

## “Zirkuläres Bauen”

### Kreislaufwirtschaft im Bauwesen

Kerstin Müller

#### *Zusammenfassung*

*Viele Gebäudeabbrüche erfolgen heutzutage, um Platz für Ersatzneubauten zu schaffen. Der Möglichkeit des Weiterbaus am Bestand wird zu wenig Beachtung geschenkt, denn hier liegt ein grosser Hebel für Abfallvermeidung und Ressourcenschonung. Ähnliches gilt für die Wiederverwendung von Bauteilen und -materialien. In der Vergangenheit als wertvolle Ressource geschätzt, landen sie heute häufig auf der Deponie oder werden verbrannt. Die Klimakrise erfordert einen Paradigmenwechsel im Bauwesen. Dieser Artikel beleuchtet die wiederzuentdeckende Technologie des Bauens mit wiederverwendeten Bauteilen.*

## 1 Einleitung – Abfallvermeidung im Gebäudebereich

‘Reduce, Reuse und Recycle’ (Petzet & Heilmeyer 2012), diese Begriffe sind aus der Hierarchie der Abfallvermeidung bekannt. ‘Reduce’, die Vermeidung von Abfall, besitzt die höchste Wirksamkeit in Bezug auf die Ressourcenschonung; gefolgt von ‘Reuse’, der Wiederverwendung am gleichen oder an einem anderen Ort. Erst an dritter Stelle steht das ‘Recycling’ – hier wird unter Energieeinsatz ein Material oder ein Produkt in ein anderes umgeformt. Übertragen auf die Bauwirtschaft bedeuten diese drei Prinzipien, dass auch hier die Vermeidung von Abfall aus ressourcenschonender sowie energetischer Sicht die höchste Wirksamkeit besitzt. ‘Reduce’ entspricht dem Erhalt, der Weiterverwendung von vorhandener Bausubstanz. Was gar nicht erst als Abbruchmaterial anfällt, muss in keinen energieintensiven Wiedergewinnungsprozess überführt werden. Man denke an die grossen Mengen von Beton aus Abbruchobjekten und den mühsamen Versuch, diesen als sogenannten Recyclingbeton wieder in die gebaute Umwelt zurückzuführen. Und diese Rückführung bedeutet ‘Downcycling’.

---

Adresse der Autorin: Dipl. Ing. Kerstin Müller, Geschäftsführerin Zirkular GmbH, Dornacherstrasse 192, CH-4053 Basel; E-Mail: k.mueller@zirkular.net

Neben dem Erhalt von Bausubstanz auf der Ebene ganzer Gebäude und Areale kann Gebautes auch in Form von Bauteilen und Materialien erhalten werden. Dies geschieht durch die direkte Wiederverwendung von Bauteilen und Sekundärmaterialien. Derartige ausgebaute Bauelemente werden von diversen Unternehmen auf Online-Plattformen angeboten.

## 1.1 Fussabdruck der Bauwirtschaft

Der Fussabdruck der Bauwirtschaft ist enorm. Ein Bereich, der so viel Energie und Ressourcen benötigt und gleichzeitig so viel Abfall produziert, kann nicht nachhaltig sein. Dies zeigen im Folgenden Zahlen, die das Bundesamt für Umwelt zusammenstellt (☉<sub>1</sub>, ☉<sub>2</sub>).

- Rohstoffbedarf Bauwerk Schweiz: Der gesamte Materialzuwachs im Bauwesen beträgt rund 63 Mio. t pro Jahr, es handelt sich vor allem um Kies, Sand und Beton. Der Material-Fussabdruck pro Schweizerin lag 2015 bei rund 17 t jährlich.
- Bauabfälle Bauwerk Schweiz: Insgesamt produziert die Schweiz jährlich rund 80 bis 90 Mio. t Abfall, davon entfallen 84 % auf das Konto der Bauwirtschaft. Neben den grossen Mengen an Aushub- und Ausbruchmaterial (57 Mio. t) generiert das Bauwesen jährlich rund 17 Mio. t Rückbaumaterial. Rund 70 % dieses Rückbaumaterials wird recycelt. Die verbleibenden 5 Mio. t werden heute auf Deponien abgelagert oder in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt. In Bildern gesprochen: Die Masse von rund 25'000 Einfamilienhäusern wird jährlich in der Schweiz deponiert oder verbrannt.

