

WIEDER- VERWENDUNG VON BETON- VERBUND- STEINEN

EINE STUDIE ZUR
KREISLAUFWIRTSCHAFT

FÉLIX DILLMANN, SOPHIE NUSSBAUMER
LINA VON WALDKIRCH, OLIVER ZBINDEN



KURATIERT DURCH DIE LIBRARY OF REUSE
EDITIERT VON BARBARA BUSER

WIEDERVERWENDUNG VON BETONVERBUNDSTEINEN

VON

FÉLIX DILLMANN, SOPHIE NUSSBAUMER
LINA VON WALDKIRCH, OLIVER ZBINDEN

© 2023 LIBRARY OF REUSE

www.library-of-reuse.ch

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Für die Inhalte ist L^oR verantwortlich.

Jede Verwertung ist ohne Genehmigung unzulässig.

Verlagslabel: Library of Reuse

ISBN Softcover: 978-3-347-95316-1

Es ist dringend notwendig, die Treibhausgasemissionen im Baugewerbe zu reduzieren, die derzeit 37 % der weltweiten CO₂-Emissionen ausmachen.¹ Hätten wir vor 50 Jahren mit dem zirkulären Bauen begonnen, wären wir heute nicht in einer solch prekären Lage. Um das Ziel der Klimaneutralität bis 2037 (Basel) bzw. 2040 (Zürich) bzw. 2050 (COP-Klimaabkommen) zu erreichen, müssen Architekt:innen, Ingenieur:innen, Unternehmen, Universitäten und Regierungen gemeinsam alle Möglichkeiten zur Verringerung des ökologischen Fussabdrucks in der Bauindustrie fordern und fördern.

Aus diesem Grund haben Barbara Buser, Pionierin im Bauen mit Wiederverwendung, Catherine De Wolf, Professorin des Lehrstuhls "Circular Engineering for Architecture", und Daniel Stockhammer, Professor für Baukultur und zirkuläres Bauen, die «Library of Reuse» gegründet. Die drei Kurator:innen beabsichtigen, neue und originelle Ideen zur Wiederverwendung in der Bauindustrie auf schnellstem Wege zu verbreiten, und zwar über eine Website (www.library-of-reuse.ch), welche Medien und Bücher zum Thema Wiederverwendung zur Verfügung stellt.

Sorgfältig ausgewählte und redigierte Studien, Artikel, Bücher, Essays, Videos und mehr werden auf der Homepage der Bibliothek veröffentlicht. Sie können bei den jeweiligen Verlagen oder - falls noch nicht gedruckt - über Books on Demand bestellt werden. Die Idee, nur so viele Bücher zu drucken, wie tatsächlich angefordert und bezahlt werden, ist auch ein grosser Schritt in Richtung Nachhaltigkeit.

Die zu verbreitenden Studien können in drei allgemeine Themenbereiche unterteilt werden:

► **PIONEERS:** Wir werden die Pionier:innen auf dem Gebiet der Wiederverwendung in Geschichte und Gegenwart porträtieren, seien es Bauträgerschaften, Unternehmer:innen, Akademiker:innen, Architekt:innen oder Ingenieur:innen.

○ **PROJECTS:** Wir stellen Pilot- und Leuchtturmprojekte vor und dokumentieren sie mit Plänen, Fotos, Zeichnungen, Filmen und Referenzen.

◇ **PRODUCTS:** Wir werden Studien über die Wiederverwendungstechniken und Vorschläge für verschiedene Materialien vorstellen.

Alle Informationen werden als Open Source zur Verfügung gestellt, mit der Absicht, dass niemand das Rad neu erfinden muss - dafür ist keine Zeit mehr - sondern dass alle dazu beitragen können, eine nachhaltigere Bauindustrie aufzubauen. Und zwar schon heute.

Das Schweizer Abfallgesetz (814.600 Abfallverordnung VVEA) aus dem Jahr 2015 schreibt die drei Handlungsstränge Reduzieren, Wiederverwenden, Recyceln vor - und zwar in dieser Reihenfolge.² Die Europäische Kommission hat den "European Green Deal" vorgeschlagen, der die Klimaneutralität des gesamten Kontinents bis 2050 vorsieht, sowie Leitlinien für die Abfallprüfung vor Abriss- und Renovierungsarbeiten von Gebäuden, die auf der "Abfallrahmenrichtlinie" basieren.³ Diese Richtlinie schlägt folgende Reihenfolge vor: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, dann Recycling, Verwertung und schliesslich Entsorgung.⁴

Während sich das Recycling in der Schweiz dank der Finanzierung durch die vorgezogene Entsorgungsgebühr zu einer vollautomatischen Schwerindustrie entwickelt hat, wurde die Wiederverwendung nicht in gleichem Umfang gefördert, da sie als zu kompliziert angesehen wird.⁵ Im Vergleich zum Recycling wird jedoch die graue Energie eingespart, es werden keine Treibhausgase freigesetzt und für den Wiederverwendungsprozess wird nur wenig Energie benötigt. Mit den schnell wachsenden Möglichkeiten der digitalen Analyse und Verteilung ist es an der Zeit, die Wiederverwendung angesichts ihres hohen Potenzials zu fördern und auszubauen:

Wenn die Herstellung von Materialien thermische Prozesse erfordert (Schmelzen von Metall oder Glas), wird der Ausstoß von Treibhausgasen durch die Wiederverwendung um mehr als 98 % reduziert. Einsparungen von bis zu 90 % wurden für natürliche Materialien berechnet (bei deren Herstellung kaum Treibhausgase freigesetzt werden).⁶ Somit ist die Wiederverwendung eine viel wirksamere Strategie zur erheblichen Reduzierung der Emissionen im Bauwesen als das Recycling!

¹ United Nations Environment Programme (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.

² Fedlex, Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (2023) [08.05.2023]

³ European comission, The European Green Deal (2019) [09.05.2023]

⁴ European comission, Waste Framework Directive (2023) [09.05.2023]

⁵ Célia Küpfer, & Corentin Fivet. (2021). Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion: Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche. Zenodo.

⁶ Stricker, E. et al. (2021) Bauteile wiederverwenden: ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Edited by E. Stricker et al. Zürich: Park Books.

There is a most urgent need to reduce greenhouse gas emissions in the construction industry, which at the moment account for 37% of worldwide CO2 emissions.¹ Had we started 50 years ago with circular construction, we would not be in such a tenuous position today. A concerted effort to explore all the possibilities to reduce the environmental footprint in the construction industry, be it by architects, engineers, companies, universities and governments is needed in order to reach the goal of carbon neutrality by 2037 (Basel) or 2040 (Zürich) or 2050 (COP Climate Agreement).

Therefore, Barbara Buser, industry pioneer of construction with reuse of building elements, Catherine De Wolf, Professor for Circular Engineering for Architecture and Daniel Stockhammer, Professor of Built Heritage & Upcycling founded the Library of Reuse. The three curators intend to spread new genuine ideas regarding reuse in the construction industry in the fastest possible way, via a website sharing media and books.

Carefully chosen and edited studies, articles, books, essays, videos, and more are published on the Library's homepage. They can be ordered from the respective publishers or – if not printed yet - through books on demand. The idea of printing only as many books as actually requested and paid for is also a big step towards sustainability - in the printing industry.

The studies to be diffused can be divided into three general subjects:

- ▶ PIONEERS: We will portray the pioneers in the field of reuse in history and in the present, be it building owners, entrepreneurs, academics, architects or engineers.
- PROJECTS: We will illustrate pilot and lighthouse projects and document them with plans, photos, drawings, films, and references.
- ◇ PRODUCTS: We will promote studies on the reuse techniques and proposals for different materials.

All the information is shared open source with the intention that nobody shall have to start reinventing the wheel – there is no time left for this – but that everybody can contribute towards building a more sustainable construction industry, starting today.

The Swiss law on waste disposal (814.600 Abfallverordnung VVEA) issued in 2015 stipulates the three lines of action: reduce, reuse, recycle – in this order.² The European commission proposed the “European Green Deal”, stipulating climate neutrality as a whole continent by 2050, as well as providing guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings which is based on the “Waste Framework Directive”.³ This guideline proposes the following order of prevention, then preparing for reuse, then recycling, recovery, and finally disposal.⁴

Whereas recycling has been developed into a fully automated heavy industry in Switzerland thanks to funding through the anticipated waste disposal charge, reuse has not been promoted equally, being considered as too complicated.⁵ However, in comparison with recycling, the embodied energy is saved, no GHG (green house gases) are released, and little energy is needed for the reuse process. With the fast-growing possibilities of digital analysis and distribution, the time has come to promote and develop reuse in view of its exceeding potential:

If the production of materials requires thermal processes (melting of metal or glass), the emission of GHG are reduced by more than 98% by reusing them. Savings of up to 90% have also been calculated for natural materials (whose production hardly releases any GHG).⁶ Thus, reuse is a much more effective strategy to reduce emissions significantly in construction compared to recycling!

¹United Nations Environment Programme (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.

²Fedlex, Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (2023) [08.05.2023]

³European commission, The European Green Deal (2019) [09.05.2023]

⁴European commission, Waste Framework Directive (2023) [09.05.2023]

⁵Célia Küpfer, & Corentin Fivet. (2021). Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion: Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche. Zenodo.

⁶Stricker, E. et al. (2021) Bauteile wiederverwenden: ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Edited by E. Stricker et al. Zürich: Park Books.

INHALT

VORWORT

1 KREISLAUFWIRTSCHAFT

1.1 GESCHICHTE UND VORKOMMEN ... 19

1.2 EIGENSCHAFTEN ... 21

1.3 HERSTELLUNG ... 25

1.4 VERFÜGBARKEIT ... 27

1.5 RÜCKBAU ... 31

1.6 TRANSPORT UND LAGERUNG ... 45

1.7 AUFBEREITUNG ... 47

1.8 VERTRIEB ... 61

1.9 VERANTWORTUNG DER ARCHITEKT:INNEN ... 71

2 KATALOG DER MÖGLICHKEITEN

2.1 BODEN ... 75

2.2 WAND ... 85

2.3 MAUERWERKSPFEILER ... 111

3 FALLSTUDIEN

3.1 FALLSTUDIE MOCK-UP ... 115

3.2 FALLSTUDIE TESTPLANUNG ... 139

4 ANHANG

4.1 VERGLEICHE ... 147

4.2 LITERATURVERZEICHNIS ... 154

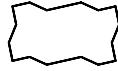
4.3 ÜBER DIE AUTOR:INNEN ... 157

DAS BUCH IST DAS KONDENSAT EINER EXPERIMENTELLEN RECHERCHE, DIE WIR WÄHREND DES HERBSTSEMESTERS 2021 AN DER ETH MIT BARBARA BUSER ERARBEITET HABEN.

DAS BUCH SOLL ANHAND DER WIEDERVERWENDUNG VON BETONVERBUNDSTEINEN POTENZIALE FÜR DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT ZEIGEN, ZUM UMDENKEN EINLADEN, UND ANREGUNGEN LIEFERN.

VERSCHIEDENEN AKTEUR:INNEN UND EXPERT:INNEN DER BAUBRANCHE HABEN DURCH GESPRÄCHE UND INTERVIEWS ZUM BUCH BEIGETRAGEN, UM DEREN ROLLE UND MÖGLICHKEITEN FÜR EINE ZIRKULARWIRTSCHAFT AUFZUZEIGEN.





VORWORT

Ausgerechnet die ungeliebten, zackigen Betonverbundsteine, Markenzeichen der 60-er Jahre Agglo-Siedlungen, haben die Studierenden Félix Dillmann, Sophie Nussbaumer, Lina von Waldkirch und Oliver Zbinden als Semesterthema ausgewählt.

Muss das sein, fragte ich mich - muss mir aber eingestehen, dass das kleine serielle Bauteil hervorragend geeignet ist für die Wiederverwendung: Eine ausgeklügelte Form, die zu verschiedensten Mustern zusammengesetzt werden kann. Mit kleinen Noppen als Distanzhalter, als Beta® Verbundstein von CréaBeton sogar patentiert.

Betonverbundsteine sind eine Weiterentwicklung von Pflastersteinen. Durch die spezielle Formgebung entsteht eine starke Verbundwirkung, die die Stabilität erhöht. Deshalb sind sie ideal, um befahrbare Bodenbeläge für Strassen, Wege und Plätze zu erstellen.

Millionen von Betonverbundsteinen werden jedes Jahr produziert und verlegt. Millionen von Steinen werden jedes Jahr wieder ausgerissen und entsorgt. Wiederverwendung gibt es praktisch nicht: Sie sei zu teuer, weil mit Handarbeit verbunden. Dagegen ist das Recycling einfach, da die Steine aus sortenreinem Material und ohne Armierung hergestellt werden.

Die Gruppe der Studierenden baute zwei Paletten von Betonverbundsteinen von Hand aus. Dies ermöglichte eine praktische Auseinandersetzung mit den Steinen: von der Aufbereitung der Steine über den Bau eines Mockups mit Boden, Wänden und Säulen, bis zum Aufschneiden der Steine, damit sie dadurch leichter und dünner werden und gleichzeitig quasi «gratis» eine glatte Oberfläche erhalten.

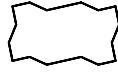
Die finanzielle Analyse zeigt: Die Produktion der Steine ist aktuell zu billig, es lohnt sich nur dann, die alten Steine auszubauen, zu reinigen und zu palettieren, wenn man die graue Energie, die CO₂-Emissionen und die Schonung von Ressourcen in die Rechnung miteinbezogen werden. Vergleichsweise günstiger wird es mit dem skalierungs-Effekt und sobald eine CO₂-Steuer eingeführt würde.

Interviews mit dem Terrazzospezialisten Aaron Gamma, dem Akustiker Stefan Schönwald, Daniel Eberhard von der gleichnamigen Abbruch- und Recyclingfirma, sowie Hendrix Müller, dem Hersteller von Betonverbundsteinen, gehen in die Tiefe, bringen neue Erkenntnisse und regen zum Nachdenken an.

Die Untersuchung steht exemplarisch für die Überlegungen zur Wiederverwendung und Kreislaufwirtschaft: In jedem Gewerbe müssen die Betriebe ausloten und herausfinden, wie sie von der Einbahnstrasse der Materialverschwendung und Energievernichtung in einen Kreislauf kommen, in dem kein Material und keine graue Energie mehr verloren geht. Und nur die konzertierte Anstrengung von Bauträgerschaft, Architekturschaffenden und Unternehmern macht es möglich, die Erkenntnisse auch umzusetzen.

Studien wie diese weisen den Weg zum Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und zeigen, dass es technisch möglich ist. Aber erst, wenn es auch finanziell attraktiv wird, kann sich die Wiederverwendung auch in der Breite durchsetzen. Deshalb müssen die bestehenden Gesetze zur Vermeidung von Abfällen endlich politisch durchgesetzt, und die Wiederverwendung finanziell unterstützt werden!

Basel, den 10.05.2023 | Barbara Buser



FOREWORD

Of all things, the unloved, jagged concrete composite bricks, trademark of the 1960s aggro housing estates, were chosen by students Félix Dillmann, Sophie Nussbaumer, Lina von Waldkirch and Oliver Zbinden as their semester topic.

Does it have to be, I asked myself - but have to admit that the small serial component is excellently suited for reuse: an ingenious shape that can be assembled into a wide variety of patterns, with small studs as spacers, even patented by CréaBeton as the «Beta®Verbundstein».

Concrete interlocking blocks are a further development of paving blocks. Their special shape creates a strong composite effect that increases stability. Therefore, they are ideal for creating drivable pavements for roads, paths and squares.

Millions of interlocking concrete blocks are produced and laid every year. Millions of stones are torn out and disposed of every year. Reuse is practically non-existent: it is too expensive because it involves a lot of manual labour. Recycling, on the other hand, is easy because the bricks are made from single-variety material and without reinforcement.

The group of students dismantled two pallets of interlocking concrete blocks by hand. This allowed for a hands-on approach to the stones: from preparing the stones to building a mock-up with floor, walls and columns, to cutting the stones so that they become lighter and thinner as a result, while at the same time getting a smooth surface quasi "for free".

The financial analysis shows: The production of the stones is currently too cheap, it is only worthwhile to remove, clean and palletise the old stones if the grey energy, the CO₂ emissions and the conservation of resources are included in the calculation. It becomes comparatively cheaper with the scaling effect and as soon as a CO₂ tax is introduced.

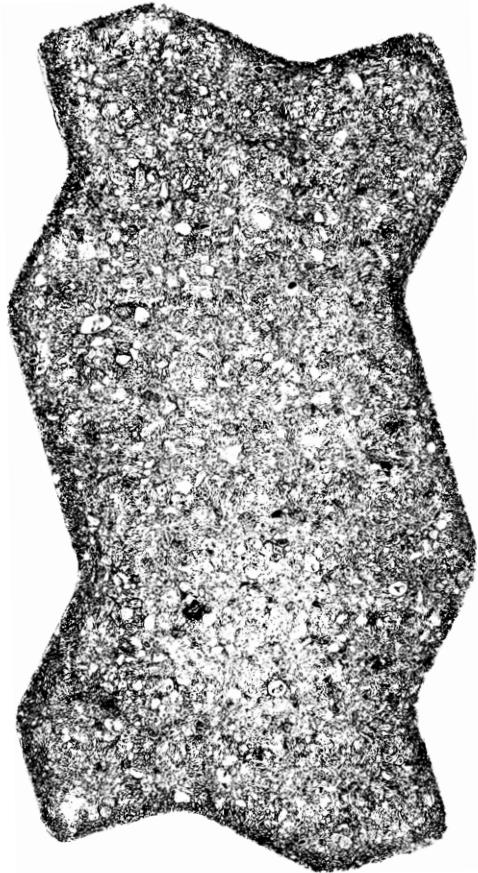
Interviews with terrazzo specialist Aaron Gamma, acoustician Stefan Schönwald, Daniel Eberhard from the demolition and recycling company of the same name, and Hendrix Müller, the manufacturer of composite concrete blocks, go into depth, provide new insights and stimulate reflection.

