird;
- Minimieren der Verbindungspunkte und gleichzeitig die Grösse der Komponenten für die Handhabung und Wiederverwendung optimieren;
- Begrenzen der Anzahl verschiedener Befestigungen;
- Wählen von sogenannt „einfachen" Verbindungen, d. h. solche, die aus einer reduzierten Anzahl von Teilen bestehen und nur Standardwerkzeuge sowie eine begrenzte Anzahl von einfachen Montage- und Demontageschritten erfordern;
- Kennzeichnen der visuell und physisch zugänglichen Trennstellen;
- Vorsehen von einem angemessenen und ausreichenden Arbeitsraum für die Demontage;
- Wählen einer Montagemethode, die eine parallele Montage/Demontage ermöglicht.

Gewährleisten der Autonomie von Schichten und Teilsystemen mit unterschiedlicher Lebensdauer

Die Unabhängigkeit von Schichten und Teilsystemen ist ein wesentliches Prinzip der rückbaubaren Konstruktion. Dieses Prinzip wurde bereits am Beispiel des *Centre Pompidou* veranschaulicht. Es unterstützt eine angemessene Lebensdauer für jede Komponente und versucht, die Auswirkungen der Veränderung von einer Schicht zur anderen zu begrenzen. Die folgenden Prinzipien sind zu beachtenden:

- Entwerfen des Projekts nach einem System von unabhängigen und hierarchischen Schichten, entsprechend der geschätzten technischen und funktionalen Lebensdauer der Schichten. Je nach Projektkonzept können sich bestimmte Schichten überschneiden, zusammenschliessen oder auslöschen;
- Entwerfen eines Tragwerks, das klar von den technischen Elementen, den Innentrennwänden und bei einer mehrschichtigen Konstruktion vom Rest der Hülle getrennt ist;
- Hinterfragen der Notwendigkeit jeder technischen Anlage und Sicherstellen, dass die Zugangspunkte so gruppiert sind, dass Konfliktpunkte mit den anderen Schichten begrenzt sind.

Entwerfen eines anpassungsfähigen und wandelbaren Gebäudes

Die Eignung eines Gebäudes, sich an eine Nutzungsänderung anzupassen und sich zu verändern, ist ein entscheidender Faktor der rückbaubaren Konstruktion. Die Prinzipien einer solchen räumlichen Rückbaubarkeit wurden bereits in den 1960er Jahren mit der Bewegung des *Open Building System* beschrieben (Habraken 1961, 2005, Kendall 2017, Kendall und Teicher 2000, Leupen 2006). Angesichts ständiger sozioökonomischer Transformationen geht es darum, Gebäude zu entwerfen, die sich kurz-, mittel- und langfristig an verschiedene Nutzungsszenarien anpassen können. Die folgenden Prinzipien sind zu beachtenden:

- Entwerfen vielseitiger Räume, die sich mit geringfügigen Änderungen an unterschiedliche Nutzungen im Laufe eines Tages oder einer Woche anpassen lassen;
- Entwickeln von Grundrissen und Schnitten, die langfristig und ohne grösseren Aufwand neue Funktionen aufnehmen können;
- Entwerfen eines Systems mit modularer Struktur und Hülle mit sich wiederholenden und standardisierten Abmessungen, was verschiedene Aufteilungs-, Einrichtungs- und Nutzungsvarianten unterstützt. Besonderes Augenmerk muss auf das Tragwerk gelegt werden: Eine punktgestützte Tragkonstruktion sorgt für einen freien Grundriss, der bei einer weiteren Nutzung beliebig aufgeteilt werden kann;
- Vorbereiten einer möglichen Verstärkung/Anpassung der Tragkonstruktion, z. B. für eine seitliche Erweiterung oder Aufstockung des Gebäudes in der Zukunft;
- Finden eines Optimums zwischen der Demontagezeit einer Fläche (Anzahl Teile und Befestigungen) und der Komplexität der Handhabung.

Planen und Dokumentieren der Rückbauarbeiten

Rückbauschritte müssen methodisch geplant und schon in der Entwurfsphase integriert werden. Die erforderliche Dokumentation für die Wartung und die teilweise oder vollständige Demontage muss erstellt und dauerhaft aufbewahrt werden. Für die Planung des Rückbaus ist wichtig:

- Sichern der Demontagearbeiten, insbesondere Prüfen auf Gefahrstoffe;
- Optimieren der Dauer von selektiven Rückbauarbeiten, durch Minimieren der Arbeitsschritte und Entwickeln einer Montage-/Demontageabfolge, die paralleles Arbeiten ermöglicht und die keine gleichzeitige Demontage von zwei Seiten erfordert;
- Dimensionieren der Komponenten, sodass eine örtlich begrenzte und verhältnismässige Reparatur möglich ist;
- Verwenden von Standardgeräten und -werkzeugen, die weit verbreitet und für die Montage- und Demontagephase idealerweise identisch sind;
- Gewährleisten der Manövrierfähigkeit der Komponenten, insbesondere durch das Bereitstellen von Anschlagspunkten;
- Sicherstellen, dass die vorhandenen Geräte mit der Grösse der Komponenten übereinstimmen;
- Optimieren des Transports und der Lagerung der Komponenten, z. B. durch stapelbare Komponenten und Wählen gewöhnlicher Abmessungen;
- Erleichtern der Rückbauarbeiten, z. B. durch ausreichenden Arbeitsraum und Zugänglichkeit der Verbindungen.

Abwägen zwischen Einfachheit und Qualität des Projekts

Der Charakter eines Projekts (Form, Anzahl und Art der Komponenten, der Verbindungen und der Materialien, ihre Anordnung, usw.) muss eine Verlängerung der Lebensdauer auf allen Ebenen ermöglichen. Die Effizienz von Reparatur- und Rückbauarbeiten, die Kostenersparnis durch eine Massenproduktion der Komponenten, die Austauschbarkeit von Teilen und das Potenzial zur Wiederverwendung werden durch eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Komponenten, Materialien und Verbindungen unterstützt. Das Entwurfsteam hat dann die Aufgabe, ein stimmiges Gleichgewicht zwischen Einfachheit und Qualität des Projekts zu finden.

Prinzipien zum Projektmanagement

In diesem Abschnitt wird eine Übersicht der Prinzipien vorgestellt, die sich auf den Planungsprozess und das Projektmanagement beziehen und speziell für die rückbaubare Konstruktion gelten. Insbesondere werden die Vorkehrungen im Zusammenspiel zwischen den Beteiligten, die Informationsweitergabe und die eigentumsrechtlichen Aspekte erörtert.

Anpassen des Entwurfsprozesses

Um ein rückbaubares Projekt durchzuführen, muss der Entwurfsprozess schon zu Beginn an die Besonderheiten dieser Herangehensweise angepasst werden. Gleichzeitig muss das Ziel der Rückbaubarkeit/Anpassungsfähigkeit von Anfang an ins Pflichtenheft aufgenommen werden. Morgan und Stevenson (2005) haben Empfehlungen entwickelt, um die Prinzipien des rückbaubaren Entwurfs in alle Phasen des Prozesses zu integrieren. Die zu befolgenden Prinzipien und die zu verwendenden Werkzeuge sind:

- Festlegen von Zielen in Bezug auf Anpassungsfähigkeit, Rückbaubarkeit und Potenzial zur Wiederverwendung/Recycling von Anfang an mit dem gesamten Team, den Kundinnen/Kunden, den Spezialistinnen/Spezialisten und den Beauftragten;
- Durchführen von Interviews, Informationsrunden, und wenn nötig Schulungen zur rückbaubaren Konstruktion für die Beauftragten;
- Planen und Vorsehen zusätzlicher nötiger Zeiträume ab Beginn des Projekts, um die Rückbaubarkeit und Anpassungsfähigkeit des Projekts zu prüfen und den Demontageplan zu erstellen;
- Verwenden von dreidimensionalen Modellen zur besseren Visualisierung, Kommunikation und Bewertung der Rückbaubarkeit;
- falls nötig mit den Lieferunternehmen die Bedingungen für die Rücknahme von Komponenten besprechen und vertraglich festlegen;
- Vorsehen von Prototypen zur Überprüfung und Bestätigung der Montage- und Demontagemethoden.

Für mehr Details, siehe Morgan und Stevenson (2005).

Garantieren eines dauerhaften Informationsmanagements

Qualitativ hochwertige Informationen, die zugänglich sind und Generationen von Gebäuden überdauern, sind notwendig, um die Anwendung der Um- und Rückbaukapazitäten eines Projekts zu gewährleisten. Die folgenden Prinzipien sind zu beachtenden:

- Garantieren der Weitergabe und Speicherung der Information über lange Zeiträume. Die traditionelle Aufbewahrung von gedruckten Plänen im Gebäude birgt Risiken, wie zum Beispiel deren ausbleibende Aktualisierung, umgeht aber die energieintensive Speicherung von Daten auf Servern und das Risiko von veralteten digitalen Daten. Trotz der Risiken (Speicherung, veraltete Formate, Voraussetzungen an die Informatik, Verwaltung der Zugriffsrechte) hat die Verwendung einer digitalen Datenbank sowie neuer 3D-gestützter Entwurfswerkzeuge Vorteile im Bezug auf die Zugänglichkeit und Möglichkeiten der gemeinsamen Nutzung und Aktualisierung. Aus einem von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojekt ist die Plattform *Madaster* entstanden, welche einen Online-Informationsspeicher für Gebäude und deren Komponenten anbietet. Dabei werden Gebäude nur als temporäre Lagerstätten betrachtet. Seit 2020 ist die Plattform auch für Schweizer Gebäude verfügbar (Madaster 2020). Gleichzeitig entstehen Systeme zur dauerhaften Identifizierung der Komponenten und Bauteile, welche zum Beispiel mit Gravuren arbeiten oder *QR-Codes* direkt auf die Bauteile angebracht werden.
- Garantieren des Zugangs zu vollständigen, hochwertigen Informationen. Diese müssen alle notwendigen Informationen für eine Anpassung, einen Rückbau oder eine Wiederverwendung enthalten und Generationen von Gebäuden überdauern. Diese Daten umfassen (1) einen Standardsatz detaillierter Zeichnungen des Projekts inklusive Aktualisierungen bei Änderungen, (2) ein detailliertes Inventar der verwendeten Materialien, Komponenten und Verbindungen, einschliesslich der Lieferunternehmen und Beschreibung des Montagesystems, (3) Anweisungen zu Rückbau und Wiederaufbau mit den Plänen für einen teilweisen oder vollständigen Rückbau, (4) Spezifikationen zur Funktion und Tragfähigkeit der Komponenten, (5) Informationen zur Wartung und zum Unterhalt der Komponenten und Geräte, (6) Methoden zur Beurteilung des Zustands von Komponenten, (7) mögliche Verträge in Bezug auf das Eigentum und eine

mögliche Rücknahme. Ausführlichere Informationen sind verfügbar auf den Seiten 15 und 16 des Leitfadens veröffentlicht von der *Association Canadienne de Standardisation* (Canadian Standards Association und Dwayne 2006).

Überdenken der Modelle von Besitz und Verantwortung

LDas konventionelle Wirtschaftssystem unterstützt nicht die zirkuläre Verwendung von Komponenten oder Projekten, die repariert, rückgebaut, wiederverwendet oder recycelt werden können. Addis und Schouten (2004) argumentieren, dass ein langfristiges Eigentumssystem oder eine Rücknahmeverpflichtung seitens der Lieferunternehmen einen direkten Einfluss auf den Entwurf und die Konstruktion hätten und die Kreislaufwirtschaft unterstützen würden. Als Beispiel nehmen sie ein Kino, das für ein Jahr in Greenwich (UK) aufgebaut wurde. Hier beeinflusste die Art des Auftrags das Entwurfskonzept: Das Gebäude bleibt im Besitz des Entwurfbüros und der Abbau liegt in dessen Verantwortung. Dadurch wurde das Gebäude modular und rückbaubar entworfen, mit austauschbaren Komponenten und einem vereinfachten Lüftungssystem. Ein zweites Beispiel eines solchen alternativen Modells wurde für das Erweiterungsprojekt des *Rathauses in Brummen* (NL, siehe Fallstudie XXIV) angewendet. Das Lieferunternehmen hat sich verpflichtet, die Bauteile nach 20 Jahren Nutzung zurückzunehmen. Ausserdem wird zurzeit von der *Technischen Universität Delft* an der Anwendung eines Miet- und Wartungssystems für Fassaden geforscht. Ein Pilotprojekt für das Leasing von Fassaden wurde 2016 im Rahmen der Renovierung eines Gebäudes auf dem Campus eingeweiht. Das Projekt ermöglicht die genauere Erforschung der technischen und finanziellen Fragen der Beteiligten (Azcarate Aguerre et al. 2018).

Ähnlich wird seit den 1980er Jahren regelmässig das Prinzip der „erweiterten Herstellerverantwortung" diskutiert. Dabei bleibt die Produktionsfirma verantwortlich für die Entsorgung der Produkte (ADEME 2017, Earle et al. 2014). In diesen Diskussionen gehören Storey und Pedersen (2014) zu denen, die vor der Komplexität der Anwendung auf Bauteile warnen. Das Forschungsteam argumentiert, dass, obwohl es sich um ein attraktives Konzept handelt, dessen Umsetzung im Bausektor mit den Konsequenzen einer längeren Lebensdauer als für andere Konsumgüter verbunden ist. Daher besteht die Gefahr, dass Lieferfirmen vor dem Ende der Nutzung der Komponenten oder des Gebäudes verschwinden. Sie bestätigen jedoch, dass es Möglichkeiten für gezielte Anwendungen gibt, besonders für Güter mit einer kurzen Nutzungsdauer. Einige Unternehmen haben richtungsweisende Mietsysteme für technische Systeme und Geräte entwickelt. Diese basieren auf Service statt Verkauf und der Umsetzung einer Wirtschaft der „Dienstleistungen", die insbesondere von Stahel seit den 1980er Jahre konzeptualisiert wurde (Stahel 1982). Zum Beispiel bietet das Programm *pay-per-lux*, entwickelt von *Philips* in Zusammenarbeit mit *Turntoo*, der Kundschaft an, für die Beleuchtung als Dienstleistung zu bezahlen, anstatt die Leuchtmittel und Geräte zu kaufen. Diese werden dann am Ende der Zusammenarbeit von *Philips* zurückgenommen (Ellen MacArthur Foundation 2020).

Für das Entwurfsteam sind die wichtigsten Empfehlungen, die heute zu beachten sind:

- Wählen von Komponenten mit einem hohen Potenzial, wieder in den Kreislauf zurückgebracht zu werden;
- Ermitteln der Bedingungen für die Rücknahme;
- Einholen von Angeboten zu Mietmöglichkeiten von Produkten und Dienstleistungen.



Abbildung 21 · Die innewohnenden Qualitäten von Metallstrukturen begünstigen ihre Langlebigkeit. In Lausanne wird hier eine Konstruktion zur Wiederverwendung zurückgebaut.

RK Tragkonstruktion

Dieser Überblick zu rückbaubaren Tragkonstruktionen ist nach Baumaterialien aufgeteilt. Zuerst wird eine kurze Auswahl an Techniken für den Mauerwerksbau mit spezifischen Empfehlungen dargestellt. Als Zweites wird der Betonbau, die in der Schweiz vorherrschende Bauweise, behandelt. Er ist bis heute schwer rückbaubar. Die Darstellung schliesst innovative Lösungen mit ein, die in Europa entwickelt und schrittweise angewendet werden. Als Nächstes werden rückbaubare Bodensysteme vorgestellt. Anschliessend werden Metallstrukturen beschrieben: Sie weisen bereits ein hohes Rückbaupotenzial auf, zum Beispiel durch das Verschrauben von Profilen und die Verwendung von regelmässigen und freistehenden Rastern. Schliesslich werden Holzkonstruktionen diskutiert, die gute Voraussetzungen für die Rückbaubarkeit mitbringen. Auch Innovationen für massive Holzböden werden aufgezeigt.

Prinzipien

Ergänzend zu den allgemeinen Empfehlungen der rückbaubaren Konstruktion sind die spezifischen Prinzipien für Tragkonstruktionen:

- Entwerfen eines Tragsystems, das Änderungen in der Nutzung und der inneren Unterteilung der Räume erlaubt. Die Rückbaubarkeit des Raumes hängt direkt vom Deckensystem, punktgestützt oder linear, der Anordnung der Träger und ihrer Dimensionierung ab. Einachsig gespannte Systeme auf linearen Stützungen sind nicht auszuschliessen, erfordern aber strategische Überlegungen, um die Anpassungsfähigkeit des Raumes zu garantieren;
- Bewerten der Möglichkeiten zur vertikalen und/oder horizontalen Erweiterung des Systems;
- Erwägen von Fundamenten, die für höhere Lasten als die des ersten Lebenszykluses ausgelegt sind, sinnvoll im Falle einer Nutzungsänderung des Gebäudes oder einer Aufstockung;
- Schützen der Materialien vor Verschmutzung und der Struktur vor frühzeitiger Abnutzung;
- Erleichtern der optischen Kontrollen durch das Weglassen von festen Verkleidungen.

Rückbaubarkeit von Mauerwerkssystemen

Das Mauerwerk aus tragenden Backsteinen oder Natursteinblöcken ist eine etablierten Technik. Dabei wurden sehr oft auch gebrauchte Steine wieder in Umlauf gebracht. Die Wiederverwendung von Mauersteinen ist üblich und wird durch zahlreiche historische Beispiele verdeutlicht. Die langfristige Stabilität von Naturstein, seine Verwendung im Verbund, sein Potenzial zur Wiederverwendung, mit oder ohne weiteres Behauen/Schneiden, und seine lokale Verfügbarkeit etablieren dieses natürliche Material einmal mehr unter den nachhaltigen Bautechniken. Trotz der logistischen und kulturellen Herausforderungen ist die Nutzung heute dank grosser Maschinerie und industrieller Produktion möglich (Jacquier und Leroux 2019, Zerbi 2019).

Die räumliche Rückbaubarkeit einer Ziegel- oder Steinstruktur hängt davon ab, wie sorgfältig der Grundriss für die Aufnahme verschiedener Nutzungen entworfen wurde. Technisch können Ziegelsteine und Steinblöcke, die mit einem ausreichend „weichen“ Mörtel (mit Kalk, Lehm, usw.) zusammengefügt wurden, getrennt werden. Heute werden in Belgien Ziegelsteine, die mit einem weichen Mörtel zusammengesetzt wurden, zurückgewonnen und weiterverkauft. Sie werden aber hauptsächlich als nicht tragende Verkleidungen weiterverwendet (Billiet und Ghyoot 2014). Bei Natursteinen können flexible Zemente vor Rissen schützen und das Trennen der Steine ermöglichen, so können sie nach einem allfälligen Zuschnitt wiederverwendet werden. Allerdings ist ihre Wiederverwendbarkeit durch die Einzigartigkeit der Textur, der Form und Abmessungen jedes Blocks eingeschränkt. Umgekehrt werden Ziegel nach regionalen Standards produziert und sind besonders handlich, zwei wichtige Punkte für ihre Wiederverwendung. Jedoch bedingen die kleinen Dimensionen eine grosse Menge an einzelnen Elementen und Fugen und damit eine entsprechende Arbeitszeit. Für das Recycling können nicht kontaminierte Materialien zu Kies oder Sand verarbeitet werden (Abteilung Abfall und Rohstoffe 2006, GESDEC 2009).

Rückbaubarkeit von Betonsystemen

Mit den heutigen Rückbaumethoden sind Ortbetonkonstruktionen technisch nur schwer rückbaubar. Massive Stahlbetonplatten von geringer Dicke sind einfach herzustellen und sind deshalb ein gängiges Geschossdeckensystem für Wohn- und Bürogebäuden in der Schweiz. Sie sind jedoch fast nicht rückbaubar und lassen kaum Veränderungen an den durch sie verlaufenden technischen Leitungen zu. Vorgefertigte Betonelemente bieten Präzision und Schnelligkeit auf der Baustelle und konkurrieren mit Ortbeton. Konventionell aus Fertigteilen errichtete Gebäude, unabhängig ob linien- oder scheibenförmig, sind oft Hybride aus Fertigteilen und Ortbetonfugen. Obwohl Versuche mit Zersägen der Fugen gezeigt haben, dass eine Trennung der Elemente unter bestimmten Bedingungen möglich ist (Huuhka et al. 2019, Salama 2017), sind Ortbetonverbindungen nicht einfach rückbaubar. Bisher sind in der Schweiz keine Beispiele für rückbaubare Betonbauten bekannt.

Neue innovative Bausysteme entwickeln jedoch Betonfertigteile mit rückbaubaren Verbindungen (siehe zum Beispiel Fallstudie XIX und Fallstudie XX). Diese neuen Systeme zielen genau darauf ab, durch rückbaubare Verbindungen die Demontage zu erleichtern und so das Potenzial der Wiederverwendung zu erhöhen (Abbildung 22). Unter den aktuellen Innovationen befinden sich zum Beispiel verschraubte Systeme. Hierbei werden die Fertigteile mit Hilfe von in den Beton eingebetteten Metallplatten und -stäben miteinander verschraubt. Die Verschraubung erfolgt in Aussparungen, die anschliessend mit Zement aufgefüllt werden. Der Zement wird bei der Demontage durch Hochdruckwasserstrahlen entfernt (Abbildung 23) (Paananen und Suur-Askola 2018). Die Wiederholung der vorgefertigten Elemente bringt oft ein regelmässiges Gebäuderaster mit sich und es muss besonders auf dessen Dimensionierung geachtet werden, damit es für Nutzungsänderungen geeignet ist.

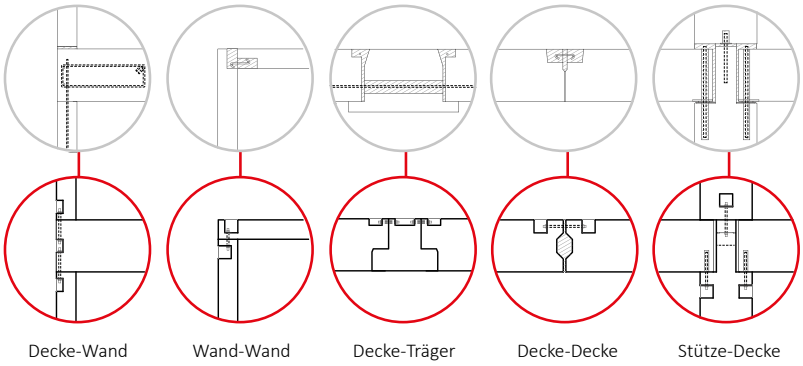


Abbildung 22 · Vergleich zwischen den konventionellen Verbindungen (grau) und den rückbaubaren Verbindungen (rot) bei der Montage von Betonfertigteilen.

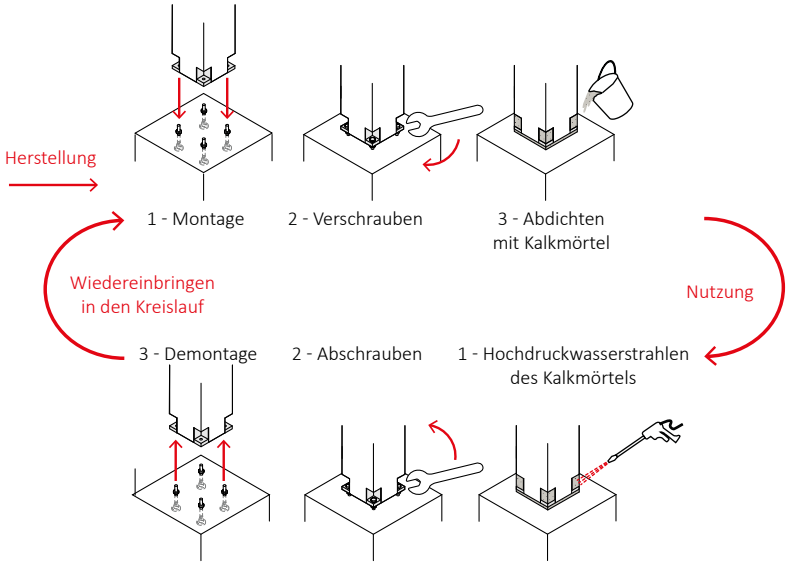


Abbildung 23 · Abfolge der Montage und Demontage einer Fertigteilstütze von *Peikko*.

Daneben ermöglicht textil- oder faserverstärkter Beton dünnere Profile (1 bis 2 cm dick) und rückbaubare mechanische Verbindungen zwischen Bauteilen. Der brasilianische Architekt João Filgueiras Lima, genannt Lelé (1932-2014), hatte die Funktion von Bewehrungsmatten in Beton erkannt. Er entwickelte in den 1970er Jahren Modelle von Verbindungen und rückbaubaren Gebäuden in *argamassa armada* (Vilela 2018a), ausserhalb Brasiliens auch als Ferrozement bekannt. Die Fallstudie XVII beschreibt die Arbeit von Lélé zu zerlegbaren nomadischen Schulen und die Untersuchungen, diese Bauweise an die gültigen Normen anzupassen.

Rückbaubarkeit von Deckensystemen

Stahl-Beton-Verbunddecken sind in Industriegebäuden in der Schweiz weit verbreitet. Allgemein werden profilierte Stahlbleche auf Stahlträger aufgelegt und vor Ort mit einer Schicht Beton vergossen. Der Verbund wird durch Kopfbolzendübel hergestellt. Eine Variante davon schlägt das Herabsetzen der Decke zwischen die Träger vor und zeichnet sich damit durch eine höhere statische Effizienz aus. Diese Bauweise wird häufig in mehrstöckigen Parkhäusern und kommerziellen Gebäuden eingesetzt (Frisch 2014). Die beiden Verbunddeckensysteme sind nicht rückbaubar, weil die Kopfbolzendübel, die das Blech mit dem Beton verbinden, an die Stahlträger geschweisst und in den Beton eingegossen sind (Abbildung 24). „Es ist daher sehr schwierig, den Träger wieder von der Platte zu trennen, um die beiden Elemente wiederzuverwenden. Um [Verbunds]ysteme in Zukunft demontieren und wiederverwenden zu können, müsste eine neue Art gefunden werden, diese Systeme zu entwerfen und dabei die Vorteile der [gemischten] Bauweise zu erhalten." (Braendstrup 2017, eigene Übersetzung)

Das *Institut Carnot MECD* (*Matériaux et Équipements pour la Construction Durable* – Bauteile und Ausstattungen für nachhaltiges Bauen) hat das Thema im Rahmen seines Projekts *DEMODULOR* zu rückbaubaren und aufrüstbaren Tragstruktursystemen untersucht (Réseau CTI 2015). Zu diesem Anlass hat das Institut ein Stahl-Beton-Verbundsystem vorgefertigt aus Stahl und Beton mit innovativen rückbaubaren Verbindungen entwickelt (Abbildung 25). Hierbei sind Bewehrungeisen in die vorgefertigten Betonplatten eingebettet. Die Stahlträger sind anschliessend mit den Deckenplatten von unten über die Bewehrungen verschraubt (Institut MECD o.J., FCBA und Kouyoumji 2015).