## 1.2 Situation in der Region Basel – Deponie Höli

Wie wirkt sich dieser Sachverhalt auf die Region Basel aus? Heutzutage sind die Deponiekosten gering. Auf der anderen Seite der Medaille sind die Kosten für Sekundärmaterialien oder wiederverwendbare Bauteile vergleichsweise hoch, häufig gleichauf mit neuem Material. Somit fehlt ein ökonomischer Anreiz zur Abfallvermeidung. Die anderen beiden Anreize im klassischen Dreiklang der Nachhaltigkeit – Ökologie und Soziales – stehen heute meist hinter der Ökonomie an.

Die Region Basel ist als grenznahe Gebiet in einer besonderen Situation. Es gehört zum Alltag, bei den Nachbarn jenseits der Landesgrenze einkaufen zu gehen, um Geld zu sparen. Nicht anders im Bauwesen – günstiger Kies aus Frankreich wird für den Betonbau importiert. Schon in Zürich sind die ökonomischen Bedingungen anders, in der Folge wird dort häufiger Recyclingbeton eingesetzt als im Raum Basel.

Aufgrund des hohen Abfallaufkommens durch die Bauwirtschaft füllen sich Deponien schnell – zu schnell. Die Deponie Höli in Liestal, die 2010 in Betrieb genommen wurde, wird voraussichtlich 25 Jahre zu früh gefüllt sein. Um dieser Tendenz entgegenzuwirken, wurde die Deponiegebühr im Jahre 2021 um 5 CHF/Tonne erhöht: von 40 auf 45 CHF/Tonne (☉<sub>3</sub>, ☉<sub>4</sub>). Diese Preiserhöhung mutet angesichts der Problematik sehr bescheiden an. Dies mag daran liegen, dass neben der Bürgergemeinde Liestal private Bau- und Logistikfirmen Aktien an der Deponie besitzen (Hirsbrunner 2020). Eine Preiserhöhung für Deponieabfall ist nicht im Geschäftsinteresse von Abbruchfirmen.

Neue Deponien hingegen sind gesellschaftlich fast nicht mehr durchzubringen, zu hoch ist die Flächenkonkurrenz in der Landnutzung. Folgerichtig versuchen die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft aktiv, den hohen Deponiemengen entgegenzusteuern. Sie beteiligen sich an der Plattform Minrec (☉<sub>5</sub>), auf welcher rückgebaute, mineralische Materialien wie Aushub, Kies etc. zum Verkauf angeboten werden.

### 1.3 Aktive Förderung

Es wäre seitens der Behörden sinnvoll, nicht nur die Wiederverwendung von mineralischen Recycling-Baustoffen und Böden zu unterstützen. Auch auf der Ebene von Bauteilen und anderen Sekundärmaterialien wäre eine zentrale, digitale Vermittlungsstelle sinnvoll. Diese sollte gekoppelt sein mit Lagerflächen, auf denen Bauteile bis zu ihrem nächsten Einsatz zwischengelagert werden können. Heute sind Lagerkosten einer der Hauptgründe, die einen vermehrten Einsatz von wiederverwendeten Bauelementen verhindern.

Die Vorteile der Verwendung von Sekundärmaterial und -bauelementen liegen klar auf der Hand:

- Vermeidung von Abfall und Deponieraum
- Vermeidung von CO<sub>2</sub>-eq
- Ressourcenschonung
- Schaffung lokaler Wertschöpfung und Arbeitsplätze
- Erhalt von materiellen und kulturellen Werten

Eine vermehrte Vermittlung solcher Bauelemente ist im Sinne der Gemeinschaft und sollte daher aktiv gefördert werden.