The investigation is exemplary for the considerations on reuse and circular economy: in every trade, the companies have to sound out and find out how to get from the one-way street of material waste and energy destruction to a circular flow in which no more material and grey energy is lost. And only the concerted effort of building owners, architects and entrepreneurs makes it possible to implement the findings.

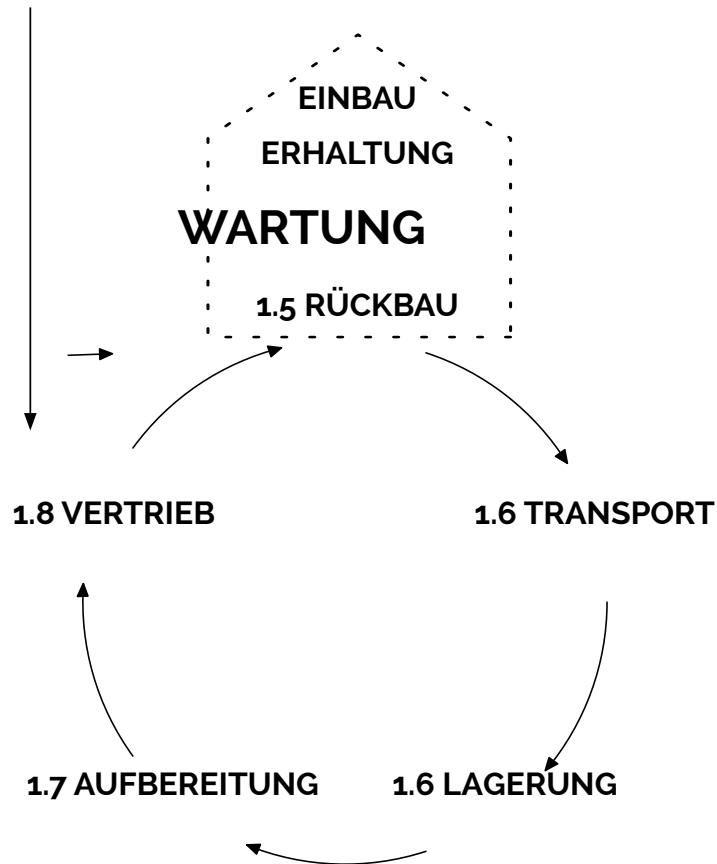
Studies like these point the way to rethinking the circular economy and show that it is technically possible. But only when it also becomes financially attractive can reuse also become widely accepted. Therefore, the existing laws on the avoidance of waste must finally be enforced politically, and reuse must be supported financially!

Basel, 10.05.2023 | Barbara Buser

1 KREISLAUF- WIRTSCHAFT



1.2 HERSTELLUNG



Kreislaufwirtschaft: Ein Wirtschaftsmodell, das unter anderem auf Teilen, Leasing, Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung und Recycling in einem (fast) geschlossenen Kreislauf beruht und darauf abzielt, jederzeit den höchsten Nutzen und Wert von Produkten, Komponenten und Materialien zu erhalten.

Erweiterte Herstellerverantwortung: «Ein umweltpolitischer Ansatz, bei dem die Hersteller die finanzielle und/oder organisatorische Verantwortung für die Sammlung oder Rücknahme gebrauchter Güter übernehmen, ebenso die Sortierung und Behandlung für deren Recycling.»¹

Akteurenverantwortung: In der Schweiz gibt es zurzeit noch keinen funktionierenden Secondhandmarkt für Betonpflastersteine. Sie werden nur vereinzelt in kleiner Stückzahl in Bauteilbörsen angeboten.

«DURCH DIE ENTWICKLUNG EINER STRATEGIE FÜR DIE DEMONTAGE UND DIE WIEDERVERWENDUNG EIGENER PRODUKTE, BEREITEN SICH DIE HERSTELLER:INNEN AUF EIN ZUKUNFTSORIENTIERTES GESCHÄFTSMODELL VOR UND SICHERN SICH EINEN WETTBEWERBSVORTEIL.»²

PROF. DR. CATHERINE DE WOLF

¹European Parliamentary Research Service EPRS (Hrsg.), Didier Bourguignon, «Glossary» in: Briefing January 2016. Closing the loop. New circular economy package, S. 2, [Übersetzung d. Autoren].

²Catherine de Wolf. Interviewt von B. Buser, F. Dillmann, S. Nussbaumer, L. v. Waldkirch und O. Zbinden am 8.12.2021 [Übersetzt von Félix Dillmann].

Es ist absehbar, dass in naher Zukunft in der Schweiz einschneidende, verantwortungsvolle Massnahmen gegen den hohen CO₂-Ausstoss getroffen werden, die auch die graue Energie von Baumaterialien betreffen. Eine CO₂-Steuer wird den Preis von Materialien, in denen viel graue Energie steckt, massiv erhöhen. Eine Netto-null-Strategie wird zusätzlich starken Druck auf Produzenten solcher Materialien ausüben. Für Firmen, die neue Produkte auf den Markt bringen, werden deshalb Wiederverwendungs-Unternehmen zukünftig zur Konkurrenz. Langfristig gedacht ist es daher sinnvoll, den Wiederverwendungs-Prozess in die Firmenstruktur und das Businessmodell zu implementieren. Aus Sicht der Kreislaufwirtschaft ist die ökonomisch und ökologisch sinnvollste Option, wenn die Hersteller für die Rücknahme ihrer Produkte selbst zuständig sind. Diese Firmen besitzen einerseits das Know-how und andererseits die Infrastruktur, um Materialtests und Aufbereitungsarbeiten durchzuführen.

In diesem Sinne soll der Kreislauf von Wiederverwendung, verantwortungsvoller Wartung und professionellem Rückbau über kompetente Aufbereitung bis zu zielorientiertem Vertrieb ganzheitlich betrachtet und gegebenenfalls durch zielführende Vertragsverhältnisse und Kooperationen gestaltet werden.¹

«AM SCHLUSS FUNKTIONIERT ES
NUR, WENN DER BAUHERR MIT DEN
PROJEKTIERENDEN DEN WEG GEMEINSAM
DEFINIERT»²

DANIEL EBERHARD

Die Geschichte der Pflastersteine ist so alt wie die ersten Siedlungen der Menschheit. In Babylon wurde gebrannter Ton für die Pflasterung von Wegen eingesetzt, im antiken Griechenland wurden Kalk- und Sandsteine sowie Marmor und Gneis dafür verwendet. Im Römischen Reich bevorzugte man die Verwendung von Basalt und Kalkstein. Durch die Ausdehnung der Städte im 18. und 19. Jahrhundert erlebte der Pflasterstein eine Weiterentwicklung. Um auf einfache Art ebene Steinflächen zu erzeugen, verwendete man zu Beginn vorzugsweise Basalt und Kalkstein. Wenn keine Natursteine zur Verfügung standen, waren gebrannte Ziegel oder Klinker eine kostengünstige Alternative. Ende des 19. Jahrhunderts wurde der erste Betonstein hergestellt. Er überzeugte vor allem durch seine Masshaltigkeit und geringe Kosten. Zudem war es erstmals möglich, unterschiedlichste Steinformen zu gestalten, dazu gehören auch die ineinandergreifenden Verbundsteine.

Betonsteine dominieren heute den Markt der Verbundsteine. Ihre Hauptanwendung finden sie in gering belasteten Verkehrsflächen, auf privaten Grundstücken, Geh- und Radwegen, Parkplätzen sowie Erschliessungsstrassen in Wohngebieten. Die Vorteile der Betonsteine liegen erstens beim günstigen Preis und zweitens, dass er trocken verlegt werden kann. Bis heute werden die Steine hauptsächlich von Hand verlegt. Es gibt aber auch Verlegemaschinen, die eine kraftsparende und schnelle Alternative für grossformatige Flächen bieten.¹

Pflasterflächen bestehen aus Steinen und Fugen, gemeinsam bestimmen sie die Gebrauchseigenschaften der Bodenfläche. Als Fugenmaterial werden grobkörniger Pflastersand, Zement- oder Kunststoffmörtel verwendet.² Letztere führen jedoch zu einer Versiegelung des Bodens. Unversiegelte Böden ermöglichen den ökologisch wichtigen Boden-Luftaustausch und die Versickerung des Regenwassers. Zudem muss auf die Bettung, eine geeignete Tragschicht und einen anforderungsgerechten Untergrund geachtet werden.³

¹ Circular Economy Switzerland (Hrsg.), «Wissen: Was ist Kreislaufwirtschaft», <https://circular-economy-switzerland.ch/wissen/> (Stand 8.8.2022).

² Eberhard, Interview (s. Kapitel 1.5)

¹ Horst Mentlein, Pflaster-Atlas. Planung, Konstruktion und Herstellung, 5. Auflage, Köln 2020, S. 11–13.

² Ebd., S. 13.

³ Ökologische Eigenschaften von Verbundsteinen <https://creabeton-baustoff.ch/magazin/funktion-sickersteine/> (Stand 29.10.22)

Der Betonverbundstein zeichnet sich durch die allseitige Verzahnung seiner Ränder aus. Dadurch kann er Schubkräfte in alle Richtungen aufnehmen. Die kleinen Noppen an den Rändern dienen als Abstandshalter und garantieren ein gleichmässiges Fugenbild. Der Stein besteht aus zwei Schichten mit unterschiedlichen Betonarten. Der Vorsatzbeton (Deckschicht) hat eine Höhe von zirka 1 Zentimeter. Verglichen mit dem Kernbeton (Unterseite) hat er eine höhere Dichte und einen höheren Zementanteil. Der Vorsatzbeton muss extremen physikalischen und klimatischen Einflussfaktoren standhalten können.¹

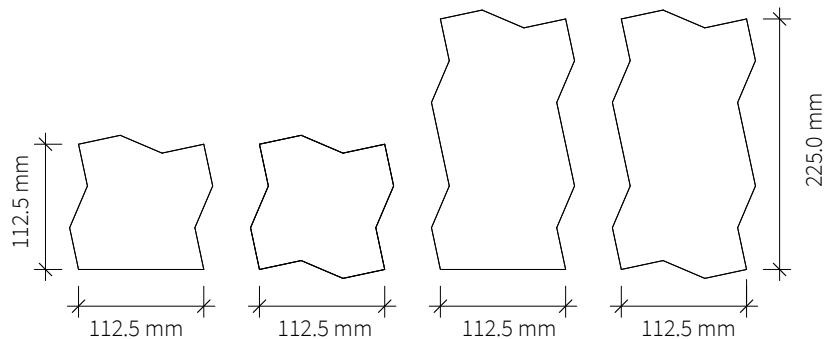
DIMENSIONEN

Normalstein	
Länge	225 mm
Breite	112,5 mm
Höhe	60 80 100 mm

Ganzer Randstein	
Länge	225 mm
Breite	112,5 mm
Höhe	60 80 100 mm

Halber Stein	
Länge	112,5 mm
Breite	112,5 mm
Höhe	60 80 100 mm

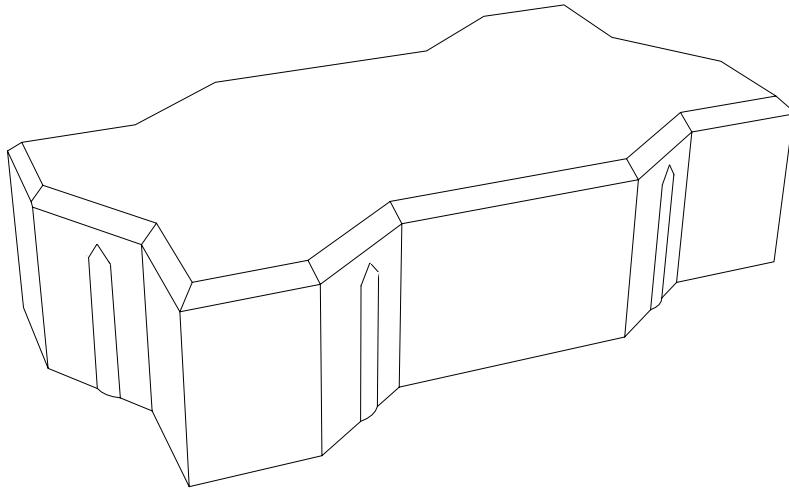
Halber Randstein	
Länge	112,5 mm
Breite	112,5 mm
Höhe	60 80 100 mm



¹Mentlein, Horst. Pflaster Atlas: Planung, Konstruktion und Herstellung. 3., aktual. u. erw. Aufl. Köln: R. Müller, 2009. Print. S. 22

EIGENSCHAFTEN (FÜR H = 60 MM)

Gewicht eines Normalsteines	3,3 kg 136 kg/m ²
Rohdichte ^I	2300 kg/m ³
Druckfestigkeit ^{II}	≥ 80 MN/m ² *
Zementgehalt	280–350 kg/m ³
Wasser-Zement-Wert	0,35–0,40
Gesteinskörnungen	Grosskorn 8 mm 16 mm
Kornzusammensetzung ^{III}	50–60 % Sand, 40–50 % Splitt / Kies
Neupreis/m ²	33,30 CHF/m ² ^{IV}



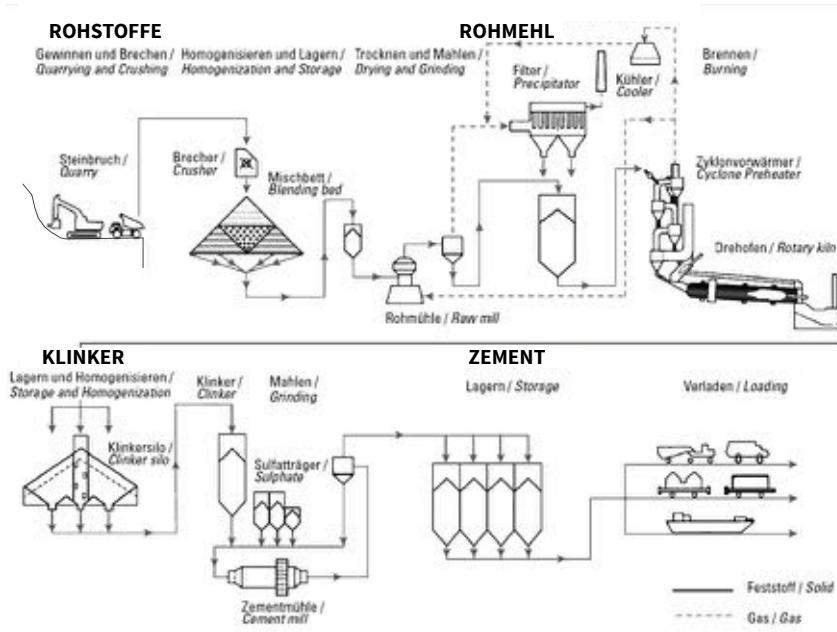
*Achtung: Dieser Wert variiert je nach Anbieter und Festigkeitsklasse. Letztere ist oftmals von der Höhe der Steine abhängig. Übliche Höhen sind 6 cm, 8 cm und 10 cm. Faustregel: je höher, desto belastbarer sind die Steine.

^I Admin.ch, *Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2022*, (2023).

^{II} Creabeton Matériaux AG (Hrsg.), «Produktdatenblatt Beta® Verbundstein», S. 375.

^{III} Siehe für Zementgehalt, Wasser-Zement-Wert, Gesteinskörnungen und Kornzusammensetzung: Mentlein 2020, S.27.

^{IV} Creabeton Matériaux AG, Preisangabe (inkl. MwSt.), Stand: November 2021.