Bei der Suche nach rückbaubaren Betondecken wurde ein rückbaubares System für das *Temporäre Gerichtsgebäude in Amsterdam* (siehe Fallstudie XXI) entwickelt. Dieses System besteht aus vorgefertigten Platten aus Porenbeton, welche auf die Unterflanschen der Metallträger

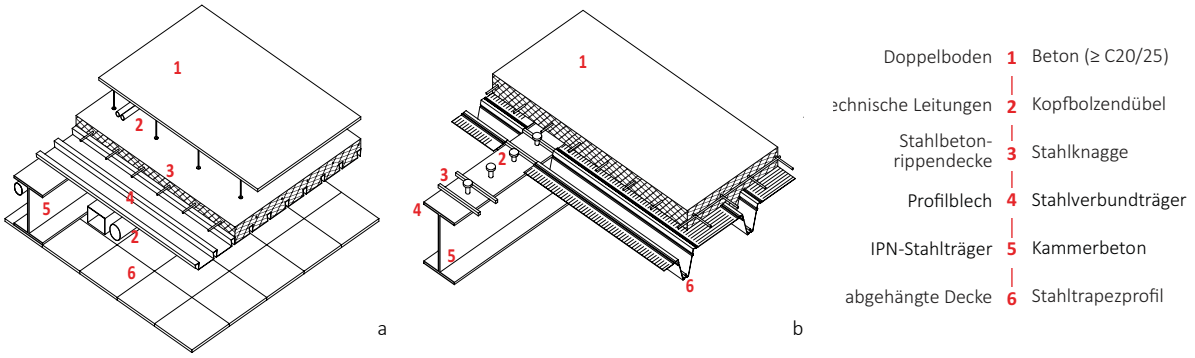
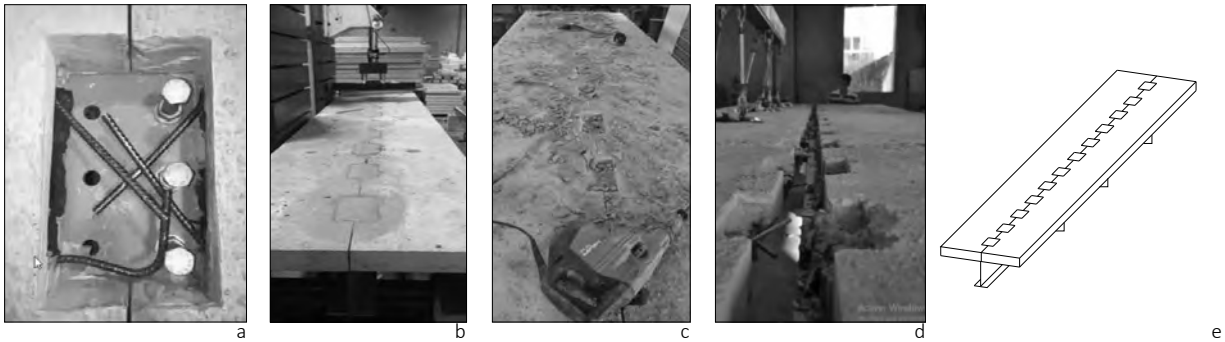


Abbildung 24 · Konventionelle Systeme mit Verbunddecken sind kaum rückbaubar.



a b c d e

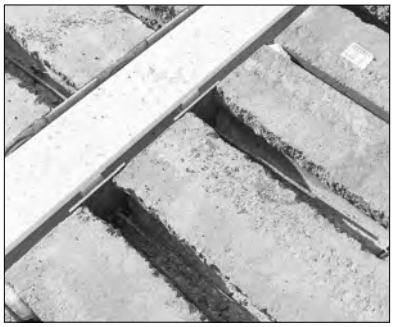
Abbildung 25 · Montage und Demontage einer Verbund-Deckenplatte, die im Rahmen des Projekts *DEMODULOR* entwickelt wurde.

1 Ausfräsen der Porenbetondecke

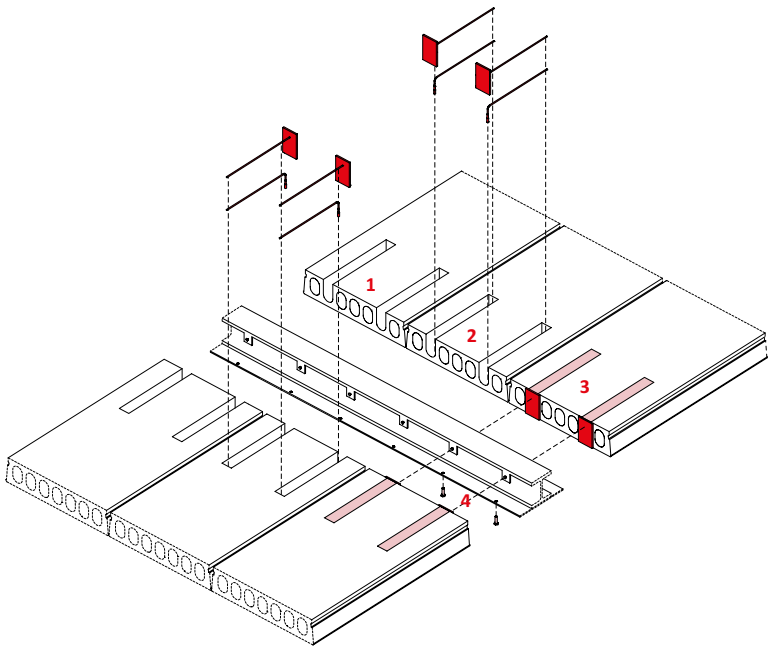
2 Einsetzen der Verankerungen

3 Betonieren der Aussparungen

4 Verschrauben der Decken mit dem SFB-Träger



a



b

Abbildung 26 · Das System von Hohlplatten auf Trägern mit rückbaubaren Verbindungen.

geschraubt werden. Die Platten haben Standardbreiten (z. B. 1,2 m) und enthalten keine technischen Leitungen. Dafür müssen vertikale Öffnungen vorgesehen werden. Neuere Entwicklungen schlagen rückbaubare Verbindungen zwischen der Decke und den Trägern vor. Diese rückbaubaren Verbindungen verfügen über Aussparungen in den Deckenplatten, in denen Ankerplatten mit angeschweissten Bewehrungsstäben liegen. Sobald die Ankerplatten platziert sind, werden Aussparungen ausbetoniert und die Verankerungen mit dem Stahlträger verschraubt (Abbildung 26). Die Befestigung kann durch Hochdruckwasserstrahlen der Aussparungen zurückgebaut und die Verankerung abgeschraubt werden. Zusammen mit den Standardabmessungen, unterstützt die Rückbaubarkeit die Wiederverwendung der Deckenplatten.

Um beim Entwurf einer Decke die räumliche Flexibilität zu gewährleisten, ist es nötig, die Belastbarkeit des Tragsystems für andere Nutzungen zu berücksichtigen. Diese Entscheidung sollte die Auswirkungen einer Überdimensionierung und die möglichen Kompromisse zwischen langfristiger Flexibilität und Optimierung für jedes Projekt einbeziehen. Zum Beispiel wurde der Boden des *Temporären Gerichtsgebäudes in Amsterdam* (siehe Fallstudie XX) überdimensioniert, um andere Funktionen aufzunehmen. Diese Entscheidung basierte auf der hohen Wahrscheinlichkeit, dass das Gebäude mittelfristig abgebaut und für andere Zwecke wiederverwendet würde.

Am *smart living lab* hat ein Forschungsteam ein ultra-adaptierbares Tragsystem für Wohngebäude entwickelt, patentiert und als Prototyp umgesetzt. Durch die Modularität seiner Komponenten – Trägerrost und Stützen – kann das System auseinandergebaut und in neuen räumlichen Konfigurationen für neue Lebenszyklen wieder zusammengesetzt werden. Dabei ist es möglich, die Spannweiten zwischen den Stützen zu ändern oder höhere Lasten zu erlauben, ohne die Einzelelemente zu überdimensionieren (Aeternum 2020, Build-Unbuild-Repeat 2020).

Rückbaubarkeit von Metallsystemen

Die spezifischen Eigenschaften von Metallstrukturen, die sie zu guten Kandidaten für die Anwendung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion machen und freie Grundrisse unterstützen, sind: die Standardisierung ihrer Bauteile, ihre mechanischen Verbindungen und ihre Materialeigenschaften. Es gibt zahlreiche Beispiele für den Rückbau und den Wiederzusammenbau von Metallstrukturen. Das bekannteste Beispiel ist der *Crystal Palace* in London: 1854, drei Jahre nach seiner Einweihung, wurde die 92’000 m^2 grosse Ausstellungshalle im Hyde Park abgebaut und in vergrösserter Form wieder aufgebaut (Kihlstedt 1984).

Der selektive Rückbau zur Wiederverwendung von Metallprofilen wird unterstützt durch: die Verwendung von Schrauben anstelle von Schweissnähten (vorausgesetzt, das Element wird zum Zeitpunkt der Wiederverwendung nicht

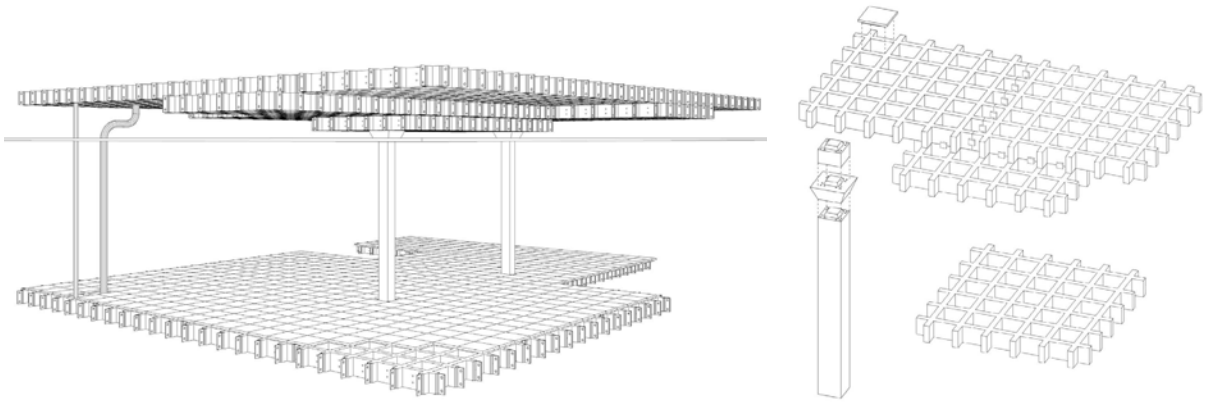


Abbildung 27 · Wiederverwendbares Deckensystem mit variabler Spannweite, *EPFL.*

gekürzt, was schwer vorhersehbar ist) und die Verwendung, soweit möglich für das Projekt, von Elementen mit ähnlichen Längen, einer begrenzten Anzahl verschiedener Komponenten und Standardbefestigungen.

Zur Verlängerung der Lebensdauer der Konstruktion: Die Elemente sind für Inspektionen zugänglich und eine trockene Umgebung schützt die Bauteile vor Feuchtigkeit und damit Korrosion (Addis und Schouten (2004)).

Rückbaubarkeit von Holzsystemen

Holzkonstruktionen sind aufgrund ihrer innewohnenden Eigenschaften in der Lage, einen Grossteil der Prinzipien des nachhaltigen Bauens zu integrieren. Es gibt viele Beispiele für sorgfältig demontierbare Strukturen. In der Vergangenheit war die Wiederverwendung von tragenden Holzelementen gängige Praxis, oft motiviert durch Ressourcenknappheit und unterstützt durch die Verwendung von Massivholz, das zum Beispiel mit grossen Holzdübeln zusammengefügt wurde (Crowther 1999b).

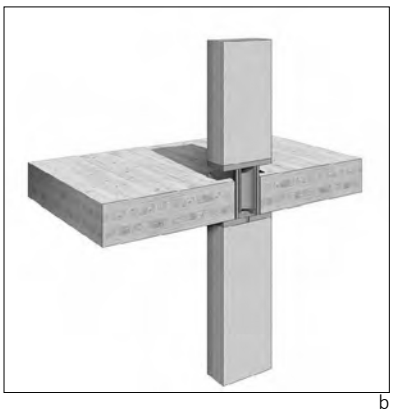
Die Anwendung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion erlaubt heute, durch verschiedene Techniken diese Rückbaubarkeit zu erhalten. Zunächst ist ein **Skelettbau** mit Holz-Holz-Verbindungen oder mit Metallteilen ein traditioneller Ansatz, der ein erhebliches Potenzial für die Rückbaubarkeit aufweist. Dank freistehender Stützen ist er in der Lage, flexible Grundrisse zu ermöglichen. Auch der traditionelle **Holzboden auf Deckenbalken und Unterzügen** kann die Prinzipien der Rückbaubarkeit integrieren. Rückbaubare Befestigungen können je nach Abstützung gewählt werden: Dies können Verbindungsstücke aus Metall (Balkenschuhe, Beschläge, usw.) oder Holz-Holz-Verbindungen sein. Unterzüge können als Fachwerkträger ausgeführt werden, was das Durchführen der technischen Leitungen durch die Decke erleichtert und damit die Flexibilität des Systems erhöht. Mit rückbaubaren Verbindungen und Verkleidungen kann diese Art Decke demontiert und abtransportiert werden.

Platten und Hohlkästen sind vorgefertigte Deckensysteme, die auf der Baustelle trocken eingebaut werden (Abbildung 28). Sie bieten gleichzeitig vertikale Tragfähigkeit als auch eine horizontale Fläche. Die Dicke der Hohlkästen erlaubt es, die Dämmung und die technischen Leitungen zu integrieren. Die Deckenplatten und Hohlkästen sind modulare Systeme. Sie können aus Elementen mit Rechteckquerschnitten, I-Trägern oder mit offenen Stegen gefertigt werden. Diese Elemente werden vorfabriziert und sind einfach zu montieren. Sie bringen sofortige Stabilität und eine Arbeitsfläche (Structural Timber Association 2020). Dank rückbaubaren Befestigungen können die Deckenplatten und Hohlkästen abgebaut werden und erlauben, Verkehrsflächen zu versetzen oder doppelte Raumhöhen zu generieren. Die Rückbaubarkeit der technischen Leitungen hängt vom System ab. Neben der trockenen Montage erhöhen die Modularität und die Verwendung von Standardabmessungen für die Platten ihr Potenzial zur Wiederverwendung. Auch eine Verwertung der Einzelbauteile ist denkbar.

Sofern eine Konstruktion nicht erhalten oder wiederverwendet werden kann, entscheidet die Wahl der Produkte und deren Behandlung über ihre Rezyklierbarkeit. Ihr Recycling als minderwertiges Produkt ist nur möglich, wenn die aufgetragenen Beschichtungen (Lack, Farbe, Leim, usw.) es erlauben (Guy und Ciarimboli 2008). Daneben verringert die Verwendung von Holzverbundwerkstoffen die Recyclingmöglichkeiten. Zwar haben Holzwerkstoffe homogenere mechanische Eigenschaften, erlauben die Herstellung grösserer und komplexerer Profile und sind in der Regel billiger, doch enthalten sie auch Leime, die die Möglichkeiten des Recyclings einschränken. Um die Wiederverwertbarkeit der Konstruktion zu erhöhen, ist es vorteilhaft, Massivholz zu wählen, idealerweise aus einem lokalen Kreislauf. Sollte ein Projekt jedoch eine höhere Festigkeit erfordern, stehen neu erforschte Hochleistungsstrukturen ohne Klebstoffe zur Verfügung, zum Beispiel: ein mit Dübeln befestigtes komprimiertes Brettschichtholz (Sotayo et al. 2020).



a



b

Abbildung 28 · Das Gebäude '*Brock Commons Tallwood House*', Vancouver, Kanada, von *Acton Ostry Architects, Fast+Epp* (Tragwerk) und *Hermann Kaufmann Architekten* (Fachberatung Holzbau)

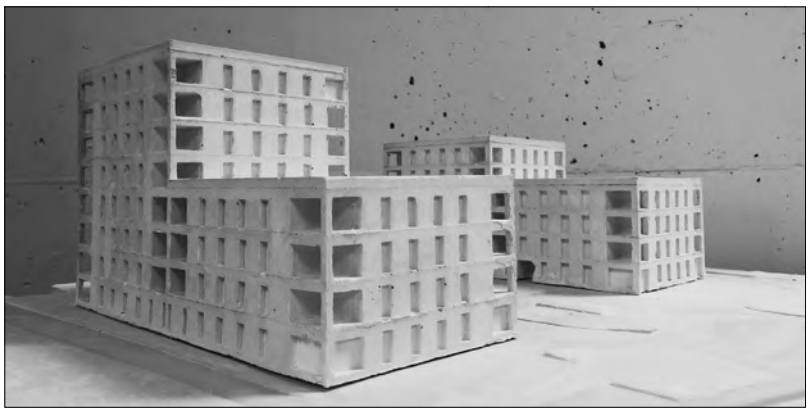
Fallstudie XV **Naturstein tragend**

In Plan-les-Ouates (GE) wurde ein Projekt für den Bau von 68 Sozialwohnungen in sichtbarem und tragendem Naturstein ausgeführt. Es wurde vom Konsortium *Perraudin Archiplein* entworfen und befindet sich derzeit im Bau. Die Bauweise des Projekts kann nicht auf viele aktuelle Referenzen verweisen. Es zielt darauf ab, „die wirtschaftliche Machbarkeit eines sozialen Wohnungsbaus dieser Grössenordnung in tragendem, massiven Stein zu demonstrieren“ (Jacquier und Leroux 2019, eigene Übersetzung) und dies trotz der zusätzlichen logistischen und technischen Herausforderungen, die mit der Materialwahl verbunden sind. Die einhergehenden Möglichkeiten und Herausforderungen des massiven Steinbaus für eine rückbaubare Konstruktion sind weiter vorne beschrieben.

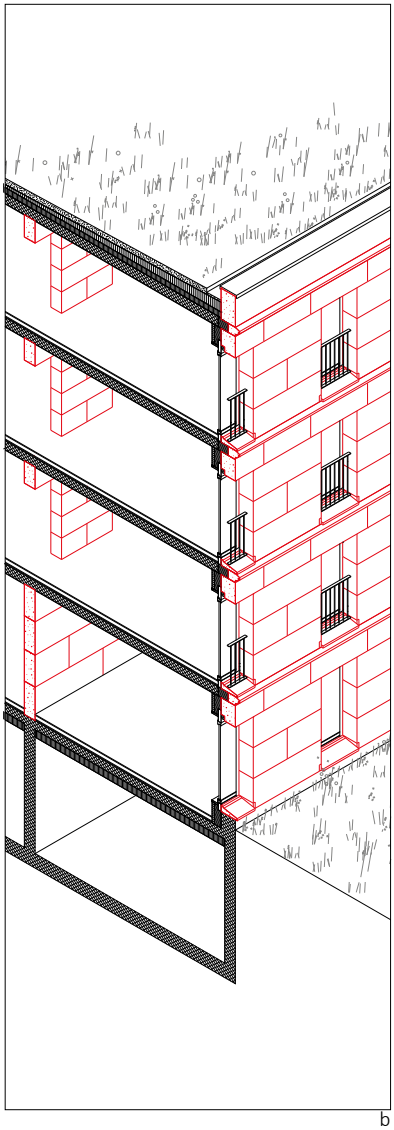
In Plan-les-Ouates ist die vertikale Tragstruktur vollständig in massivem Kalkstein aus zwei französischen Steinbrüchen gefertigt. Die Blöcke werden mit einem Kalk- und Zementmörtel verbunden. Kalk sorgt langfristig für die notwendige Flexibilität in den Fugen. Der Zement ist notwendig, um bei einer hohen Geschwindigkeit beim Verlegen ein schnelles Aushärten zu gewährleisten und ein Absenken der Fugen zu vermeiden. Dieser Verlegemörtel ist nachgiebiger als Stein, so dass die Blöcke in Zukunft getrennt werden können. Dies wurde durch den Austausch eines versehentlich zerbrochenen Gesimses vor Ort veranschaulicht. Die Böden bestehen aus Betonplatten, die mit Isolierkonsolen befestigt zwischen zwei Steinblöcken eingefügt und von den Gesimsen verdeckt sind.

Durch einen ringförmigen Grundriss unterstützt die Tragstruktur eine gewisse räumliche Rückbaubarkeit jedes Geschosses: „ein äusserer tragender Kranz, der die Fassade bildet, ein dazwischen liegender tragender Kranz, der die Kräfte des Geschosses aufnimmt, und der nicht tragende innere Kranz der Nebenräume“ (Jacquier und Leroux 2019, eigene Übersetzung). Diese typologische Anordnung ermöglicht eine freie Verteilung der Wohnräume auf dem äusseren Ring und schlägt vor, die technischen Elemente in der Mitte zu sammeln, indem sie mit den Schächten verbunden werden, die grösstenteils um den letzten Ring angeordnet sind. Interessant ist, dass zwischen der Wettbewerbsphase und der Bauphase zwei Räume pro Stockwerk in den äusseren Kranz eingefügt wurden, ohne das typologische Prinzip zu verändern.

- Entwurf: *Perraudin Archiplein Consortium*;
- Bauleitung: *Architech sa*;
- Auftrag von: Gemeinde Plan-les-Ouates;
- Standort: Plan-les-Ouates (GE);
- Status: laufend (2016-2021);
- Fläche: 12’500 m^2;
- Quellen: Jacquier und Leroux 2019, Jacquier 2020, Zerbi 2019, Archiplein 2020;
- Abbildungen: Modell der beiden Gebäude aus tragendem Naturstein (a). Die räumliche Flexibilität wird durch den kranzförmigen Grundriss unterstützt (g). Neben den logistischen Herausforderungen, die mit dem Abbau im Werk, der Anordnung und dem Einbau von Sichtblöcken (d-f) verbunden sind, gibt es auch technische Herausforderungen, z. B. Fugen, die flexibel genug sind, um Kräfte ohne Rissbildung zu übertragen, und ein vom Tragsystem losgelöster Aufzugsschacht. Auf die tragenden Steinwände werden die Betonplatten mit Isolierkonsolen befestigt (b).



a



b



c



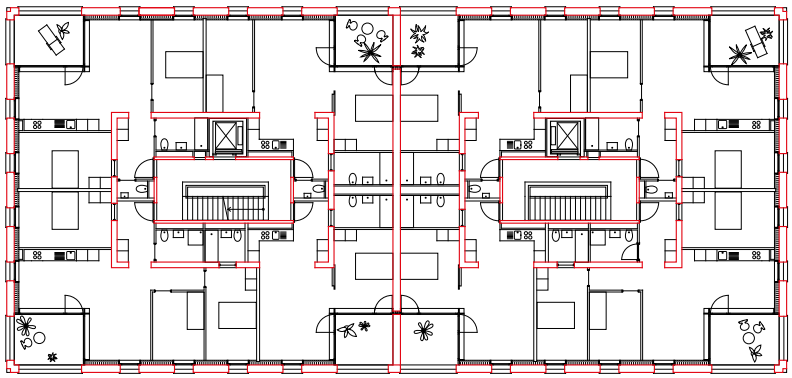
d



e



f

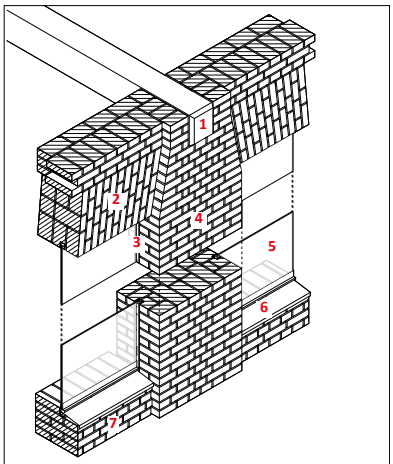


g

Fallstudie XVI **Backstein tragend**

Bis in die 1850er Jahre war die Verwendung von Kalkmörtel weit verbreitet, er ist heute aber nicht mehr üblich (Addis und Schouten (2004)). Dieser Mörtel verleiht den Fugen eine sehr grosse Flexibilität, sein Widerstand ist etwa halb so gross ist wie bei zementhaltigem Mörtel. Für die *Glynderbourne Opera* wurde Kalkmörtel gerade wegen seiner grösseren Bewegungstoleranz gewählt. Dadurch können die Dehnungsfugen weggelassen werden, die sonst die monolithische Wirkung der tragenden Ziegelmauern gestört hätten (Thornton und Turzynski 1997). Diese Entscheidung bedeutete weitere Forschung und Tests und mehr Arbeit für die Ingenieurinnen und Ingenieure. Zum Zeitpunkt der Errichtung war schon lange kein so grosses Projekt mit tragenden, mit Kalkmörtel gebundenen Ziegelmauern mehr errichtet worden (Brzeski et al. 1994). Mit diesem weichen Mörtel befestigte Ziegeln sind leichter trennbar und wiederverwendbar.

- Entwurf: *Hopkins Architects*, UK;
- Auftrag von: *Glyndebourne Production Ltd*, UK;
- Standort: Sussex, UK;
- Status: fertiggestellt in 1994;
- Fläche: 12’000 m^2;
- Quellen: Brzeski et al. 1994, Thornton und Turzynski 1997, Addis und Schouten (2004), Whitby 1994, Davies 1994;
- Abbildungen: Fotos und Axonometrie der Tragstruktur aus Backstein der *Glyndebourne Opera*.



1 Betonträger

2 Flachgewölbe in Backstein

3 Fensterrahmen aus Aluminium

4 tragendes Mauerwerk 79 x 44,8 cm verbunden mit dem Mauerwerk der inneren Trennwand

5 einfach verglastes Fenster

6 Stahlfensterbrett mit Blei überzogen und mit schwarzem Kitt abgedichtet

7 tragendes Mauerwerk 33,4 cm

a



b



c

Fallstudie XVII **Faserbeton verschraubt**

Anfang der 1980er Jahre entwarf Lelé zerlegbare ländliche Schulen in *argamassa armada* (siehe ‚Rückbaubarkeit von Betonsystemen'), basierend auf seinen Erfahrungen, die er bei Sanierungen mit dieser Technik und der Arbeit zur Vorfertigung von Elementen (Stützen, Träger, usw.) gesammelt hatte. Das System der „Übergangs"-Schulen für den brasilianischen Bundesstaat Goiás war ein soziales Projekt für Kinder von Familien, die auf den Feldern arbeiten und gezwungen sind, im Rhythmus der Pflanzzyklen umzuziehen. „Verbunden mit der Instabilität der staatlichen Agrarpolitik, betonte Lelé die Mobilität als Hauptlösung für die neuen Gebäude, da sie ab- und wieder aufgebaut werden können, entsprechend der Verschiebung des bewirtschafteten Bodens" (Vilela 2018a, eigene Übersetzung).

Das Konstruktionssystem basiert auf parallel angeordneten Rahmen mit seitlich auskragenden Balken. Unabhängige Bauteile aus verzinktem Stahl gewährleisten die Rückbaubarkeit der Gebäude aus *argamassa armada*. Begünstigt durch das relativ geringe Gewicht der Elemente, die Wiederholung des Grundrisses und die einfache Montagereihenfolge konnte die Vorfertigung und der Aufbau in 45 Tagen abgeschlossen werden.

Inspiriert von den Erkenntnissen der *argamassa armada* und des Ferrozements und mit dem Ziel, dieses Wissen durch die Anpassung an die aktuellen Normen auf den neuesten Stand der Technik zu übertragen, hat ein Forschungsteam der *EPFL* einen modularen Pavillon aus textilbewehrtem Beton entworfen (siehe ‚Rückbaubarkeit von Betonsystemen'). Mit diesem Material lassen sich besonders geringe statische Höhen unter Einhaltung der Normen erreichen. Der Pavillon kann zerlegt und wieder zusammengebaut werden. Er ist so konzipiert, dass die Elemente von zwei Personen transportiert und aufgebaut werden können. Sie überschreiten daher nie 60 kg. Für die Dachschalen wurde der Grenzwert auf 100 kg erhöht. Eine einfache Hebevorrichtung (z. B. Gabelstapler) ist dafür immer noch ausreichend (Valeri et al. 2020).



a

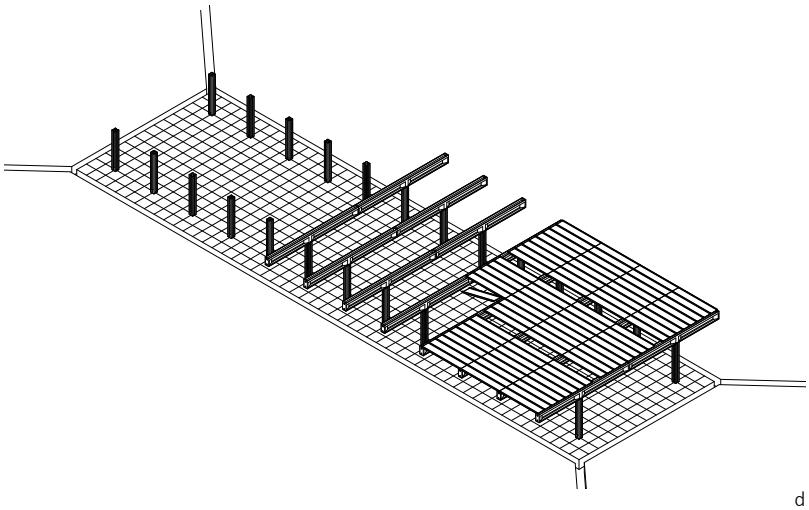


b

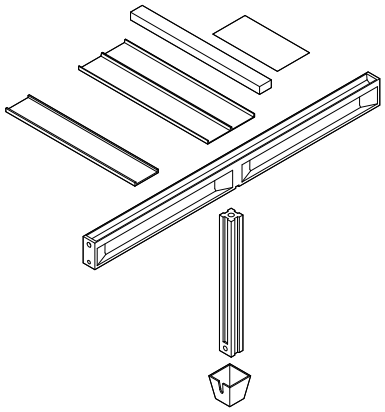


c

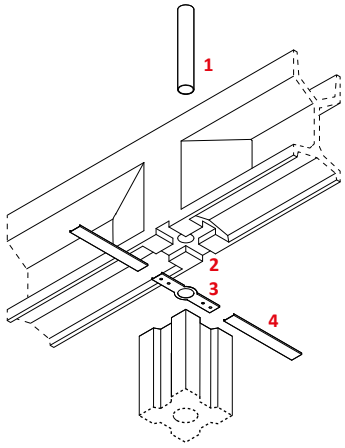
- Rückbaubare vorgefertigte Schulen:
- Entwurf: João Filgueiras Lima;
- Standort: Bundesstaat Goiás, BR;
- Status: erste Schule in *argamassa armada* 1984 fertiggestellt;
- Quellen: Vilela 2018a, 2018b;
- Pavillon TRC:
- Entwurf: *iBETON* und *ALICE/EPFL*
- Standort: Fribourg, FR;
- Status: erster Teil in 2019 fertiggestellt;
- Quellen: Valeri et al. 2020, 2019;
- Abbildungen: Fotos der in Abadiânia gebauten Schule (a,c) und axonometrische Ansichten der vorgefertigten Elemente des Systems (d,e). Die „Dachrinnen-Träger" werden verschraubt. Der zusammengesetzte Träger wird auf der Stütze befestigt mit einem Rohr, das den Träger und die Stütze verbindet. Dazwischen befindet sich eine Schiene für Elektrokabel (f,g). Beim Pavillon *TRC* wird die Struktur von Hand aufgebaut, ein Gabelstapler hilft beim Anheben der Schale (b). Konstruktive Details des Pavillons (h).