## 2 Kreislaufwirtschaft im Gebäudebereich: Neubau mit Materialien von Rückbauten und Restposten

Durch die Kreislaufwirtschaft wird der Ressourcenverbrauch des Bauwesens verringert. Im Folgenden wird anhand dreier Beispiele gezeigt, wie kreislauffähiges Bauen aussehen kann. Das Weiterbauen am Bestand ist bei den Beispielen gegeben. Die neu hinzugefügten Elemente wurden vorwiegend aus wiederverwendeten Bauelementen und Sekundärmaterialien erstellt.

Im grossen Stil mit wiederverwendetem Material neu zu bauen, ist derzeit noch eine Rarität in der Schweizer Baulandschaft. Das liegt daran, dass das Vorgehen komplex ist und weder die geltenden Normen noch die Baupraxis darauf ausgelegt sind. Bei der Verwendung von bestehenden Bauelementen wird der den Architektinnen vertraute Planungsprozess auf den Kopf gestellt. Gewöhnlich wird ein Gebäude entworfen und die Bauelemente gemäss diesem Entwurf hergestellt. Dabei wird von der allzeitigen Verfügbarkeit aller Materialien ausgegangen. Beispiel Fenster: Gewöhnlich wird ein Fenster bestellt und hergestellt mit den Massen und Eigenschaften, die die Architektin in ihrem Entwurf definiert hat. Plant der Architekt dagegen mit bestehenden Fenstern, so definieren deren Eigenschaften, z. B. die Grösse, das Erscheinungsbild der Architektur mit. Genauso wie man bei einem Umbau mit den Eigenschaften des Bestandsgebäudes arbeitet, so arbeitet man beim Einsatz von wiederverwendetem Baumaterial ebenso mit dessen bestehenden Eigenschaften.

### 2.1 ELYS, Lysbüchel Basel

Umnutzung eines ehemaligen Lebensmittel-Verteilzentrum in ein Gewerbe- und Kulturhaus, Bauherrschaft: Immobilien Basel-Stadt.

Bedingt durch einen Teilrückbau an der Gebäudestruktur entsteht eine rund 1'000 m<sup>2</sup> grosse, neu zu erstellende Fassadenfläche. Die Fassade wurde so konzipiert, dass Lagerfenster (neuwertige Fenster aus Fehlproduktionen) in diversen Grössen eingesetzt werden konnten. Im Umkreis

von rund 100 km von Basel wurden Restbestände von Schweizer Fensterproduzenten gesammelt, gesamthaft rund 200 neuwertige Fenster. Häufig werden diese Lagerbestände aus Platzgründen kurzfristig entsorgt. Im ELYS bestimmen diese Fenster – in Farbe, Form und Material unterschiedlich – das lebhaftes Fassadenbild (Abb. 1).

Holz aus Rückbauten wird in der Regel thermisch verwertet, sprich verbrannt. Für die Fassade des ELYS wurden Pfetten, Sparren und Leimbinder von lokalen Rückbauten gesammelt, in einer Sägerei zu Lamellen gesägt, aus denen dann Leimbinder für die Holzrahmen hergestellt werden.

Die Holzrahmenbauelemente wurden mit 150 m<sup>3</sup> Steinwolldämmresten gefüllt. Sie wurden in Form von Abschnitten neuwertiger Dämmplatten oder sauberem, schadstofffreiem Material von anderen Baustellen gesammelt und in die Holzelemente der Aussenwand eingebaut.

Die vertikale Gliederung der neuen Fassade erfolgte in Anlehnung an die bestehenden Fassaden des Gebäudes. Die grünen Trapezbleche der bisherigen Dachaufbauten wurden demontiert und als neue Fassadenverkleidung wieder montiert. Insgesamt wurden für die Aussenhülle des Gebäudes rund 2'000 m<sup>2</sup> Trapezbleche direkt vom Areal wieder eingesetzt.

Ehemalige Gitterroste des Flachdaches wurden als Absturzsicherungen vor den Fenstern platziert. Bereits vorhandene Betonplatten des Flachdachs wurden nicht entsorgt, sondern vor Ort zwischengelagert und auf dem neu gedämmten Dach wieder verlegt.