Betonverbundsteine werden aus Zement, Gesteinskörnungen, Wasser und Zusätzen hergestellt. Die gemahlene Rohstoffe werden zunächst zur Fabrik geliefert, in Silos gelagert und von dort über Förderanlagen zu den Produktionsmaschinen transportiert. Hier werden sie mit Wasser vermischt und in die gewünschte Form gegossen. Dies geschieht in zwei Schritten: als Erstes wird der Vorsatzbeton in die Schalung gegeben und mit dem Kernbeton übergossen. Als zweiter Schritt folgt die Trocknung beziehungsweise die Aushärtung in Trocknungsregalen. Bevor die Steine kompakt auf Paletten gestapelt werden und so vertrieben werden, wird eine Qualitätskontrolle vorgenommen.¹

ÖKOBILANZDATEN

Für Hochbaubeton ohne Bewehrung¹

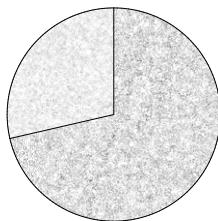
Umweltbelastungspunkte UBP	
Herstellung	118
Entsorgung	36
Total	154

Primärenergie	
Graue Energie	0,175 kWh Öl/kg
Erneuerbare Energie	0,015 kWh Öl/kg
Total	0,190 kWh Öl/kg

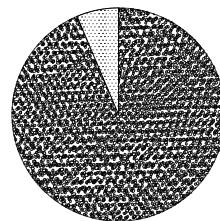
Treibhausgasemission	
Herstellung	0,089 kg CO ₂ /kg
Entsorgung	0,013 kg CO ₂ /kg
Total	0,101 kg CO₂/kg

«Schematische Darstellung des Zementherstellungsprozesses»¹

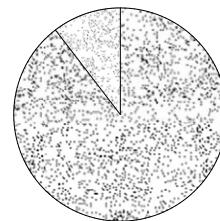
«Betonherstellung und Klimaschutz»²



UBP
71 % Herstellung
29 % Entsorgung



Primärenergie
94 % Graue Energie
6 % erneuerbare Energie



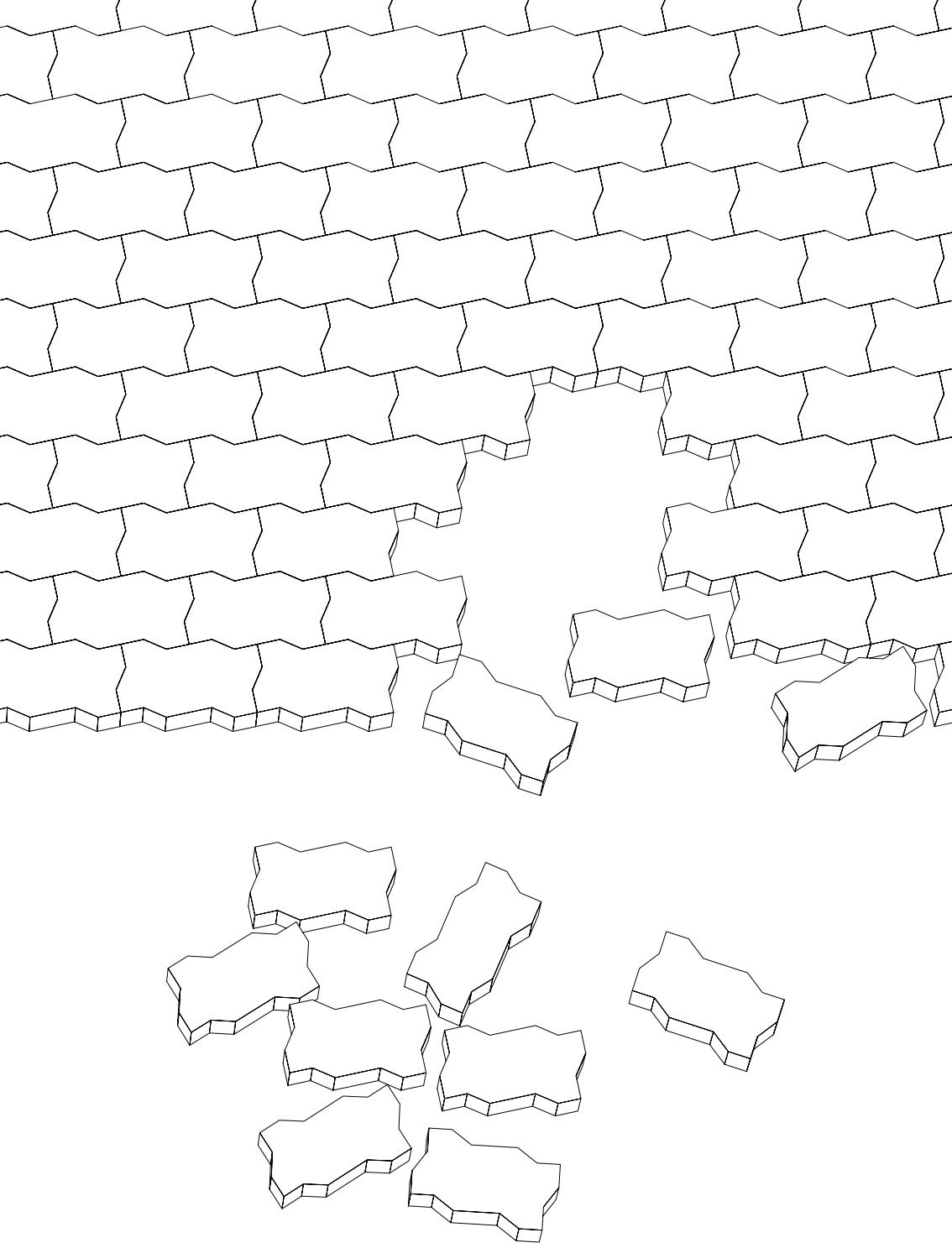
Treibhausgasemission
90 % Herstellung
10 % Entsorgung

^{1,2} O. A., «Betonherstellung und Klimaschutz», online unter: <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519> (Stand 5.8.2022).

¹Mentlein, Horst. Pflaster Atlas : Planung, Konstruktion und Herstellung. 3., aktual. u. erw. Aufl. Köln: R. Müller, 2009. Print.

¹KBOB-Liste, «Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2022»

VERFÜGBARKEIT, URBAN MINING 1.4



Heute werden in der Schweiz Betonverbundsteine noch kaum wiederverwendet.¹ Weil sie nicht armiert und der Beton sortenrein ist, sind sie ein sehr einfach zu rezyklierendes Material, um gleichässigen Recyclingbeton herzustellen. Da der Abfallstrom von Betonverbundsteinen unbekannt ist, kann angenommen werden, dass alles, was ausgebaut wird, grundsätzlich der Wiederverwendung zur Verfügung steht. Hinzu kommt ein Ausschuss von ca. 0,2 Prozent der Neuproduktion, der in der Regel lediglich kleinere visuelle Mängel aufweist.²

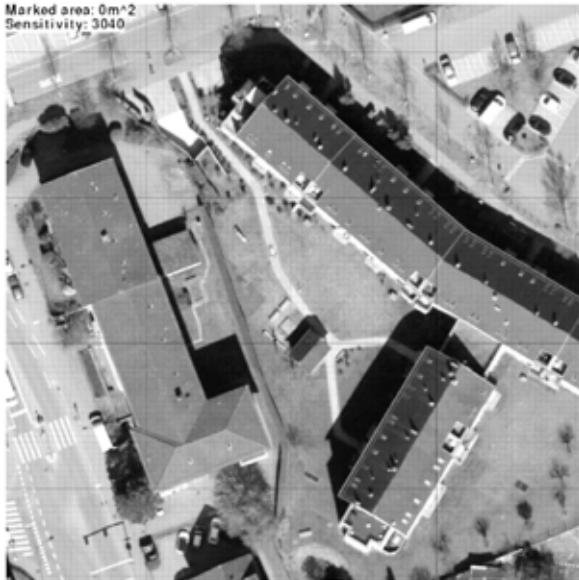
Das äussere Erscheinungsbild der Steine kann je nach Ausbauort variieren. Entscheidend ist dabei, ob die Steine durch ein Vordach oder eine sonstige Vorrichtung geschützt worden waren. Ist dies nicht der Fall, erhält der Stein eine Patina oder sogar eine leichte Mooschicht.

¹ Daniel Eberhard, Eberhard Bau AG. Interviewt von Félix Dillmann und Sophie Nussbaumer. 16.12.21. (Gesamtes Interview im Anschluss vom Kapitel 1.5 einzusehen)

² Hendrix Müller, MÜLLER-STEINAG Gruppe. Interviewt von Félix Dillmann und Sophie Nussbaumer. 17.12.21. (Gesamtes Interview im Anschluss vom Kapitel 1.8 einzusehen)

EXKURS: «URBAN MINING TOOL»

in Zusammenarbeit mit Viturin Züst, Computer Science Msc ETH



Screenshot des entwickelten Programms

Um zu erwartende Verfügbarkeit und Materialflüsse von Betonverbundsteinen voraussagen und koordinieren zu können, schlagen wir folgende zwei Schritte vor: Zuerst sollen Rückbauvorhaben über eine online Datenbank der jeweiligen Gemeinde ausfindig gemacht werden, danach könnte mit Hilfe von Computer Vision die entsprechend verbauten Ressourcen lokalisiert werden.

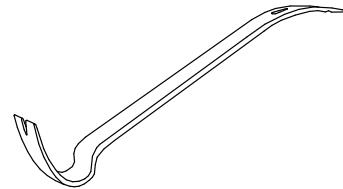
Das Muster eines Verbandes ist unverkennbar und sehr charakteristisch – in der Theorie wäre es möglich, dieses Muster mithilfe einer Software in Satellitenbildern erkennen zu können. Laut Viturin Züst ist die Entwicklung eines solchen Programms in der Praxis möglich. Die grösste Herausforderung ist momentan die Auflösung der Satellitenbilder. Die hochwertigsten und öffentlich frei zugänglichen Satellitenbilder sind heute bei Swisstopo erhältlich und haben eine maximale Bodenauflösung von 10 mal 10 Zentimeter. Das bedeutet, dass ein Pixel die Grösse eines halben Steines hat und es somit schwierig ist, das Muster des Belages zu entziffern. Folglich ist es einfacher, Vorkommen basierend auf Satellitenbildern und mit Hilfe von maschinellem Lernen zu markieren, um eine Flächenangabe zu generieren. Dafür werden die Spektraldaten einer TIFF-Datei verglichen. Genauer gesagt macht das Tool eine diskrete 2D-Fourier-Transformation, anschliessend eine 2D-Laplacian-Convolution und schliesslich eine Farbanalyse der Bilder. Mit dem heutigen Entwicklungsstand dieses Programms, muss der Nutzer noch wissen, wo die Steine verbaut sind. So ist es möglich, innerhalb von kurzer Zeit eine Vorstellung über den Umfang verbauter Flächen zu bekommen.

Das Programm kann laut Züst mit einem Aufwand von wenigen Monaten so weit entwickelt werden, dass es mithilfe künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen solche Flächen selbstständig erkennt.

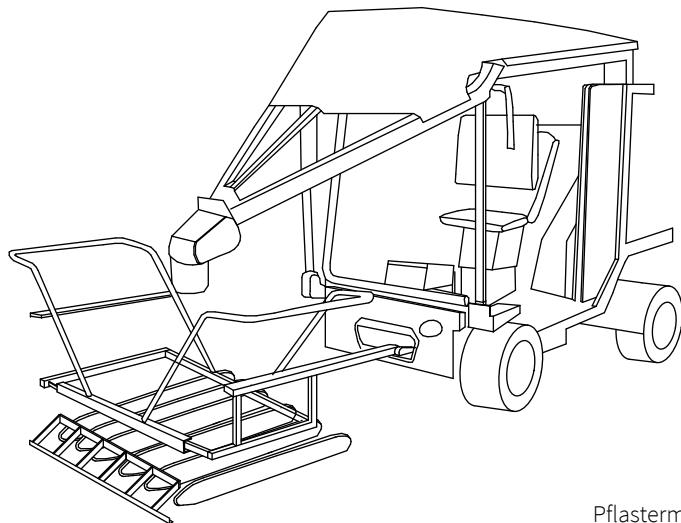
Der Rückbau ist ein zentraler Arbeitsschritt in der Kreislaufwirtschaft. Durch eine gute Kommunikation und Planung zwischen Bauherrschaft, Architekten und Unternehmen, ähnlich einer invertierten Neubauplanung, kann er sinnvoll und effizient koordiniert werden.¹

MANUELLER RÜCKBAU

Die Trockenverlegung ermöglicht einen sortenreinen und verlustfreien Rückbau. Mithilfe eines Geissfusses kann der Verbund gelöst werden. Nach dem Entfernen von grobem Schmutz mit Handbürste oder Wasser können die Steine palettiert und für den Transport vorbereitet werden. Von Vorteil ist, dass weder aufwändige Technik noch Erfahrung vorausgesetzt wird. Die Qualitätskontrolle und Ausrichtung der Steine erfolgt durch den Menschen. Nachteilig ist der lange und entsprechend teure Ausbauprozess.



Geissfuss



Pflastermaschine

MASCHINELLER RÜCKBAU

Bei grösseren Mengen bieten sich maschinelle Prozesse an. Eine modifizierte Pflastermaschine löst die Steine aus dem Verbund, indem sie präzise in die Fugen greift und hebt sie schichtweise auf Paletten.² Die Vorteile liegen in einer effizienten Durchführung und wenig Personal auf der Baustelle unter der Bedingung, dass ausgebildete Maschinenführer:innen verfügbar sind. Hier soll beachtet werden, dass durch die Palettierung auf diese Weise Schmutz mitgeführt wird. Eine zeitsparende Alternative ist der Ausbau mit einem Bagger. Dabei entsteht ein Ausschuss, der je nach Beschädigungsgrad entweder direkt ins Recycling gehen kann, oder sich noch für Einsatzmöglichkeit eignet, die eine tiefere Güteklasse erfordern, wie beispielsweise Beschwerung von Boden im Holzbau (Siehe Kapitel 2.1). Beim Rückbau wird es sich wahrscheinlich lohnen, die manuelle Variante zu wählen. Auf die Palettierung sollte besonders Wert gelegt werden, da es andernfalls in der Folge zu aufwändigen weiteren Arbeitsschritten in der Industrie kommt, die mit Kosten verbunden sind.

¹ Eberhard, Interview (s. Kapitel 1.5)

² GaLa Bau Djokanov, Telefonat Felix Dillmann, 17.12.22

«ES WÄRE SINNVOLLER, DEN AUFWAND
[DER REINIGUNG] DIREKT AUF DER
BAUSTELLE ZU BETREIBEN, UM DAFÜR
IN DEN DARAUFFOLGENDEN SCHRITTEN
EFFIZIENTER ARBEITEN ZU KÖNNEN.»¹

AARON GAMMA

Gewisse Schritte der Aufbereitung können direkt auf der Baustelle erfolgen (s. Kapitel 1.7 Aufbereitung).

Je nachdem, welche Flächen zurückgebaut werden, sollten die Varianten situativ geprüft werden. Da der Abrissprozess von Gebäuden immer effizienter wird, ist es realistisch, dass etwas Zeit für Rückbauarbeiten geschafft wird; der Baukran könnte zwei Tage früher aufgestellt werden, um die Betonpflastersteine effizient befördern zu können.¹

Kosten Rückbau (Erfahrungswert, manueller Rückbau, palettiert): CHF 37,50/m²

¹ Aaron Gamma, Brun del Re Terrazzo AG. Interviewt von Felix Dillmann. 14.12.21. (Gesamtes Interview im Anschluss vom Kapitel 1.7 einzusehen)

¹ Aaron Gamma, Brun del Re Terrazzo AG. Interviewt von Felix Dillmann. 14.12.21. (Gesamtes Interview im Anschluss vom Kapitel 1.7 einzusehen)

INTERVIEW

Daniel Eberhard, Eberhard Bau AG

Geführt von Felix Dillmann und Sophie Nussbaumer, transkribiert von Oliver Zbinden.
Ort: Abbruchobjekt, Birchstrasse 660, Zürich-Seebach, 16.12.2021

Das Interview wurde auf einer Abbruchbaustelle in Zürich Seebach durchgeführt, die wir im Rahmen des Studios als besuchen und als Rückbaubjekt nutzen konnten.

Daniel Eberhard: Also gut, gehen wir mal schauen. Dann ist es ja das richtige Objekt, wenn ihr schon einmal da gewesen seid, um Materialien rückzubauen. Ein schöner Zufall.

Felix Dillmann: Perfekt!

Sophie Nussbaum: Ja, das ist wirklich gut. Als wir die Adresse gesehen haben, mussten wir schon ein wenig schmunzeln.

DE: Ich habe gedacht, dass es hier sicher spannender ist, als bei uns im Büro. Dort sieht man nicht viel. Hier bekommt ihr auch ein wenig mit, wie es auf der Baustelle läuft. Schadet euch ja auch nicht und bringt euch am Schluss noch ein wenig Erfahrung.

FD: Und einen Bezug zur Realität.

DE: Ja, das ist definitiv auch wichtig. Also, hier drüben sind wir schon fleissig beim Abbrechen. Hier seht ihr übrigens einen ganz neuen Bagger, er ist vorgestern eingetroffen. Er ist extra für zwei- bis vierstöckige Gebäude ausgelegt, so dass wir möglichst effizient arbeiten können. Der ganze Abbruch hier sieht ziemlich chaotisch aus, das Material ist bunt gemischt, aber – ich weiss nicht, ob ihr das mitbekommen habt – wir haben eine neue Recyclinganlage in Oberglätt gebaut. Das Gemisch laden wir genau so auf und führen es nach Oberglätt. Dort haben wir autonome Sortierroboter, die dieses ganze Gemisch wieder aussortieren. Es ist eigentlich eine Verlagerung des Prozesses, was wir vorher am Gebäude gemacht haben, verschiebt sich jetzt ins Werk hinein. Das ist für uns auch ein zeitlicher Vorteil, weil wir so viel schneller sind. Früher haben wir die Hälfte der Arbeitszeit damit verbracht, das Gebäude zurück auf den Rohbau zu entkernen. Klar, nicht mit dem Fokus Wiederverwendung in Sinne von einzelnen Bauteilen, aber mit dem Fokus, dass wir reine Stoffe nach dem Mehrmulden-Konzept produzieren.