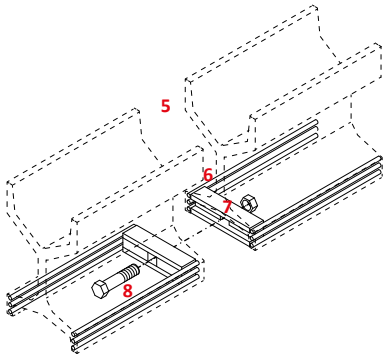
d



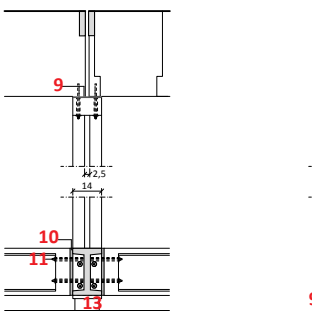
e

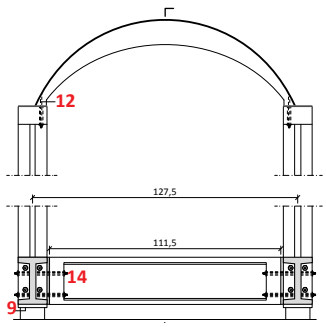


f



g





h

1 verzinktes Eisenrohr ø 5 cm

2 Aussparung im Träger für die elektrischen Kabel um das Rohr herum

3 Metallteil zur Befestigung der Schienen für elektrische Kabel

4 Schienen für elektrische Kabel

5 Mörtel aus Zement und Sand zwischen den Trägern

6 auf die Metallverbindung geschweisste Bewehrung

7 verzinkte Stahlstäbe in der Masse eingegossen

8 verzinkte Schrauben ø 2,5 cm

9 Folie aus Neopren

10 Ultra-Hochleistungsmörtelfugen

11 Gewindestange M10 aus faserverstärktem Polymer

12 Gewindestange M10 aus faserverstärktem Polymer und verklebt

13 Auflage aus Ultra-Hochleistungsmörtel

14 Bolzen von Hand festgeschraubt

0 10 25 50 cm

Fallstudie XVIII **Betonfertigteile zusammengesteckt**

Seit seiner Einweihung im Jahr 1969 wurde das landwirschaftliche Forschungzentrum von St. Aubin (FR) vielseitig genutzt. Die meisten Gebäude des *Centre de Recherches Agricoles* sind mit dem gleichen zerlegbaren Bausystem aus Stahlbeton errichtet worden. Die Gebäude sind eingeschossig und entstehen aus trocken zusammengesetzten vorgefertigten Teilen. Die Räume werden von oben durch die Streifen zwischen den U-förmigen Schalen beleuchtet. Diese vorgefertigten Schalen liegen auf einem Skelettbau und sind auf den Querträgern eingerastetet.

Die Diskussionen über den zukünftigen Gebrauch des Campus veranschaulichen viele Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion (Fivet 2019): Dank der Vielseitigkeit des Systems konnten in fast 50 Betriebsjahren mehrere Nutzungen aufeinander folgen. Die ausschliesslich auf Druck arbeitenden Verbindungen zwischen den Betonelementen sind rückbaubar, nur der Austausch von dünnen Gummistreifen ist erforderlich. Die Modularität des Konstruktionssystems zeigt sich in der konstanten Breite der Schalen und der Länge der Träger, die ein Vielfaches der Breite ist. Dadurch besteht die Möglichkeit, jeden Träger auf ein beliebiges Säulenpaar zu montieren. Ausserdem können ganze Module auf dem Campus versetzt werden. Die Anpassungsfähigkeit des Systems wurde genutzt, um die Gebäude in beide Richtungen zu erweitern, wenn sich neue Bedürfnisse ergaben.

Im Zusammenhang mit dem Verkauf und der Umgestaltung des Campus untersuchten Studierende der *EPFL* (*Studio Fröhlich*) das Potenzial für die Wiederverwendung der Strukturen. Dabei stellte sich heraus, dass das System aufgrund seiner brutalistischen Bauweise nur schwer mit den aktuellen energetischen Anforderungen zu vereinbaren ist und die geringe Tragfähigkeit den Einsatz dieser Bauteile in mehrgeschossigen Gebäuden nicht zulässt.

- Entwurf: Jakob Zweifel und Heinrich Strickler;
- Standort: St. Aubin (FR);
- Status: erstmals 1969 eingesetzt, in Betrieb bis 2016;
- Fläche: 16’900 m^2 in der ersten Phase und 8’200 m^2 später gebaut;
- Quellen: Zweifel 1996, 1969b, Fivet 2019, Staatsrat 2017;
- Abbildungen: Innenansicht (b); Konstruktion der demontierbaren Konstruktion aus vorgefertigten Stahlbetonelementen (a,c); Konstruktionsdetails und Querschnitt (d,e).



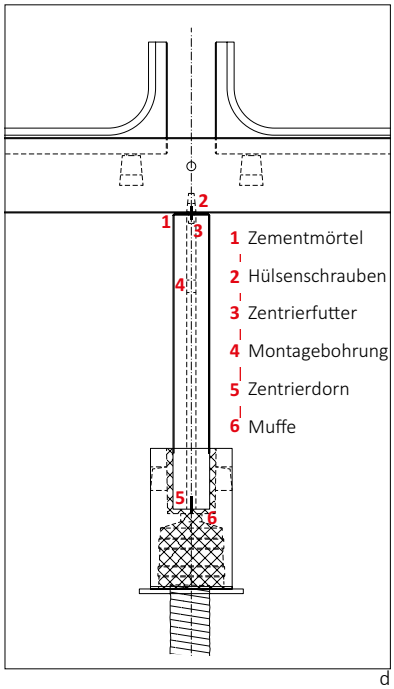
a



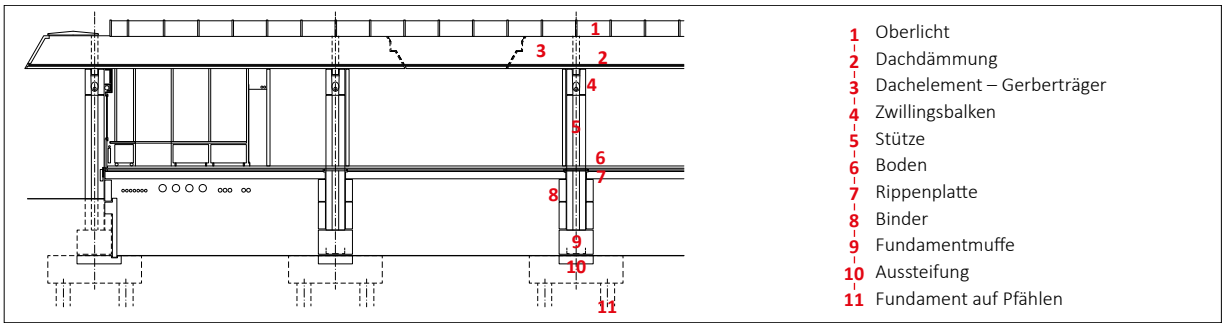
b



c


1 Zementmörtel
2 Hülsenschrauben
3 Zentrierfutter
4 Montagebohrung
5 Zentrierdorn
6 Muffe

d


1 Oberlicht
2 Dachdämmung
3 Dachelement – Gerberträger
4 Zwillingsbalken
5 Stütze
6 Boden
7 Rippenplatte
8 Binder
9 Fundamentmuffe
10 Aussteifung
11 Fundament auf Pfählen

e

Fallstudie XIX **Betonfertigteile verschraubt**

Der *Circle House Demonstrator* (*CHD*) ist ein Testpavillon im Massstab 1:1 für das Grossprojekt *Circle House*. Dieses Projekt mit 60 Sozialwohnungen befindet sich im Bau und eines der Ziele ist es, 90 % der Komponenten wiederverwendbar zu machen. Der Testpavillon wurde errichtet, um die Machbarkeit einer Reihe von rückbaubaren technischen Lösungen zu überprüfen und deren Anwendbarkeit im grossen Massstab zu bewerten. Die Konstruktion ist mit einer begrenzten Auswahl an zerlegbaren Betonfertigteilen konzipiert. Der Entwurf setzt bestehende Lösungen um, die von den Partnern von *Circle House* entwickelt wurden. Es handelt sich um vorgefertigte Betonelemente von *Spæncom*, mechanische Verbindungen von Peikko und Kalkmörtel von *Kalk*. Die Verbindungen werden durch Verschraubung von Metallplatten, die in die Betonfertigteile eingebettet sind, hergestellt. Die Struktur basiert auf sechs Bauteiltypen und wird zur Wiederverwendung im *Circle House* demontiert.

- Entwurf: Architekturkollektiv aus *Vandkusten*, *Lendager Arkitekter*, *3XN*, unter Mitwirkung von *GXN Innovation*;
- Auftrag von: *Realdania* und Entwicklungs- und Demonstrationszentrum der dänischen Umweltschutzbehörde (*MUDP*);
- Standort: Valby (Kopenhagen), DK;
- Status: fertiggestellt in 2018
- Fläche: 40 m^2
- Quellen: Guldager Jensen und Sommer 2019, GXN 2020, GXN und Responsible Assets 2018;
- Abbildungen: Aufbau des Prototyps (a), rückbaubare Konstruktionsdetails (b,c) und Darstellung des Abbruchs mit Hochdruckwasserstrahlen (d), Axonometrie des rückbaubaren Systems (e).



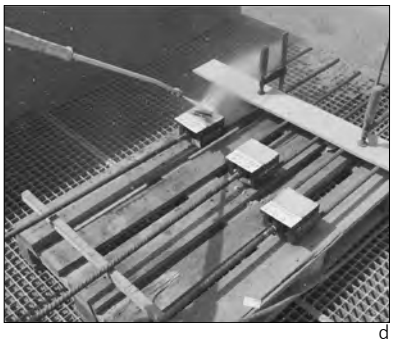
a



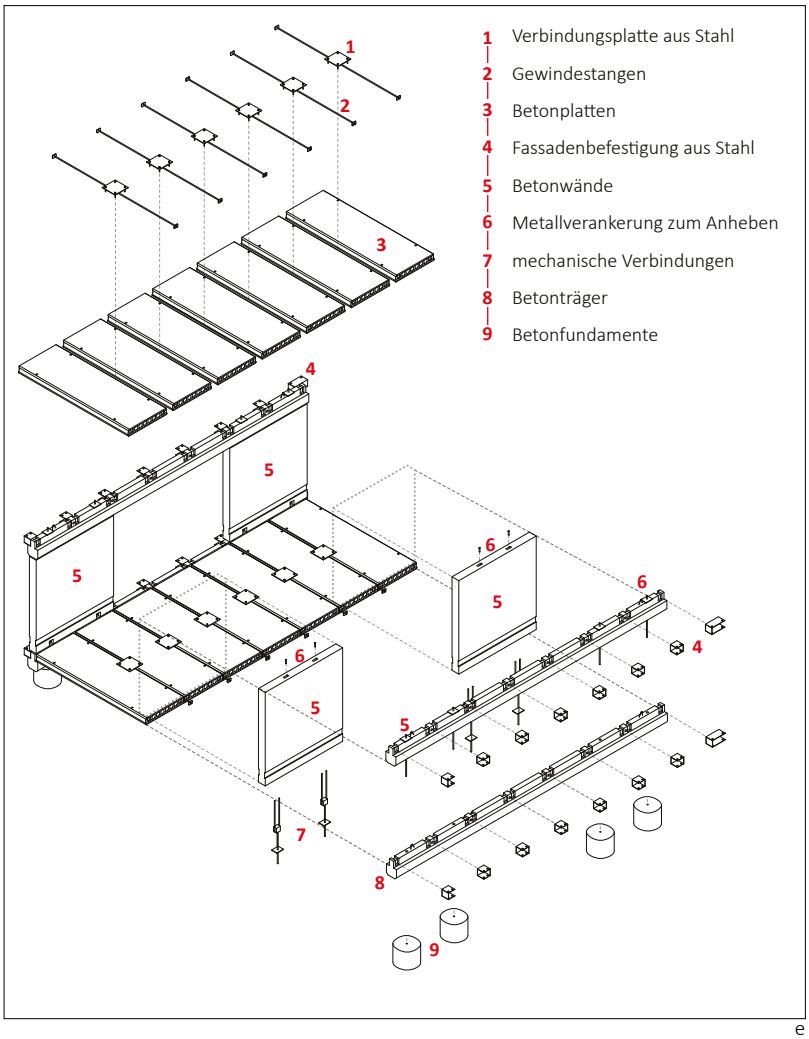
b



c



d


1 Verbindungsplatte aus Stahl
2 Gewindestangen
3 Betonplatten
4 Fassadenbefestigung aus Stahl
5 Betonwände
6 Metallverankerung zum Anheben
7 mechanische Verbindungen
8 Betonträger
9 Betonfundamente

e

Fallstudie XX **Betonfertigteile vermörtelt**

In Amsterdam wurde das genossenschaftliche Wohngebäude *CiWoCo* gebaut und ein Raumkonzept entwickelt, das grosse Freiheiten bei der Nutzung der einzelnen Geschosse bietet. Zudem wurden technische Lösungen einbezogen, sodass die Mehrheit der Komponenten am Ende eines Nutzungszyklus wiederverwendet und/oder recycelt werden kann.

Das Raumkonzept sah vor, dass 20 % der Fläche für Homeoffice zur Verfügung stehen sollte. Davon ausgehend, entwickelte das Architekturbüro ein alternatives Modell: Anstatt die Büroräume in den unteren Geschossen zu konzentrieren, werden sie in die Wohngeschosse integriert. Diese Arbeitsräume haben einen unabhängigen Zugang vom Gang aus. So können diese Räume kurzfristig multifunktional genutzt werden, als eigenständiges Büro oder als zusätzlicher Raum einer Wohnung (GAAGA 2020a, GAAGA 2020b).

Gleichzeitig zeigte der Entwurfsprozess, dass das endgültige Raumlayout von der grossen Unabhängigkeit vom Tragsystem profitieren konnte. Abhängig von zukünftigen architektonischen Projekten ist es vorstellbar, dass die Typologien erneut von dieser Eigenständigkeit profitieren und sich grundlegend verändern werden. Diese Freiheit auf den Geschossen basiert auf vier Hauptpunkten, die in der Abbildung (e) dargestellt sind:

- einer grösseren Anzahl von Eingängen als die ursprüngliche Anzahl an Wohnungen. Dadurch kann ein unabhängiger Zugang zu einem Zimmer entlang des Aussenganges geschaffen werden;
- einem Tragwerk mit freistehenden Stützen im Innern, was für eine grosse Freiheit bei der Innenraumeinteilung sorgt;
- zweier nichttragender Seitenfassaden, die eine Abfolge von abwechselnd verglasten oder blickdichten Bereichen erlaubt, ohne das Tragwerk zu beeinträchtigen;
- einer zentralen Gruppierung der Gebäudetechnik, was die Leitungswege verkürzt und sie unabhängig vom Tragwerk macht.

Eine Besonderheit des Projekts ist die rückbaubare Struktur aus vorgefertigten Betonelementen. Das Bauingenieurbüro und die Lieferfirma der Betonelemente schlugen rückbaubare Verbindungen vor, vergleichbar mit denen von *Peikko*, die im *Circle House Demonstrator* (Fallstudie XIX) verwendet wurden. Dank Aussparungen im Beton erlauben die Metallverbinder, zwei Elemente miteinander zu verschrauben, bevor die Aussparung ausgemörtelt wird. Dieses System wurde auch für die Stützen eingesetzt. Für die Decke wurde ein System mit Hohldeckenplatten verwendet, ähnlich wie im *Temporären Gerichtsgebäude in Amsterdam* (siehe Fallstudie XXI). Durch Entfernen des Mörtels mittels Hochdruckwasserstrahlen ist es möglich, die Verschraubung später wieder zu lösen. Grosses Augenmerk wurde darauf gelegt, die Innenwände und Installationen der Gebäudetechnik unabhängig von der Tragkonstruktion zu gestalten. Dies wurde durch ein System von Zwischendecken und -wänden erreicht, welche die technischen Leitungen gruppieren.

Eine eingehende Studie würde es erlauben, die Rückbaubarkeit des Heizsystems, des Bodenbelags und der Inneneinteilung zu diskutieren.

- Entwurf: *GAAGA*;
- Auftrag von: Genossenschaft *BSH 20E*;
- Standort: Amsterdam, NL;
- Status: fertiggestellt in 2019;
- Fläche: 1’500 m^2;
- Quellen: GAAGA 2020a, GAAGA 2020b, VinkBouw 2020, Wind 2019;
- Abbildungen: Das Gebäude *CiWoCo* (a) basiert auf einer demontierbaren Betonstruktur (b-d) und auf den Prinzipien der räumlichen Rückbaubarkeit (e).



a



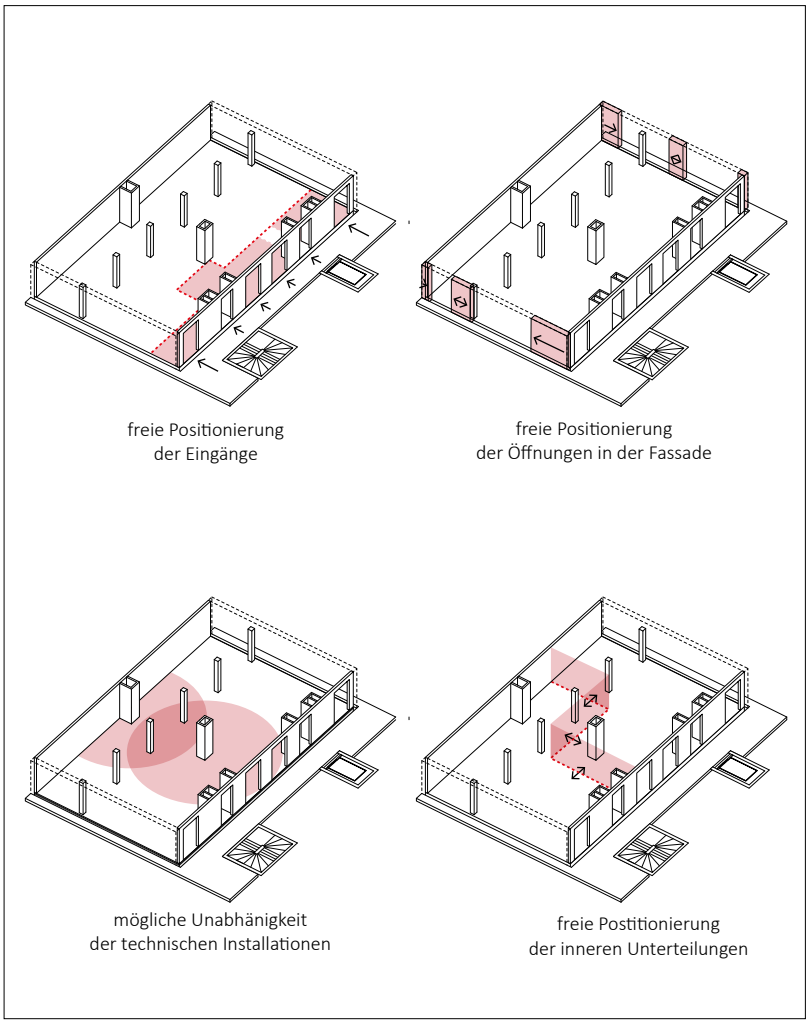
b



c



d


freie Positionierung
der Eingänge
freie Positionierung
der Öffnungen in der Fassade
mögliche Unabhängigkeit
der technischen Installationen
freie Postitionierung
der inneren Unterteilungen

e

Fallstudie XXI **Beton-Metall-Konstruktion**

Das 2016 eröffnete *Temporäre Gerichtsgebäude in Amsterdam* ist vierstöckig und wurde für eine nur fünfjährige Nutzung konzipiert. Danach sollte es komplett zurückgebaut und abtransportiert werden. Es diente als provisorisches Gebäude während des Abrisses des alten Gerichts und des Baus des neuen (Froidevaux 2019).

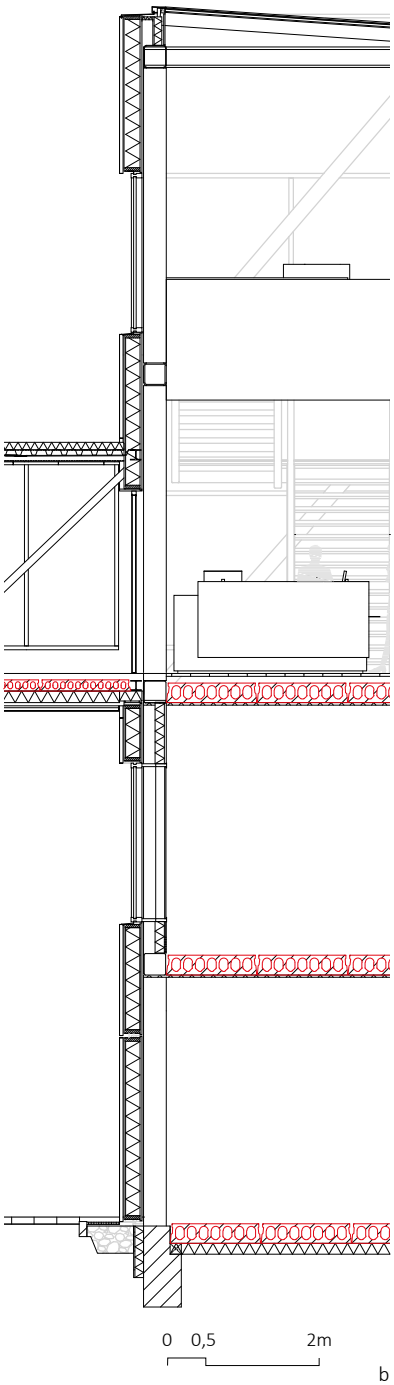
Das Gebäude besteht aus einer vollständig verschraubten Stahlstruktur aus Stützen und Trägern mit geschosshohen Elementen in einem regelmässigen Raster. Zwischen den SFB-Trägern (mit breiteren Unterflanschen) werden Hohldeckenplatten aus Beton rückbaubar befestigt (siehe ‚Rückbaubarkeit von Betonsystemen'). Für die spezielle Verbindung zwischen dem Hohldeckenelement und den Stahlträgern werden Schlitze in die Fertigteilplatte gefräst. Anschliessend werden *DEMU*-Verankerungen eingebaut, die durch das Ausbetonieren der Schlitze und mit verstellbaren Bolzen gehalten werden (Abbildung 26) (de Danschutter et al. 2017). Der Rückbau erfolgt durch Hochdruckwasserstrahlen der Schlitze und anschliessendes Abschrauben der Metallteile. Die Decken werden von Doppelböden mit Holzdielen und einer trocken verlegten Fussbodenheizung abgeschlossen. Die Hülle wird durch mit Dämmmaterial gefüllte Holzpaneele vervollständigt. Die Aussenverkleidung besteht aus einer Membran, die an Metallfedern befestigt ist (cepezed 2020b).

Zugängliche und veränderbare technische Leitungen, unabhängige Schichten und freistehende Stützen tragen zur Anpassungsfähigkeit des Gebäudes bei. Die Lebensdauer des Bauwerks wird zusätzlich erhöht, indem es auch für Lasten anderer Nutzungen ausgelegt wurde: In der öffentlichen Ausschreibung wurde genau festgelegt, dass das Gebäude andere Funktionen aufnehmen können muss (Froidevaux 2019).

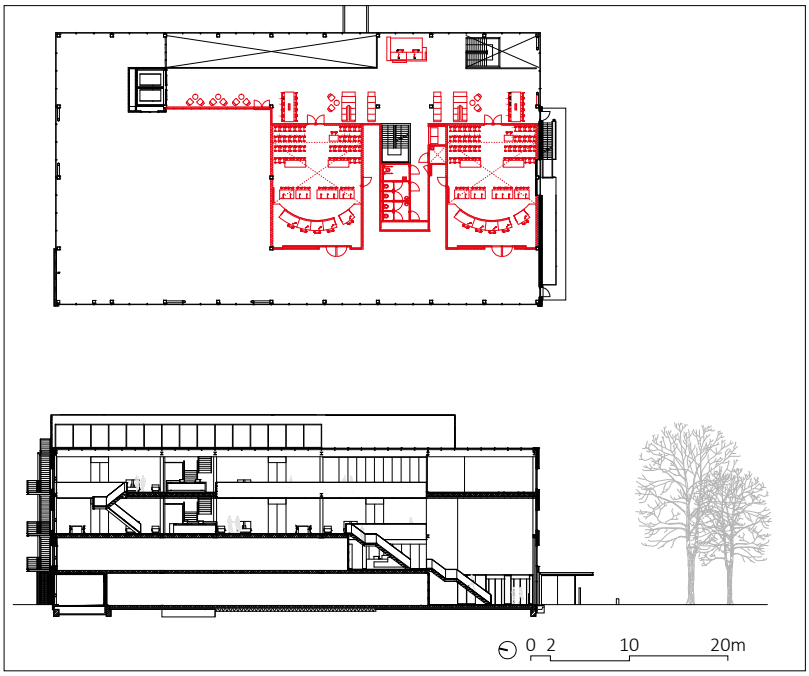
- Entwurf: *cepezed*, NL;
- Auftrag von: *Rijksvastgoedbedrijf*;
- Standort: Amsterdam, NL;
- Status: fertiggestellt in 2016;
- bebaute Fläche: 5'400 m^2;
- Programm: Büros;
- Quellen: cepezed 2020b, Froidevaux 2019, de Danschutter et al. 2017, van Deelen et al. 2017a, 2017b;
- Abbildungen: Im *Temporären Gerichtsgebäude in Amsterdam* (a) wird das Verankerungs- und Verschraubungssystem der Betonplatten durch einen Doppelboden und eine Zwischendecke ergänzt, die einen einfachen Zugang zu den technischen Installationen ermöglichen (b,d). Die freien Geschosse tragen zur Flexibilität des Raums bei (c).



a

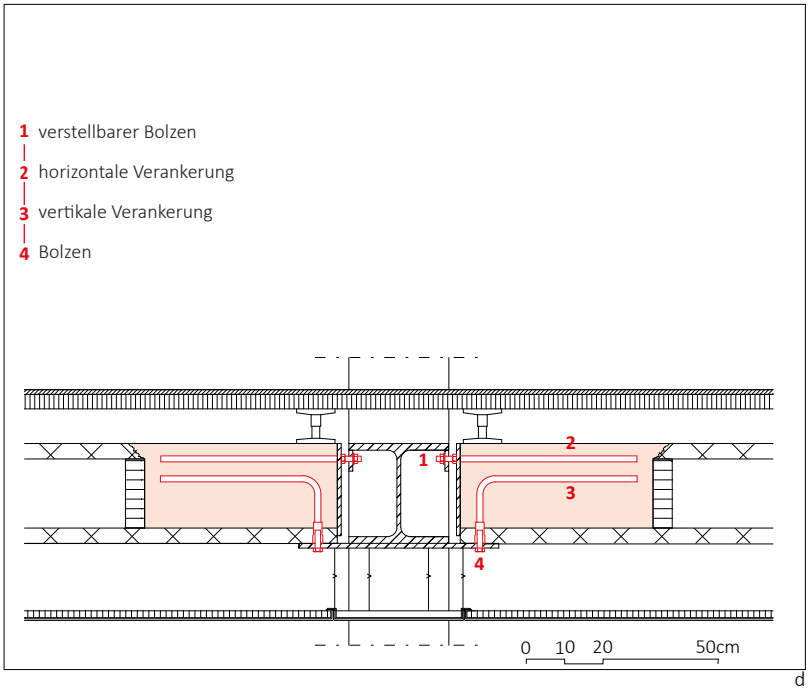


b



c

1 verstellbarer Bolzen
2 horizontale Verankerung
3 vertikale Verankerung
4 Bolzen



d

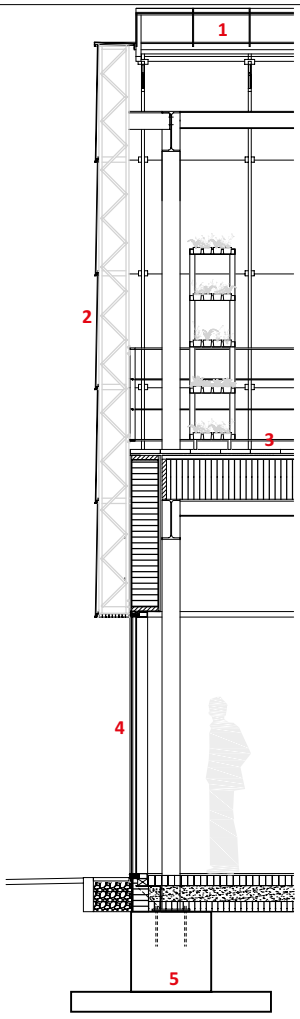
Fallstudie XXII **Metallkonstruktion**

In Utrecht soll mit der Revitalsierung des Stadtzentrums in etwa fünfzehn Jahren begonnen werden. In der Zwischenzeit nimmt *The Green House* eine leerstehende Fläche ein und trägt dem temporären Charakter der Situation Rechnung: „Das Gebäude kann komplett abgebaut werden – einschliesslich der Fundamente, die aus vorgefertigten Betonblöcken bestehen – und an beliebiger Stelle in 15 Jahren wieder aufgebaut werden" (Froidevaux 2019, eigene Übersetzung).