Durch die Wiederverwendung der Bauelemente für die neu erstellte Fassade wurden rund 90 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Der ökologische Haupthebel lag allerdings in dem Entscheid, das Gebäude zu erhalten statt abzureissen.



Abb. 1 Kultur- und Gewerbehause ELYS, Lysbüchel Basel. Rund 1'000 m<sup>2</sup> Fassade mit wiederverwendetem Baumaterial.



## 2.2 K118, Lagerplatz Winterthur

Aufstockung eines Industriegebäudes, Bauherrschaft: Stiftung Abendrot.

Auf dem Lagerplatz in Winterthur wurde das Kopfgebäude K118 aufgestockt (Abb. 2). Dieses wird als Gewerbe- und Ateliergebäude mit rund 1'500 m<sup>2</sup> Geschossfläche genutzt. Die dreigeschossige Aufstockung sowie die Sanierung des bestehenden Sockels standen unter der Maxime, möglichst viele gebrauchte Bauteile direkt von Rückbaustellen aus der näheren Umgebung zu verwenden. Stahlträger aus Basel bilden die neue Struktur, während unterschiedliche Fenster und Fassadenbleche aus Zürich und Winterthur zu einer neuen Fassadenkonstruktion zusammengefügt wurden. Ergänzend wurden biologische, regenerative Materialien verwendet: Strohballen dienen als Aussenwanddämmung und auf der Innenseite werden sie direkt mit Lehm verputzt. Im Vergleich zum Bauen mit neuen Bauteilen konnten beim Kopfbau K118 dank der Wiederverwendung rund 500 Tonnen Treibhausgasemissionen vermieden werden. Diese 500 Tonnen entsprechen den zu erwartenden Emissionen aus dem Betrieb des Gebäudes K118 für rund 60 Jahre.

Detaillierte Informationen zu Themen wie historische Einordnung, Akzeptanz, Verschiebung von Kosten- und Planungsleistungen im Vergleich zum Standardprozess, rechtliche Bedingungen etc. wurden erarbeitet und sind in Buchform (*Stricker et al. 2021*) erhältlich.



Abb. 2 Kopfbau K118, Lagerplatz Winterthur. Dreigeschossige Aufstockung aus 70 % wiederverwendetem Material.

## 2.3 Unit Sprint, NEST Dübendorf

Bürobau mit COVID-19 konformen Arbeitsplätzen, Bauherrschaft: Empa.

Die Wiederverwendung von Bauelementen sowie die Nutzung von Sekundärmaterial ist die Maxime der Unit Sprint. Die Einheit befindet sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels noch im Bau und wird in der zweiten Jahreshälfte 2021 bezugsfertig (Abb. 3). Zu Beginn werden COVID-19 konforme Arbeitsplätze in zwölf Einzelbüros auf rund 200 m<sup>2</sup> angeboten (Abb. 4). Zu einem späteren Zeitpunkt können je zwei Einzelbüros zu einer grösseren Fläche zusammengefasst werden (Abb. 5). Die entsprechenden Innenwände sind auf zweierlei Art so gestaltet, dass sie leicht demontiert werden können. Das erste, demontierbare Innenwandssystem besteht aus gefalteten bzw. geschichteten Teppichfliesen, das zweite aus gestapelten Büchern bzw. Zeitschriften.



Abb. 3 NEST, Empa Dübendorf. Einbau Unit Sprint im 1.OG.

Die meisten Materialien und Komponenten stammen aus lokalen Rückbauten. Darüber hinaus wird Material aus den Vorräten der Empa selbst verwendet bzw. Material, das – bedingt durch den Umbau – direkt am NEST verfügbar wird (NEST ist ein modulares Forschungs- und Innovationsgebäude der Empa und Eawag, in dem temporäre Gebäudemodule, sogenannte ‘Units’, installiert werden können; vgl. 6). So werden Dämmung und Holzverkleidung des NEST-Gebäudekerns direkt vor Ort wieder eingesetzt. Auch anderes Dämmmaterial, das die Empa als Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt auf Lager hat, wird in der Unit Sprint eingesetzt. Zwei Photovoltaik-Anlagen der Empa wird ein zweites Leben in der Fassade der Unit Sprint ermöglicht.