Das ist jetzt nicht mehr nötig, weil wir das jetzt alles verfahrenstechnisch in der Anlage erledigen können. Nachdem die Schadstoffsanierung gemacht wurde – Asbest muss draussen sein, ebenso PAK, PCB, aber auch Kühlschränke sowie alle Fensterscheiben –, kommen wir mit dem Bagger. Kühlschränke sind aufgrund des Kühlmittels heikel, es werden Altlasten. Glas verträgt sich stofflich nicht gut mit dem restlichen Material. Wenn es als Betonzuschlag wieder in den Kreislauf gerät, kann der Zement keine gute Ummantelung mehr machen und die Bindefähigkeit wird reduziert.

SN: Das heisst, ihr nehmt im Vorfeld alle diese Materialien einfach heraus.

FD: Wir gesehen, dass ihr hier relativ speditiv alle Fenster entfernt habt ...

DE: Ja, genau. Und am Schluss ist es so, dass wir eine Wiederverwertungsquote von nahezu 100 Prozent erreichen. Jetzt kann man natürlich immer wieder darüber diskutieren, ob es sich um Downcycling oder Upcycling handelt. Aber wir sind der Überzeugung, dass es mit unserer neuen Anlage kein Downcycling mehr ist. Früher haben wir den entkernten Mischabbruch nach Rümplang in die ältere Recyclinganlage gebracht, dort wurde dies gebrochen und mehrheitlich Mauerbeton daraus produziert. Selbstkritisch kann man im Nachhinein sagen, dass es ein Downcycling war. Jetzt liefern wir in die neue Anlage und produzieren dort wieder hochwertige Komponenten, welche Bestandteil eines hochwertigen Betons werden. Aber es gibt logischerweise trotzdem Bauteile im Abbruch, wo es eigentlich schade ist, wenn man diese so mit in den Haufen wirft. Solche, die man gut wiederverwenden könnte.

SN: Zum Beispiel gerade dieser ganze Dachstock mit den Balken?

DE: Eine Schwierigkeit, wenn man diesen Dachstock jetzt herunternehmen wollte, liegt beispielsweise bei der Arbeitssicherheit, die ist immer ein grosses Thema: Wie machen wir es überhaupt möglich? Die Bauarbeiterverordnung ist noch einmal verschärft worden, das heisst, wir ha-

ben jetzt noch mehr Auflagen. Dann bleibt immer noch die Frage: Wo setzt man das Material wieder ein? Dieses Holz, welches der Arbeiter jetzt gerade so brachial mit dem Bagger herunternimmt, geht in die thermische Verwertung. Dies ist auch eine Verwertung, aber nicht unbedingt die ...

SN: ... ein Downcycling.

DE: Wir sind aber auch am Üben, den Abriss so zu gestalten, dass wir mit dem Holz in die stoffliche Verwertung können. Dass zum Beispiel Spanplatten daraus gemacht werden kann, wenn wir die Qualität steigern können.

Hier seht ihr jetzt, wie er einen Teil des Holzes und auch Betonabbruch trotzdem separat aussortiert. Beton ist nie ein Problem, den können wir gut recyceln und wieder hochwertigen Beton daraus produzieren. Diesen führen wir auch separat ab. Und alles andere geht dann in unsere Ebirec-Anlage in Rümplang.

FD: Der Stahl, der darin ist, wird der dann auch kleingehackt?

DE: Stahl wird von Magneten rausgezogen und geht dann in das Recycling. Auch Alu und Kupfer wird separiert und den einzelnen Stoffströmen zugeteilt. Bei Backsteinen ist es das Ziel, dass wir am Schluss möglichst reine mineralische Fraktionen haben. Diese brechen und sieben wir und teilen sie in eine Leichtmineralik- und eine Schwermineralik-Fraktion. So können wir sie wieder ziemlich zielgerichtet für neue Baustoffe einsetzen. Da sind wir ständig an der Entwicklung dran und kreieren zum Beispiel einen mineralischen Dämmstoff, den wir aus diesen Materialien produzieren können. Es sind grosse Entwicklungen im Gange.

FD: Arbeitet ihr dafür mit anderen Firmen zusammen?

DE: Wir arbeiten zum Teil mit anderen Firmen zusammen, teilweise machen wir es selbst und teilweise arbeiten wir mit Hochschulen zusammen. Jetzt sehen wir da den Bagger, der die LKWs belädt, welche auf Oberglätt gehen und ins Recyclingwerk fahren.

SN: Wie viele von solchen Lastwagen fahren beim Abbruch einer solchen Siedlung zurück ins Werk?

DE: Da habe ich die Zahl jetzt nicht genau im Kopf, aber ich würde sagen, es sind etwa 6000 Tonnen, die wir jetzt da abführen. Ein Lastwagen lädt

26 Tonnen (Anm. OZ: 230 LKWs). Das sind einige Fahrten, aber nach Oberglätt sind es nur vier bis fünf Kilometer (Anm. OZ: laut Google Maps: 8,4 km), das ist keine weite Fahrt.

SN: Das ist nicht weit, nein.

DE: Gut, umwelttechnisch sind Lastwagen nicht gerade CO₂-neutral, aber es macht nicht viel aus.

SN: Ja, das haben wir gelernt. Meistens kann man den Transport praktisch rausnehmen.

DE: Wenn man CO₂-Bilanzen berechnet, ist es immer der Zement, der viel ausmacht. Wenn man das ganze Recycling betrachtet, bräuchte man eigentlich eine Ersatzlösung für den Zement.

FD: Da ist man ja jetzt dran mit der EPFL, die ...

DE: Genau, da gibt es momentan ein paar Projekte. Und wenn man es realistisch betrachtet, dann kann man auch mit Holz nicht alles ersetzen. Irgendwann geht es nicht mehr auf, weil man keine nachhaltige Forstwirtschaft mehr betreiben kann, wenn der Bedarf so gross ist. Dann nützt auch die ganze Verlagerung auf nachwachsende Rohstoffe nichts, weil diese nicht genug schnell nachwachsen können.

SN: Sollen wir mal mit unseren Fragen beginnen?

DE: Ja, gerne.

SN: Wo seht ihr als Firma Eberhard eure Rolle in der Zirkulärwirtschaft?

DE: Wir sehen eigentlich, dass wir ein sehr wichtiger Teil darin sind. Klar sind wir in einem Umfeld, wo wir Auftragnehmer und nicht Auftraggeber sind. Am Schluss muss auch der Bauherr gewillt sein, diese Themen anzugehen. Aber zum Beispiel mit der Anpassung des Prozesses, dass wir durch unsere Abbruchmethode viel schneller sind, gewinnen wir vielleicht Zeit, um diese Themen im Vorhinein anzugehen. Vielleicht gewinnt man so Zeit für eine Zusammenarbeit mit einer Bauteilbörse, sodass diese beispielsweise noch eine Woche lang Materialien herausnehmen kann, bevor der Abbruch beginnt. Oder wir könnten es für sie machen. Das grösste Problem tritt dann zutage, wenn man das Baumaterial nicht direkt von A nach B führen kann, sondern auf einem Zwischenlagerplatz unterbringen muss, denn dann wird es teuer.

müsste, dann muss er so viel Sicherheitsmarge einrechnen, dass schlussendlich wieder so viel Beton oder Stahl verbaut ist, dass sich dieser Spass nicht lohnt. Aber ich denke, es gibt wirklich Bauteile, zum Beispiel Türen, Sonnenstoren, welche da liegen, die ...

FD: Die haben wir ...

DE: Das sind Elemente, die man wirklich zielführend und sinnvoll wiederverwenden könnte.

FD: Eine Gruppe hat Sonnenstoren abgebaut und gemerkt, dass in ihnen extrem viel CO₂ verbaut ist, aber es ist extrem einfach, sie auszubauen.

DE: Ich glaube, man muss das Thema wirklich von dieser Seite her angehen und sich fragen: Was ist mit möglichst einfachen Mitteln möglich und wo ist die graue Energie verbaut? Und wo sind die Probleme, die noch nicht gelöst sind?

FD: Sprechen wir das Finanzielle an. Es ist sicher günstiger, schnell abzureisen, denn abreißen kostet den Produzenten nichts, neue Produkte zu schaffen, dauert dafür lange. Wie ist das Verhältnis von Abriss zu Neuproduktion? Gibt es da Kontakte?

DE: Meinst du zu Produzenten von Dämmstoffen zum Beispiel?

FD: Nehmen wir Creabeton [Müller-SteinAG], weil diese näher an unserem Beispiel sind.

DE: Also mit Creabeton [Müller-SteinAG] haben wir logischerweise Kontakte, weil wir zum Teil auch neue Sachen bauen, aber wegen Wiederverwendung sind wir bisher nicht im Gespräch.

Es gibt bei speziellen Materialien, zum Beispiel bei einer Natursteinfassade oder alten Holzbalken, teilweise Interessenten. Man weiss, dass dies Wertstoffe sind, da bekommt man zum Teil sogar noch etwas dafür, bei solchen Baumaterialien funktioniert es.

SN: Das hat mit der Wertschätzung der Materialien zu tun, oder?

DE: Ja, am Schluss ist alles wieder eine wirtschaftliche Frage. Aber es gibt schon Materialien, wo es funktioniert. Schrott logischerweise, das lohnt sich, dafür bekommt man Geld. Oder Metall – Kupfer ist ein klassisches Beispiel, da schaut man wie ein «Heftlimacher», dass man alles erwischt und es nicht abhanden kommt, denn die Tonne kostet 3000 Franken, also gibt es viel Geld.

FD: In gewissen Momenten gibt es also schon solche Kooperationen. Könnte man dort einhaken, um neue Kollaborationen entstehen lassen?

SN: Eine Frage, die wir schon lange einmal klären wollten, aber nie herausgefunden haben, ist, wie hoch der Abfall oder der Waste-Stream des Verbundsteins ist. Wie viele werden produziert, wie viele entsorgt? Kannst du uns darauf eine Antwort geben?

DE: Also wie hoch die Gesamtmenge an Verbundsteinen wirklich ist?

SN: Ja. Oder kannst du es abschätzen?

DE: Nein, das ist relativ schwierig. Man müsste herausfinden, was neu produziert wird und dann könnte man in der Bautätigkeit abschätzen, wie gross die Menge ist. Verbundsteine jedenfalls landen im Betonabbruch. Sie sind stofflich relativ einfach zu verwerten, da sind keine Fremdstoffe drin. Manchmal, wenn wir relativ schöne Steine haben, nutzen wir diese für die Lernenden, damit sie lernen zu pflastern. Wir machen dann zum Beispiel einen Platz um den Werkhof, aber irgendwann hat man auch um den Werkhof gepflastert ...

FD: Kann man davon ausgehen, dass all diese Steine von so einer Siedlung wie hier wegkommen?

DE: Teilweise kommt es vor, dass wir Anfragen von Gärtnern bekommen, die ein paar Quadratmeter holen kommen. Aber nicht im grossen Stil, dass man sie palettiert. Die kommen eigentlich mit dem Bagger weg.

FD: Wir werden morgen noch mit Creabeton [Müller-SteinAG] reden und wollen auch deren Produktionsfluss herausfinden. Aber wenn du sagst, dass fast alles, was euch begegnet, entsorgt wird, dann können wir ihre Zahlen eigentlich als Waste-Stream heranziehen.

DE: Das wird wahrscheinlich rechnerisch schon etwa stimmen. Der Anteil Wiederverwendung ist momentan schon enorm klein. Eigentlich wird das nur für den Privatgebrauch gemacht, wenn jemand zufällig bei einem Abbruch vorbeifährt und zu Hause noch pflastern möchte, dann fragt er beim Polier, ob er ein paar Steine mitnehmen kann.

FD: Ja, das ist doch gut. Wisst ihr, wie hoch euer Marktanteil am Rückbau oder dem Abriss ist?

DE: Das ist schwierig, schweizweit oder Zürichweit?

FD: Zürichweit.

DE: Dieser Markt hat sich durch das verdichtete Bauen extrem entwickelt. Vor zehn Jahren war unser Marktanteil noch bei circa 30 Prozent und mittlerweile liegt er vielleicht irgendwo bei zehn Prozent.

FD: Ist er schweizweit etwa ähnlich oder weniger?

DE: Schweizweit ist unser Marktanteil natürlich geringer. Es ist extrem schwer abzuschätzen. Durch das verdichtete Bauen ist die Branche stark gewachsen. Man kann es an einem einfachen Beispiel sehen, an den grossen Rückbaubaggern: Wir hatten vor fünf bis sechs Jahren eine Handvoll Rückbauunternehmer in der Schweiz, die Bagger in einem Bereich von 70 bis 100 Tonnen hatten, also wirklich grosse Maschinen, welche auch hoch hinaufkommen. Jetzt sind es vielleicht drei- bis viermal so viele. Da ist eine rechte Entwicklung im Gang.

FD: Letztes Semester haben wir die Vorlesung von Guillaume Habert besucht, an der du als Gast warst. Wir haben darum gewusst, dass ihr im Bereich Nachhaltigkeit am Drücker seid und Innovationen vorantreibt. Es ist für uns sehr spannend, dies zu sehen.

DE: Wie seht ihr denn die ganze Geschichte? Wir sind im Moment wirklich am Studieren, wie wir weiterkommen im Bereich der Wiederverwendung. Wir wollen eigentlich etwas machen, aber am Schluss wollen wir kein Geld drauflegen müssen ... also ein wenig darf es vielleicht sogar kosten, denn das Umdenken ist wirklich nötig. Aber es kann nicht sein, dass man am Schluss gar kein Geld mehr verdient, weil dann kann man gar nichts mehr machen. Irgendwann kann man auch nicht mehr in ein nachhaltiges Projekt investieren.

FD: Wir befassen uns momentan vor allem mit den Kosten, dass die Wiederverwendung aus CO₂-Sicht sinnvoll ist, ist ja selbstredend. Die Kosten für «unsere» Betonsteine liegen im Moment bei 37 Franken pro Quadratmeter. Wir haben mit Aufbereitungsfirmen gesprochen, die darauf hingewiesen haben, wie wichtig es für sie ist, dass ein Dreieck zwischen Produktion, Rückbau und Aufbereitung entsteht. Da landen wir momentan mit unseren eigenen Erfahrungen vom Rückbau des

Steines bei 37 Franken, der Neupreis liegt bei 33 Franken. Aber wir sind vier Studenten, die die Steine von Hand ausgebaut haben.

SN: Würde man dies optimieren, dann käme man deutlich günstiger.

DE: Was habt ihr als Lohn eingesetzt?

FD: 75 Franken

DE: Okay.

FD: Da haben wir uns an den Bundesrichtlinien orientiert. Kommt das ungefähr hin? Oder was setzt ihr da ein?

DE: Also kalkulatorisch? Das ist immer ein wenig unterschiedlich, aber am Schluss rechnen wir mit einem Gruppenmittellohn im Angebot von 85 Franken.

FD: Wir hatten noch Glück, dass wir gerade dieses Gebäude, dessen Reste hier noch als Haufen sichtbar sind, neben der Strasse rückbauen konnten, weil wenn wir noch 15 Meter weiter hätten laufen müssen, wäre der Stein noch einmal zehn Prozent teurer geworden. In diesem Sinne sind wir aber nicht weit weg von einem kompetitiven Preis. Mit einem Skaleneffekt bekommt man den Preis mindestens auf das gleiche Niveau wie der Neupreis. Weiterhelfen würde uns das Argument, dass zukünftig nur noch «mitspielen» darf, wer kein CO₂ im Netto-null-Gebäude mehr einbaut. Man kann dann nicht mehr zwischen neu und wiederverwendet unterscheiden. Man hätte einfach keine Option mehr.

DE: Mit der gleichen Frage sind wir bei Recyclingbeton konfrontiert: Wenn man von Recyclingbeton spricht, dann kommt immer das Argument, dies sei ein minderwertiger Beton, obwohl es qualitativ gar keinen Unterschied gibt. Alle Leute der Baubranche haben dies in der Schule gelernt: Recycling = minderwertig. Die Frage ist, ob man etwas wirklich über das Argument Recycling verkaufen will oder ob man sagt, das spielt gar keine Rolle, das ist ein neues, gleichwertiges Produkt. Es ist eine Bio-Label-Frage.

SN: Das entspricht unserer Idee – dass der Stein eben nicht als altes oder Reuse-Produkt daherkommt. Es ist neuwertig. Das muss die Verkaufsstrategie sein.

FD: Dafür sind die Produzenten eine zentrale

Schlüsselstelle, als Beispiel: Ich als Produzent habe eine Palette mit neuen Steinen und daneben habe ich eine Palette mit B-Ware – die sieht halt anders aus als die neue. Der Kunde kommt und vergleicht die beiden: die B-Steine sind zehn Prozent günstiger, dem Kunden ist das Aussehen egal, also kauft er die B-Ware. Aber in dem Moment, wo der Stein an die Bauteilbörse geht, ist er ein Reuse-Produkt.

DE: Ja, es ist wie im Brockenhaus ...