Die technische Rückbaubarkeit des Gebäudes wird unterstützt durch: ein besonderes Augenmerk auf die Unabhängigkeit der Schichten, die Möglichkeiten der Vorfertigung und Standardisierung der Bauteile sowie die Verwendung rückbaubarer Verbindungen. Zunächst sind die Fundamente aus Standard-Betonplatten (5) theoretisch wiederverwendbar. Darüber folgt die zweigeschossige verschraubte Metallkonstruktion (9) einem regelmässigen Raster. Das Raster bezieht sich auf die Abmessungen der getönten Scheiben (2), welche aus einer alten, in der Nähe abgebauten Kaserne stammen und für die Fassade wiederverwendet wurden. Verzinkte Standardprofile (IPE 400 und HEA 180) bilden zusammen ein regelmässiges Baukastensystem. Die Bodenplatten des Erdgeschosses bestehen aus recyceltem Pflasterklinker auf Sand mit integrierter Fussbodenheizung auf einer festen Dämmung. Der Fussboden im ersten Stock besteht aus vorgefertigten Holzplatten und verfügt über eine trocken verlegte Fussbodenheizung. Die Sanitäranlagen und vertikale Erschliessung sind unabhängige Blöcke (8). Die Gebäudehülle wird durch vorgefertigte Holzrahmen mit integrierter Dämmung vervollständigt (7).

Die räumliche Rückbaubarkeit des Gebäudes wird durch die Verwendung eines punktgestützten Tragwerks erreicht. Bei diesem Baukastensystem bieten sich die vorgefertigten Bodenelemente, die Inneneinteilung und der Sanitärblock auch für grössere Nutzungsänderung an.

- Entwurf: *cepezed*, NL;
- Auftrag von: *R Creators*, NL;
- Standort: Utrecht, NL;
- Status: fertiggestellt in 2018;
- Fläche: 770 m^2;
- Programm: Restaurant und Konferenzraum
- Quellen: cepezed 2020a, Froidevaux 2019, Pintos 2019;
- Abbildungen: *The Green House* ist in zerlegbaren Schichten aufgebaut (a,b,f). Der offene Grundriss bietet grosse Freiheit in der Anordnung der Innenwände (c,d). Zudem ist das konstruktive System, das wiederverwendete Elemente enthält, weitgehend rückbaubar (e).



0 20 50 100cm

1 Dach des Gewächshauses, wiederverwendet und auf Fachwerkträger montiert

2 Rauchglasscheiben aus einer ehemaligen Kaserne

3 wiederverwendete Pflasterklinker

4 Vorhangfasade aus Aluminium ohne verklebte Fugen

5 Fundament aus vorgefertigten Betonblöcken

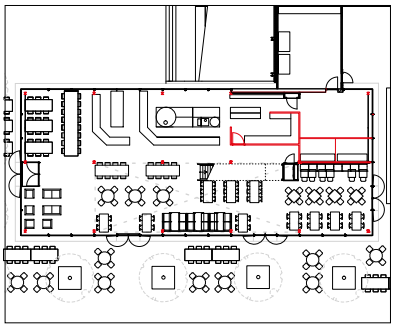
e



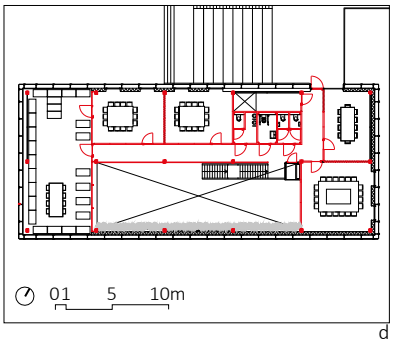
a



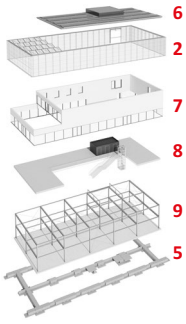
b



c



d



6 Solarpanel

2 Rauchglasscheiben aus einer ehemaligen Kaserne

7 Gebäudehülle aus neuen Bauteilen, grösstenteils natürlichen Ursprungs (Holz)

8 Holzboden, unabhängige Sanitär- und Erschliessungsblöcke

9 verschraubte Metallkonstruktion und gebrauchte Platten

5 Fundament aus vorgefertigten Betonblöcken

f

Fallstudie XXIII **Holz-Metall-Konstruktion**

Das *Projekt XX* ist wegweisend für die zeitgemässe Anwendung der Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion. Es handelt sich um ein zweigeschossiges Bürogebäude, das räumlich flexibel konzipiert ist und nach 20 Jahren Nutzung vollständig demontiert werden kann. Die Entscheidung zu diesem Konzept wurde bereits zu Beginn des Entwurfs gefällt und ist unter anderem durch die kurze Lebensdauer von Büros in den Niederlanden (durchschnittlich 30 Jahre) und die schnelle Obsoleszenz des Gebäudebestands begründet (Post und Klomp 1999). Besonderes Augenmerk wurde auf die Flexibilität der Räume, die Unabhängigkeit der Schichten und die Möglichkeit der Wiederverwendung oder des Recyclings der Komponenten nach 20 Jahren Nutzung gelegt. Das 1999 eingeweihte Gebäude ist immer noch in Betrieb und ein Rückbau ist nicht geplant. Diese scheinbar widersprüchliche Feststellung verdeutlicht die Schwierigkeiten der Vorhersage und unterstreicht insbesondere die Eignung des Gebäudes, sich an Nutzungsänderungen anzupassen, sowie dessen einfache Instandhaltung.

Ein gleichmässiges Raster regelt die punktgestützten Holz-Metall-Konstruktion. Diese besteht aus Furnierschichtholz (*LVL*) mit Stützen konstanter Höhe und pro Geschoss angepasstem Querschnitt, Trägern mit Untergurten aus Stahlprofilen sowie Metallaussteifungen. Das Tragwerk wird mit Stahlplatten verschraubt. Die dreifach-verglaste Fassade ist komplett davon gelöst. Die Abmessungen des Rasters sowie die Positionierung der Sanitär- und Erschliessungsblöcke wurden so konzipiert, dass mehrere Raumaufteilungen möglich sind.

Vorgefertigte Hohldeckenplatten aus Beton bilden das Erdgeschoss, der Boden des Obergeschosses besteht aus mit Sand gefüllten Hohlkastenelementen aus Holz und einer Filzschicht für eine bessere Schalldämmung. Laut dem Architekturbüro knarren diese Sandwichplatten und haben sich als zu flexibel erwiesen. Das Büro würde sich heute für ein anderes Bodensystem entscheiden.

- Entwurf: *XX Architects*, zusammen mit dem Bauunternehmen, den Kundinnen/Kunden und der *Eindhoven University of Technology* für die technischen Aspekte;
- Auftrag von: *Wereldhave Management Holding*;
- Standort: Delft, NL;
- Status: fertiggestellt im Jahr 1999;
- Fläche: 2’140 m^2;
- Quellen: Post und Klomp 1999, Guequierre und Kristinsson 1999, Post 2019, Zeegers et al. 2001, Booosting platform voor koplopers in bouwinnovatie 2019, BAZED 2020a, architectureguide 2019;
- Abbildungen: 1999 eingeweiht und für den Rückbau nach 20 Jahren vorgesehen, ist das *Projekt XX* (a-c, e) immer noch in Betrieb und es ist kein Rückbauprojekt geplant. Die Anordnung der freistehenden Stützen, Erschliessung und Sanitärblöcke ermöglicht mehrere Raumkonfigurationen (b).



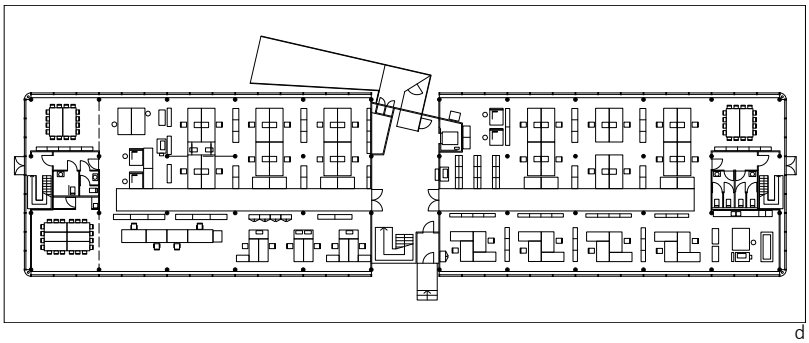
a



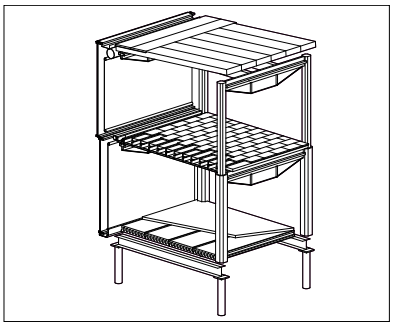
b



c



d



e

Fallstudie XXIV **Holzkonstruktion verschraubt**

In der Stadt Brummen in den Niederlanden wollten die Behörden die Räumlichkeiten der Gemeinde erweitern, das jedoch nur auf eine semi-permanente Weise und für mindestens 20 Jahre. Das durchgeführte Projekt behält das bestehende Gebäude bei und umgibt es an drei Seiten mit einem zweigeschossigen Anbau. Der hölzerne Skelettbau ist von einer gläsernen Vorhangfassade gelöst. Seine Anordnung erlaubt die Änderung der Grundrisse der Büros, die einem häufigem Wandel unterworfen sind.

Eine Besonderheit des Projekts liegt in der Umsetzung eines Systems zur Rücknahme von Komponenten. Tatsächlich stellte das Projektteam sicher, dass die Komponenten nach 20 Jahren Gebrauch von ihrer jeweiligen Herstellungsfirma zur Wiederverwendung oder zum Recycling zurückgenommen werden können. Nach Angaben des Architekturbüros „wurden mehr als 90 % des Entwurfs rückbaubar geliefert", hauptsächlich dank der frühzeitigen Abstimmung mit der Herstellungsfirma (RAU 2020).

Eine zukünftige Studie sollte ermöglichen zu verstehen, wie diese Strategie für Elemente mit unterschiedlichen technischen Lebensdauern verfeinert werden könnte und wie eine Verlängerung der Nutzung vor Ort über 20 Jahre hinaus mit Rücknahmeverträgen vereinbart werden kann.

Diese Rücknahmestrategie hatte Auswirkungen auf die Wahl der Komponenten, insbesondere für die Holzkonstruktion. Sie wird durch Verschrauben mit Metallwinkeln montiert und besteht aus leicht überdimensionierten Elementen. Diese Überdimensionierung resultiert aus der Forderung der Lieferfirma, die dadurch ein höheres Potenzial für die Wiederverwendung prognostiziert (Ellen MacArthur Foundation 2016). Gleichzeitig wurde eine komplette Bestandsaufnahme des Gebäudes für jedes Bauteil in Form eines „Bauteilpasses" durchgeführt. Er gibt die vorgesehenen Bestimmungsorte der Bauteile für einen zweiten Lebenszyklus an.

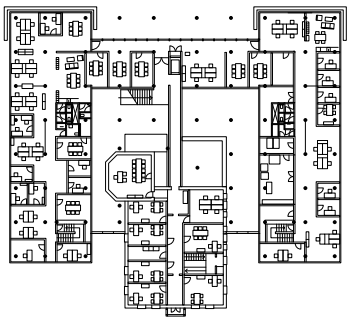
› Entwurf: *RAU*;
› Expertise Kreislaufwirtschaft: *Turntoo*;
› Auftrag von: Gemeinde Brummen;
› Standort: Brummen, NL;
› Status: 2013 abgeschlossen;
› Bruttofläche: 3'000 m^2;
› Quellen: Ellen MacArthur Foundation 2016, Guldager Jensen und Sommer 2019, RAU 2020;
› Abbildungen: Der semi-permanente Erweiterungsbau für die Gemeinde Brummen (a) wurde um das bestehende Gebäude herum errichtet (b) und hat einen flexiblen Grundriss (c,d). Die Konstruktion ist vollständig verschraubt (e,f).



a



b



c



d



e



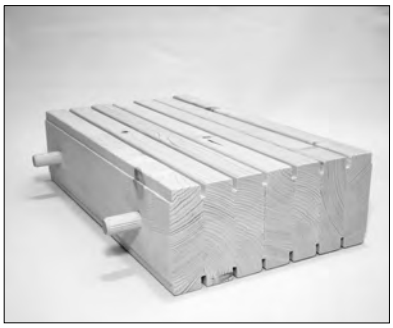
f

Fallstudie XXV **Fussboden aus Massivholz**

Das System *BRESTA®* wurde 1994 von der Schweizer Firma *Tschopp Holzbau AG* entwickelt und ist ein Tragsystem aus Massivholz für tragende Wände und Böden. Ein wesentliches Merkmal dieses Systems ist, dass es weder Leim noch Nägel benötigt. Es besteht aus dicken Eichenholzlamellen, die zusammengedrückt und in der Mitte von Hartholzdübeln zusammengehalten werden (Tschopp Holzbau AG 2020). Das Unternehmen hat auch Massivholz-Systeme für mechanisch befestigte Oberflächen entwickelt: Die Elemente werden in der Länge ohne Leim durch eine Schwalbenschwanzverbindung angebracht. Theoretisch kann dieses System zerlegt und wieder zusammengebaut oder, falls erforderlich, recycelt werden.

› Quelle: Tschopp Holzbau AG 2020;

› Abbildungen: Das *BRESTA®* Massivholzsystem wird ohne Leim mit Holzdübeln montiert (a,b). Die Oberflächen der Massivholzböden und-decken werden mit Schwalbenschwanzverbindungen befestigt (c).



a



b



c

Dieser Abschnitt stellt eine Liste mit spezifischen Prinzipien für Gebäudehüllen zu deren rückbaubaren Gestaltung, sowie etablierte und innovative Techniken für rückbaubare Gebäudehüllen. Insbesondere zeigt diese Auflistung Alternativen zu dem in der Schweiz am weitesten verbreiteten Fassadensystem: eine synthetische Dämmung aussen auf die Tragstruktur geklebt und mit mineralischen Beschichtungen versehen. Bei diesem System sind Recycling und Wiederverwendung besonders schwer zu erreichen.

Prinzipien

Die Prinzipien für die rückbaubare Konstruktion von Gebäudehüllen sind:

- Planen von ausreichendem Schutz gegen Feuchtigkeit, Licht und mechanische Einwirkungen, insbesondere für einige schwer zu vermeidende aber UV-empfindliche Polymermaterialien und Fugen sowie für Eckstücke;
- Entwerfen von Tragsystemen, mit dem die Transparenz der Fassade und ihre Öffnung nach aussen an die Nutzung angepasst werden kann;
- Optimieren des Fassadenrasters, damit es mit mehreren Anordnungen der Innenwände zusammenpasst;
- bei der Verwendung von vorgefertigten Modulen, Sicherstellen der Trennbarkeit der Bestandteile für die Wiederverwendung, das Recycling und deren Umwandlung;
- Sicherstellen der Recyclingmöglichkeiten für die Dämmung: synthetische Dämmung, die wirtschaftlich und thermisch effizient ist, wird heute nicht recycelt. Wenn mineralische oder natürliche Dämmstoffe trennbar und nicht verunreinigt sind, können sie potenziell recyclet werden;
- Sicherstellen der Rückbaubarkeit der Dachabdichtungen (z. B. *EPDM*-Dichtungsbahnen, einlagiger synthetischer Kautschuk mit mechanischer Befestigung);
- Verwenden von rückbaubaren Verkleidungen.

Es ist zu beachten, dass die Unabhängigkeit der Schichten bei Gebäudehüllen ein kritischer Faktor ist, da Komponenten mit unterschiedlichen Lebensdauern aufeinandertreffen. Es ist wichtig zu prüfen, dass die äussere Verkleidung entfernt werden kann, ohne die Isolierung zu verletzen, und dass die Isolierung entfernt werden kann, ohne das Tragwerk zu beschädigen.

Spezifische Empfehlungen für bestimmte Verkleidungen sowie für Vorhangfassaden und Fenster finden sich in Addis und Schouten (2004) auf den Seiten 49-55.

Rückbaubarkeit von Fassaden

Vorhangfassaden sind nicht tragende Hüllen, die im modernen Bauwesen meist für voll verglaste Fassaden verwendet werden. Diese Fassaden, die häufig in gewerblichen Gebäuden eingesetzt werden, basieren auf der Montage von vorgefertigten Elementen. Die vorgehängten Flächen können in der Regel durch Umkehrung des Montageprozesses demontiert werden. Besonderes Augenmerk muss auf die Montagereihenfolge und die Dimensionierung der Komponenten gelegt werden, um Wartung, punktuelle Reparaturen und paralleles Arbeiten zu ermöglichen. Addis und Schouten (2004) wiederholen, wie wichtig es ist, die Demontagevorgänge zu vereinfachen und die Verwendung von verklebten Fugen zu minimieren, um die Wiederverwendbarkeit der Komponenten zu maximieren.

Hinterlüftete Fassaden, ob tragend oder nicht, werden mit Unterkonstruktionen hergestellt, an denen lineare oder strukturierte Oberflächenverkleidungen aus verschiedenen Materialien befestigt werden. Verkleidungen und Unterkonstruktionen können demontiert werden, wenn die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion richtig angewandt werden, zum Beispiel durch die Verwendung von mechanischen Verbindungselementen wie Metallwinkeln und Schrauben oder Nägeln. Die Art der Montage und der Anordnung muss eine lokale und verhältnismässige Reparatur ermöglichen und das Befestigungssystem der Dämmung muss rückbaubar sein. Dieses System bietet interessante Alternativen zu verputzten Fassaden.

Meistens bei nicht tragenden Fassaden eingesetzt, wurden Rahmen- oder **Hohlkastensysteme** entwickelt, die eine rückbaubare Montage von Dämmstoffen ermöglichen. Diese Rahmen und Hohlkästen sind meist aus Holz, um Kältebrücken zu vermeiden, und werden mechanisch montiert. Ihr Einsatz ist weit verbreitet in Gebäuden, in denen Rückbaubarkeit ein besonderer Wunsch

der Bauherrschaft ist, meist in Verbindung mit einem freistehenden Tragwerk und einer hinterlüfteten Fassade. Unter bestimmten Bedingungen können demontierbare Kästen oder Rahmen versetzt werden, wenn geänderte Beziehungen zum Aussenraum erforderlich sind. Rahmen oder Kästen können in der Regel vorsichtig demontiert werden, wenn rückbaubare Verbindungen verwendet wurden. Ihre Wiederverwendung wird durch ihre Abmessungen und die Verfügbarkeit der Informationen über die Eigenschaften der Isolation beeinflusst. Ausserdem ist die Verwendung von Standardabmessungen ein wichtiger Faktor. Die Demontage der Kästen und Rahmen und deren teilweise Wiederverwendung ist möglich.

Gerade bei energetischen Sanierungen von tragenden Wänden kann der Einsatz einer **offenliegenden, freien Dämmung** eine interessante rückbaubare Strategie sein, die die Anzahl der Bauteile und Verbindungen reduziert. Korkdämmung ist ein recycelbares Material, das sowohl isolierende als auch verkleidende Funktionen erfüllen kann. Dank seines eigenen Harzes und mithilfe hohen Drucks wird Kork ohne Zusatzstoffe zu Dämmplatten verarbeitet. Beim Verzicht auf äussere Beschichtungen bleibt die Recyclingfähigkeit erhalten. Für die Rückbaubarkeit der Baugruppen bleiben die mechanischen Befestigungen sichtbar, deren Anordnung muss somit beachtet werden. Für unsichtbare Befestigungen ist immer noch eine Fixierung mit Kalk- und Zementmörtel erforderlich.

Rückbaubarkeit von Dächern

Bei Dächern ist die **Abdichtung** eine grosse Herausforderung. Diese Abdichtungsschicht wird konventionell irreversibel auf Flachdächer geschweisst. Neuerdings werden aber auch mechanische Befestigungsmethoden entwickelt. Für die Befestigung von *EPDM*-Dichtungsbahnen, einem besonders robusten Gummi, gibt es zum Beispiel durchdringungsfreie Klemmhaltersysteme. Die Schweizer Firma *Contec* hat ein solches rückbaubares Befestigungssystem entwickelt (Contec o.J.). Dieses wurde beispielsweise für den *NeighborHub* verwendet, ein Prototyp eines autonomen Gebäudes, der von Universitäten und Hochschulen in der Westschweiz entwickelt und mehrfach auf- und abgebaut wurde. Die Dachabdichtung muss ausreichend geschützt werden, um eine vorzeitige Alterung zu verhindern. Diese Membranen können zum Beispiel mit Kies oder einer Begrünung, die bei Bedarf entfernt werden können, beschwert werden. Wie bei Fassaden, können **Deckungsmaterialien** die Rückbaubarkeit der Hülle gewährleisten. Dachziegeln, Platten, Schiefer und Bleche sind Beispiele für Elemente, die mechanisch befestigt werden können. Die Pflanzschichten von Gründächern könnten auch kompostiert und/oder wiederverwendet werden. Bezüglich der Erzeugung von thermischer oder elektrischer Energie können **thermische Solaranlagen** (*low-tech*) oder Photovoltaikanlagen (*high-tech*) auf dem Dach installiert werden. Jedoch müssen dabei die Möglichkeiten für Recycling und die Umweltauswirkungen der verschiedenen Produkte während ihres gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden.

Fallstudie XXVI **Fassade nicht tragend**

Wie zuvor beschrieben (siehe Fallstudie XXI), wurde das *Temporäre Gerichtsgebäude in Amsterdam* für eine fünfjährige Nutzung konzipiert. Danach sollte es abgebaut und an einem anderen Ort wieder aufgebaut werden. Konfrontiert mit dieser zeitlichen Besonderheit wurden für die meisten Schichten und Komponenten rückbaubare Lösungen entwickelt. Die Gebäudehülle ist nicht tragend. Ihre isolierende Funktion wird durch vorgefertigte Kästen erfüllt. Diese Hohlkästen enthalten die Dämmung und die Dampfsperre. Sie sind aus verschraubten Brettern gefertigt und werden mit Metallwinkeln befestigt. Die Aussenseite der Kästen ist mit einer Membran bespannt, die als äussere Abdeckung dient. Pro Etage sind die Gewebe in einem Stück an Metallfedern befestigt, die von dünnen Stahlprofilen gehalten werden.

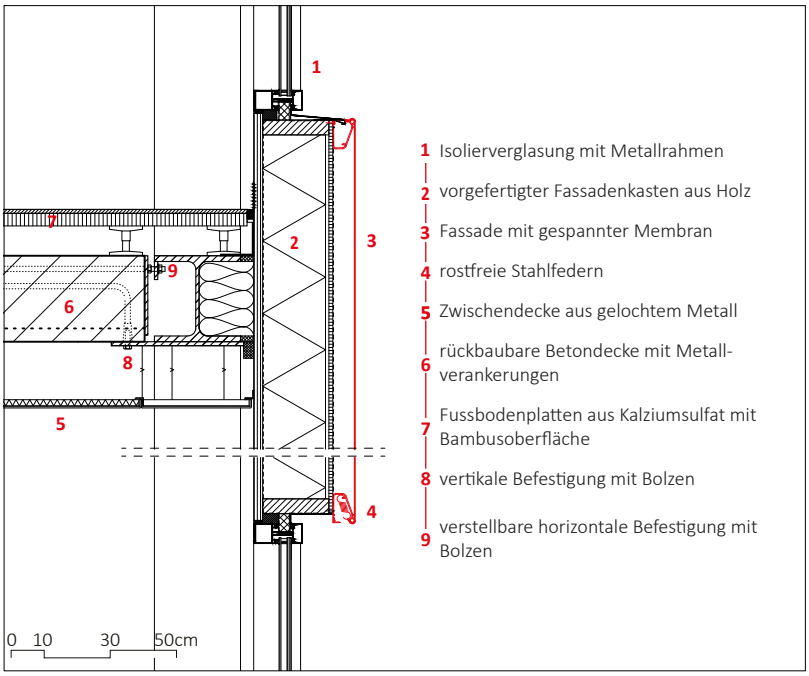
- Entwurf: *cepezed*, NL;
- Auftrag von: *Rijksvastgoedbedrijf*;
- Standort: Amsterdam, NL;
- Status: fertiggestellt in 2016;
- bebaute Fläche: 5'400 m^2;
- Programm: Büros;
- Quellen: cepezed 2020b, Froidevaux 2019, de Danschutter et al. 2017, van Deelen et al. 2017a, 2017b;
- Abbildungen: Prototyp der zerlegbaren Fassadenkästen mit gespannter Membran, die an Federn befestigt ist (b), Foto der Fassade (a) und der entsprechende Schnitt (c).



a



b



1 Isolierverglasung mit Metallrahmen
2 vorgefertigter Fassadenkasten aus Holz
3 Fassade mit gespannter Membran
4 rostfreie Stahlfedern
5 Zwischendecke aus gelochtem Metall
6 rückbaubare Betondecke mit Metall-verankerungen
7 Fussbodenplatten aus Kalziumsulfat mit Bambusoberfläche
8 vertikale Befestigung mit Bolzen
9 verstellbare horizontale Befestigung mit Bolzen

c

Fallstudie XXVII **Metallfassade**

Das Gebäude der *IGUS*-Firmenzentrale wird häufig wegen seiner Erweiterungsfähigkeit und der Flexibilität seines Bausystems und seiner Räumlichkeiten erwähnt (Crowther 1999c). Um die potenzielle Entwicklung des Unternehmens, dessen Produktionsaktivitäten sich schnell verändern, zu antizipieren, wurde das Gebäude ohne innere Unterteilung und mit einer modularen Fassade so konzipiert, dass es seitlich erweitert werden kann (Grimshaw 2020). Der 1994 eingeweihte Hauptsitz wurde über einen Zeitraum von rund zwanzig Jahren in zehn aufeinanderfolgenden Etappen ausgebaut. Die sukzessiven Erweiterungen wurden nach dem Vorbild des ursprünglichen Gebäudes gebaut und sind fast nicht mehr zu unterscheiden. Das System aus Seilverspannungen und Pylonen erlaubt Spannweiten von bis zu 33 Metern, so dass nur wenige Stützen den Innenraum einschränken und ein grosser freier Grundriss entsteht. Die Kuppeln sind vorgefertigt und für den Transport auf Standardlastwagen ausgelegt (Fuster et al. 2009).