Die permanenten Zwischenwände der Büroeinheiten werden aus Material-Abschnitten erstellt, die beim serienmässigen Holzmodulbau anfallen. Diese Abschnitte (Stücke von Fermacellplatten und 3-Schichtplatten) stellen im heutigen Bauwesen einen konstanten Materialstrom dar, auf den jederzeit zugegriffen werden kann. Das von baubüro in situ (7) entwickelte Wandsystem erfüllt die gängigen Brandschutz- und Schallschutzanforderungen und die Innenwand kann sozusagen am laufenden Meter hergestellt werden. Die tragende Holzkonstruktion der Büroeinheiten stammt aus aufgesägten Trägern einer rückgebauten Dachkonstruktion.

Fast alle Fenster, denen in der Unit Sprint zu einem zweiten Leben verholfen wird, sind mindestens 30 Jahre alt. Aus energetischen Gründen werden einige Fensterscheiben und ein Fensterrahmen nachgerüstet. Bei den Fensterscheiben werden verschiedene Methoden der Nachrüstung mit dem Original-Zustand (Zweifach-Isolierverglasung) verglichen: Hinzufügen einer dritten Scheibe zu einer bestehenden Doppelverglasung, Ersetzen von Abstandhalter und Glas unter Erhalt der Glasscheiben oder Ersetzen der Glaskassette durch eine neue, materialeffiziente Verglasung. Diese drei Nachrüstungsmethoden werden in der Betriebsphase gegenüber dem Originalzustand gemessen. Zusätzlich wird ein Fenster zu einem Kastenfenster aufgedoppelt und ebenfalls gemessen.

Die Unit Sprint wird nach dem Prinzip des “Design for Disassembly” geplant und gebaut: Systeme oder einzelne Materialien können nach dem Rückbau wiederverwendet oder recycelt werden. Es ist vorgesehen, an der Unit Sprint diverse Tests im laufenden Betrieb durchzuführen, um Informationen zu Raumkomfort, Dämmverhalten etc. zu ermitteln.

Abb. 4 Innenraumperspektiven der Unit Sprint. Layout Einzelbüro während der Pandemie.

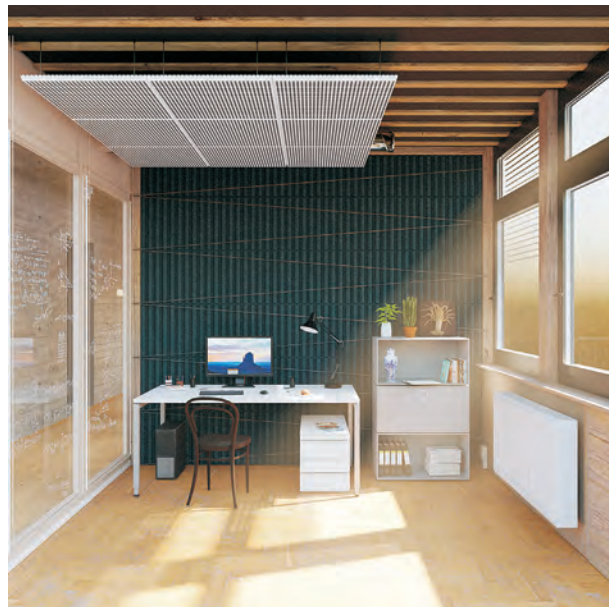
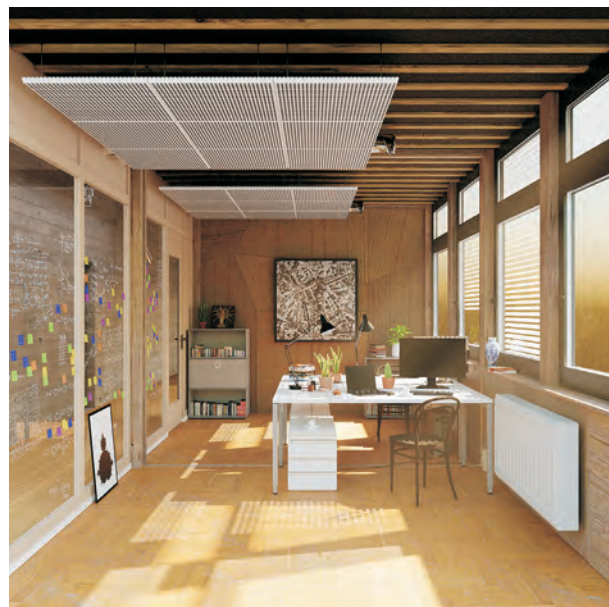