FD: In der Brockenstube ist es entweder teuer, weil mehr Nostalgie dahintersteckt, oder günstiger, weil die Qualität des Produktes nicht mehr die gleiche ist.

DE: Ja, genau ...

FD: Die Positionierung der Wiederverwendung ist entscheidend. Erstens müssen die Kosten gleich werden, zweitens ist es das Verständnis, das geschaffen werden muss. Also Lobbyarbeit.

DE: Das glaube ich auch. Es ist der richtige Weg, dass die nächste Generation von Architekten – dort beginnt nun einfach mal das Bauprojekt – anders denkt.

FD: Ich habe Ihre Aussage noch schön, dass wir als Architekten dafür sorgen müssen, eine Nachfrage zu generieren. Wir haben es eigentlich in der Hand, den Bauherren vorzuschlagen, was sie einbauen sollen.

DE: Wir verkaufen, böse gesagt, einfach eine Bau-dienstleistung, der Abbruch ist ein notwendiges Übel. Mit Rückbau weckt man keine Emotionen. Am Schluss interessiert einfach der Preis, egal, was im Beschaffungswesen mit den Submissionen passiert. Ich hoffe, ich liege falsch und es ändert sich bald. Wir hätten natürlich Freude daran, wenn man die Nachhaltigkeit qualifiziert bewerten könnte. Im Moment fehlen diese Instrumente noch.

SN: Wir finden auch, dass der Preis ausschlaggebend ist, so ist es einfach. Es ist ein sehr kleiner Teil, der bereit ist, einen Aufschlag zu zahlen. Es wäre illusorisch, etwas anderes anzunehmen.

DE: Man müsste sagen, Nachhaltigkeit vernachlässigen muss Geld kosten. Dann funktioniert es.

SN: Darum glaube ich, dass es viel teurer sein müsste, Material zu entsorgen.

FD: Die wenigstens wissen gar nicht wirklich, was

man mit dem Material anfangen könnte. Man gibt es einfach in die Tonne, das ist einfach, da weiss man, wie es geht.

SN: Wenn eine Mulde teurer wird ...

DE: ... und so kommen wir wieder an zu einem Punkt, dass etwa unsere Kehrichtverbrennungsanlagen auch Material suchen. Das ist kein Geheimnis, dass die Kehrichtanlagen in der Schweiz, die alle staatlich ist, eine Überkapazität von 20 Prozent haben. Diese suchen überall Material, darum geht der Preis nach den Marktmechanismen nicht nach oben, sondern eher nach unten. Es wird teilweise zu Recht ein wenig künstlich eingegriffen. Natürlich ist auch Müll verbrennen eine Verwertung, einfach eine thermische. Ob diese nötig ist oder nicht, das ist eine andere Frage.

FD: Du sagst, die Mechanismen fehlen noch. Was braucht es für euch, dass ihr in diese Richtung weitergehen könnt?

DE: Das ist eine schwierige Frage. Wir sind nicht wirklich Fans von staatlichen Eingriffen. Aber am Schluss muss es schon gescheite Normen, gescheite Richtlinien, gescheite Gesetze geben. Und es muss auch geschaut werden, dass diese umgesetzt werden. Wir haben schon seit vier Jahren eine VVEA, die Verordnung zur Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen, aber wirklich vollzogen hat man sie immer noch nicht. Da gibt es immer noch Ausnahmen und es wird weggeschaut. Das behindert eigentlich den Prozess der Entwicklung. Wir investieren Geld in eine neue Anlage, weil es der Stand der Technik ist, laut VVEA muss man das jetzt so machen. Andere Unternehmen wollen Geld sparen und gehen bei der Politik lobbyieren und sagen, dass die neuen Regeln viel zu kompliziert sind, dass ein Kleinunternehmer so nicht mehr mithalten kann.

SN: Es bräuchte also noch eine Kommission, ein Gremium oder es müsste einfach noch stärker kontrolliert werden?

DE: Der Vollzug müsste einfach noch stärker kontrolliert und der Fokus auf diese Themen gelegt werden. Für die Entsorgung der Abfälle hat man eigentlich sehr gute Richtlinien. Die VVEA ist nicht allzu schlecht, dort steht zum Beispiel auch drin, dass man möglichst viele Materialien wiederverwerten muss. Aber im Neubau gibt es dann diese Regeln nicht mehr. Das fehlt im Kreislauf und dort muss man probieren anzusetzen.

SN: In Brüssel gibt es ein Gesetz, dass in jedem Neubau eine 20-prozentige Wiederverwendungsquote eingehalten werden muss. Könnte so etwas auch in der Schweiz funktionieren? Wäre man dafür bereit?

DE: Ich glaube, das kann auch funktionieren, aber es ist unklar, ob die Bereitschaft da ist. Gewisse sind dafür bereit, gewisse sicher nicht. Man hat es schon mehrfach bewiesen, beispielsweise hat die Stadt Zürich vor 20 Jahren gesagt, sie möchte jetzt Recyclingbeton und ist bereit, etwas mehr zu zahlen. So hat es sich auch entwickelt. Wenn man ins nahe Ausland schaut, dann sieht man, dass zum Beispiel Deutschland da noch nirgends ist. Eigentlich haben die ja ähnliche Voraussetzungen. Es müssen einfach einige vorausgehen, dann sollten andere mitziehen. Und man muss einfach dafür sorgen, dass es keine Rückschläge gibt, das ist wichtig.

SN: Jetzt ist so eine Zeitspanne, wo der Wille da wäre, dies in die Wege zu leiten ...

FD: Es muss schnell etwas passieren ...

SN: ... aber es funktioniert einfach nicht, dass es von heute auf morgen umgesetzt wird. Darum braucht es Regulierungen.

FD: Wenn der Staat eingreift oder wenn Abfall teurer wird, wird immer der Bauprozess verteuert. Alle Regulierungen verteuern den Bauprozess. Dies führt in Folge dazu, dass die Schwellengruppen darunter leiden. Alle, die in Seebach gewohnt haben, wurden einfach weiter nach draussen verdrängt. Es sind nicht die Städte, die darunter leiden, wenn Abfall teurer wird, sondern es sind die schwächeren Schichten.

DE: Ja, es resultiert ein gesellschaftliches Problem daraus.

SN: Das heisst eigentlich, dass die Produzenten eine noch viel stärkere Bereitschaft haben müssten, auch über die Zirkulärwirtschaft nachzudenken.

FD: Gerade bei beim Thema Zirkulärwirtschaft sprechen wir das erste Mal in unserem Studium nicht über Nachhaltigkeit, sondern über Wirtschaft. Über mehr Effizienz, mehr Rendite und dies in einem nachhaltigen Kontext. Wo liegen eigentlich die Gewinnchancen? Der Verband Kreislaufwirtschaft Schweiz sagte, wenn wir umdenken würden, kä-

men für uns ganz neue Produktionsmöglichkeiten, Erfindungen und Möglichkeiten. In die Bauindustrie kommt plötzlich Innovationswille. Eine Firma wie eure, die sich mit grossen Maschinen aufstellt und versucht, den Marktanteil auszubauen und mit den grossen Maschinen oder mit einer Recyclinganlage ganz neue Wettbewerbe eröffnet, hat plötzlich einen Marktvorteil, wo andere Firmen einfach draussen sind, sobald die CO₂-Steuer kommt.

DE: Am Schluss ist es so, dass man die ganzen Investitionen macht, einerseits klar, weil es eine Ideologie ist, man wirklich daran glaubt, dass man nachhaltiger werden muss, weil es so nicht weiter gehen kann, zum anderen, weil es einen Wettbewerbsvorteil geben muss.

SN: Man muss den Willen dafür haben.

FD: Unser Ziel ist es, mit dem Stein den Firmen auch zeigen zu können, dass sie mindestens kompetitiv vom Preis her wären. Aber wenn sie heute kompetitiv damit sein können, werden sie in zehn Jahren, wenn die Richtlinien eingehalten werden müssen, erst recht bereit sein und durchstarten. Die VVEA ist ja schon da. Sobald solche Massnahmen kommen, dann sind diese Firmen schon da, während andere erst kommen, da können sie davonziehen. Das heisst, man kann sich als Unternehmen vorbereiten. Ihr denkt unternehmerisch, ihr denkt zukunftsorientiert. Was bedeutet das in der neuen Zeit? Das heisst, dass man jetzt umschalten muss, jetzt investieren, um in zehn Jahren abschöpfen und Gewinn generieren zu können.

DE: Das ist so. Es braucht Mut, in so etwas zu investieren. Ich ging in St. Gallen in eine Wirtschaftsschule, da hat man uns gesagt, dass es viel zu gefährlich sei, in einen neuen Markt mit einer neuen Technologie zu investieren, den es noch nicht gibt. Am Schluss kommt man aber nur genauso weiter. Es ist natürlich ein Risiko, dass man nicht kalkulieren kann. Trotzdem denke ich, dass es das richtige Thema ist, wo man dranbleiben muss.

FD: Ich habe eine Frage: Mit wem würdest du gerne mal an einen Tisch sitzen, um Nägel mit Köpfen zu machen?

DE: Was meinst du damit? (lacht)

FD: Du hast uns gefragt, was wir an diesem Punkt machen würden, um die Kreislaufwirtschaft weiter voranzutreiben. Wir können momentan noch nicht genau sehen, was man machen muss, um sich in der Kreislaufwirtschaft nachhaltig aufstellen zu können.

DE: Das ist eine schwierige Frage, aber konkret wäre es logischerweise der Endkunde. Wenn man jemanden hat, der solche Projekte durchziehen will, dann ist es immer interessant. Anders herum ist es auch immer interessant mit der Forschung zusammenzuarbeiten, zu sehen, an welchen Themen die Hochschulen arbeiten. Solche Interviews haben auch immer einen gegenseitigen Nutzen – ich will auch von euch wissen, wie ihr das so sieht. Ich bin der Überzeugung, dass wir ein wenig gefangen sind in unserer Denkart und dann ist es auch schön, wenn man von anderen sieht, wie sie es sehen.

FD: Gerade die Antwort, dass es der Endkunde ist, den wir ansprechen müssen, finde ich sehr spannend, dass ihr eigentlich lieber mit dem zukünftigen Bauherrn zusammensitzen möchtet ...

DE: Wenn schnell etwas passieren soll, dann sind es die grossen, institutionellen Bauherren, die man umstellen sollte.

SN: Das heisst, wir müssten mit der Stiftung für Kunst, Kultur und Geschichte (SKKG) zusammensitzen.

DE: Da gibt es natürlich ein paar grosse Institutionen, die zum Teil auch schon umdenken, aber bis jetzt sind es meistens einfach eine paar Pilotprojekte und dann verlieren sie schnell wieder die Geduld.

FD: Nächste Woche kommt die SKKG zu uns an die Schlusskritik, die 280 Liegenschaften im Raum Winterthur besitzt. Das ist eine recht grosse Bauherrschaft mit einem grossen Budget und einer nachhaltigen Agenda. Und wenn theoretisch das Zusammenbringen von Abriss und zukünftigem Bauherr ...

DE: Am Schluss ist dies immer das Thema und auch da probieren wir, neue Wege zu gehen. Ich weiss nicht, ob ihr Zirkulit, den zirkulären Beton, den wir haben, kennt. Da probieren wir genau diesen Weg einschlagen. Die Baubranche ist so segmentiert – bis der Baumeister mit dem Kran betoniert, hat ein Bauprojekt bereits sieben, acht anderes Stufen durchlaufen. Der, der entscheidet, ist zuoberst. Du musst mit ihm sprechen und nicht erst mit dem Baumeister, weil der hat den Preis schon gemacht und der ist nicht hoch, er zahlt bestimmt keinen Rappen mehr für einen nachhaltigen Beton.

FD: Dann erhofft ihr euch, dass ihr die Bauherrschaft

sensibilisieren könnt für eure geborgenen Materialien?

DE: Am Schluss funktioniert es nur so, wenn der Bauherr mit den Projektierenden den Weg gemeinsam definiert.

SN: Und darum sind wir gefordert.

DE: Genau. Je weiter man nach unten geht, desto mehr Partikularinteressen wird man antreffen. Der Bauingenieur will logischerweise seine Leistung verkaufen, dann hat man einen Bauherrenberater, eine Bauleitung, noch ein Generalunternehmen dazwischen usw.

SN: Darum ist die Bauwirtschaft so träge. Es sind unglaublich viele Akteure involviert. Ich glaube, das lässt sich kaum mit anderen Sektoren vergleichen.

DE: Ich glaube das auch. Es ist eine der Geschichten, die immer wieder erzählt wird. Die Baubranche ist so wenig innovativ. Ich glaube auch, einer der grössten Treiber, dass dann eben eine Innovation nicht durch kommt ist, dass die Branche ist so zerstückelt ist. Der Ingenieur will seine Stunden verkaufen, der Architekt auch, jeder hat andere Interessen und am Schluss verliert man sich. Der Fokus auf das Wesentliche geht verloren. Früher war der Baumeister gleichzeitig der Architekt und hat alles geplant und gebaut. Heute ist es nicht mehr so.

FD: Und trotzdem sind die Totalunternehmer komplett in der Kritik. Der TU ist Architekt, Baufirma, Immobilienbesitzer, alles. Aber auch jener, der die grösste Rendite einstreifen will.

DE: Ich stecke jetzt meine Hoffnungen in BIM (Building Information Modeling), nicht wegen der Technologie, sondern um die Zusammenarbeit neu denken zu können.

FD: Sehr guter Punkt.

DE: Ich glaube, das ist die Schlüsseltechnologie bei der Wiederverwendung. Wenn die Materialien ordentlich in einer Bibliothek erfasst sind und der Architekt die Materialien mit ihren Attributen dort abrufen kann und so weiss, dass ein Material in der Bauteilbörse oder demnächst in einem Abbruchobjekt zur Verfügung steht, dann kann er es ins Modell übernehmen.

SN: Das wäre dann Madaster. (digitales Material

Kataster zur Erfassung und Analyse von Gebäudematerialien)¹

DE: Genau, dann wären wir bei Madaster, aber Madaster ist im Moment mehr auf die Stoffebene als auf die Bauteile ausgelegt. Aber dann wäre man effizient.

FD: Womit füttert ihr BIM? Was ist eure Rolle darin?

DE: Wir kommen relativ spät im Prozess, wir hören dann von den Bauherren oder Architekten, dass sie ein schönes BIM-Modell haben und gleichzeitig hören wir von ihnen, dass bei der Baugrube oder beim Rückbau nichts da ist. Aber das ist für uns kein Problem. Die Maschinen sind alle GPS-gesteuert, die haben eine Steuerung integriert, auf welche das Modell geladen werden kann. Dies macht dann der Baggerführer. Wir sind es uns gewohnt, diese Daten selber aufzuarbeiten. Die Schwierigkeit ist mehr, dass die Baugrube immer der erste Schritt auf einem Bau ist, aber der Letzte, der geplant wird. Und dazu kommt, dass es niemanden interessiert. Der Architekt interessiert sich nicht für die Baugrube. Da habt ihr euch noch nie damit beschäftigt, oder?

FD: Doch, doch, das haben wir intensiv bei einem Wettbewerb.

SN: Aber nicht im Studium.

FD: Stimmt, im Studium nicht. Aber wenn auf einer grossen Baustelle 300 Lastwagen Aushub abgeführt werden müssen, dann beginnt man zu grübeln, ob man hätte Geld sparen können.

DE: Je länger, desto öfter sind wir in der Entwicklung von Anfang an in einem Team mit dabei. Was wir übernehmen, ist der Rückbau und die Baugrube. Wir helfen euch, den Rückbau nachhaltig zu machen und helfen, die Baugrube zu optimieren. Dort gibt es auch viele Risiken. Wenn noch Altlasten dazu kommen – was auch zu unserem Kerngeschäft gehört –, dann kann man dies auch ein wenig anders einschätzen als andere. Dort sehen wir auch unsere Hebel.

SN: Sehr spannend.

FD: Super, das waren noch einmal viele spannende Inputs. Diese Woche haben wir verschiedene Gespräche mit den unterschiedlichsten Akteuren in allen Etappen geführt. Jeder antwortet im Prinzip auf die Frage, mit wem sie an einem Tisch sitzen

wollen, dass sie gerne noch jemand anderes als Partner hätten. Am Schluss ist es unser Ziel, herauszufinden, wie so ein Team aussehen müsste, um zirkulär entwerfen zu können. Was hast du für Fragen an uns?

DE: Ich würde gerne von euch noch die Quintessenz daraus hören, wenn ihr mit eurer Arbeit fertig seid. Das würde mich wirklich interessieren!

FD: Wir machen ein Buch, in welchem wir den ganzen Semesterablauf, unser Projekt und alle Erkenntnisse niederschreiben. Nächste Woche werden wir es an der Schlusskritik an der ETH präsentieren. Gerne schicken wir dir ein Exemplar zu.

DE: Super! Wenn wir Zeit haben, dann sind wir immer gerne bereit, mit Studierenden zusammenzuarbeiten.

FD: Das ist für uns super, wir lernten dieses Semester so viel, nur weil wir jeweils das Telefon in die Hand nahmen und jemanden angerufen haben.

DE: Ja, das kann ich mir vorstellen. Manchmal ist es sicher ein wenig undankbar, bis man irgendwo zum Ziel oder die richtige Ansprechperson an den Apparat bekommt, aber man muss einfach dranbleiben.