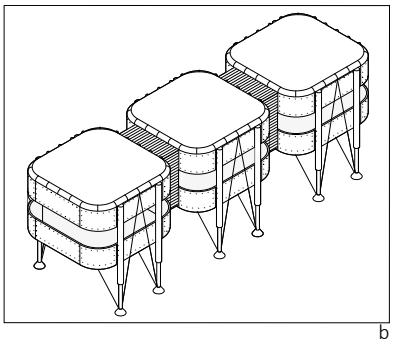
Innen sollte der Raum so flexibel wie möglich sein. Dafür wurde eine Reihe von mobilen, modifizierbaren und reproduzierbaren Prinzipien umgesetzt. Die Sanitäranlagen und Büros sind Blöcke auf Stelzen, die mit einfachem Werkzeug montiert, demontiert und verschoben werden können. Um die Wartung und Änderungen zu erleichtern, sind die technische Anlagen sichtbar. Die Einrichtung besteht aus einer begrenzten Anzahl von Elementen, die je nach Bedarf neu konfiguriert werden können (Fuster et al. 2009).

Das Fassadensystem erlaubt den Austausch von blickdichten, verglasten oder Türelementen je nach Nutzung und Entwicklung des Unternehmens. Diese auswechselbaren Elemente können durch Lösen eines speziellen „geflügelten" Befestigungsstücks mit einer Drehung um 90° leicht entfernt werden. Der Zugang zu den Befestigungen auf der Rückseite der Tafeln wird durch Ausschnitte in den vertikalen Stützen gewährleistet. Eine weiterführende Studie sollte die Herausforderungen des Systems bezüglich der sich ändernden thermischen Standards diskutieren.

- Entwurf: *Grimshaw Architects*, UK;
- Auftrag von: *IGUS*, DE;
- Standort: Köln, DE;
- Status: fertiggestellt 1994, gefolgt von sieben Erweiterungen;
- bebaute Fläche: 32'000 m^2 nach der 7. Erweiterung, 90'000 m^2 heute;
- Programm: Fabrik/Lager/Verkauf/Büros;
- Quellen: Fuster et al. 2009, Grimshaw 2020, igus 2019, Moore 1993, Crowther 1999c;
- Abbildungen: Das Konstruktionsraster und die austauschbaren und abnehmbaren Fassadenmodule korrespondieren miteinander (a,c,f,g). Mobile Module beherbergen die Büro- und Laboreinheiten (b,d,e).



a



b



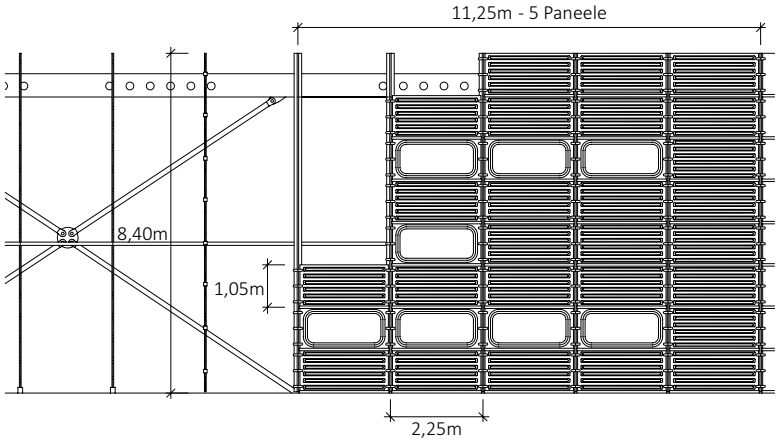
c



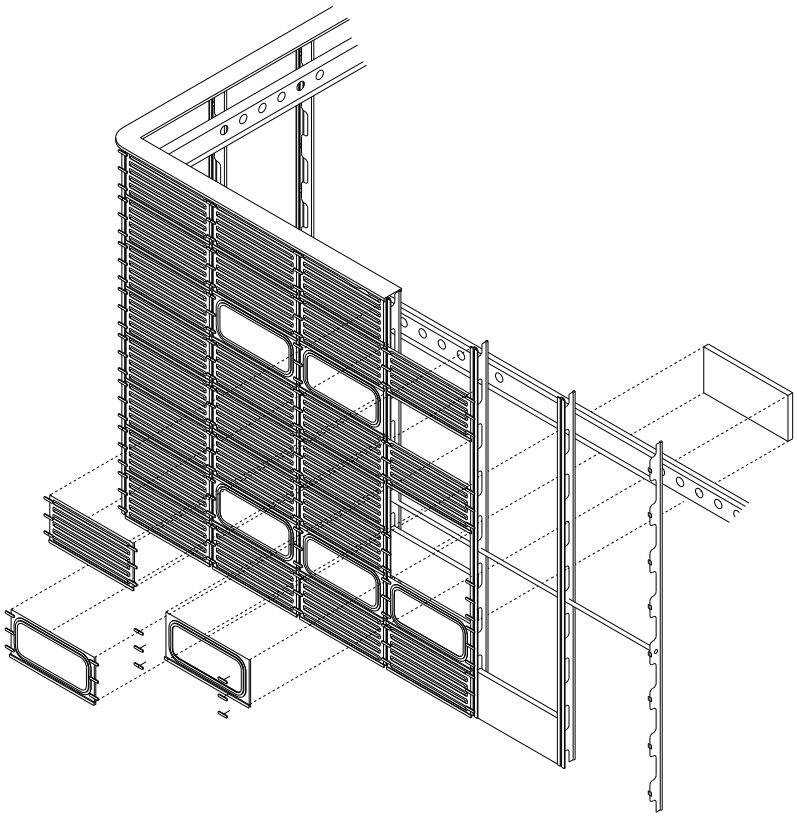
d



e



f



g

Fallstudie XXVIII **Energetische Fassadenrenovierung**

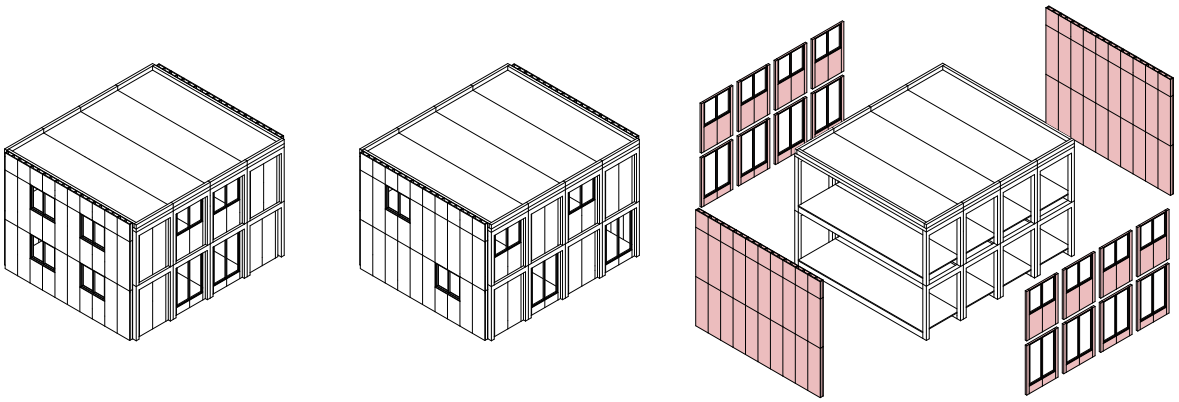
Das *Circular Retrofit Lab* (*CRL*) ist ein angewandtes Forschungsprojekt, mit dem Ziel die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion in Zusammenarbeit mit den Beteiligten aus der Baubranche umzusetzen. Das Projekt muss auf unterschiedliche Nutzungsszenarien reagieren und rückbaubare Strategien umsetzen. Die Konstruktion der ehemaligen Studierendenwohnungen auf dem Campus der *Vrije Universiteit Brussel* (*VUB*) aus den 1970er Jahren wird dafür wiederverwendet. Die Konstruktion ist aus vorgespannten, vorgefertigten und stapelbaren Elementen zusammengesetzt. Diese bestehenden Module des Systems *Variel* wurden vom Schweizer Architekten Fritz Stucky entwickelt. Darauf aufbauend werden im *CRL* Strategien erprobt und umgesetzt. Einerseits können die Module abwechselnd als öffentlicher Raum, Wohngebäude und Arbeitsraum genutzt werden. Andererseits werden die Rückbaubarkeit und das Potenzial für Wiederverwendung und Recycling optimiert.

Die neu entwickelte Gebäudehülle ist aus austauschbaren Elementen aufgebaut. Es sind vorgefertigte isolierte Holzkästen. Sie werden komplett mit mechanischen Verbindungselementen hergestellt und durch Anschrauben mit Metallwinkeln an der bestehenden Tragstruktur befestigt. „Nur das Luftdichtungsband riskiert, nach der Demontage zu Abfall zu werden“ (Brussels Environment und Capelle 2019). Die Modularität der Gebäudehülle erlaubt es, ihre Anordnung in der Fassade je nach Nutzung zu verändern. Die Aussenverkleidung besteht aus Faserzementplatten, um die ehemalige visuelle Identität des Gebäudes zu respektieren. Sie wird auf die Dichtungsebene geschraubt.

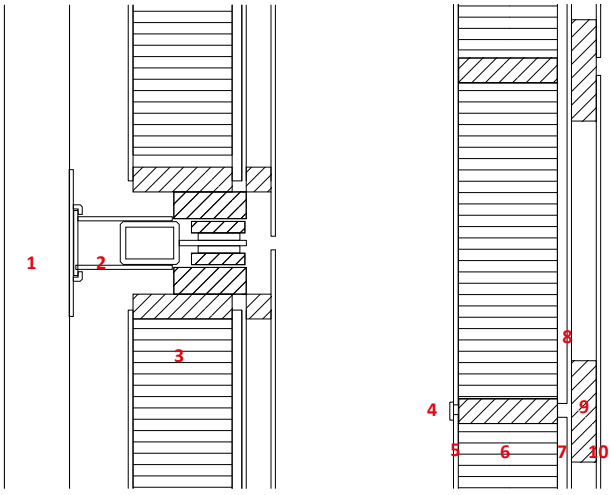
- Architekturbüro: *Kaderstudio*;
- Ingenieurbüro: *MK Engineering*;
- Beratung: Vrije Universiteit Brussel (*VUB*) et *Pierre Berger S.A.*;
- Projektträgerin: *VUB*, BE;
- Standort: Brüssel, BE;
- Status: Renovierung 2019 abgeschlossen;
- Programm: Renovierung von Studentenwohnungen in Fertigbauweise aus den 1970er Jahren für drei Nutzungsszenarien;
- Quelle: Brussels Environment und Capelle 2019;
- Abbildungen: Stapelbare Spannbetonelemente aus den 1970er Jahren werden gesammelt und als Tragsystem für das *CRL* verwendet (a). Neben einem Schema der möglichen Anordnungen der Fassade je nach Nutzung (b) finden sich konstruktive Details der Fassade und der abnehmbaren und austauschbaren Platten (c).



a



b



0 5 10 20 cm

1 bestehendes Tragwerk – vorgespannter Beton
2 Metallbefestigung verschraubt
3 Fertigbauteile
4 Dichtungsband Dampfsperre
5 Bauplatte mit integrierter Winddichtung und Dampfsperre, mechanisch befestigt
6 Dämmung und Unterkonstruktion aus Holz
7 wasserdichte Membran
8 Platte aus Zement/Holzfasern 8 mm, mechanisch befestigt
9 Holzbalken 45 x 184 mm, alle 600 mm
10 Fassadenverkleidung aus Faserzement-platten 8 mm

c

Die folgenden Empfehlungen und Fallbeispiele betreffen rückbaubare Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und elektrotechnische Elemente und Anlagen.

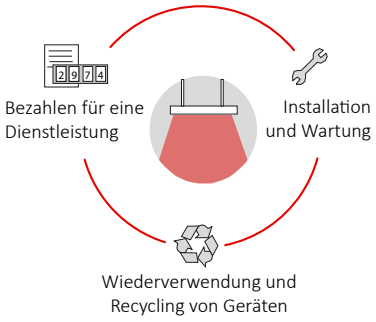
Prinzipien

Die Prinzipien zur rückbaubaren technischen Gebäudeausrüstung sind hier anhand der Empfehlungen von Addis und Schouten (2004) und der *Association Canadienne des Standards* (2006) wiedergegeben:

- Gestalten eines Gebäudes, so dass ein Minimum an technischen Installationen erforderlich ist und die Ausstattung wo möglich vereinfacht wird, indem passive Systeme gegenüber komplexen technischen Lösungen bevorzugt werden (z. B. mit natürlicher Belüftung);
- Vorsehen zugänglicher Anlagen, die leicht zu reparieren und unabhängig von anderen Schichten sind;
- Vermeiden, Anlagen einzubetonieren, in einer Boden- oder Deckenplatte zu vergiessen oder einzugraben. Wo es möglich ist, Trockenverlegen bevorzugen;
- Auswählen reparierbarer Geräte (z. B. Leuchten mit austauschbaren Glühbirnen);
- Systeme leicht auffindbar machen und Verwenden visueller Markierungen, um Zugangspunkte und die Funktion der Installationen schnell zu erkennen;
- Gruppieren und Anordnen der Installationskanäle, so dass Änderungen in der Raumnutzung möglich sind;
- Verwenden von Doppelböden/Zwischendecken und/oder abnehmbaren Sockelleisten sowie freiliegenden Installationen;
- Bevorzugen von Komponenten in Standardgrössen und von flexiblen Leitungen und Rohren, wenn möglich;
- Maximieren der Länge der Rohre, zur Erhöhung der Chancen für die Wiederverwendung, eventuell in kürzeren Stücken;
- Erwägen technische Geräte anzumieten (z.B. Aufzug, Beleuchtungskörper, etc.);
- bei grossen Geräten nach Möglichkeit mehrere Einheiten verwenden, was den Weiterverkauf erleichtern kann;
- Bevorzugen von Geräten, deren Komponenten leicht zerlegbar sind und Sicherstellen, dass diese von Lieferungs- und Aufbereitungsunternehmen recycelt werden können.

Fallstudie XXIX **Beleuchtung als Dienstleistung**

In Anlehnung an die Prinzipien der *Performance Economy* von Walter Stahel (1982), entwickelte *Philips* in Zusammenarbeit mit Thomas Rau das System *pay-per-lux*. Dieses System ist am Flughafen Schiphol in den Niederlanden eingerichtet. „Die Logik ist wie folgt: *Philips* verpflichtet sich, ein bestimmtes Beleuchtungsergebnis zu erzielen und bleibt Besitzer aller technischen Anlagen, während der Flughafen nur für die Nutzung des Systems zahlt. Wenn das Ziel nicht mehr erreicht wird [...], liegt es am Anbieter, einzugreifen“ (Ellen MacArthur Foundation 2020, eigene Übersetzung). Mit anderen Worten: Bei diesem System zahlt die Kundschaft für den Beleuchtungsservice, anstatt das System zu kaufen, und die Anlage bleibt Eigentum von *Philips*. Das Unternehmen wird deshalb versuchen, die Anlage zu optimieren. Diese Art von Engagement trägt dazu bei, veraltete technischen Anlagen zu verhindern, da die Beauftragten von der Minimierung von Eingriffen und der Verlängerung der Nutzungsdauer der Anlagen profitiert. Ausserdem werden dadurch die Probleme bei der Rückgewinnung und Zertifizierung im Falle einer Demontage tendenziell eingeschränkt.



› Quellen: Stahel 1982, Ellen MacArthur Foundation 2020;

› Abbildung: Licht wird als Dienstleistung und nicht als Ware verkauft.

Fallstudie XXX **Aufstockung und Dämmung**

Der *Intelligent Workplace* ist ein Projekt für eine Aufstockung auf dem Campus der *Carnegie Mellon University*. Das Projekt, bei dem neun vorgefertigte Module auf das bestehende Dach eines Gebäudes aufgesetzt wurden, war vom Wunsch nach Flexibilität und Rückbaubarkeit geleitet. Die technischen Installationen des Gebäudes sind zugänglich und leicht demontierbar. Der Einsatz eines herausnehmbaren Doppelbodens ermöglicht den Zugang zu den technischen Installationen im Boden. Die Anlagen an der Decke sind sichtbar und führen durch den offenen Dachstuhl. Die inneren Trennwände enthalten keine elektrischen Installationen und sind daher leichter zu bewegen. Gleichzeitig ist die Stahlkonstruktion verschraubt und kann in vier Tagen komplett demontiert werden. Die Geometrie der Module und die Anordnung der Verglasung optimieren das natürliche Licht.

› Entwurf: *Bohlin Cywinski Jackson* und *Pierre Zoell*;

› Auftrag von: *The Center for Building Performance and Diagnostics*, *Carnegie Mellon University*;

› Standort: Pittsburgh, USA;

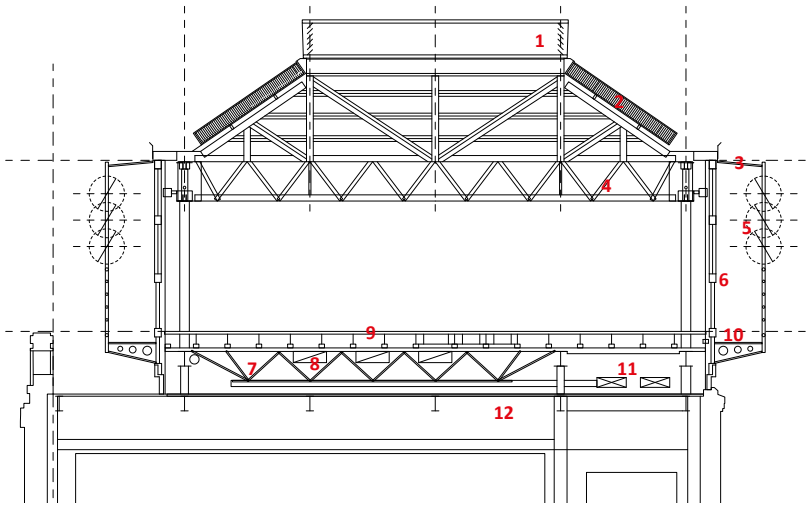
› Status: fertiggestellt im Jahr 1997;

› Fläche: 770 m^2;

› Programm: Restaurant und Tagungsraum;

› Quellen: Bohlin Cywinksi Jackson 2020, BAZED 2020b;

› Abbildungen: Die Aufstockung des Gebäudes *Margaret Morrison* besteht aus neun Modulen und ist rückbaubar und anpassungsfähig konzipiert (b,d). Das natürliche Belüftungssystem reduziert die Anzahl der Servicekanäle. Diese Kanäle liegen frei oder befinden sich im Doppelboden (a,e). Die Innenwände sind von ihnen getrennt und können verschoben werden (c).



1 Öffung für natürliche Belüftung
2 isolierende Dachplatten
3 programmierbare Beschattungsvorrichtung
4 modulares Tragwerk aus recyceltem Stahl
5 drehbare Glaslamellen
6 Pfosten mit Kühl-/Heizsystem
7 Metalltragwerk
8 Rohrdurchführung
9 abnehmbarer Doppelboden auf Ständern
10 Wartungssteg
11 Hauptluftversorgung
12 bestehendes Dach

a



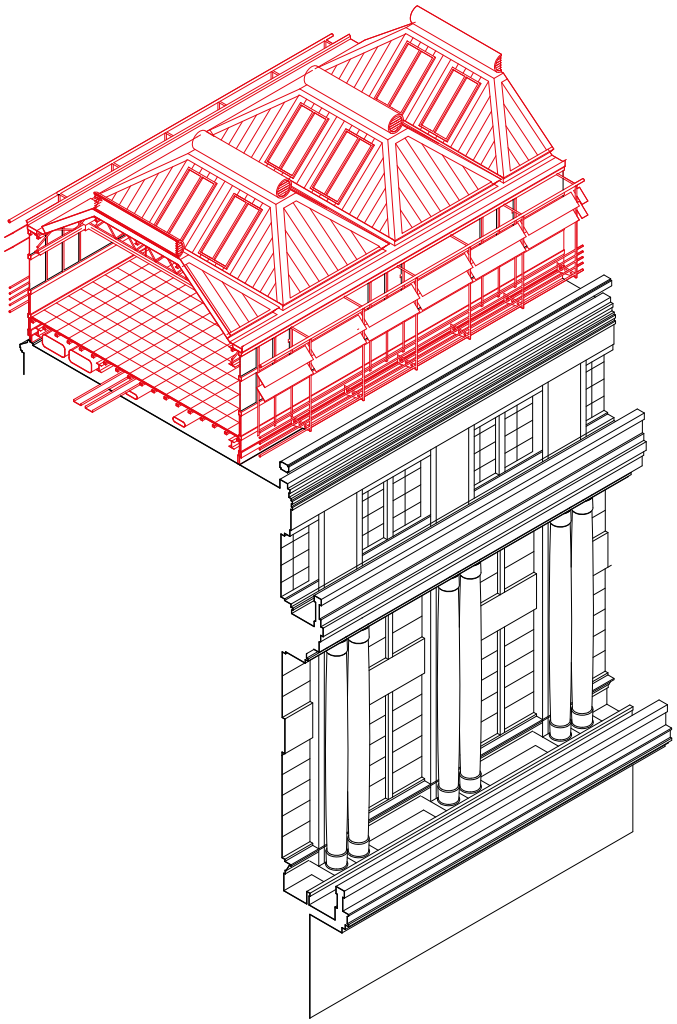
b



c



d

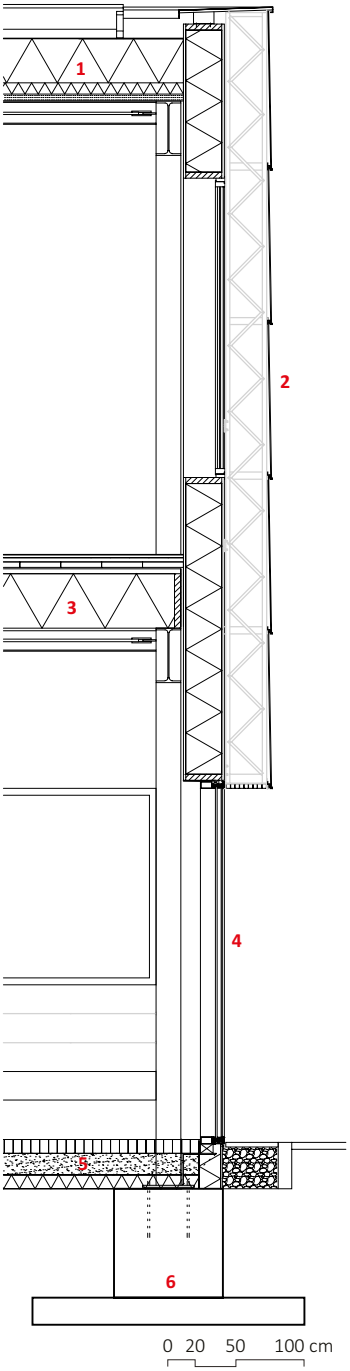


e

Fallstudie XXXI **Heizungsanlage für Büros**

Eine Fussbodenheizung wird konventionell nass verlegt: Sie wird auf der Dämmschicht befestigt und anschliessend im Unterlagsboden eingeschlossen. Bei dieser Technik kann die Anlage nicht modifiziert, repariert oder vorsichtig demontiert werden. Alternativ kann die Fussbodenheizung auch trocken verlegt werden. In diesem Fall werden die Rohre in dafür vorgesehene Rillen auf der Oberseite einer Dämmschicht verkeilt. Diese Lösung wurde in *The Green House* umgesetzt. Auf die Dämmschicht wurden gebrauchte Pflastersteine gelegt.

› Entwurf: *cepezed*, NL;
› Auftrag von: *R Creators*, NL;
› Standort: Utrecht, NL;
› Status: fertiggestellt in 2018;
› Fläche: 770 m^2;
› Programm: Restaurant und Tagungsraum
› Quellen: cepezed 2020a, Froidevaux 2019, Pintos 2019;
› Abbildungen: Innenansicht (a). Konstruktive Details von Böden und Fassade (b). Detail eines Fussbodens mit Fussbodenheizung, die trocken auf einer gerillten Dämmschicht montiert ist (c).





a

1 Dach aus Stahlblech, perforiert und mit akkustischer Isolation gefüllt

2 wiederverwendete Rauchglasscheiben auf galvanisierten Fachwerkträgern

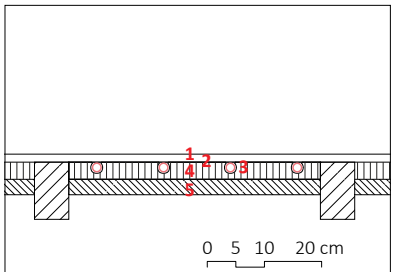
3 vorgefertigter Holzboden unter wiederverwendeten Pflasterklinkern zur Körperschalldämmung mit einer trocken verlegten Fussbodenheizung

4 Vorhangfassade aus Aluminium ohne verklebte Fugen

5 wiederverwendete Pflasterklinker auf Sand mit Fussbodenheizung und -kühlung, druckresistente Dämmung

6 Fundation aus vorfabrizierten Betonelementen

b



1 Parkettboden 14 mm

2 Aluminiumfolie 1 mm

3 mehrschichtiges Rohr 16 mm

4 Polystyrol 30 mm

5 Holzplatte 27 mm

c

Trennwände und Innenverkleidungen

Die spezifischen Prinzipien von rückbaubaren Innentrennwänden und Verkleidungen unterstreichen indirekt die Problematik der konventionellen Leichtbauwände aus Gips auf Metallrahmen, dem in der Schweiz am meisten verbreiteten System. Angesichts dieser Schwierigkeiten braucht es unweigerlich weitere Innovationen für rückbaubare Trennwände, die an alle Funktionen angepasst sind. Die folgenden Abschnitte stellen Fallstudien mit Untersuchungen in dieser Richtung vor.

Dieser Abschnitt steht in direktem Zusammenhang mit dem vorhergehenden, der sich mit technischen Installationen beschäftigt. Einige der für die eine Schicht vorgestellten Ansätze gelten auch für die jeweils andere. Zum Beispiel werden Doppelböden und Zwischendecken durch Fallstudien im Abschnitt über die Gebäudetechnik veranschaulicht.

Prinzipien

Die spezifischen Prinzipien für die rückbaubare Konstruktion von Trennwänden und Innenverkleidungen beziehen sich auf Seite 38 in Addis und Schouten (2004):

- Entwerfen von Wänden, die demontiert, verschoben und repariert werden können, um die Sicherheits- und Komfortstandards der verschiedenen Nutzungsszenarien zu erfüllen;
- wenn es die Höhe zulässt, Zwischendecken oder Doppelböden verwenden und Standardabmessungen und hochwertige Materialien bevorzugen, die rückbaubar befestigt werden, idealerweise ohne Bohren;
- Vermeiden der Leitungsführung durch nicht veränderbare Trennelemente, sondern diese mit Fussleisten ausstatten;
- Einschränken der konventionellen Verwendung von Gips und Entwickeln demontierbarer Lösungen;
- Bei Mauerwerk, Verwenden von weicherem Mörtel im Vergleich zur Festigkeit der Ziegelsteine;
- Erwägen der Verwendung von beweglichen Fertigteilwänden, insbesondere in Büroräumen;
- Verwenden von rückbaubaren Befestigungen für Bodenbeläge;
- Bevorzugen von rohen, unbeschichteten, natürlich gefärbten Materialien „und Holzarbeiten im Innenbereich sollten idealerweise mit Wachs oder natürlichen Beizen statt mit Farbe behandelt werden“ (Morgan und Stevenson 2005).

Rückbaubarkeit von Trennwänden

Leichte Gipstrennwände sind in der Schweiz am weitesten verbreitet. Diese Wände bestehen in der Regel aus einer oder zwei Gipsplatten, die auf beide Seiten eines Metallrahmens geschraubt werden. Sie werden heutzutage auf eine nahezu irreversible Weise aufgebaut: Die Befestigungen sind verdeckt, die fragilen Gipsplatten und der Wandfuss sind unter dem Niveau des Bodenbelags eingelassen. Werden die Trennwände vor den Bodenbelägen eingebaut, entsteht ein Unterbruch, was eine zusätzliche Herausforderung für die Flexibilität des Raums darstellt. Wenn sie beim Rückbau nicht zu stark beschädigt wird, kann die Metallunterkonstruktion für eine Wiederverwendung geeignet sein.