Abb. 5 Layout Gemeinschaftsbüro nach Umbau zweier Einzelbüros.





## 2.4 Erkenntnisse

### 2.4.1 Normen und Gesetze

Die in den Projekten gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass die heute geltenden Gesetze und Normen nicht auf eine Bauweise mit einem hohen Anteil an wiederverwendeten Elementen ausgelegt sind. Im Gegenteil – sie erschweren diese Bauweise. Wird das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen hingegen mit einem Umbau statt mit einem Neubau verglichen, macht dies mehr Sinn. Bei einem Umbau wird beispielsweise bei den statischen Berechnungen der Stahlträger von einer eher geringen Stahlqualität ausgegangen. Die so ermittelte Tragfähigkeit ist aber sicherlich ausreichend, vermutlich überdimensioniert. Die Statiker können sich im Fall eines Umbaus auf ein bestehendes Normenwerk berufen. Es würde der Bauweise mit wiederverwendeten Bauteilen helfen, würden auch hier die Umbau-Normen statt die Neubau-Normen gelten.

Ähnliches gilt bei den Anforderungen an die Energie. Selbst neuwertiges Dämmmaterial muss nach den Schweizer Normen im Falle von nicht eindeutig gesicherten Informationen zu Alter und Typ mit einem Worst-Case Wärmeleitfähigkeitswert (Lambda-Wert) berechnet werden. Am Beispiel der Aussenwand des Gebäudes ELYS im Lysbüchel Areal resultiert dies in einer um 20 % höheren Dämmstärke der Aussenwand. Rechnerisch ist die Norm so erfüllt – in Realität wird die Wand vermutlich sogar bessere Dämmwerte aufweisen.

### 2.4.2 Wertschöpfung und Lieferkette

Ein grosser Vorteil des Bauens mit vorhandenem Material liegt in der lokalen Wertschöpfung. Bauelemente zu reparieren und nachzurüsten geschieht meist vor Ort oder in der Region. Arbeitskraft wird benötigt, Ressourcen und Klima geschont. Aus sozialer Sicht kann die Wiederverwendung eine saubere Lieferkette vorweisen. Das ist im internationalen Handel häufig nicht der Fall.

### 2.4.3 Kostenverschiebung bei Planung und Material

Die Wiederverwendung vorhandener Bauteile und -materialien führt zu einer Kostenverschiebung gegenüber der Standardbauweise. Diese Verschiebung betrifft sowohl die Kosten für den Planungsprozess als auch für das Material selbst.

- Kostenverschiebung in Bezug auf die Planungsleistungen: Die Wiederverwendung führt zu einem höheren Arbeitsaufwand im frühen Stadium des Planungsprozesses. Die gefundenen Bauelemente bestimmen den Entwurf, nicht der Entwurf die Bauelemente, die dann nach den Wünschen des Planers gefertigt werden. Deshalb muss sichergestellt sein, dass die Bauelemente zur gegebenen Zeit auch verfügbar sind. Im Idealfall sind die Bauteile bereits gesichert und bewertet, bevor das Baugesuch gestellt wird. Verglichen mit dem Standardprozess muss die Bauherrschaft früher als gewohnt Geld investieren, um die benötigten Materialien zu sichern.
- Kostenverschiebung in Bezug auf das Material und die Baukomponenten: Die Kosten für wiederverwendete Materialien/Bauteile setzen sich aus Suche, Bewertung, Rückbau, Transport, Lagerung, Aufbereitung und Dokumentation zusammen. Die Arbeitszeit macht somit den grössten Teil der Kosten aus.