FD: So ist es. Danke vielmals für deine Zeit, es war sehr spannend.

DE: Danke auch euch.

¹ <https://madaster.de> (Stand 30.9.22)

Beim Transport und bei der Lagerung des Betonverbundsteines ist seine Kompaktheit ein Vorteil. Es kann eine grosse Menge an Steinen sehr effizient gestapelt werden. Der Nachteil ist sein Gewicht. Sowohl für die Lagerung als auch beim Transport muss vorab die Belastbarkeit des Fahrzeuges oder Lagerraumes geprüft werden.¹ Der Stein kann problemlos auch im Freien gelagert werden.

Kosten für Transport und Abladen: ca. CHF 5.-/m²¹

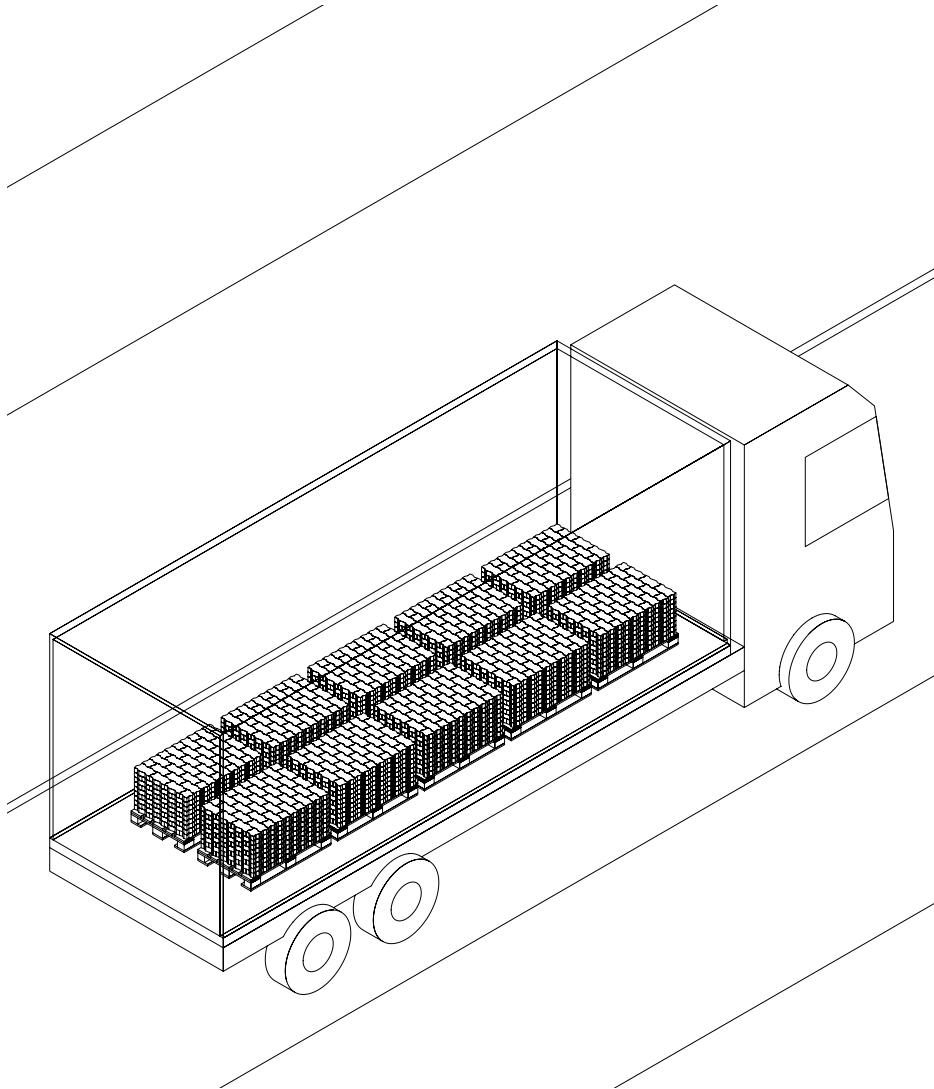
BEISPIEL:

Lastwagen 22 t, Nutzlast 11 t, Hebebühne 2 t

1 Stein	=	3,3 kg
1 Lage	=	115,5 kg
1 Palette	=	1000 kg
1 Lastwagenladung	=	11 000 kg

Um Zeit, Kosten und Ressourcen zu sparen, ist es in jedem Fall optimal, Rück- und direkten Wiedereinbau zeitlich abzustimmen.

¹ Gemäss EN-13698-1 beträgt die (gleichmässige) Belastbarkeit einer EURO-Palette maximal 1,5 Tonnen.
¹Gamma. Interview. (vgl. Kapitel 1.7)



AUFBEREITUNG



Verbundstein
unbehandelt
(Oberseite)



Verbundstein
unbehandelt
(Rand)



Verbundstein
gekärchert
(Oberseite)



Verbundstein
gekärchert
(Rand)

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Aufbereitungsmöglichkeiten des Steines erläutert. Sie sind entsprechend dem zu erzielenden Anspruch zu wählen und können je nach Einsatzstelle kombiniert werden (siehe Kapitel 2 "Katalog der Möglichkeiten"). Abgesehen von der Reinigung sind die einzelnen Aufbereitungsschritte nur für den Einsatz als Bodenbelag vorgesehen. Besonders wenn der Stein im Innenbereich als Boden eingesetzt werden soll, bedarf es je nach Anspruch einer optischen Aufwertung. Es ist entscheidend, wo der Stein früher eingesetzt wurde. Je nachdem, ob er überdacht, saurem Regen oder Frost ausgesetzt war, kann sich seine Qualität von einem neuwertigen Produkt unterscheiden. Auch das Alter des Steines kann dessen Eigenschaften verändern.

REINIGEN

Kosten: ca. CHF 15.–/m²

¹ Die einfachste und schnellste Aufbereitung der Steine ist das Reinigen mit dem Hochdruckreiniger. Falls nur die Auftrittsfläche aufbereitet werden soll, kann dieser Arbeitsschritt je nach Bedingungen direkt auf der Ab- oder Einbaustelle durchgeführt werden. Die Reinigung erleichtert durch die Entfernung der Rückstände die darauf folgende Palettierung. Der Stein kann nun direkt wiederverwendet werden. Soll eine grosse Menge von Steinen wiederverwendet werden, können diese auch in Waschanlagen allseitig gereinigt werden. Dadurch kann optisch ein fast neuwertiges Produkt mit leichter Patina wiederhergestellt werden. ^{||}

BÜRSTEN

Kosten: ca. CHF 25.–/m² ^{|||}

Durch das Bürsten wird die oberste Feinmörtelschicht des Steines entfernt und der Zuschlag vom Beton freigelegt. Dadurch entsteht eine samtartige Oberfläche, die der Rutschhemmklasse R 10 bis R 11 entspricht. Gebürstet wird mit Nylonbürsten der Stärke C 120. Je nach Bedarf können die Steine im eingebauten Zustand bearbeitet werden oder sie werden im Vorfeld industriell gebürstet.

¹ SteinRein-Ihr Reinigungssteinmetz, in Landshut DE. Preisangebot. www.steinrein.com. (Abruf:23.11.21) > Annahme Lohnunterschied DE-CHF (inkl. Währung) Faktor:x2

^{||} Gamma, Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

^{|||} Ebd. SteinRein



Verbundstein gebürstet
und feingeschliffen
(Oberseite)



Verbundstein gebürstet
(Unterseite)

KUGELSTRAHLEN

Das Kugelstrahlen ist ein ökonomisch und ökologisch sinnvolles Strahlverfahren für die horizontale Oberfläche von Steinen. Damit lassen sich Böden verschiedenster Art reinigen, aufrauen und minder feste Schichten abtragen; die Oberfläche wird so optisch aufgewertet. Kugelgrößen und Kugelformen bestimmen dabei die Feinheit der zu strahlenden Oberflächen sowie die künftige Rutschfestigkeit.¹ «Mit dem Vorgang des Kugelstrahlens könnte man den Stein fast neuwertig hinbekommen und hätte sogar einen etwas schöneren Look», meint Aaron Gamma. Dabei besteht jedoch das Risiko, dass die Fahrwege sichtbar bleiben.²

SCHLEIFEN

Grob- und Feinschliff schaffen eine glatte und ebene Oberflächenstruktur, die derjenigen eines Terrazzos ähnelt und im Innenbereich eingesetzt werden kann. Der Stein wird in mehreren Durchgängen geschliffen. Durch den Diamantschliff wird circa ein Millimeter Material abgetragen. Danach kann stufenweise mit den Körnungen von C 120 über C 220, C 400 und C 800 bis C 1500 geschliffen werden, bis die Kratzer der vorherigen Arbeitsschritte nicht mehr sichtbar sind. Der Schleifgrad kann dem gewünschten optischen Resultat angepasst werden.³ Die Stufen C 800 und C 1500 heben beispielsweise durch das Polieren die Farben des Zuschlags hervor.

TERRAZZO-SCHLIFF VOR ORT

Kosten: ca. CHF 150.-/m² ¹

Ein Terrazzo wird normalerweise vor Ort gegossen und in mehreren Durchgängen geschliffen. Der Aufwand ist dabei verhältnismässig gross, da die 400 Kilogramm schwere Schleifmaschine von Hand geführt werden muss. Pro Durchgang kann mit guten Diamantaufsatz ungefähr ein Millimeter abgeschliffen werden, eine Person kann so circa zehn Quadratmeter pro Tag schleifen. Je kleiner und verwinkelter die Flächen werden, desto kleiner müssen auch die Maschinen werden.

KUNSTSTEINSCHLIFF IN DER SCHLEIFSTRASSE

Kosten: ca. CHF 30.-/m² ¹¹

In einer Schleifstrasse werden Kunststeinplatten meterweise maschinell geschliffen.

¹ Menz AG (Hg.). „Kugelstrahlen mit Menz“. <https://menz.ch/angebot/strahltechnik/kugelstrahlen/>

² Gamma. Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

³ vgl. Standard-Terrazzo C220 bis max. C440

¹¹ Gamma. Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

«DA GÄBE ES SICHER MÖGLICHKEITEN, DIE MAN IN DIE PRODUKTION INTEGRIEREN KÖNNTE. ODER WIR KÖNNTEN EINFACH EINE EIGENE LINIE DAZU AUFBAUEN.»¹

HENDRIX MÜLLER



Verbundstein geschliffen,
v.l.n.r. 50/80/120/300/400
(Unterseite)



Verbundstein feinschliff
Schliff C 800
(Oberseite)

Während bei der Maschine die Schleifköpfe stetig gewechselt werden müssen, sind sie bei einer Schleifstrasse hintereinandergeschaltet. Mit einem geschlossenen Wasserkreislauf werden im Vergleich zum Schleifen vor Ort Ressourcen gespart. Der Aufwand ist deutlich geringer - eine Person kann ungefähr 70m² pro Tag schleifen.

SCHNEIDEN

Kosten: ca. 150.-/m² ¹ Mit

einem maschinellen Horizontalschnitt kann der Stein in der Mitte halbiert werden, so schneidet man durch den grobkörnigen Kernbeton (vgl. Kapitel 1.3 Herstellung). Das Sägeblatt ist dabei mindestens doppelt so gross zu wählen wie die Breite des Steines und wird bis zu 3 Millimeter stark. Die Qualität der Schnittfläche entspricht dann derjenigen des Grobschliffs. Die neue Stärke des Steins wird durch das Schneiden und ein allfälliges Schleifen 26mm betragen, so kann der Bodenaufbau reduziert werden. Die reduzierte Steinhöhe resultiert in einer geringeren Frostbeständigkeit sowie Belastbarkeit und eignet sich nur für den Einsatz im Innenbereich. Die reduzierte Höhe begünstigt, dass der Fugenmörtel alle Spalten besser schliessen kann. Abgesehen von einem erhöhten Ausschuss durch eine allfällige Beschädigung der Steine während des Schneidprozesses, kann mit der gleichen Menge Material die doppelte Fläche gepflastert werden. Zusätzlich wird so Gewicht eingespart und eine Bodenheizung kann auf Temperaturschwankungen schneller reagieren, da sie weniger Masse erwärmen muss. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass die Geometrie der Steine nicht spiegelsymmetrisch ist.

SPACHELN

Beim Spachteln werden die Poren des geschliffenen Steins geschlossen. Die Spachtelmasse ist ein Gemisch aus Sand und Zement. Die Mischung kann auf die Farbigkeit des Steins abgestimmt werden, um Fugen, Risse und Poren zu retuschieren. Dieser Arbeitsschritt ist aufwändig und teuer. Auf diesen Arbeitsschritt kann verzichtet werden, jedoch bleibt der Stein offenporig und ist dadurch schmutzanfälliger und erschwert die Reinigung. ¹¹

¹ Müller, Interview. (vgl. Kapitel 1.8)

¹¹ Gamma, Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

INTERVIEW

Aaron Gamma, Brun del Re Terrazzo AG

Geführt und transkribiert von Félix Dillmann.

Ort: Brun del Re Terrazzo AG, Hauptsitz Fällanden, am 14.12.2021.

Aaron Gamma: Was wollt ihr damit (mit dem Betonverbundstein) machen? Innen- oder Aussenbeläge? Aussenbeläge haben andere Bedingungen, da gelten zum Beispiel Rutschsicherheitsnormen. Wird er geschliffen, ist er als Aussenbelag sehr schwierig einzusetzen, dasselbe gilt beim Gebürsteten. Im Innenbereich sehe ich auch Probleme. Das Erste ist die Dicke. Diese Aufbaustärke [6cm] kann man heute nirgends mehr einbauen, denn es wird jeder Zentimeter im Bau ausgenutzt. So eine Platte braucht immer einen Unterlagsboden. Heute baut man immer mit schwimmenden Böden, wodurch sich ein Aufbau ergibt, der nicht mehr praktikabel ist.

Félix Dillmann: Wir haben bei unserer Fallstudie im Mock-up versucht, den Unterlagsboden zu reduzieren, da der Stein wie im Dünnbettmörtel nur haften muss.

AG: Das wird nicht funktionieren, da der Unterlagsboden brechen wird. Heute installiert man in der Regel eine Bodenheizung, Wandheizungen werden nur selten gemacht, da sie teuer sind. Deckenheizungen bringen abgehängte Decken mit sich. Dann geht es um den Trittschall, auf den sehr stark Wert gelegt wird. Als Versuchsprojekt funktioniert vieles – aber da bin ich Praktiker und sehe die Probleme, wenn man die wiederverwendeten Steine so auf den Markt bringen will. Ein Bodenaufbau mit Fussbodenheizung von ungefähr 5-6 cm Überdeckung und Trittschall, plus diese Steine, wird sich niemand leisten können. Wobei, mit diesem Stein [Betonverbundstein] wäre es vielleicht etwas anderes, man könnte sie auf einen Anhydritestrich kleben. Mit einem Anhydritestrich muss die Bodenheizung nicht 6cm überdeckt werden, sondern ist total 6cm anstatt 8cm wie beim Zementestrich, wobei bei mit einem zementösen Estrich für Terrazzo eher acht Zentimeter Bodenaufbau nötig wäre, um die Bodenheizung genügend zu überdecken.

FD: Wir haben auch Bodenaufbauten mit Holzträgern aufgezeichnet. Was meinen Sie dazu?

AG: Auf einem Holzboden ist es nochmal etwas anders. Da gibt es spezielle Dämmplatten, in die man die Bodenheizung direkt einlegt. Auf diese

kann man den Bodenbelag direkt aufkleben. Das wäre wahrscheinlich die schlankste Variante. Das nächste Problem, mit dem ihr konfrontiert werdet – auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit – sind die Fugen, es ist fraglich, ob sie wirklich lange halten.

FD: Wir haben die Steine in unserem Mockup mit der Unterseite nach oben verlegt, dadurch verkleinern sich bei diesem Stein die Fugen. Man könnte sie theoretisch auch ohne Fugen verlegen. Wobei natürlich die Praktikabilität zu hinterfragen ist.

AG: Das führt eigentlich zur Frage zurück, wo man Steinböden überhaupt verlegt. In der Regel sind das Badezimmer und Küchen, also Räume, die eigentlich schwierig zu reinigen sind und hohe Hygieneansprüche haben. Architektinnen und Architekten haben immer ein Flair für offene Fugen. Diese werden aber nach einem Jahr beginnen zu riechen und nicht mehr schön sein. Man muss sich also auch bezüglich Nachhaltigkeit fragen, wie man sie schliessen kann. Jedes Material auf Zementbasis braucht eine gewisse Fugengrösse, auch wenn die Fugen nicht so hoch sind. Wenn die Fugen dünn sind, muss man ein hoch viskoses Material verwenden, das dazwischen fliesst. Ausschleppen mit etwas Zement funktioniert nicht. Für ein Muster wäre das kein Thema. Aber bei grossen Flächen, grossen Projekten und Räumen, auch Nasszellen, die eine gewisse Luftfeuchtigkeit haben und Temperaturunterschiede aufweisen, da verändert sich das Material immer und wird brechen. So ein Stein kann extrem viel Feuchtigkeit und Schmutz aufnehmen. Wenn die Flanken erst einmal dreckig sind, dann wird man sie nicht mehr sauber schliessen können. Generalunternehmen haben angefangen, Kittfugen erst nach zwei Jahren zu machen, weil es Unterhaltsfugen sind und von der Garantie ausgenommen sind. Denn in den ersten zwei Jahre gibt es die meisten Bewegungen, deshalb sind sie gerissen. Also werden sie teilweise erst nach zwei Jahren gemacht, dann sind aber direkt wieder rausgefallen, weil eben die Flanken dreckig waren und nichts mehr gehaftet hat.