Konventionelle leichte Holzwände sind zwar gebräuchlich jedoch weniger häufig anzutreffen als Gipswände. Sie werden auf Holzrahmen aufgebaut. Darauf werden Holzbretter in verschiedenen Grössen und Arten befestigt. Die Verkleidung kann aus Paneelen (Dreischicht-, Massivholz-, Span-, Faser-, Sperrholzplatten, usw.) oder Täfer hergestellt werden. Die Holzverkleidung von Trennwänden, die nicht eingelassen sind, kann theoretisch demontiert werden, sofern ihre Befestigungen zugänglich und rückbaubar sind. Die geringe Grösse der Teile erleichtert örtlich begrenzte Reparaturen, erhöht aber die Montage- und Demontagezeit. Auch hier ist der Unterbruch der Boden- und Deckenverkleidungen eine grosse Herausforderung bei der Veränderung der Raumaufteilung. Wenn die Befestigungen es zulassen, können demontierte Wände in gutem Zustand theoretisch wiederverwendet werden. Dies wird durch die Abmessungen der Wände und den zusätzlichen Zeitaufwand eingeschränkt. Die Chancen für die Wiederverwendung werden durch folgende Faktoren erhöht: keine ungewöhnlichen Beschichtungen und die Verwendung von Standardmassen, insbesondere in Bezug auf die Höhe. Die Wiederverwendbarkeit hängt von der Art der verwendeten Produkte und möglichen Verunreinigungen ab (z. B. durch Klebstoffe, Farben oder Lacke).

Wegen der hohen Frequenz von Umbauten in Bürogebäuden wurden **bewegliche Trennwandsysteme** entwickelt. Dabei handelt es sich oft um modulare Systeme mit austauschbaren blickdichten, verglasten und zu öffnenden Elementen, die auf am Boden verschraubten Schienen befestigt sind. Diese werkseitig vorgefertigten Elemente werden trocken aufgebaut und können leicht montiert und demontiert werden. Sie sind so konzipiert, dass sie verschoben und die Elemente ausgetauscht werden können. Obwohl die Trennwände leicht ab- und wieder aufzubauen sind, ist ihre Wiederverwendung in einem anderen Gebäude oder einer anderen Funktion trotzdem von der festen Höhe der Wände und ihren bauphysikalischen Kapazitäten abhängig. Heute sind diese Systeme nicht für andere Funktionen als Büroräume ausgelegt. Ihre Kapazitäten, zum Beispiel im Bereich Schallschutz, erlauben in der Regel nicht die Trennung von zwei Wohnungen.

Rückbaubarkeit von Verkleidungen

Bei der Analyse von ausgewählten Deckenverkleidungen durch Sassi (2002) (Abbildung 30) haben abgehängte Decken aus Mineralwolle- oder Metallplatten und an Balken befestigte Holzplatten das höchste Potenzial für eine Wiederverwendung. Zwischendecken haben den zusätzlichen Vorteil, dass sie eine unabhängige Durchführung von technischen Installationen ermöglichen. Gipsdecken hingegen sind zerbrechlich und nur schwer sorgfältig demontierbar.

Sassi führte eine ähnliche Analyse für Bodenbeläge durch (Abbildung 29). Daraus geht hervor, dass ungeklebte Teppichfliesen, zum Beispiel auf Unterbodenplatten und Holzböden montiert, unter den bewerteten Techniken das höchste Potenzial für eine Wiederverwendung haben. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über einige der Techniken.

Je nachdem, wie sie verlegt sind, können **Teppichfliesen** leicht entfernt werden. Wenn sie zusammengesteckt werden, sind sie leicht anzuheben und zu stapeln. Ihre Standardisierung unterstützt ihre Wiederverwendung. In Rollen verlegte Teppiche sind schwieriger wiederzuverwenden und geklebte Teppiche sind schwieriger zu entfernen. Die Bereiche mit der grössten Abnutzung müssen regelmässig ausgetauscht werden.

Teppichfliesen können mit einem System von **Unterbodenplatten** gekoppelt werden. Diese Trägerplatten, oft aus Holz und/oder Metall, werden auf Systemen aus kleinen verschraubten Ständern montiert. Die gesamte Baugruppe ist leicht zu demontieren und wieder aufzubauen. Die Firma Mobius hat sich unter anderem auf die Rückgewinnung und den Wiederverkauf von Doppelböden mit Teppich spezialisiert. Die Höhe der Ständer ermöglicht, die technischen Installationen zwischen der tragenden Geschossplatte und den Doppelbodenplatten durchzuführen.

Parkettböden sind sehr pflegeintensiv, aber wenn sie mechanisch befestigt (zum Beispiel zusammengesteckt) sind, technisch rückbaubar und wiederverwendbar. Ein sorgfältiger Rückbau erfordert jedoch einen erheblichen zeitlichen Mehraufwand.

Fliesen sind pflegeleicht und können vielseitig eingesetzt werden. Obwohl sie eine lange Lebensdauer haben, lassen sie aber keine Änderungen zu. Auch können keine rückbaubaren Installationen durch den Boden geführt werden. Obwohl Säge- und Reinigungsmethoden im Hinblick auf die Wiederverwendung entwickelt wurden, ist dieser Prozess immer noch sehr aufwendig.

Ein **Linoleumboden** benötigt wenig Pflege. Linoleum kann unter Umständen als Belag auf Doppelbodenplatten eingesetzt werden und so zur Unabhängigkeit der technischen Installationen beitragen. Auch wenn Linoleum heute ohne Kleber fixiert und vorsichtig demontiert werden kann, schränken Abnutzungsspuren die Möglichkeiten der Wiederverwendung ein.

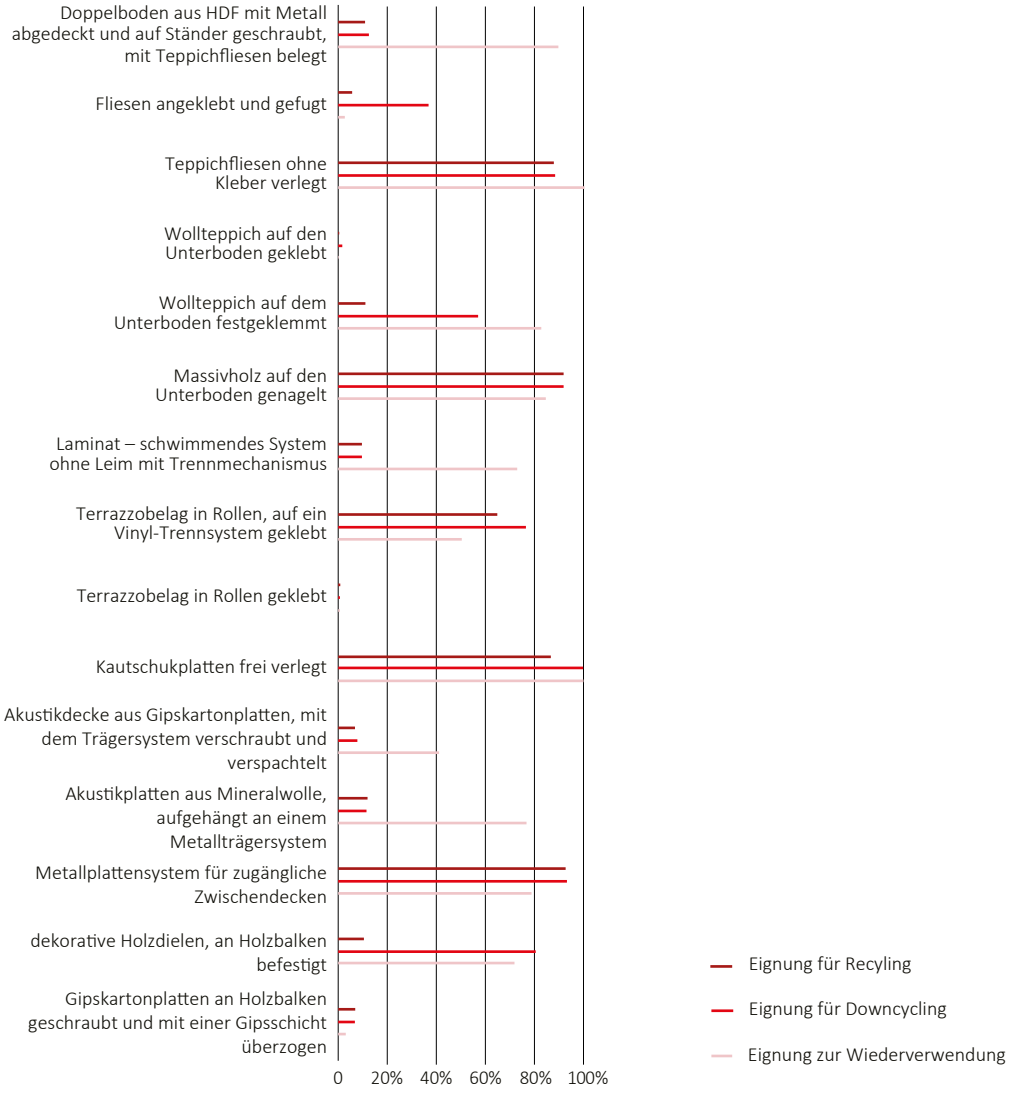


Abbildung 29 · Bewertung der Eignung ausgewählter Boden- und Deckenbelägen für die Wiederverwendung oder Recycling nach Sassi (2002).

Fallstudie XXXII Trennwände

Das in Fallstudie XXVIII vorgestellte *Circular Retrofit Lab* (*CRL*) ist ein angewandtes Forschungsprojekt. Dessen Ziel es ist, die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion in Zusammenarbeit mit Beteiligten der Baubranche umzusetzen. Durch ein Renovierungsprojekt soll das Gebäude in der Lage sein, verschiedene Nutzungen (öffentlicher Raum, Wohnen, Büros) aufzunehmen und gleichzeitig den Abfall und den Verbrauch neuer Materialien während dieser Umwandlungen zu minimieren. Hierfür wurden fünf Innenwandsysteme aus bestehenden, auf dem Markt erhältlichen Produkten entwickelt. Sie zeigen „ein starkes Potenzial zum Erreichen der Ziele der Kreislaufwirtschaft, wie sie im Rahmen von *BAMB* vorgesehenen sind" (Brussels Environment und Capelle 2019). Die ursprünglichen Systeme und ihre verbesserten Varianten wurden anhand von zwölf Kriterien getestet:

- die Rückbaubarkeit der Befestigungen;
- die Geschwindigkeit und Einfachheit der Montage;
- die Möglichkeit der Verwendung von gebrauchten Materialien;
- die Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung;
- die Ästhetik der Befestigungen;
- der akustische Komfort;
- die Flexibilität bei der Integration von technischen Systemen;
- die Auswechselbarkeit von Komponenten;
- die Anschaffungskosten;
- die Umweltauswirkungen;
- die Rückbaubarkeit und Wiederverwendbarkeit;
- die Energieeffizienz.

Ein erstes untersuchtes Produkt ist das System *Saint-Gobain 2*, ein Leichtwandsystem aus Faserplatten, die auf einem mit Dämmung gefüllten Metallrahmen montiert sind. Um das System zu verbessern, wurden U-förmige Profile zum Anschrauben der Verkleidungsplatten verwendet und eine Sockelleiste für unabhängige elektrische Installationen hinzugefügt. Zu den anhaltenden Schwierigkeiten gehören die Demontagezeit und die Beschädigung der unteren Schienen.

Das zweite System ist *Geberit GIS*, ein vorgefertigtes Elementsystem, das ursprünglich für Sanitärtrennwände aus drei Grundelementen entwickelt wurde. Ziel war es, das System auf andere Funktionen zu erweitern und mit vollständig demontierbaren Teilen zu versehen. Das Forschungsprojekt konzentrierte sich auf die Entwicklung von rückbaubaren Befestigungen, unsichtbaren Verbindungen und luftdichten Paneelen zur Erhöhung des akustischen Komforts. Ausser in den Nassbereichen wurden die Gipsplatten durch widerstandsfähigere Holzplatten ersetzt.

Ein drittes untersuchtes Produkt ist das System *JuuNoo*. Ein in Belgien entwickeltes System, das auf vorgefertigten, mit Dämmung gefüllten Metallrahmen basiert und in der Höhe anpassbar ist. Ein wesentliches Merkmal von *JuuNoo* ist dessen Befestigung an Boden und Decke sowie der Paneele mittels Klettverschlusses. „Verschiedene Versionen der Systeme wurden vom Hersteller entwickelt, um die akustische Leistung, die Schlagfestigkeit und die Installationseffizienz zu verbessern und die Kosten zu senken. Der neueste Prototyp, der im [*CRL*] installiert wurde, besteht aus Sigma-Profilen mit verbesserter Schalldämmung. Die langgestreckte H-Form der Elemente reduziert den Materialverbrauch gegenüber der Vorgängerversion und lässt sich kompakter lagern und transportieren." (Brussels Environment und Capelle 2019, eigene Übersetzung) Eine bestehende Schwierigkeit ist die Widerstandsfähigkeit der Klettstreifen, die bei der Demontage die Decke noch beschädigen, sowie die Zerbrechlichkeit der Ecken der Faserplatten.

- Architekturbüro: *Kaderstudio*;
- Ingenieurbüro: *MK Engineering*;
- Beratung: *Vrije Universiteit Brussel* (*VUB*) und *Pierre Berger S.A.*;
- Projektträgerin: *VUB*, BE;
- Standort: Brüssel, BE;
- Status: Renovierung in 2019 abgeschlossen;
- Programm: Renovierung von Studentenwohnungen in Fertigbauweise aus den 1970er Jahren für 3 Nutzungsszenarien;
- Quelle: Brussels Environment und Capelle 2019;
- Abbildungen: Prototypen basierend auf den Systemen *Geberit GIS* (a), *JuuNoo* (b,d) und *Saint Gobain 2* (c,d).



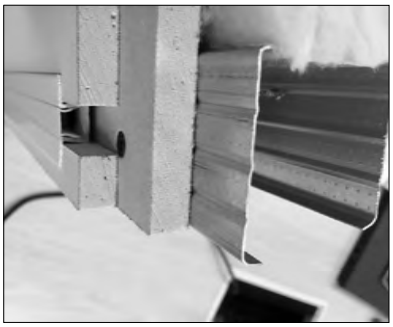
a



b



d



c



e

Einrichtung und Möblierung

Die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion lassen sich auch auf Inneneinrichtungen übertragen. Zum Beispiel existieren mehrere Initiativen auf Gebäudeebene, wie die austauschbaren Möbel im *Martini Hospital* in Groningen in den Niederlanden (Architizer 2013, Molenaar 2013, SEED architects 2020) oder mobile Kücheneinheiten in der *Maison du Projet* in Roubaix in Frankreich, die durch Schläuche versorgt werden (Hamburger Umweltinstitut 2018, Le Off du DD 2019). Der nachfolgende Text listet die spezifischen Prinzipien für diese Gebäudeschichten auf und veranschaulicht sie an einigen Beispielen.

Prinzipien

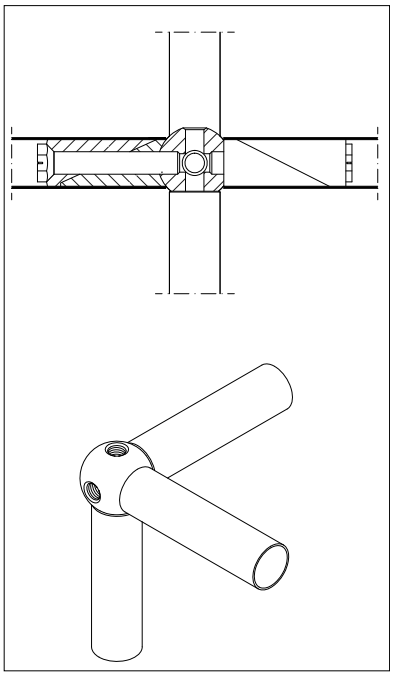
Die spezifischen Prinzipien für die rückbaubare Konstruktion von Inneneinrichtungen sind:

- Entwerfen von Elementen, die leicht gereinigt und repariert werden können (z. B. abziehbare Sofas);
- Mieten von Möbeln, insbesondere für den kurzfristigen Bedarf;
- Verwenden von modularen und erweiterbaren Möbeln, die an neue Konfigurationen angepasst werden können;
- Bevorzugen von Möbeln, deren Oberflächen aus visuellen, Verschleiss- oder Abnutzungsgründen ausgetauscht werden können;
- Aufbewahren der Montageanleitungen, sicher und dauerhaft, und Implementieren einer Datenbank über alle Möbel bei hohen Stückzahlen;
- Rückbaubares Befestigen der Möbel.

Beispiele

Das Möbelsystem *USM Haller* steht sinnbildlich für modulare Möbel. Es basiert auf der Arbeit von Fritz Haller für die neue Produktionshalle des Berner Unternehmens *USM U. Schärer Söhne AG*, für die er ein Stahlrahmengebäude entwarf, das sowohl modular als auch erweiterbar ist (Abbildung 30). Indem sie die Prinzipien des Fabrikgebäudes auf Möbel übertrugen, entwickelten Fritz Haller und Paul Schärer gemeinsam das System *USM Haller*. Es besteht aus drei Komponenten: der kugelförmigen Verbindung, den Rohren und den Verkleidungsplatten (U. Schärer Söhne 1965, USM 2020, Grandjean 2014). Dank der fast unendlichen Kombinationsmöglichkeiten, der standardisierten Abmessungen und der hochwertigen Materialien werden *USM* Möbel nur selten ausrangiert. Sie werden oft auf dem Gebrauchtmarkt weiterverkauft und möglicherweise neu zusammengestellt. Die Beständigkeit des Systems ist direkt mit dem Fortbestehen der Produktionsfirma und der internationalen Verfügbarkeit des Systems verbunden.

Ähnlich wie bei *Philips* mit dem System *pay-per-lux* wurde im niederländischen Gewerbezentrum *Park 20|20* ein Mietsystem für Einrichtungsgegenstände installiert (Cheshire 2016, Gorgolewski 2017). Dieses Projekt ist von den *Cradle to Cradle* Prinzipien inspiriert und hat das Ziel, Kreislaufstrategien so weit wie möglich anzuwenden, um die Qualität von Rohstoffen über mehrere Lebenszyklen zu erhalten. Zugleich wurden mit mehreren Firmen Mietverträge für verschiedene Elemente abgeschlossen: Büromöbel werden von *Ahrend* gemietet, Teppichfliesen von *Desso* und Beleuchtung von zwei weiteren Firmen. Dadurch soll eine bessere Wartung gewährleistet und der Rücknahmeservice optimiert werden.



a



b



c

Abbildung 30 · Details aus dem Patent des Systems *USM Haller* (a). Das modulare System orientiert sich an den Arbeiten von Fritz Haller für die *USM* Fabrik (b). Die langfristige internationale Verfügbarkeit des Möbelsystems trägt zu dessen Nachhaltigkeit bei.

Entwicklungsstrategien

Die in diesem Abschnitt aufgezeigten Empfehlungen zielen darauf ab, die Rückbaubarkeit zu etablieren und so das nachhaltige Bauen und die Abfallreduzierung im Bausektor zu unterstützen. Des Weiteren sollen diese Empfehlungen die Umsetzung der Prinzipien in grossem Massstab ermöglichen. Ausserdem leisten sie einen Beitrag zur Aufwertung der verfügbaren Ressourcen und zur Reduzierung der Obsoleszenz von Gebäuden.

Ausbilden und Verbreiten von bewährten Praktiken

Die Verbreitung bewährter und aussichtsreicher Methoden sollte hochwertige Referenzen für Architektinnen/Architekten, Bauherrschaften und Gesetzgebende liefern. Eine objektive und präzise Darstellung dieser Beispiele soll es in Zukunft ermöglichen, den Beteiligten den Einsatz und das Potenzial der rückbaubaren Konstruktion näher zu bringen. Parallel und wie beim Rückbau müssen Schulungen den Fachleuten des Sektors praktisches und theoretisches Wissen zur Rückbaubarkeit vermitteln. Nach obligatorischen und universitären Ausbildungen rund um Gebäude und Raumplanung und in Weiterbildungskursen muss dieses Wissen in Kursen an die Ausführenden weitergegeben werden, von der Produktion bis zum Management.

Wer kann handeln? Schulungszentren sind am besten in der Lage, solche Kurse einzurichten. Berufsverbände wie die *SIA* können ebenfalls spezifische Schulungen anbieten. Die Kantone, der Bund, die Berufsverbände und die Ausbildungsstätten (technische Hochschulen, Fachhochschulen, usw.) können in Zusammenarbeit mit Ausführenden und akademischem Personal die Vermittlung von guten Vorgehensweisen einführen.

Beispiele: Immer mehr Universitäten bieten optionale Ausbildungsmodule zur rückbaubaren Konstruktion an, zum Beispiel die *TUDelft* (TU Delft 2020), die *EPFL* (EPFL 2020), die *ETHZ* (DARCH 2020, Hebel et al. 2017) und die *Cornell University* (Cornell AAP 2020).

Schrittweise Vorschreiben von Bauteil-/Gebäudepässen

Dauerhafte, zugängliche und qualitative Informationen unterstützen die Rückbaubarkeit eines Gebäudes und die Weiterverwendung seiner Komponenten. Digitale Bauteil-/Gebäudepässe sind Datenbanken, die Informationen über Komponenten und die Geometrie der Konstruktion enthalten (siehe ‚Garantieren eines dauerhaften Informationsmanagements'). In Kombination mit einer oder mehreren Informationstechnologien (z. B. Building Information Modeling *BIM*, Geographisches Informationssystem *GIS*, *Cloud*-Speicherdienste, usw.) können solche Pässe gut geeignete Werkzeuge für ein nachhaltiges Datenmanagement sein (Gorgolewski 2017, Guldager et al. 2016, Heinrich und Lang 2019, Luscuere 2016, Mulhallet al. 2017).). Indem die Pässe für öffentliche Aufträge vorgeschrieben werden, könnten die Behörden eine Testphase durchführen. Ab einer bestimmten Projektgrösse könnten diese Pässe ein Kriterium zum Erlangen von Nachhaltigkeits-Zertifikaten werden. Es ist jedoch wichtig, sich bei der Entwicklung solcher Hilfsmittel der Risiken von veralteten Dateiformaten und Umweltbelastungen der Computerspeicherung bewusst zu sein.

Voraussetzungen: Die oben vorgestellte Plattform *Madaster* bietet die online Speicherung von Informationen zu Gebäude und deren Komponenten. Sie hat von einem Forschungsfonds der Europäischen Union profitiert. Es handelt sich um eine Datenbank von verwendeten Bauteilen, die sicherstellen soll, dass die Daten gespeichert und zugänglich sind. Die Plattform wurde kürzlich in der Schweiz eingeführt (Madaster 2020).

Standardisieren von rückbaubaren und modularen Bausystemen

Die Wiederverwendung eines rückbaubaren und modularen Bausystems kann durch seine weit verbreitete und häufige Verwendung gefördert werden. Wie bei Computer-Hardware kann die Standardisierung bestimmter Verbindungstypen bis zu einem gewissen Grad die Möglichkeiten zu Veränderung, Wiederverwendung und Austausch von Komponenten verbessern. Das Verschrauben von Stahlprofilen ist ein erstes Beispiel. Dabei müssen sich die Herstellungsfirmen für eine angemessene Standardisierung der rückbaubaren Verbindungen und bestimmter Komponenten abstimmen. Es soll dadurch für die Integration des Projekts in den Standort und Kontext jedoch kein Nachteil entstehen oder die architektonische Flexibilität, die für die Umsetzung des Gebäudekonzepts erforderlich ist, nicht behindern.

Voraussetzungen: Die modulare Bauweise hat ein deutliches Potenzial für urbane Umgebungen in ständiger Entwicklung. Das Schweizer System *Variel*, das in der Abbildung der Fallstudie XXVIII dargestellt ist, wurde in den 1950er Jahren entwickelt. Für aktuellere Beispiele und zusätzliche Informationen bietet *Modulart* eine umfassende Informationsplattform zum modularen Bauen, seinen Entwicklungsmöglichkeiten und Anwendungen (Modulart 2020). Eine Reihe von Artikeln und Projekten wird auf ihrer Internetseite vorgestellt.

Integrieren der Rückbaubarkeit in Labels für nachhaltiges Bauen

Eine aktuelle Studie zu unterschiedlichen Methoden der Lebenszyklusanalyse von wiederverwendeten Bauteilen (De Wolf et al. 2020) zeigt eine Differenz unter den Ergebnissen, welche von Unsicherheiten im Bezug auf die Wiederverwendbarkeit der Bauteile herrührt. Die Zuordnung der Umweltauswirkungen der einzelnen Lebenszyklen ist bis heute nicht klar definiert und bleibt ein wichtiger Diskussionspunkt. Das Unterscheiden und Zuordnen der Umweltauswirkungen zwischen dem ersten, den dazwischenliegenden und dem letzten Lebenszyklus sollten eine Bewertung unterstützen, die zuverlässig und an die Kreislaufwirtschaft angepasste ist.

Ausserdem zeigte eine Analyse von sechs Labels für nachhaltiges Bauen, die in der Schweiz und international am weitesten verbreitet sind, dass die Kriterien zu Flexibilität und Rückbaubarkeit nur ungleichmässig in deren Zertifizierungen einfliessen (suissetec 2016) Zudem arbeiten die meisten Labels mit Durchschnittswerten, gekoppelt an Mindestanforderungen, berücksichtigen aber die räumliche und/oder technische Rückbaubarkeit nur unzureichend. So bleibt die Rückbaubarkeit oft ein optionales Kriterium und es kann meistens mit einem oder mehreren anderen Kriterien des nachhaltigen Bauens kompensiert werden. Dadurch ist es heute möglich, ein Gebäude mit einem Nach-

haltigkeitslabel zu zertifizieren, ohne dass es flexibel oder anpassungsfähig ist. Eine Anpassung des Stellenwerts der Rückbaubarkeit bei einigen Labels würde die praktische Umsetzung der Prinzipien beschleunigen.

Das deutsche Label ***DGNB*** (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) wird heute auch in einer Version angeboten, die an den Schweizer Kontext angepasst ist. Zur Erlangung der Zertifizierung müssen Projekte die Mindestanforderungen für bestimmte Kriterien erfüllen. Der Bewertungsmassstab der Zertifizierung hängt von der Umsetzung des Gesamten wie auch der Teilbereiche ab. Für alle Kriterien muss ein Mindestanteil in allen fünf Bereichen erfüllt sein: „Soziokulturelle und funktionale Qualität", „Ökologie", „Ökonomie", „Technische Qualität" und „Prozessqualität". Um eine bestimmte Zertifizierung zu erhalten, muss zum Beispiel die Gesamtbewertung über 80 % liegen und für jeden Teilbereich darf sie nicht unter 65 % liegen. Prinzipien, die mit der Rückbaubarkeit in Verbindung stehen, tauchen in mehreren Kriterien auf (z. B. „Reinigungsfreundlichkeit des Baukörpers (TEC1.5)", „Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit (TEC.1.6)" oder „Dokumentation für eine nachhaltige Bewirtschaftung (PRO1.5)"). Im Bereich „Ökonomie" werden die Prinzipien der Reversibilität direkt mit dem Kriterium „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit" bewertet. Dieses Kriterium entspricht 7,5 % der Endnote für alle zertifizierbaren Typologien, ausser für Industriebauten (9,6 %). Zu den Parametern dieses Kriteriums gehören die Effizienz und die Abmessungen der Räume, die vertikalen Erschliessungen, die Flexibilität der Grundrisse, die Tragstruktur, die inneren Trennwände, die technischen Systeme und die Möglichkeiten der Erweiterung und Umgestaltung. ***Quellen:*** DGNB 2020, SGNI 2018.

Das Schweizer Label ***SNBS*** (*Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz*) ist aus einer Initiative des *Bundesamts für Energie* (*BFE*), entstanden und basiert unter anderem auf der Norm SIA112/1 „Nachhaltiges Bauen – Hochbau" sowie auf den Labels *Minergie* und *EcoBau*. Um eine Zerfitizierung nach *SNBS* zu erhalten, muss das Projekt durchschnittlich die Note 4 erreichen (Durchschnitt der Durchschnitte aus drei Bereichen) sowie 45 individuelle Indikatoren erfüllen. Diese sind verteilt auf die Bereiche „Gesellschaft" (17), „Wirtschaft" (12) und „Umwelt" (16). Für Neubauten muss jeder Indikator mindestens 50 % der Parameter erfüllen. Im Bereich „Gesellschaft" bezieht sich das Kriterium 105.1 „Nutzungsflexibilität & -variabilität" direkt auf die Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion. Die erste Hälfte der Punkte wird für das Konzept und die zweite für die Umsetzung vergeben. ***Quellen:*** NNBS 2020a, NNBS 2020b, SNBS 2016.