Die Kosten für neue Materialien/Bauteile setzen sich hingegen aus der Ressourcengewinnung bzw. -beschaffung, den Kosten für den Herstellungsprozess sowie den Energiekosten und dem Transport zusammen. Im Gegensatz zur Wiederverwendung macht in der industriellen Herstellung die Energie einen bedeutend höheren Teil der Kosten aus.



#### 2.4.4 Auswirkungen der Corona Pandemie

Die Kosten für Baumaterial sind innerhalb kurzer Zeit stark gestiegen, teilweise aufgrund der verminderten Rohstofflieferungen. Dies betrifft diverse Produktgruppen, von Holzwerkstoffen (Preisanstieg + 400 % in einem Jahr) über Dämmstoffe, bis hin zu PE-Rohren. Darüber hinaus ist das Bauwesen mit Lieferverzögerungen in ungewohntem Ausmass konfrontiert. Eine vermehrte Wiederverwendung von Baumaterialien- und Bauteilen würde helfen, diese Situation auch längerfristig zu entschärfen. Es ist gut möglich, dass zunehmende Ressourcenverknappung zukünftig eine protektionistische Handelspolitik nach sich ziehen wird.

### 3 Fazit

Der Paradigmenwechsel im Bauen hat begonnen. Die Forderung nach klimagerechtem, ressourcenschonendem und sozialverträglichem Wirtschaften führt zur Entwicklung einer zukunftsfähigen Baupraxis.

Einen Lösungsansatz für diese zukunftsfähige Bauweise kann in der Kombination der folgenden drei Punkte gesehen werden:

1. Die Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Bauteilen und Materialien durch ihre Weiterverwendung.
2. Die Kombination von Vorhandenem mit Materialien, die eine möglichst geringe Umweltbelastung haben und im Idealfall CO<sub>2</sub> im Gebäudepark einlagern.
3. Sorgfältiges Fügen der Elemente, damit sie im Sinne der Kreislaufwirtschaft rückbaubar und wiederverwendbar sind.

Werden Gebäude und ihre Komponenten auf diese Weise als Ressourcen verstanden, geplant und genutzt, kommen wir einer nachhaltigen Bauweise ein grosses Stück näher.

### Literatur

- Hirsbrunner A. 2020. Liestaler Bürgerrat tritt bei Deponie Höli auf Bremse: Nur noch begrenzte Anlieferungsmenge. *bz – Zeitung für die Region Basel* vom 27. Oktober 2020. Online verfügbar: <https://www.bzbasel.ch/basel/baselland/liestaler-burgerrat-tritt-bei-deponie-hoeli-auf-bremse-nur-noch-begrenzte-anlieferungsmenge-ld.1314908> [Eingesehen am 15.05.2021]
- Petzet M. & Heilmeyer F. (Hrsg.) 2012. *Reduce Reuse Recycle. Ressource Architektur*. Deutscher Pavillon, 13. Internationale Architekturausstellung La Biennale di Venezia. Stuttgart, 1–272.
- Stricker E., Brandi G., Sonderegger A., Angst M., Buser B. & Massmünster M. (Hrsg.) 2021. *Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*. Zürich, 1–408.

### Internetquellen

- 1 <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfall--das-wichtigste-in-kuerze.html>
- 2 <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/dossiers/magazin2019-4-dossier/urban-mining.html>
- 3 <https://www.deponie-hoeli.ch/bilder/Preisliste2020.pdf>
- 4 <https://www.deponie-hoeli.ch/bilder/Preisliste2021.pdf>
- 5 <https://www.minrec.ch>
- 6 <https://www.empa.ch/de/web/nest>
- 7 <https://www.insitu.ch>