Deshalb sehe ich bei den Fugen eine grosse He-

erausforderung. Ich hätte aber bereits eine Lösung – die kostet aber – (lacht). Man könnte sie horizontal aufschneiden, also halbieren. So erhält man einerseits direkt die geschliffene Oberfläche und zweitens dünneres Material. That's it.

FD: Ist das nicht aufwändig?

AG: Ich kann nur sagen, dass Schleifen auch sehr aufwändig ist. Aber es werden einige Problematiken auftauchen: Oben ist der Stein relativ gut verdichtet, da hat man einen relativ geringen Porenanteil. Unten hat man bereits einen grösseren. Die Poren müsste man dann wahrscheinlich spachteln. Kunststein soll günstiger sein als ein Terrazzo? Einen Kunststein macht man in einer sogenannten Rundscheibenschleifpresse. Das heisst, es wird zuerst ein Aufsatzmaterial hineingegeben – das «schöne» Material, relativ nass –, dieses wird dann mit einem Sand-Zement-Gemisch überdeckt und dann mit 20 Tonnen Druck gepresst. Danach geht es in eine Schleifstrasse, dort wird grob geschliffen, wie beim Holz, um erst etwas Höhe wegzunehmen. Nachher folgt der sogenannte Feinschliff, den ihr hier bereits erwähnt habt. Beim Terrazzo kommen dann eben die Poren hervor, die gerade in der Schweiz nicht so gerne gesehen werden. In der Küche würde das nicht funktionieren, weil sich darin Dreck ansammelt. Also muss man sie auspachteln. Aber wenn ihr ohnehin die Unterseite nehmen wollt, dann kann man die Steine auch gleich schneiden. Der Aufwand fürs Schneiden ist grundsätzlich nicht viel höher als beim Schleifen. Wir in der Produktion schneiden relativ viel. Das wäre eine Lösung, wo man sowohl Gewicht als auch Material einsparen kann, respektive doppelt so viel Fläche erhalten wird. Wenn man stattdessen die Vorsatzschicht abschleifen will, dann ist das bei Betonsteinen schon viel Aufwand und der Quadratmeter wird ziemlich teuer. Beton ist ein sehr abrasives Material und wird den Diamanten der Maschine stark abnutzen. Aber schneiden könnte man tatsächlich. Durch die halbe Höhe liesse sich der Boden auch wieder verlegen. Das können heutige Bodenleger nicht mehr so gut, aber die Arbeiter der älteren Generation können das noch. Damit der Belag dann zum einen angenehmer und zum anderen einfacher zu putzen ist, müsste man ihn bündig verlegen. Wir mischen den Spachtel noch selbst und passen ihn auch auf die Farbe des Steins an und können damit zudem gleich die Poren schliessen. Aber das Ergebnis wird nicht ganz perfekt werden, wenn das Material noch absackt und schwindet, dann sieht man die Ausbesserung noch leicht. Aber es

bekommt dadurch etwas Industriecharakter statt Voll-chic-Look.

Man könnte ihn auch noch veredeln, indem man den Boden vor Ort noch etwas abschleift. Aber dann liegt man auch wieder bei dem Preis eines Terrazzobodens, wenn nicht sogar höher. Dafür würde man den Unterschied, wenn überhaupt, nur noch im Streiflicht sehen.

Wenn man eine herkömmliche 30 x 30 cm Kunststeinplatte einkauft, liegen die Materialkosten bei ungefähr 60 Franken, dann kommt das Verlegen noch hinzu. Mit eurem Stein ist man wahrscheinlich teurer, alleine schon durch das Verlegen.

FD: Warum das?

AG: Zum einen, weil es ein kleiner Stein ist, zum anderen, weil man bei einem Schnitt schauen muss, dass alle Steine gleich hoch sind, sonst wirft euch der Plattenleger das Material hinterher. Heute will man das Material in einem Dünnmörtelbett verlegen und nicht mehr in einen Überzug klopfen. Dafür muss man die Dicke im Griff haben. Zusätzlich ist auch die Form nicht ganz so leicht zu verlegen, da man kaum einen rechten Winkel hat, an dem man sich richten kann. Erstellt einmal einen Verlegeplan für so etwas. Auch der Verschnitt an einer Wand wird etwas kompliziert. Das sind einige Sachen, die man bedenken muss. Sie relativieren sich natürlich, wenn man die Verlegearbeiten mit einem kunstvollen Mosaik vergleicht. Der Aspekt des regional Nachhaltigen darf beim Preis schon berücksichtigt werden, da kann man so ein Produkt auch fünf Franken teurer verkaufen. Aber man wird damit kein grosser Konkurrent von Herstellern einer Kunststeinplatte oder von China Granit.

Ich kann im Baumarkt für 30 Franken pro Quadratmeter eine 30-mal-60-Zentimeter-Granitplatte aus China kaufen. Davon muss man sich natürlich abgrenzen. Beim Transport per Schiff ist man dazu froh, wenn schwere Dinge unten im Schiff liegen, denn man braucht diese Platten, um das Schiff gegen Kippen zu beschweren. Das muss man relativ sehen, es gibt Konkurrenz, die belebt das Geschäft. Es gibt immer Menschen, die so etwas wollen und solange es Generalunternehmen gibt, wird man auch so weiterbauen.

FD: Wir wollen unser Argument darauf aufbauen, dass in absehbarer Zeit eine CO₂-Steuer in Kraft tritt. Das heisst, dass Industrien plötzlich aktiv und kreativ werden müssen, wenn Gebäude nach der Netto-Null-Strategie gebaut werden sollen.

AG: Ja, das ist richtig. Aber wir stossen dabei auf einige Problemfelder, die man gerade in der Schweiz auch sieht. Wir arbeiten an einem Projekt mit, wo versucht wird, alles auf dem Bau oder zumindest möglichst viel Abbruch wiederzuverwenden. Das ist sehr interessant für uns. Der Grundgedanke ist jedenfalls gut. Bei diesem Bauprojekt geht es nicht um eine CO₂-Einsparung, sondern um die Wiederverwendung des Abbruchmaterials. Das Ziel ist, möglichst viel wiederzuverwenden. Die Steinindustrie aber kann sich den Platz Zürich als Produktionsort kaum noch leisten, deshalb fährt man natürlich in der Welt umher, um überhaupt Recyclingmaterial zu produzieren. Ob es jetzt um Beton geht oder sonst ein Material, man kann solche Recyclinganlagen im Raum Zürich überhaupt nicht mehr aufbauen, man steht an. Ich bin für Umweltschutz, aber das sind Themenfelder, da machen wir vielleicht auf der einen Seite etwas Gutes, laufen aber auf der anderen in ganz ein anderes Problem hinein.

FD: Für uns ist der Betonverbundstein auch ein Versuch, herauszufinden, was es braucht, um die Kreislaufwirtschaft zu implementieren. Selbst wenn das Projekt mit dem Stein scheitert, möchten wir anhand dieses industriellen Massenprodukts, das bereits alt ist und jeder kennt, versuchen zu verstehen, was Kreislaufwirtschaft überhaupt bedeutet. Was würde das für die gesamte Kette vom Produzenten hin zum Konsumenten zurück bedeuten und auslösen. Sie sagen, im Raum Zürich ist es finanziell gar nicht tragbar, Recyclinganlagen aufzubauen ...

AG: Das ist jetzt eine sehr hohe Rechnung, aber es wird immer Architektinnen und eine Stadt wie Zürich geben, die sich einen gewissen Mehrpreis leisten können. Um das im grossen Stil zu machen, muss man über die Schwierigkeit nachdenken, ob es überhaupt möglich ist, die Steine so auszubauen, dass sie nicht kaputt gehen, denn wenn man sie mit einem 40-Tonnen-Bagger herausreißt, dann entsteht 50 Prozent Ausschuss. Aber es gibt sicher gewisse Projekte, wo das durchführbar wäre, da bin ich mir sicher. Auch die Denkmalpflege stösst immer wieder solche Projekte an. Wir haben selbst auch schon einmal mit Rasengittersteinen einen Terrazzo gemacht. Aber Terrazzo macht unter den gesamten Bodenbelägen vielleicht ein Prozent des Umsatzes aus. Wir frischen auch bei Schulbauten und Ähnlichem regelmässig Steinböden auf, die also bereits vor Ort sind. Wenn man sie etwas anschleift, dann sehen sie wieder aus wie neu.

Für euer Projekt würde ich euch wirklich vorschlagen, die Steine zu halbieren, weil man abzüglich Verschnitt fast doppelt so viele Quadratmeter erhält. Ausserdem lässt sich Gewicht einsparen und man hat beim Verfügen viel weniger Probleme. Zudem braucht die Bodenheizung weniger Energie, um den ganzen Boden aufzuheizen, man ist also flexibler bezüglich des Heizsystems. Auch wenn dieser die Wärme nicht so lange speichern kann, spart man viel Energie beim Hochfahren der Temperatur.

FD: Sie haben vorhin bereits das Kleben von Bodenbelägen erwähnt. Wie ist das Potenzial, einen reversiblen Kleber einzusetzen?

AG: Alles was abspritzbar ist, ist auch empfindlich, sodass Schäden auftreten können. Da gibt es meines Erachtens noch kein geeignetes Produkt auf dem Markt. Und auch wenn Zement kritisch ist, ist es kein Sondermüll im Vergleich zu vielen Alternativen, womit geklebt wird. Ausser man ginge auf traditionellere Weisen zurück, wo man die Platten frisch in den Mörtel legt. Aber als Faustregel bleibt: Alles, was man wegspritzen kann, birgt ein Schadenspotenzial.

FD: Könnte man die Oberfläche denn irgendwie versiegeln?

AG: Also Versiegeln ist ohnehin nichts Gutes, denn ein Siegel ist quasi ein Lack. Man macht das ganze Material damit zu. Deshalb bieten wir das auch nicht an. Wir arbeiten mit Imprägnierungen.

FD: Womit denn?

AG: Das gebe ich nicht preis. Die Problematik bei einer Imprägnierung ist, dass sie sich kaum mehr entfernen lässt, wenn sie einmal ins Material eingedrungen ist. Man kann sie entweder chemisch lösen, was sehr schwierig ist, da sie sehr tief ins Material reicht, oder man kann sie wegschleifen. Aber auch Imprägnierungen enthalten womöglich Stoffe, die nicht unbedingt umweltverträglich sind. Es gibt zwar Eco-Imprägnierungen, diese sind aber ähnlich aufgebaut wie die herkömmlichen. Wir haben beim Minergie-Eco-Standard vor allem das Problem mit dem hohen Lösemittelgehalt. Das Lösemittel macht die Viskosität des Materials aus, damit es wirklich eindringen kann und dauerhaft ist. Bei der wassergelösten Imprägnierung liegen die Stoffe bloss obendrauf und werden mit jedem Reinigungswasser zugegeben und aufgefrischt. Für den Lösungsmittelhersteller ist das natürlich sehr lukrativ, er kann es fassweise verkaufen.

Aber wohin geht das Abwasser danach? Da muss ich sagen, dies ist kein sehr guter Ansatz. Unsere Imprägnierung hält für zehn Jahre ohne Problem, man hat Ruhe und kann sie mit einem normalen Allzweckreiniger oder Seife waschen. Somit wird die Umwelt wesentlich weniger belastet, als wenn komplexe Reinigungsmittel angewendet werden müssen, die das Abwasser verschmutzen. Ich finde, da liegt der Fokus momentan am falschen Ort. Ölen ist auch nicht ideal, weil man es sehr leicht auswaschen kann oder es bei Temperaturschwankung durch Kapillarkräfte herausgepresst wird.

Aber zurück zu eurem Projekt: Da denke ich mir, Steine einmal wiederverwenden ist machbar, aber ab dem zweiten Mal ist es bereits etwas schwieriger. Einmal wiederverwenden ist technisch wirklich möglich und ein interessanter Ansatz. Man würde bestimmt gewisse Projekte finden, die mitmachen würden. Dass man die Steine erneut mit einem geringen Aufwand ausbauen und wiederverwenden kann, ist schwierig, zum einen wegen der Klebtechnik und zum anderen durch den Schutz, den man auf Oberflächen und Fugen aufbringen muss.

FD: Wir haben uns überlegt, dass beim ersten Ausbau zwar die Aufarbeitung aufwändig ist, dafür aber der Ausbau einfach ist. Wohingegen in der zweiten Generation der Ausbau deutlich schwieriger ist, dafür müsste man den Stein nur noch auffrischen.

AG: Hierfür sehe ich noch keine einfache Lösung. Ich denke aber natürlich unternehmerisch. Man muss auch realistisch bleiben, man will schlussendlich ja keine Schäden. Es bringt niemandem etwas, wenn es viel kostet, aber nach drei Jahren sieht es bereits nicht mehr gut aus. Da sind besonders die Reinigungsmittel gerade im Badezimmer problematisch, selbst wenn Eco draufsteht – so einen Stein löst man damit auf. Viele Reinigungsmittel mit Säure und Entkalker sind schädlich für den Stein. Da hat man kurz darauf kaum Glanz mehr. Säure frisst Beton auf. Entkalker machen die Steine direkt kaputt. Deshalb muss man bei einem Einbau im Bad entsprechend damit umgehen. Ich habe die Erfahrung gemacht, dass je teurer ein Ausbau ist, desto weniger auf die Materialien geachtet wird. Als Unternehmer rate ich deshalb gerade in Mietwohnungen davon ab, nicht-zementöse Materialien einzusetzen. Eben, damit man sie gut reinigen kann.

FD: Vielleicht können wir damit auf die ersten

Schritte der Kreislaufwirtschaft kommen, unabhängig davon, in welchen Räumen ein Betonverbundstein wieder eingesetzt wird. In unseren Augen würde es Sinn machen, dass die Unternehmer das Material zurücknehmen, aufarbeiten und auch als Terrassenboden wieder vertreiben, wofür es eigentlich auch gedacht ist. Wie müsste da der Rückbauprozess aussehen, um eine effiziente Abfertigung in der Fabrik, der Schleifstrasse etc. zu ermöglichen?

AG: Also gerade beim Reinigen würde ich vielleicht einen anderen Ansatz wählen. Dass man die Steine reinigt, bevor man sie ausbaut. Denn gerade das Putzen kann man mit relativ geringem Maschinenaufwand machen. Die Steinplatten kann man wirklich auf dem Bau so putzen, dass sie palettiert und direkt wiederverwendet werden können. Oder man könnte sie auch erst nach dem Einbau aufarbeiten und putzen. Das kann man relativ gut mit Bürsten und mit Rotationsmaschinen machen. Dann sehen sie beinahe aus wie neu und beweisen sich wieder einige Jahre. Oder man kann sie auch direkt auf dem Bau Kyyugelstrahlen, mit dem Risiko, dass man die Fahrwege der Maschine sieht. Somit müsste man sie gar nicht erst transportieren, sofern man sie an dieser Stelle wieder einbauen möchte. Das wäre eine Variante, die man direkt auf dem Bau machen kann, mit der man so einen Stein fast wie neu hinkriegt und zusätzlich einen schönen Look hat.

Die Reinigungsleistung industriell zu machen, ist relativ teuer, schon nur aufgrund der Transportkosten, die gerade in letzter Zeit explodiert sind. Danach folgen das Abladen, Reinigen und wieder Palettieren. Die Palettierung kann heikel werden, wenn noch Rückstände von Kleber oder Kies an den Steinen haften, können sie nicht schön gestapelt werden und der Stapel fällt auseinander und das bringt Verluste mit sich. Also muss wirklich sauber palettiert werden, ansonsten müssen in der Fabrik noch zusätzliche Schritte unternommen werden.

FD: Wir haben das bereits beim eigenen Ausbau bemerkt, dass es am effizientesten sein könnte, die Steine direkt auf der Baustelle von Hand grob von Kies und Dreck zu befreien, damit man sie danach sauber palettieren kann. Unsere Kostenrechnungen, die auf unseren eigenen Erfahrungen beruhen, basieren auch auf dieser Methode, wo Stein für Stein verarbeitet wird. Eine andere Variante, worüber wir uns viele Gedanken gemacht haben, wäre, dass die Steine im Verbund Quadratmeterweise zurückgebaut werden. Also quasi

umgekehrt, wie sie mit Pflastermaschinen eingelegt werden. Da wäre aber noch Kies und Dreck an den Steinen. Was würde das für die Industrie bedeuten?

AG: Man kann den Stein zwar mit einem Vakuum anheben, aber sobald es leicht schräg liegt, saugt das Vakuum nicht mehr gut. Die Steine müssen relativ sauber retourniert werden, damit in der Industrie keine Probleme auftreten.

FD: Also lieber sauberer Rückbau von Hand?