Minergie-ECO ist ein Schweizer Label entstanden in der Zusammenarbeit zwischen *Verein Minergie* und *Ecobau*. Dieses Zertifikat ist systematisch mit anderen Labels von Minergie verbunden (*Minergie*, *Minergie-P* oder *Minergie-A*). Es stützt sich auf sechs Kriterien verteilt auf zwei Bereiche: einerseits der Bereich der „Gesundheit" mit drei Kriterien und andererseits der Bereich „Bauökologie" mit den Kriterien „nachhaltiges Gebäudekonzept", „Materialisierung und Prozesse" und „Graue Energie". Um das Zertifikat *Mingerie-ECO* zu erhalten, müssen alle Anforderungen von *Minergie* erreicht, alle Ausschlusskriterien erfüllt, die sechs Kriterien zu mehr als 50 % erreicht und mindestens zwei Kriterien innerhalb eines Bereichs zu mindestens 70 % erfüllt sein. Der Punk-

tewert eines Kriteriums wird aus den Durchschnitten der verschiedenen Indikatoren berechnet. Das Kriterium „nachhaltiges Gebäudekonzept“ zählt 14 Indikatoren, darunter Beurteilungskriterien spezifisch zur rückbaubaren Konstruktion wie die „Nutzungsflexibilität der Tragstruktur“ (BNG2.010/GN2.0120), „Nutzungsflexibilität durch die Fassadengestaltung“ (BNG2.030), „Zugänglichkeit der vertikalen/horizontalen HT-Installationen“ (BNG3.010/GNG3.020), „Bauliche Bedingungen für den Ersatz von Maschinen und Grossgeräten“ (BNG 3.030), „Rückbaubarkeit von Gebäudehülle und Sekundärstruktur / Gebäudetechnik und Tertiärstruktur“ (BNG4.010 und BNG4.020) sowie „Erweiterungsmöglichkeiten, Reserve“ (BNG8.010). Zu den Kriterien für Materialien und Graue Energie gehören auch Punkte im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit der Materialien. ***Quellen:*** Minergie 2020a, 2020b, Minergie und eco-bau 2020, Minergie-ECO und eco-bau 2020.

Das Label ***LEED*** (*Leadership in Energy and Environmental Design*) wurde vom *U.S. Green Building Council* entwickelt und ermöglicht, Projekte ab einer bestimmten Fläche auszuzeichnen. Um zertifiziert zu werden, muss ein Projekt Mindestanforderungen erfüllen und mindestens 40 von 110 möglichen Punkten erreichen, unabhängig vom Bereich. Höhere Zertifizierungen (Silber/Gold/Platin) werden für Projekte mit höheren Punktzahlen vergeben. Die Indikatoren geben je nach Erfüllungsgrad verschieden viele Punkte. In Zusammenhang mit der Rückbaubarkeit beinhalten die Mindestanforderungen die „Planung der Entsorgung von Bau- und Abbruchabfällen“, um möglichst „Bau- und Abbruchabfälle, die auf Mülldeponien und in Verbrennungsanlagen entsorgt werden, durch Rückgewinnung, Wiederverwendung und Recycling zu reduzieren“. Die Indikatoren zu den Prinzipien der rückbaubaren Konstruktion befinden sich grösstenteils im Bereich der „Materialien und Ressourcen“. Darunter befinden sich zum Beispiel der Indikator „ökologisch vorteilhafte Produkte“, der das Konzept der erweiterten Herstellungsverantwortung beinhaltet und der Indikator „Reduzierung der Auswirkungen des Lebenszyklus von Gebäuden“, der die Wiederverwendung von bestehenden Elementen unterstützt. Die Zertifizierung *LEED* erlaubt es auch, Punkte für „Innovationen“ zu erlangen. Darunter gibt es für einen „Entwurf für Flexibilität“ einen zusätzlichen Punkt. Das Ziel dieses Punktes ist, die Ressourcen beim Bauen zu schonen, flexible Räume und Bauteile für einfache zukünftige Anpassungen zu entwerfen und dabei die gesamte Lebensdauer der Komponenten und Systeme auszunutzen. ***Quellen:*** U.S. Green Building Council 2020a, 2020b, 2020c, 2019.

Das Label ***BREAAM*** (*BRE Environmental Assessment Method*) wurde vom britischen Institut *Building Research Establishement* entwickelt. Für die Zertifizierung muss ein neues Projekt Mindestanforderungen zu 15 verschiedene Kriterien erfüllen und eine ausreichende Gesamtpunktzahl erreichen. Die Mindestanforderungen steigen mit der gewünschten Zertifizierung. Sie beziehen sich nicht direkt auf die Rückbaubarkeit, mit Ausnahme des Kriteriums „Wst 01 *Construction waste management*“ („Bauabfall-Management“). Für die höchste Zertifizierung („*outstanding*“) ist der Punkt dafür obligatorisch. Unter den nicht obligatorischen Kriterien bezieht sich „Man 02 *Life cycle cost and service life planning*“ („Lebenszykluskosten und Nutzungsplanung“) auf die Möglichkeiten für Reparaturen und Austausch einiger Komponenten. „Wst 06 *Functional adaptability*“ („Funktionale Anpassungs-

fähigkeit“) ist ein Kriterium mit dem Ziel, Vorkehrungen für zukünftige Nutzungsanpassungen des Gebäudes zu identifizieren und zu fördern. Dieses Kriterium kann für Wohngebäude nicht bewertet werden. ***Quellen:*** BRE 2017, 2016.

Wer kann handeln? Die für die Labels zuständigen Institutionen sind in guter Postition, um der technischen und räumlichen Rückbaubarkeit einen angemessenen Platz einzuräumen. Für die Labels muss eine stärkere Berücksichtigung dieser Aspekte durch zugängliche, benutzerfreundliche, kontextbezogene und objektive Bewertungsmethoden unterstützt werden. Die nächste Unterkategorie (‚Weitere Untersuchungen zur Bewertung der Rückbaubarkeit‘) kommt auf diese Fragen zurück.

Weitere Untersuchungen zur Bewertung der Rückbaubarkeit

Die Indikatoren zur Rückbaubarkeit werden seit den 2000er Jahren untersucht und sind nützlich, um Ziele festzulegen, Varianten zu vergleichen, und Stärken und Schwächen eines Projekts zu erkennen. Die zugrundeliegenden Arbeiten haben die Schwierigkeiten aufgezeigt, Merkmale von Projekten sachlich zu beziffern und mit einer zugänglichen Methode und anhand von Indikatoren zu vergleichen. Es ist nötig, die Forschung auf Instrumente zur umfassenden Bewertung zu erweitern, die den lokalen Kontext integrieren können und objektiv und einfach zu bedienen sind. Diese werden die Integration der Rückbaubarkeit in die Labels für nachhaltiges Bauen auf objektive Art und Weise unterstützen.

In den Jahren 2001 und 2002 wurden zwei Bewertungssysteme entwickelt, die ausschliesslich die technische Rückbaubarkeit bestimmen. In 2001 schlug die Forscherin Catarina Thormark (Thormark 2001) ein Bewertungsschema vor, das nach den Zwecken des Rückbaus unterteilt ist (d. h. Wiederverwendung, Recycling oder Verbrennung). Die Punkte werden je nach Erfüllung der Parameter verteilt. Dabei wurde bereits auf die Schwierigkeit der Gewichtung und des Vergleichs der Parameter hingewiesen. In 2002 hat Paola Sassi (Sassi 2002) ein weiteres Bewertungssystem für Bautechniken veröffentlicht. Das System empfahl eine stärkere Gewichtung der technischen Kriterien im Vergleich zu den wirtschaftlichen Kriterien. Dabei wird ein Mittelwert aus den Bewertungen aller Parameter berechnet, um bauliche Lösungen zu vergleichen und als Entscheidungshilfe für die Auswahl der Bauteile und Montagetechniken zu dienen.

In 2006 stellte die Forscherin Elma Durmisevic (Durmisevic 2006) ein erstes multiskalares Modell „zur Beurteilung der Fähigkeit zur Veränderung“ vor. Dieses Modell zielte darauf ab, auf jeder Anwendungsebene die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit von Komponenten zu bewerten. Das Model schlug vor, jedes Projekt bis hin zum grössten Massstab des Systems zu beurteilen, und führte zu einer Methode mit sehr detaillierten Bewertungen. In 2019 im Rahmen des Forschungsprojekts „*Buildings as Material Banks*“ hat Elma Durmisevic Forschungsergebnisse über einen virtuellen Simulator der Rückbaubarkeit publiziert (Durmisevic 2018). Dessen Zweck war es, Entscheidungshilfen ab der ersten Entwurfsphasen zu bieten und Verbesserungen vorzuschlagen, um die räumliche und technische Rückbaubarkeit eines Projekts zu verbessern.

In 2006 diskutierte die *Kanadische Normierungsorganisation* (Canadian Standards Association und Dwayne 2006) die Möglichkeiten und Schwierigkeiten, die Eignung zu Rückbau, Recycling, Wiederverwendung und Anpassung zu beziffern. Der Bericht ist als Unterstützung beim Entwurf gedacht und behandelt alle Masstäbe. Die Arbeit schlug kein Bewertungssystem vor, dass die 14 Prinzipien vergleichbar machen würde. Stattdessen entwickelte sie für jedes Prinzip spezifische Bewertungsmethoden mit verschiedenen Indikatoren: geschlossene Fragen, Prozentanteile, Erfüllungsgrad, usw.

Ein ergänzender Vorschlag wäre, Personen zur Beurteilung und Auswertung der Rückbaubarkeit eines Gebäudes auszubilden. Mit entsprechender Erfahrung und Ausbildung sollten diese Fachkräfte über die nötigen Fähigkeiten verfügen, um das Potenzial der Langlebigkeit eines Gebäudes und seiner Komponenten von Fall zu Fall zu beurteilen. Dies würde es erlauben, die kontextuellen und architektonischen Besonderheiten jedes Projekts zu berücksichtigen, die bereits am Standort verfügbaren Ressourcen in die Bewertung einzubeziehen und neu entstehende Ansätze des nachhaltigen Bauens zu berücksichtigen.

Unterstützen von Modellen der Kreislaufwirtschaft

Die rückbaubare Konstruktion lädt zur Entwicklung neuer Modelle der Kreislaufwirtschaft ein. Diese können zum Beispiel die Vermietung oder den Verkauf mit Rücknahmeservice der Bauteile, Dienstleistungen für Gebäudefunktionen (Lüftung, Heizung, usw.), Informationsaustausch oder neue alternative Nutzungsmodelle von Räumlichkeiten betreffen. Als Anreiz könnte eine finanzielle Unterstützung für die Bestimmung und die Einführung neuer Modelle dienen und/oder eine steuerliche Anpassung für Aktivitäten, die direkt mit der Kreislaufwirtschaft verbunden sind.

Beispiele: siehe ‚Anpassen der Besteuerung für Rückbauaktivitäten'.

Systematisieren des selektiven Rückbaus

Das übergeordnete Ziel ist das Reduzieren von Baustellenabfälle und eine systematische, längere und mehrfache Nutzung von Materialien und Komponenten. Dafür müssen die Empfehlungen zur rückbaubaren Konstruktion ergänzt werden durch die Umsetzung der Entwicklungsstrategien zum selektiven Rückbau.

Zur Erinnerung, die Strategien sind:

- Anbieten von Ausbildungen zum selektiven Rückbau;
- Integrieren des selektiven Rückbaus und der Wiederverwendung in öffentliche Aufträge;
- Anpassen der Besteuerung für Rückbauaktivitäten;
- Unterstützen der Innovation.

Referenzen

Abteilung Abfall und Rohstoffe / 2006 Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle. BAFU, Bern.

Addis W., Schouten J. / 2004 Design for reconstruction, principles of design to facilitate reuse and recycling- C607. Construction Industry Research & Information Association, London.

ADEME / 2017 Les filières à responsabilité élargie du producteur, Panorama. ADEME et le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, Angers.

Aeternum / 2020 Aeternum [online]. URL https://www.aeternum-tech.com (aufgerufen am 13.10.20).

Archiplein / 2020 PLO- Pierre massive [online]. Archiplein.com. URL http://www.archiplein.com/index.php?p=projects.show&id=115 (aufgerufen am 06.07.20).

Architizer / 2013 Martini Hospital [online]. Architizer. URL https://architizer.com/projects/martini-hospital-2/ (aufgerufen am 11.12.20).

architectureguide / 2019 Office Building XX, XX architecten, Delft [online]. URL http://www.architectureguide.nl/project/list_projects_of_architect/arc_id/1942/prj_id/1830 (aufgerufen am 13.12.19).

Azcarate Aguerre J.F., Klein T., den Heijer A.C., Vrijhoef R., Ploeger H.D., Prins M. / 2018 Façade Leasing: Drivers and barriers to the delivery of integrated Façades-as-a-Service. Real Estate Research Quarterly.

Bach R. / 2017 45 expériences simples pour 1 projet exceptionnel, La déconstruction des anciens bâtiments administratifs du Comité International Olympique.

BAFU / 2020 Bericht an den Bundesrat - Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz (Grüne Wirtschaft). BAFU, Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.

BAZED / 2020a XX Office Building [online]. BAZED. URL https://www.bazed.fr/projet-exemplaire/xx-office-building (aufgerufen am 05.07.20).

BAZED / 2020b Intelligent Workplace at Carnegie Mellon University [online]. BAZED. URL https://www.bazed.fr/projet-exemplaire/intelligent-workpalce-at-carnegie-mellon-university (aufgerufen am 05.07.20).

Barles S. / 2014 Le métabolisme urbain, in: Matière grise: matériaux/réemploi/architecture. Pavillon de l'Arsenal, Paris, 41–46.

Billiet L., Ghyoot M. / 2014 La brique belge de réemploi, in: Matière grise: matériaux/réemploi/architecture. Pavillon de l'Arsenal, 205–210.

Bohlin Cywinksi Jackson / 2020 Intelligent Workplace [online]. URL https://www.bcj.com/projects/intelligent-workplace (aufgerufen am 07.07.20).

Booosting platform voor koplopers in bouwinnovatie / 2019 Totaalverslag Activiteit 20 jaar Project XX [online]. URL https://boooosting.nl/news/show/id/1303 (aufgerufen am 05.07.20).

Boothroyd G., Alting L. / 1992 Design for Assembly and Disassembly. CIRP annals 41, 625–636.

Braendstrup C. / 2017 Conceptual design of a demountable, reusable composite flooring system: Structural behaviour and environmental advantages. Masterarbeit. TU Delft.

Braugnart M., McDonough W. / 2011 Cradle to Cradle, Créer et recycler à l'infini. Editions Alternatives- Paris.

BRE / 2017 Scoring and rating [online]. URL https://www.breeam.com/communitiesmanual/content/00_introduction/05_scoring_and_rating_proposals.htm (aufgerufen am 07.07.20).

BRE / 2016 BREEAM International New Construction 2016, Technical Manual, SD233 2.0.

Brussels Environment, Capelle T / 2019 D14 Testing BAMB Results Through Prototyping and Pilot Projects (No. D14). Buildings As Material Banks.

Brzeski S, Sugden D, Thornton J, Turzynski J / 1994 Engineering an opera house: the new Glyndebourne. The Arup Journal 29, 3–9.

Build-Unbuild-Repeat / 2020 [online]. URL https://www.smartlivinglab.ch/de/projects/bur-build-unbuild-repeat/ (aufgerufen am 13.10.20).

Canadian Standards Association, Dwayne T., 2006 Guideline for design for disassembly and adaptability in buildings.

canal architecture, Rubin P. (Eds.) / 2017 Construire Réversible. Paris.

cepezed / 2020a The Green House Utrecht [online]. cepezed.nl. URL https://www.cepezed.nl/nl/project/the-green-house/22172/ (aufgerufen am 05.07.20).

cepezed / 2020b Tijdelijke Rechtbank Amsterdam.

Cheshire D. / 2016 Building Revolutions : Applying the Circular Economy to the Built Environment. RIBA Publishing, Newcastle upon Tyne.

Contec / o.J. Technisches Datenblatt Contec.fix.

Cornell AAP / 2020 ARCH 4605/6605 Design for Disassembly [online]. Cornell AAP Architecture Art Planning. URL https://aap.cornell.edu/arch-46056605-design-disassembly (aufgerufen am 07.07.20).

Crowther P. / 1999 Design for Disassembly: An Architectural Strategy. Design for Sustainability. Proceedings of the 1998 QUT Winter Colloquium, 27–33.

Crowther P. / 1999 Design for Disassembly to Recover Embodied Energy. The 16th International Conference on Passive and Low Energy Architecture.

Crowther P. / 1999 Historic Trends in Building Disassebly.

DARCH / 2020 Resource City [online]. ETHzürich Department of Architecture. URL https://arch.ethz.ch/news-und-veranstaltungen/lehre-forschung/ressource-stadt.html (aufgerufen am 07.07.20).

Davies C. / 1994 Glyndeborune. The Architectural Review 194, 35–49.

Debacker W., Manshoven S., Peters M., Ribeiro A., De Weerdt Y. / 2017 Circular Economy and Design for Change within the Built Environment: Preparing the Transition. International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, 114–117.

de Danschutter M., Noomen P.A., Oostdam B. / 2017 Tijdelijke Rechtbank Amsterdam (3): Constructief ontwerp, Tijdelijke rechtbank met permanent karakter. Bouwen meet Staal 257, 14–19.

De Wolf C., Hoxha E., Fivet C. / 2020 Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. Sustainable Cities and Society, 61, 102322.

DGNB / 2020 New construction, Building criteria set, Version 2020 international.

Durmisevic E. / 2018 Reversible building design, dans: Designing for the Circular Economy. Routledge, New York, 344–359.

Durmisevic E. / 2006 Transformable Building Structures, Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction. Doktorarbeit. TU Delft.

Earle J., Ergun D., Gorgolewski M. / 2014 Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials in Canada. Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials, 20–37.

Ellen MacArthur Foundation / 2020 Philips & Tuntoo, Selling light as a service [online]. URL https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/selling-light-as-a-service (consulté 05.07.20).

Ellen MacArthur Foundation / 2016 Circular in the Built Environment: Case Studies, A compilation of Case Studies from the CE100.

EPFL / 2020 Building design in the circular economy [online]. URL https://edu.epfl.ch/coursebook/fr/building-design-in-the-circular-economy-AR-497 (aufgerufen am 07.07.20).

FCBA, Kouyoumji J.-L. / 2015 DEMODULOR: une démarche de mixité des matériaux pour favoriser la démontabilité.

Fivet C. / 2019 Design of Load-Bearing Systems for Open-Ended Downstream Reuse. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 225, 012031.

Fivet C., Muresan A., Redaelli D., Brütting J. / 2020 Ultra-versatile slab-and-column system for buildings. EP119206090.

Frisch E. / 2014 Multifonctionnel – nouvelles dimensions pour planchers d'étage. Steeldoc 01+02.

Froidevaux C. / 2019 Deux exemples aux Pays-Bas, Construire, déconstruire, reconstruire. Steeldoc 02/19. Zürich, 26–30.

Fuster A., Gibb A., Austin S., Beadle K., Madden P. / 2009 Adaptable buildings: Three non-residential case studies. eds. H. Wamelink, M. Prins & R. Geraedts, TU Delft, Netherlands 5–9.

GAAGA / 2020a CiWoCo 1.0, circular live-work housing block. Leiden.

GAAGA / 2020b CiWoCo Amsterdam [online]. gaaga.nl. URL https://www.gaaga.nl/projecten/ciwoco-amsterdam (aufgerufen am 06.07.20).

GESDEC / 2009 Valorsiation des déchets minéraux de chantier, Fiche d'information GESDEC n°5. Service de géologie, sols et déchets, Office cantonal de l'environnement, République et canton de Genève).

Gilliard D. / 1992 Le théâtre de Vidy à Lausanne. Une construction provisoire faite pour durer? FACES 26.

Guequierre N.M.J., Kristinsson J. / 1999 Product features that influence the end of a building. 8th international Conference on Durability of Building Materials and Components, 2021–2032.

Guldager Jensen K., Sommer J. / 2019 Building a Circular Future - 3rd edition. Danish Environmental Protection Agency.

Gorgolewski M. / 2017 Resource Salvation: The Architecture of Reuse. John Wiley & Sons.

Grandjean E. / 2014 Comment le mobilier USM a été inventé [online]. Bilan. URL https://www.bilan.ch/entreprises/comment_le_mobilier_usm_a_ete_invente_ (aufgerufen am 11.12.20).

Grimshaw / 2020 igus Headquarters [online]. URL https://grimshaw.global/projects/igus-headquarters/ (aufgerufen am 06.07.20).

Guldager K., Sommer J., Wingesø Falk N., Krusholm Nielsen G., Hastrup A., Sørensen H., Merrild H., Ostergaard Christensen C., Kristensen R., Vesterager Gothelf S. / 2016 Building a Circular Future. Danish Environmental Protection Agency.

Guy B., Ciarimboli N. / 2008 DfD Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building. Hamer Center for Community Design, State College.

GXN / 2020 Information- Circle House Demonstrator [online]. gxn.3xn.com. URL https://gxn.3xn.com/project/circle-house-demonstrator (aufgerufen am 06.07.20).

GXN, Responsible Assets / 2018 Circle House- Denmark's first circular housing project.

Habraken N.J. / 2005 Open Building as a condition for industrial construction. ISARC2003 The Future Site, 37–42.

Habraken N.J. / 1961 Supports: an alternative to mass housing, Second English Edition 1999. Urban International Press.

Hamburger Umweltinstitut / 2018 Maison du projet de la Lainière [online]. c2c-buildings.net. URL https://c2c-buildings.net/projects/maison-du-projet-de-la-lainiere/ (aufgerufen am 07.07.20).

Hebel D., Chladek P., Fibicher A., Heisel F., Jorisch P., Rufe H.-C., Wisniewska M. / 2017 BUILDING FOR DISASSEMBLY- Design Studio Spring 2016- Professorship Dirk E. Hebel- ETH Zürich.

Heinrich M., Lang W. / 2019 Materials Passport- Best Practice. Technische Universität München und BAMB.

Hirt M.A., Crisinel M. / 2005 Conception des charpentes métalliques. PPUR Presses Polytechniques Universitaires Romandes.

Huuhka S., Naber N., Asam C., Caldenby C. / 2019 Architectural Potential of Deconstruction and Reuse in Declining Mass Housing Estates. NA 31.

igus / 2019 The flexible igus® factory by Nicholas Grimshaw [online]. URL https://www.igus.eu/info/company-flexible-igus-factory-in-cologne (aufgerufen am 06.07.20).

Institut MECD / o.J. Démodulor: les systèmes constructifs de gros œuvre démontables et valorisables.

Jacquier F. / 2020 Wohngebäude in massivem Steinbau, Interview von Küpfer C.

Jacquier F., Leroux M. / 2019 L'aventure de la construction en pierre massive, Interview von Sonnette S. Tracés 07.

Kendall S. / 2017 Four Decades of Open Building Implementation: Realising Individual Agency in Architectural Infrastructures Designed to Last. Architectural Design 87, 54–63.

Kendall S., Teicher J. / 2000 Residential Open Building. E & FN Spon, New York.

Kihlstedt F.T. / 1984 The Crystal Palace. Scientific American 251, 132–143.

Le Off du DD 2019 / 2019 Maison du projet de la Lainière (Roubaix) - 14 minutes [online]. URL https://www.youtube.com/channel/UCTE3oMVgPqZ-hvySbHY97FA/featured (aufgerufen am 06.07.20).

Leupen B. / 2006 Frame and Generic Space. 010 Publishers, Rotterdam.

Luscuere L.M. / 2016 Materials Passports: Optimising value recovery from materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Waste and Resource Management 170, 25–28.

Madaster / 2020 Circular innovation: Swiss Madaster platform for real estate is launched [online]. URL https://www.madaster.com/en/newsroom/press-releases/launch-madaster-switzerland (aufgerufen am 11.12.20).

Minergie® / 2020a Zertifizierung Minergie online [online]. Minergie® Online Plattform. URL https://online.minergie.ch/home (aufgerufen am 07.07.20).

Minergie® / 2020b Zusatzprodukt ECO [online]. MINERGIE Schweiz. URL https://www.minergie.ch/de/zertifizieren/eco/ (aufgerufen am 07.07.20).

Minergie®, eco-bau / 2020 Produktreglement MINERGIE-ECO® Version 2020.1.

Minergie-ECO, eco-bau / 2020 Catalogue de prescriptions Minergie-ECO, Nouvelles constructions Administration, Version du justificatif 1.5 ME-ECO Online 2020.

Modulart / 2020 Le laboratoire de la construction modulaire. Modulart [online]. Modulart. URL https://www.modulart.ch/fr/la-mission/ (aufgerufen am 22.10.20).

Molenaar C. / 2013 The colours at Martini Hospital in Groningen. Hospital Build & Infrastructure 1, 16–18.

Moore R. (Ed.) / 1993 Structure, Space and Skin: The Work of Nicholas Grimshaw & Partners. Phaidon Inc Ltd, London.

Morgan C., Stevenson F. / 2005 Design for Deconstruction- SEDA Design Guides for Scotland: No. 1. Scottish Ecological Design Association.

Mulhall D., Hansen K., Luscuere L., Zanatta R., Willems R., Boström J., Elfström L., Heinrich M., Lang W. / 2017 Framework for Materials Passports. Buildings as Materials Banks (BAMB).

Nauser M. / 2018 Klimapolitik der Schweiz, Umsetzung des Übereinkommens von Paris. BAFU, Bern.

NNBS / 2020a Standards und Labels fürs nachhaltige Bauen [online]. NNBS. URL https://www.nnbs.ch/ubersicht-standards-und-labels (aufgerufen am 07.07.20).

NNBS / 2020b Online-Tool SNBS Hochbau [online]. NNBS. URL https://www.nnbs.ch/online-tool-snbs-hochbau (aufgerufen am 7.7.20).

Nordby A.S. / 2009 Salvageability of building materials, Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling. Doktorarbeit. NTNU, Trondheim.

Paananen T., Suur-Askola P. / 2018 In Search of a Bright, Circular Future! Peikko and the Circular Economy, Practical Considerations. Peikko Group Corporation, Lahti.

Pintos P. / 2019 The Green House / architectenbureau cepezed [online]. ArchDaily. URL https://www.archdaily.com/915728/the-green-house-architectenbureau-cepezed (aufgerufen am 05.07.20).

Post J. / 2019 Als je geen afval meer mag storten, krijgt een gebouw een andere waarde. Bouwwereld 9, 51–55.

Post J., Klomp H. / 1999 Levensduur = Gebruiksduur, XX, Een Gebouw als Prototpye can eenn nieuw Milieuconcept, Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting. Rotterdam.

RAU / 2020 Gemeentehuis Brummen [online]. URL https://www.rau.eu/portfolio/gemeentehuis-brummen/ (aufgerufen am 7.5.20).

Réseau CTI / 2015 Nouveaux systèmes constructifs Démontables en Rénovation ou déconstruction pour valorisation et recyclage simplifiés et attractifs des produits et matériaux - Projet DEMODULOR- Synthèse non confidentielle. ADEME, Paris.

Salama W. / 2017 Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review. International Journal of Sustainable Built Environment 6, 617–635.

Sassi P. / 2002 Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled. The International Conference for Sustainable Building, Oslo.

SEED architect / 2020 MARTINI ZIEKENHUIS [online]. URL https://seedarchitects.nl/en/projects/icoon-martini-ziekenhuis/ (aufgerufen am 07.07.20).

SGNI / 2018 Planifier, construire, utiliser et exploiter de façon durable. Les bâtiments certifiés de la SGNI ouvrent la voie. DGNB Système suisse.

SNBS / 2016 SNBS 2.0 Bâtiment, Fiches-critères Types d'affectations: bureaux, administration, logements, commerces et services au rez-de-chaussée.

Sotayo A., Bradley D.F., Bather M., Oudjene M., El-Houjeyri I., Guan Z. / 2020 Development and structural behaviour of adhesive free laminated timber beams and cross laminated panels. Construction and Building Materials 259, 119821.

Staatsrat / 2017 Botschaft 2017-DAEC-6 des Staatsrats an den Grossen Rat zum Dekretsentwurf über den Erwerb der Elanco-Liegenschaften.

Stahel W.R. / 1982 The product life factor. An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector (Series: 1982 Mitchell Prize Papers), NARC.

Storey J.B., Pedersen M. / 2014 Overcoming the barriers to deconstruction and materials reuse in New Zealand. Barriers for deconstruction and reuse/recycling of construction materials, 130–145.

Structural Timber Association / 2020 Floor Systems [online]. URL https://www.structuraltimber.co.uk/timber-systems/floor-systems (aufgerufen am 05.07.20).

suissetec / 2016 Notice technique, Principaux labels et standards de construction sur le marché suisse. Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment, Zürich.

Thormark C. / 2001 Recycling potential and design for disassembly in buildings. Doktorarbeit. Lund Institute of Technology.

Thornton J.A., Turzynski J.G. / 1997 A new Glyndebourne Opera House. The Structural Engineer 75, 17–25.

Tingley D.D., Davison B. / 2011 Design for deconstruction and material reuse. Proceedings of the institution of civil engineers-energy 164, 195–204.

Tschopp Holzbau AG / 2018 Bresta, das Bauelement aus Holz für Decken, Wände & Dächer.

Tschopp Holzbau AG / 2020 BRESTA® [online]. URL https://www.tschopp-holzbau.ch/2/BRESTA (aufgerufen am 05.07.20).

TU Delft / 2020 IO3075- Towards Circular Product Design [online]. TU Delft. URL https://www.tudelft.nl/studenten/faculteiten/io/praktische-zaken/aanmelden-voor-vakken/keuzevakken-in-de-bachelor/towards-circular-product-design/ (aufgerufen am 11.12.20).

U. Schärer Söhne / 1965 Rohrverbindung für den Gestellbau- Hauptpatent. 11472/65.

U.S. Green Building Council / 2020a Innovation: Design for flexibility [online]. URL https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools-new-construction-retail-new-construction-data-centers-new-constru-1 (aufgerufen am 07.07.20).

U.S. Green Building Council / 2020b LEED rating system [online]. URL https://www.usgbc.org/leed (aufgerufen am 07.07.20).

U.S. Green Building Council / 2020c LEED Credit library [online]. URL https://www.usgbc.org/credits (aufgerufen am 07.07.20).

U.S. Green Building Council / 2019 LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION.

USM / 2020 Roots In Architecture [online]. URL https://www.usm.com/en/commercial/about-usm/roots-in-architecture/ (aufgerufen am 07.07.20).

Valeri P., Guaita P., Baur R., Fernández Ruiz M., Fernández-Ordóñez D., Muttoni A. / 2020 Textile reinforced concrete for sustainable structures: Future perspectives and application to a prototype pavilion. Structural Concrete.

Valeri P., Guaita P., Baur R., Fernández Ruiz M., Muttoni A. / 2019 The potential of textile reinforced concrete for design of innovative structures, in: Proc. of the International Fib Symposium on Conceptual Design of Structures.

van Deelen P., Orsel H., Pauw M. / 2017a Tijdelijke Rechtbank Amsterdam (4): Uitvoering, Het bouwpakket. Bouwen meet Staal 257, 20–21.

van Deelen P., Orsel H., Pauw M. / 2017b Tijdelijke Rechtbank Amsterdam (2): Tenderfase, Warmlopen voor circulariteit. Bouwen meet Staal 257, 12–13.

Vilela A. / 2018a Architecture without Applause, The Manufactured Work of João Filgueiras Lima, Lelé. Doktorarbeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

Vilela A. / 2018b Education on the production chain: Lelé's transitory schools in Brazil. 6th International Congress on Construction History (6ICCH 2018), 1329–1337.

VinkBouw / 2020 BSH 20 E [online]. Vink Bouw. URL https://www.vinkbouw.nl/ (aufgerufen am 06.07.20).

Whitby M. / 1994 STRUCTURE: Glyndebourne's innovative structure brilliantly exploits traditional materials. The Architectural Review 194, 50–53.

Wind H. / 2019 Demontabele verbindingen. Bouwwereld 75–77.

Zeegers A., Hermans M., Ang G. / 2001 In search for design criteria for the delivery of industrialised, flexible and demountable building: a performance based model. CIB World Building Congress, 335–344.

Zerbi S. / 2019 Poser la première pierre, Interview von Sonnette S. Tracés 07.

Zweifel J. / 1969 Centre de Recherches Agricoles in St. Aubin (Fribourg). Bauen + Wohnen 23, 242–256.

Zweifel J. / 1996 Jakob Zweifel Architekt, Schweizer Moderne der zweiten Generation. Verlag Lars Müller, Zürich.





Selektiver Rückbau und Rückbaubare Konstruktion bedeuten einerseits, den Rückbau eines bereits bestehenden oder zukünftigen Bauwerks und andererseits die potentielle Verwertung des Raumes und seiner Bauteile über den ersten Nutzungszyklus des Bauwerks hinaus zu gewährleisten. Es sind **zwei notwendige – aber nicht ausreichende – Bedingungen** für die Einführung einer vollständigen nachhaltigen Kreislaufwirtschaft in der Baubranche. Im Gegensatz zum üblichen Vorgehen beim Abriss und Wiederaufbau, erlauben diese zwei Ansätze einen sicheren und verantwortungsvollen Umgang mit natürlichen Ressourcen und Ökosystemen. Damit bieten sie eine bessere Weiterverwertung der Räume und Bauprodukte am Ende des Nutzungszyklus, eine drastische Reduktion von Abbruchabfällen, eine Verringerung der Rohstoffgewinnung, einen Beitrag zur Reduzierung der von Menschen verursachten Erderwärmung und eine Garantie zur Sicherung der lokalen Arbeitsplätze.

Die Umsetzung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft setzt in erster Linie **die Nutzung und die Wartung** des Gebäudes und seiner Komponenten so lange wie möglich voraus. Das heisst **kein Abbruch** dank einer **verlängerten Nutzung**, angemessener Wartung und, wenn nötig, Sanierungsarbeiten oder Anpassungen. Die Umsetzung der Prinzipien der technisch und räumlich rückbaubaren Konstruktion muss dazu beitragen, indem die Dauerhaftigkeit der verwendeten Materialien, ihre Wartungsfreundlichkeit und die Möglichkeiten der schrittweisen Transformationen des Raumes so weit wie möglich erhöht werden. Gleichzeitig muss die Anwendung der Prinzipien des selektiven Rückbaus möglichst die Aufwertung der Bauelemente ermöglichen, der Abriss ist der letzte Ausweg.

Der selektive Rückbau und die rückbaubare Konstruktion zeigen sich als zwei Strategien, deren technischen Machbarkeit, deren effektive Umsetzung und, bis zu einem gewissen Grad, auch deren wirtschaftliche Risiken **heute kontrollierbar** sind. Der selektive Rückbau ist für eine **gegenwärtige Wiederverwendung** des Bauteils nötig, wenn der Abbriss unausweichlich ist. Die rückbaubare Konstruktion ist für die verlängerte Raumnutzung und eine **zukünftige Wiederverwendung** der Komponenten unerlässlich. Diese Wiederverwendungen – weitere Runden in einer Kreislaufwirtschaft – machen jedoch nur Sinn, wenn die Komponenten auch für die neuen Anwendungen nützlich sind.

Ausserdem sind die wiederkehrende Wartung und die Gewährleistung der Wiederverwendung stark vom **funktionellen und technischen Altern** des gebauten Systems und seiner Komponenten abhängig. Denn auf zu lange Sicht können keine objektiven Vorhersagen gemacht werden. In Anbetracht der Baugeschichte und der vergangenen Entwicklungen der Wohngewohnheiten scheint es einerseits wichtig festzustellen, dass früher oder später die gebauten Systeme ganz oder teilweise veralten. Andererseits werden auch viele rückgebaute Komponenten obsolet und niemand wird an deren Wiederverwendung interessiert sein. Damit landen die Bauteile früher oder später doch im endgültigen Entsorgungskanal: Recycling, Verbrennung mit Energierückgewinnung oder Deponierung.

Ausserdem bremsen einige Unbekannte die gross angelegte Wiederverwendung noch aus. Zum Beispiel müssen die neuen Beschaffungsprozesse oder Leistungszertifikate noch getestet, gesetzlich geregelt und schlussendlich umgesetzt werden.

Ausserdem kann eine systematische Anwendung des selektiven Rückbaus und der rückbaubaren Konstruktion ein **zweischneidiges Schwert** sein. Das oberste Ziel einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist, das Erhalten aller Produkte über die Zeit sicherzustellen. Sie sollte jedoch keinen Anstieg der Erneuerungsrate der Gebäude anstreben, unter anderem um Treibhausgasemissionen, Abfall und die Nachfrage nach Rohstoffen für Umwandlungsprozesse zu begrenzen. Rückbaubare Techniken des Abbruchs und der Konstruktion sollen nicht die Erneuerungsrate der Gebäude erhöhen, sondern ihre Verbreitung schafft günstige Voraussetzungen für neue wirtschaftliche Modelle der Aufwertung und Wiederverwendung. Behörden und Verbrauchende werden hier wahrscheinlich eine wichtige Rolle spielen, um eine längere Nutzung des Produkts zu fördern, anstatt es vorzeitig zu downcyceln.

Der vorliegende Bericht ist **weder abschliessend noch endgültig**. Er ist nicht abschliessend, weil er ebenso viele Fragen aufwirft, wie er beantwortet. Er ist als Einstieg gedacht für alle Beteiligten der Baubranche, die an der Quelle die Produktion von Bauabfall reduzieren wollen. Dieses Dokument wählt aus, sammelt und leitet weiter zu den vielen Referenzen, die zu diesem Thema geschrieben und gebaut wurden. Es ist ein Dokument, dass ebenso Reaktionen provozieren wie Lösungen anbieten will.

Auch ist diese Studie nicht endgültig, da sie nur eine erste Übersicht der Prinzipien und der aktuellen Ausführung des selektiven Rückbaus und der rückbaubaren Konstruktion bietet. Sie basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche und etwa dreissig, hauptsächlich aktuellen und aus der Schweiz stammenden Fallstudien, sowie auf Interviews und Baustellenbesuchen. Dieses Dokument versucht, alle Gebäudeschichten zu begutachten und alle entsprechenden Möglichkeiten und Herausforderungen zu identifizieren. Die Auswahl der zusammengestellten Prinzipien und Fallstudien ist jedoch subjektiv und lückenhaft. Trotz aller Bemühungen um seine Konzeption und seinen wegbereitenden Charakter bleibt diese Studie unvollständig.

Es gibt zwei Gründe für diesen nicht abschliessenden und nicht endgültigen Charakter. Erstens ist es wahrscheinlich, dass viele Methoden des selektiven Rückbaus und der rückbaubaren Konstruktion hier nicht genannt wurden, weil sie kaum oder gar nicht verbreitet sind. Die Geschichte des Bauwesens vor der Industrialisierung lehrt uns, dass dieses Vorgehen im Allgemeinen so banal, alltäglich und selbstverständlich war, dass es kaum niedergeschrieben oder in den Medien erwähnt wurde. Das Gleiche gilt wahrscheinlich auch heute.

Der zweite Grund ist, dass die Möglichkeiten zum selektiven Rückbau und zur rückbaubare Konstruktion noch weitgehend unerforscht sind. Viele Techniken und die Ausführung müssen noch erfunden, verbessert und geprüft werden. Solche Innovationen können sich auf mindestens drei neue Einsichten seitens der verschiedenen, am Gebäudeentwurf Beteiligten stützen: die **Anerkennung des Rückbauprojekts (und der Wiederverwendung) als eigenständiger kreativer Akt**; die **Notwendigkeit einer engen Integration der baulichen Aspekte** von Anfang an und während des gesamten Entwurfs oder Umgestaltungsprojektes; und der **entscheidende Wert einer Beurteilung des laufenden Projektes im Hinblick auf das Verhalten und die Nutzung** für den nächsten Lebenszyklus und darüber hinaus.

Die Anwendung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in der Baubranche ist eine alltägliche Angelegenheit. Sie gilt für alle Komponenten des Gebäudes, mit teilweise sehr unterschiedlichen Zyklen von Reparatur und Austausch. Sie betrifft alle Beteiligten, von den Bewohnerinnen/Bewohnern konfrontiert mit der täglicher Verwendung und Abnutzung des Produkts, zu den Projektträgerinnen/Projektträgern oder Stadtplanerinnen/Stadtplanern, die grossflächige Umgestaltungen planen, über die Produktion von Möbeln oder Bauteilen, Architektinnen/Architekten, die technische Details einer Renovierung oder eines Neubaus festlegen und Behörden, die Zugang, Ausführung, Nutzung und Entfernung des Materials gesetzlich regeln.

Es bleibt zu hoffen, dass die Umsetzung so schnell wie möglich erfolgt, um die lokalen Umweltprobleme im Zusammenhang mit der Entsorgung von Bauabfällen anzugehen und einen wirksamen Beitrag zur globalen Eindämmung der Erderwärmung zu leisten.

Abbildung 31 · (S. 148-149) Demontage der temporären Eisbahn in Malley (VD), 2020.

Übersetzungen

der Selektive Rückbau	**la déconstruction sélective**
die Rückbaubare Konstruktion	**la construction réversible**
die Rückbaubarkeit	la réversibilité
die räumliche Rückbaubarkeit	la réversibilité spatiale
die technische Rückbaubarkeit	la réversibilité technique
die Kreislaufwirtschaft	l’ économie circulaire
der lokale Kreislauf	le circuit court
der Lebenszyklus	le cycle de vie
die Lebensdauer	la durée de vie
die Langlebigkeit	la longévité
die Austauschbarkeit	l’ interchangeabilité
das nachhaltige Bauen	la construction durable
das funktionelle und technische Veralten	l' obsolescence fonctionnelle et technique
das Inventar	l' inventaire
die „Ressourcendiagnose“	le «diagnostic ressource»
der Bauteil-/Gebäudepass	le passeport des matériaux/bâtiments
das Abbauen	le démontage
die Bauteilbörse	la bourse de matériaux / la «ressourcerie»
die Nutzung	l' utilisation
die Wartung	le maintien
die Wiederverwendung	le réemploi, la réutilisation
das Recycling	le recyclage
das Downcycling	le sous-cyclage
aufwerten	valoriser
die Verwertungsstrategie	la filière exutoire
das Material / das Bauteil	le matériau
die Komponente	le composant
die Verbindung	la connexion
das System	le système
das Gebäude	le bâtiment
die Schicht (nach Brand 1994)	**la couche** (de Brand 1994)
die Einrichtung und die Möblierung	l' ameublement intérieur
die Trennwand und die Innenverkleidung	la partition et le revêtement intérieur
die Gebäudetechnik	les éléments techniques
die Gebäudehülle	l' enveloppe
die Tragkonstruktion	le gros œuvre
der Standort	le site

Abkürzungen und Akronyme

ADEME Agence de la transition écologique – Agentur für den ökologischen Wandel (F)

BAFU Schweizerisches Bundesamt für Umwelt

BAMB Buildings as Material Banks – Gebäude als Materialbanken

BFE Schweizerisches Bundesamt für Energie

BIM Building Integrated Model – Bauwerksdatenmodellierung

BRE Building Research Establishment

BSA-FAS Bund Schweizer Architekten

BTP bâtiment et travaux publics – Bauwesen und öffentliche Arbeiten

BUR Build-Unbuilt-Repeat

CHD Circle House Demonstrator

CRL Circular Retrofit Lab

CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – Wissenschaftliches und technisches Zentrum für Bauwesen

DfD Design-for-Disassembly – Rückbaubare Konzeption

DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

EAST Laboratory of Elementary Architecture and Studies of Types – Labor für elementare Architektur und Typenstudien

EEA European Environment Agency – Europäische Umweltagentur

EMAF Ellen MacArthur Stiftung

EPFL Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne

ETHZ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

FCRBE Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe – Erleichterung der Zirkulation von wiederverwendeten Bauelementen in Nordwesteuropa

HEA Europäischer Stahlträger mit breiten Flanschen

HLK Gebäudetechnik (Heizung, Lüftung, Sanitär und Strom)

IEA International Energy Agency – Internationale Energieagentur

IOK Internationales Olympisches Komitee

IPE Europäischer Normalstahlträger

ISO International Organization for Standardisation – Internationale Organisation für Normung

LEED Leadership in Energy and Environmental Design

LVL Laminated Veneer Lumber – Furnierschichtholz

MWST Mehrwertsteuer

OSB Oriented stand board – Grossspanplatte

PVC Polyvinylchlorid

RPE responsabilité élargie du producteur – erweiterte Herstellerverantwortung (F)

SBB Schweizerische Bundesbahnen

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

SNBS Standard Construction durable Suisse – Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz

SXL Structural Xploration Lab

TRC textile reinforced concrete – textilbewehrter Beton

TU Delft Delft University of Technology

USGBC U.S. Green Building Council – Rat der Vereinigten Staaten für Nachhaltiges Bauen

VUB Vrije Universiteit Brussel

VVEA Abfallverordnung

Danksagungen

Die Autorenschaft bedankt sich besonders bei allen, die mit ihrer Unterstützung zur Realisierung dieses Dokumentes beigetragen haben und insbesondere:

Für die Interviews und Baustellenbesuche

***Atelier Archiplein* (Genf, GE)**
Francis Jacquier (Partner, Architekt EPFL/SIA/AGA und Architekt Kulturerbe DSA)
Marlène Leroux (Partnerin, Architektin EPFL/SIA/MA und Doktor der Wissenschaften EPFL)
***FAZ architectes* (Genf, GE)**
Véronique Favre (Partnerin, Architektin EPFL-SIA)
Marco Gonçalves (Architekt FALCH-ULB, Bautechniker)
***Perrin Frères SA* (Gland, VD)**
Francisco Vicente (Bautechniker, Bauleiter)
***ProTravail* (Renens, VD)**
Samuel Cuendet (Demontageleiter, Zimmermann)
***Syphon AG* (Biel, BE)**
Michel Zwahlen (Geschäftsleiter, Bauzeichner, Maurer)
Rolf Rieder (Demontageleiter, Grafiker)

Für die Begleitung und Finanzierung

Bundesamtes für Umwelt
Dr. David Hiltbrunner

Sowie bei allen Personen, die an der Einholung der hochauflösenden Abbildungen sowie deren Abdruckgenehmigungen mitgearbeitet haben.

Bildnachweise

Die Quellen der Abbildungen sind unten aufgeführt. Wenn hinter einem Namen ein Datum steht, ist die vollständige Quelle im Literaturverzeichnis verfügbar. In den anderen Fällen wird der rechtmässige Eigentümer angegeben.

Wenn die rechtmässigen Eigentümer identifiziert werden konnten, wurde eine Anfrage zur Genehmigung der Reproduktion an sie gesendet. Leider sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichts einige Anfragen noch nicht beantwortet worden. Sollten sich Anspruchsberechtigte wiedererkennen, können sie sich mit der Autorenschaft in Verbindung setzen und wir werden sie in einer möglichen nächsten Version erwähnen.

Abbildung 1 Corentin Fivet/SXL/EPFL

Abbildung 2 Maxence Grangeot/SXL/EPFL

Abbildung 3 169 architecture/Elioth- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 4 abgeleitet von Brand 1994 - Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 5 Jan Brütting- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 6 Bibliothèque de Genève

Abbildung 7 Bibliothèque de Genève

Abbildung 8.a baubüro insitu/Martin Zeller

Abbildung 8.b Kaspar Thalmann (www.gruss-aus-uster.ch)

Abbildung 8.c baubüro insitu

Abbildung 9 abgeleitet von Gauch et al. 2016- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 10 Célia Küpfer/SXL/EPFL

Abbildung 11 Célia Küpfer/SXL/EPFL

Abbildung 12 RCC Riedtwil

Abbildung 13 Célia Küpfer/SXL/EPFL

Abbildung 14 Rotor/Opalis

Abbildung 15 baubüro in situ/ Martin Zeller

Abbildung 16 Pascal Bois

Abbildung 17 CDR Construction/ Julien Holef/Reuse brussels

Abbildung 18 Bohlin Cywinksi Jackson, Foto von Karl A. Backus

Abbildung 19.a Berthoud

Abbildung 19.b Dominique Gilliard

Abbildung 20 SXL/EPFL- angelehnt an Durmisevic 2006

Abbildung 21 Célia Küpfer/SXL/EPFL

Abbildung 22 GXN – Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 23 abgeleitet von Peikko Group Corporation – Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 24.a abgeleitet von Hirt et Crisinel 2005, wiederveröffentlicht in Frisch 2014- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 24.b abgeleitet von Hoesch, wiederveröffentlicht in Frisch 2014- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 25.a,b FCBA INFO

Abbildung 25.c,d FCBA, Jean-Luc Kouyoumji

Abbildung 25.e FCBA, Jean-Luc Kouyoumji – Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 26.a Leon van Woerkom/cepezed

Abbildung 26.b abgeleitet von cepezed – Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 27 aus Fivet et al. 2020

Abbildung 28.a Seagate Structures

Abbildung 28.b Acton Ostry Architects

Abbildung 29 abgeleitet von Sassi 2002, wiederveröffentlicht in Addis und Schouten (2004)- Neuzeichnung SXL /EPFL

Abbildung 30.a U. Schärer Söhne 1965

Abbildung 30.b,c 2020 USM- Neuzeichnung SXL/EPFL

Abbildung 31 Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie I Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie II.a,c Fondation ProTravail

Fallstudie II.b CDR Construction/Max Stockmans/Julien Holef

Fallstudie III.a abgeleitet von Rotor- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie III.b-h Rotor

Fallstudie IV.a aus Bach 2017 / Foto EPFL-Rotor

Fallstudie IV.b CIO

Fallstudie IV.c aus Bach 2017

Fallstudie V Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie VI aus Bach 2017

Fallstudie VII.a,c,d baubüro in situ/ Saskia Witmer

Fallstudie VII.b,e baubüro in situ

Fallstudie VII.f-i baubüro in situ/Martin Zeller

Fallstudie VIII.a,c,d Farel événements GmbH

Fallstudie VIII.b,g,h Célia Küpfer/SXL/ EPFL

Fallstudie VIII.e Farelhaus AG und 0815 architekten o.J.- Neuzeichnung SXL/ EPFL

Fallstudie VIII.f Lia Wagner

Fallstudie IX.a,b Kantonale Denkmalpflege Zürich

Fallstudie IX.c Jan Brütting/SXL/EPFL

Fallstudie X.a PERROT&RICHARD architectes/Caroline RICHARD

Fallstudie X.b GTG/Samuel Rubio

Fallstudie X.c,i Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie X.d-h Charpente Concept SA

Fallstudie XI.a,b baubüro in situ/Martin Zeller

Fallstudie XI.c-e baubüro in situ

Fallstudie XII.a Bellastock/Fotos Alexis Leclercq

Fallstudie XII.b-f Ingeni

Fallstudie XII.g FAZ architectes

Fallstudie XII.h,i Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie XII.j abgeleitet von Ingeni- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XIII.a,d,e nachgedruckt aus Coenen et al. 1990, mit der Bewilligung von IOS Press

Fallstudie XIII.b,c Nanda Naber

Fallstudie XIII.f,g aus Mettke 2008

Fallstudie XIII.h abgeleitet von Coenen et al. 1990, mit der Bewilligung von IOS Press- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XIV.a,b architektengemeinschaft Rolf Mühlethaler- mrh Architekten Bern

Fallstudie XIV.c Elisabeth Bäschli

Fallstudie XIV.d-g Alexander Gempeler Architekturfotografie

Fallstudie XV.a Atelier Archiplein/consortium perraudinarchiplein

Fallstudie XV.b,g Atelier Archiplein/ consortium perraudinarchiplein- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XV.c-f Célia Küpfer/SXL/EPFL

Fallstudie XVI.a abgeleitet von Whitby 1994- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XVI.b,c Hopkins Architects

Fallstudie XVII.a,c Lelé / Arquivo João Filgueiras Lima

Fallstudie XVII.b Sergio Ekerman

Fallstudie XVII.d,g Lelé/Arquivo João Filgueiras Lima – Neuzeichnung SXL/ EPFL

Fallstudie XVII.e,f João Filgueiras Lima – Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XVII.h abgeleitet von Valeri et al. 2020- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XVIII.a-c Estate Leonardo Bezzola

Fallstudie XVIII.d Hünerwadel Häberli Ingenieursbureau- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XVIII.e abgeleitet von Zweifel 1969- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XIX.a,b GXN

Fallstudie XIX.c,d Peikko Group Corporation

Fallstudie XIX.e abgeleitet von GXN- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XX.a-d GAAGA

Fallstudie XX.e abgeleitet von GAAGA- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXI.a Leon van Woerkom/ cepezed

Fallstudie XXI.b-d cepezed- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXII.a,b Lucas van der Wee/ cepezed

Fallstudie XXII.c-f cepezed- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXIII.a-c Jouk Post/XXarchitecten

Fallstudie XXIII.d,e Jouk Post/XXarchitecten- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXIV.a RAU

Fallstudie XXIV.b,e,f Woodteq

Fallstudie XXIV.c RAU- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXIV.d Petra Appelhof

Fallstudie XXV Tschopp Holzbau

Fallstudie XXVI.a,b cepezed/Léon van Woerkom

Fallstudie XXVI.c cepezed- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXVII.a,c-e Grimshaw 2020

Fallstudie XXVII.g Grimshaw 2020- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXVII.b Bryden Wood Technology Ltd. Reproduit avec permission- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXVII.f abgeleitet von Fuster et al. 2009- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXVIII.a Variel, aus Brussels Environment und Capelle 2019

Fallstudie XXVIII.b-c VUB/CRL team- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXIX abgeleitet von philips- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXX.a,e Bohlin Cywinski Jackson- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXX.b-d Bohlin Cywinksi Jackson, Foto von Karl A. Backus

Fallstudie XXXI.a lucas van der wee/ cepezed

Fallstudie XXXI.b cepezed- Neuzeichnung SXL/EPFL

Fallstudie XXXI.c SXL/EPFL

Fallstudie XXXII CRL- TRANFORM- VUB- aus Brussels Environment und Capelle 2019

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 4
Panorama der Fallstudien 6

Abfall von Schweizer Gebäuden reduzieren / Erkenntnisse und Lösungsansätze 8

Bauen als Quelle von Abfall 11
Trennen zur Aufwertung 12
Koordinieren zum Schliessen des Kreislaufs 15
Dokumentieren und Weitergeben 17
Referenzen 18

SR Selektiver Rückbau 20

Ziele / Sorgfalt und Aufwertung 25
Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse 26
Vorbereitung für den Rückbau / Ressourcendiagnose 28
Einrichtung und Möblierung 30
Fallstudie I Innenausbau in Bern 32

Trennwände und Innenverkleidungen 34
Fallstudie II Holzboden in Lausanne 35
Fallstudie III Das Kollektiv Rotor 36
Fallstudie IV Böden eines Büros in Lausanne 38

Gebäudetechnik 40
Fallstudie V Technische Installationen in Bern 42

Gebäudehüllen 44
Fallstudie VI Kies auf einem Dach in Lausanne 45
Fallstudie VII Fassaden in Zürich und Winterthur 46
Fallstudie VIII Vorhangfassade in Biel 48

Tragkonstruktion 50
Fallstudie IX Holzkonstruktion in Rheinau 52
Fallstudie X Theater aus Holz in Paris und Genf 54
Fallstudie XI Stahlkonstruktion in Basel und Zürich 56
Fallstudie XII Betonplatten in Genf 58
Fallstudie XIII Ortbetonelemente und Betonfertigteile in Europa 60
Fallstudie XIV Wohngebäude aus Beton in Bern 62

Entwicklungsstrategien 64
Referenzen 68

RK **Rückbaubare Konstruktion** **72**

Aktivitäten in der Schweiz / Verpasste Chancen und systemische Hindernisse 77
Herausforderungen und Hauptfiguren 78
Allgemeine Prinzipien 79
Prinzipien zum Projektmanagement 82
Tragkonstruktion 85
Fallstudie XV Naturstein tragend 92
Fallstudie XVI Backstein tragend 94
Fallstudie XVII Faserbeton verschraubt 96
Fallstudie XVIII Betonfertigteile zusammengesteckt 98
Fallstudie XIX Betonfertigteile verschraubt 100
Fallstudie XX Betonfertigteile vermörtelt 102
Fallstudie XXI Beton-Metall-Konstruktion 104
Fallstudie XXII Metallkonstruktion 106
Fallstudie XXIII Holz-Metall-Konstruktion 108
Fallstudie XXIV Holzkonstruktion verschraubt 110
Fallstudie XXV Fussboden aus Massivholz 112

Gebäudehüllen 114
Fallstudie XXVI Fassade nicht tragend 116
Fallstudie XXVII Metallfassade 118
Fallstudie XXVIII Energetische Fassadenrenovierung 120

Gebäudetechnik 122
Fallstudie XXIX Beleuchtung als Dienstleistung 123
Fallstudie XXX Aufstockung und Dämmung 124
Fallstudie XXXI Heizungsanlage für Büros 126

Trennwände und Innenverkleidungen 128
Fallstudie XXXII Trennwände 132

Einrichtung und Möblierung 134
Entwicklungsstrategien 136
Referenzen 142

Perspektiven 150

Lexikon 152
Abkürzungen und Akronyme 153
Danksagungen 154
Bildnachweise 155

Ausführliches Inhaltsverzeichnis 158

smart living lab

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt
Schweizerische Eidgenossenschaft

EPFL