AG: Ja, das wird wahrscheinlich viel effizienter sein. Effizienter im Rückbau wäre natürlich, die Steine mit einem Bagger in die Mulde zu werfen, aber selbst wenn man den Ausschuss in Kauf nehmen würde, bleibt die Arbeit in der Industrie. Da wird kaum ein Roboter zum Einsatz kommen, der aus der Mulde Stein für Stein lasergesteuert heraus pflückt. Das werden wieder Menschen sein. Die Frage bleibt nur, wo man lieber arbeitet. In der Industrie kann man wenigstens eine angenehme Arbeitshöhe einrichten, das ist auf dem Bau meist nicht so einfach. Aber man hätte durch den Ausbau mit dem Bagger natürlich einen viel grösseren Verlust und Ausschuss. Und wenn auch noch der halbe Kies zurückgeführt werden muss, ist das bestimmt nicht zielführend.

FD: Nein, für uns ist es natürlich interessanter, wie man die Arbeit mit heutigen Technologien machen kann. Wenn man durch die erhöhte Arbeitskräfte auf der Baustelle einen teureren Rückbau in Kaufnehmen müsste, dafür beim Palletieren und Sortieren viel mehr low-tech nutzen kann, dann ist das unter Umständen schon viel sinnvoller.

AG: Ja, vom aktuellen Stand der Möglichkeiten her wäre das sehr viel einfacher.

FD: Vielleicht können wir uns noch etwas über die Schleifstrasse unterhalten. Sie meinten in unserem vorgängigen Telefonat, dass so eine Maschine ungefähr 250'000 Franken kostet. Wie muss man sich die Schleifstrasse vorstellen? Kann man sie als weiteren Prozessschritt einfach hinten anhängen?

AG: Ja, es ist ein ganz normaler Prozess des Schleifens mit verschiedenen Köpfen. Wo man bei Maschinen auf der Baustelle oder bei Handmaschinen immer die Schleifköpfe wechseln muss, sind auf einer Schleifstrasse alle hintereinander montiert. Sie arbeitet mit einem geschlossenen Wasserkreislauf. Es gibt zwar Trockenmaschinen, aber die

sind viel zu teuer für die Industrie und man hat viel mehr Verlust und Wärme. Es gibt für Wohnungsbauten natürlich auch trocken arbeitende Varianten, man ist aber weniger schnell und hat viel mehr Abnutzung der Maschine und der Diamanten. Mit dem geschlossenen Wasserkreislauf kann man einiges an Ressourcen sparen.

Ich würde es mir für euer Projekt sogar so vorstellen, dass es vielleicht nicht ein kontinuierlicher Prozess ist. Vielleicht gibt es einmal einen grossen Platz mit 50'000 Steinen oder dann gibt es gleich 3 Rückbauprojekte in der Schweiz. Dann könnte man einfach mit einem Anbauteil an die Produktionsstrasse den Schliff machen, wenn Bedarf da ist. Denn eine eigene Industrie nur dafür wäre wahrscheinlich nicht sinnvoll.

Besser wäre es, wenn eine bestehende Steinbearbeitungsfirma diesen Vorgang anbieten würde und nach Bedarf, in Partnerschaft mit dem Produzenten, einmal 10 000 Steine pro Tag aufarbeiten würde. Sie könnten dies als Nebenprodukt anbieten. Durch die ganze Wasseraufbereitung mit den Normen in der Schweiz ist das nämlich eine teure Angelegenheit, da gehört nicht nur die Maschine, also die Schleifstrasse dazu, sondern auch andere Komponenten plus das ganze Know-how, die Schleiftechnik etc. Da würde ich mit einer Industrie, die Kunststeinplatten herstellt, zusammenarbeiten. Man muss die Maschinen zwar etwas anders einstellen, auf andere Breiten und Höhen und den Diamanten etwas anders bestücken, aber man könnte dann vielleicht sieben Lastwagen auf einmal liefern und hat wieder Vorrat für drei Monate. Wenn ein Markt da wäre, könnte man das ziemlich schnell entwickeln. Die Frage ist, ab wie vielen Steinen es sich lohnt, Arbeiter:innen hinzustellen, die den Rückbau so machen, dass alles ein sinnvolles Ganzes ergibt. Wenn jemand aus seinem Garten 5'000 Steine entfernen will, macht das eher keinen Sinn ... ein Privater, denkt der überhaupt daran, sie für die Wiederverwendung bereitzustellen, weiss er davon?

FD: Wir sind gerade dabei, Tools zu entwickeln, mit denen man mit Hilfe von GIS-Daten und Bildanalyse Systemen voraussagen kann, wo wann wie viele Steine frei werden. Wenn man weiss, dass in nächster Zeit viele Sechzigerjahre-Siedlungen abgerissen werden und gemeinsam mit Baueingaben bereits Aussagen über eine verfügbare Menge in einem bestimmten Zeitraum, könnte man vielleicht den Markt darauf ausrichten.

AG: Ja, dann wird es natürlich spannend.

FD: Ich hätte zum Abschluss noch zwei, drei Fragen bezüglich unserer Kostenvergleiche. Die oberste Schicht eines Bodenaufbaus, die dann effektiv zum Terrazzo geschliffen wird, was kostet sie ungefähr?

AG: Die oberste Schicht sind zwei Zentimeter, aber darunter ist ein zementöser Unterlagsboden. Diese werden ineinander gegossen. Was die Kosten angeht, sind die sehr unterschiedlich. Die belaufen sich zum Beispiel nur für das Material bei einem schönen Weisszement mit Carrarakorn, das gut verfügbar und nicht so weit transportiert werden muss, auf ungefähr 50 Franken pro Quadratmeter. Hingegen kostet bei einem anderen Terrazzo mit Amethysten, Halbedelsteinen, die Tonne im Vergleich zu Carrara statt 380 Franken ungefähr 10-15 000 Euro inklusive Transport, je nachdem, wo ich einkaufen kann. Hinzu kommt die Pigmentierung, ob anorganisch oder organisch – da kostet Schwarz 5.-/kg, Rot je nachdem 600 - 700 Franken/kg im Einkauf. Der Preis geht dementsprechend hoch oder runter. Was wir als Grössenordnung so in etwa veranschlagen, sind ungefähr 500.-/m², aber eben auch da macht es einen Unterschied, ob die 100 Quadratmeter auf zehn Toiletten in zehn Stockwerken verteilt sind, denn dann muss man mit der Handmaschine arbeiten, es gibt Randanteile, Verteil Kosten etc. Es ist extrem schwierig, Kosten zu vergleichen. Wenn man die Kosten von einer fertig produzierten Platte zu einem vor Ort gegossenen und verschliffenen Terrazzo vergleicht, hat man sicher eine Preisdifferenz von etwa 50 Prozent. Wenn ich beim Terrazzo von 500 Franken pro Quadratmeter rede, dann ist das wegen der Garantie inklusive Unterlagsboden; ein Kunststein fertig verlegt inklusive Verschnitt und Aufbau, Ausfugen und Imprägnieren liegt bei ungefähr 250 Franken pro Quadratmeter.

FD: Für die Kalkulationen möchten wir versuchen, Material und Verlegeaufwand zu trennen und um es vergleichbar zu machen, würden wir die Unterböden weglassen. Geht das?

AG: Was habt ihr gerechnet für den Abbruch?

FD: Wir sind mit eigenen Erfahrungswerten bei etwa 37 Franken pro Quadratmeter, der Neupreis im Vergleich liegt bei circa 33 Franken. Wir sind also etwas teurer als der Neupreis, aber der Skaleneffekt ist da noch nicht mitbedacht, der sich stark zu unseren Gunsten entwickeln könnte.

AG: Ja eben, auf den Ausbau kommt es vor allem

an. Sind die Flächen praktisch, wo man mit dem Stapler einfach zufahren, die Paletten hinstellen, die Steine sauber stapeln kann, dann wird es natürlich viel effizienter.

FD: Das haben wir bemerkt. Wir hatten bei unserem Versuch alles via Schubkarre über ein mehr oder weniger ebenes Gelände transportiert, dafür mussten wir nur circa 15 Meter weit laufen. Sobald man aber weiter laufen muss, wird es gleich viel aufwendiger. Aber auch da haben wir an Geländehubwagen gedacht, damit man direkt palettieren kann und den Stein nicht zweimal in die Hand nehmen muss.

AG: Ja, es gibt bestimmt Möglichkeiten. Vielleicht kann man auch mit dem Kran hin oder hat sogar schon einen Baukran aufgestellt oder er kommt zwei Tage früher und erleichtert euch den Transport. Aber auch da wird man bei 30 bis 40 Franken pro Quadratmeter bleiben, wenn man dann nochmal fünf Franken für den Transport und das Abladen rechnet. Hinzu kommt das Schleifen; wenn man das gut einrichten kann für etwas grössere Mengen, das sollte gehen, behaupte ich jetzt, sollte man fürs Schleifen auf 30 Franken pro Quadratmeter kommen. Alles zusammen wird man ab Platz dann ungefähr bei 80 bis 90 Franken sein, grob geschätzt natürlich. Damit sollte das machbar sein. Und so wäre man natürlich immer noch konkurrenzfähig zu gewissen anderen Produkten, auch Keramikplatten oder gewisse Steinplatten sind preislich ähnlich. Und – man hat dann bei euch das gute Gewissen, das den Unterschied macht!

FD: Was für uns mit dem Stein in der Anwendung bei Wänden oder ähnlichen Bereichen noch hinzukommt, ist, dass wir durch das ästhetische Erscheinungsbild des Steines auf Schichten wie Fliesen oder Verputz und Farbe verzichten können und dadurch Aufwandskosten einsparen und auf weiteren Material Konsum verzichten können. So rechnen sich für uns Kosten und Nachhaltigkeit durch Qualitäten, die der Stein mit sich bringt.

AG: Also für eine Innenwand, mal ausgenommen dort, wo die Leitungsführung ist, oder als Vormauerung in Bädern kann ich mir das gut vorstellen. Wenn man bedenkt, wie aufwendig heute ein Bad gebaut wird – mit Gipskartonplatten, dem Ständerwerk, GIS-Elementen, die auch wieder beplankt werden müssen, zudem abgedichtet, verspachtelt und gefliest, liegt man damit preislich mindestens gleich. Das ist heute das Problem – die vielen Abdichtungen, die notwendig sind, machen es nicht

ganz so einfach. Ich habe zum Beispiel ein 300-jähriges Haus im Tessin, wo Feuchtigkeit für den Stein überhaupt kein Problem ist. Für das Wohlbefinden in so einem Haus, in dem eine solche Mauer «lebt», gewisse Dämpfe aufnimmt und abgibt, funktioniert das wunderbar. Der Keller ist seit 300 Jahren feucht, aber ohne Schimmel. Heutige Keller haben unter Umständen schon nach einem halben Jahr Schäden und Kondensat. Für mich persönlich würde ich so eine Wand, wie ihr sie vorschlägt, in meinem Haus viel lieber machen, weil ich weiss, selbst wenn die Imprägnierung nicht 100-prozentig perfekt ist, wird die Feuchtigkeit aufgenommen und wieder abgegeben, das wird keine Probleme geben.

FD: In unserem Vorschlag hätten wir sogar gesagt, dass dadurch, dass wir Lehmörtel benutzen und die andere Seite mit Lehmputz atmungsaktiv geschlemmt ist, die Mauer atmen kann und kleine Schäden in der Versiegelung gut kompensiert.

AG: Ja, ich denke, das sollte gut gehen, solange es keine Aussenwand ist, denn dort muss die Feuchtigkeit zur gleichen Seite entweichen wie eindringen. Grundsätzlich sehe ich da ohnehin kein Problem, und ich würde die Versiegelung auch durch eine Imprägnierung ersetzen. Die ist wasserabweisend, aber Dampfdiffusions-offen. Früher hat man panisch den Stein vor Wasser geschützt, aber heute sagt man, er verträgt es, saugt, wird etwas dunkel, aber gibt es dann wieder ab. Das funktioniert auch bei eurem Stein. Ich würde aber zementöse Fugen machen und keine Lehmfugen (lacht), weil ich Angst hätte, dass es sich auswäscht und irgendwann den Ablauf verstopft mit Ablagerungen etc. Das gilt für Kalk bei Ausblühungen, aber auch bei Lehm. Natürlich, man kann die ausgewaschenen Stellen erneuern, aber das Material geht in die Abläufe und verstopft sie.

FD: Da müsste man ja fast Abläufe machen, die dekantieren.

AG: Da wird es dann mit Haaren drin lässig.

FD: Wir haben in unserem Duschdetail überlegt, dass man für diesen Zweck die Steine aus der Duschwanne herausheben und sie so einmal pro Jahr reinigen kann.

AG: Ja, wir haben so etwas auch schon mal gemacht bei einer Villa, und das ging auch, aber das möchte ich bei mir zu Hause ehrlich gesagt nicht. Man muss dafür die Wanne mit einem starken Gefälle machen. Ich würde eher eine

Oberfläche mit Gefälle und mit nur einem Ablauf machen, damit es über die Oberfläche abfließt.

FD: Noch kurz zu den Personalaufwandskosten des Schliffs. Wie hoch sind die ungefähr?

AG: Also bei der Schleifstrasse relativ gering. Wenn die Steine gut palettiert sind, dann würde ich sagen eher gegen zehn Prozent der gesamten Schleifkosten. Aber das ist schwierig zu sagen. Bei einem Terrazzo, der vor Ort geschliffen wird, ist der Aufwand relativ gross, man führt die Maschine von Hand. Bei der Schleifstrasse muss man nur noch prüfen, Fehler korrigieren, vor- und nachbereiten und danach eventuell die Steine selbst entnehmen. Dort kann eine Person ungefähr 80 Quadratmeter pro Tag schleifen, bei euren kleinen Steinen wären es vielleicht eher nur 70 Quadratmeter. Bei einem Terrazzo vor Ort bringt eine Person rund zehn Quadratmeter pro Tag fertig geschliffen hin. Bei Grobschliffen sind es vielleicht 30, bei Feinschliffen 60 Quadratmeter, aber total sind es sicher nicht mehr als zehn Quadratmeter im Schnitt fertig geschliffen. Deshalb ist vor Ort schleifen aufwendiger. Bei Kleinflächen wie Treppenpodesten bringt eine Person, wenn's gut geht, vielleicht ein Podest fertig an einem Tag. Je kleiner die Fläche, umso kleiner die Maschine und umso kleiner das Gewicht. Eine Schleifmaschine in der Schleifstrasse arbeitet gleich mit 20 Tonnen Druck, sie schleift in einem Durchgang fünf Millimeter weg. Das funktioniert auf dem Bau mit einer 400Kg-Maschine natürlich nie. Da schafft man pro Durchgang vielleicht einen Millimeter, aber nur mit super Diamanten, die entsprechend schnell abgenutzt sind. Auf der Baustelle rechnet man mit ungefähr 150 Franken pro Quadratmeter fürs Schleifen, in der Schleifstrasse fallen die Anschaffungskosten der Maschine ins Gewicht, nicht die Arbeitszeit.

FD: Vielen Dank, dass Sie Ihr Wissen mit mir geteilt haben, das war wirklich unglaublich interessant.

AG: Was ihr mit den Steinen vorhabt, können wir gerne einmal probieren, es wäre auch für mich interessant. Wenn ihr mal 20 oder 30 Steine zum Schneiden bringen wollt, um zu schauen, wie das aussieht, das wäre spannend. Schneiden mit einem relativ feinen Blatt hätte auch den Vorteil, dass man schon fast eine Sichtfläche bekommt und man gar nicht mehr gross schleifen müsste.

FD: Das wäre sehr cool.

AG: Vielleicht könnte man einfach mal so etwas

auszuprobieren. Bei der Stadt Zürich oder bei der Denkmalpflege oder etwas spannenderen Architekten, gibt es schon zwei, drei, die sagen würden, dass wir das einfach mal versuchen sollten. Wir haben immer wieder solche Projekte, wo man mal drei, vier solche Duschen als Prototypen einbauen könnte. Man muss ja Projekte haben, damit man das verfolgen kann. Vielleicht liessen sich die Steine auch mal in einem Kunst-am-Bau-Projekt einsetzen oder in einer Schuleingangshalle. Man könnte also ein Produkt erschaffen, das, wenn man es richtig verlegt – nicht mit Lehm – nach 60 Jahren noch einmal 60 Jahre eingesetzt werden kann, das wäre punkto Nachhaltigkeit sehr überzeugend.

INTERVIEW 2.0

Aaron Gamma, Brun del Re Terrazzo AG

Geführt von Oliver Zbinden und Lina von Waldkirch, transkribiert von Lina von Waldkirch.
Ort: Brun del Re Terrazzo AG, Hauptsitz Fällanden,
am 04.11.2022.

OZ: Können Sie uns näher erläutern, was es bedeutet, den Betonverbundstein zu halbieren? Was bedeutet dies auch bezüglich seines Aufbaus?

AG: Der obere Teil ist dichter als der untere und damit der qualitativ hochwertigere. Halbierte Steine sind im Aussenraum nicht einzusetzen, da sie nicht genug frostbeständig sind. Im Innenbereich kann man ihn gut anwenden, muss aber eine geeignete Verarbeitung beachten. Da der Stein viele Poren hat, also offenporig ist, muss man ihn spachteln, bevor er eingesetzt wird. Zuerst wird der Stein also geschnitten, dann geschliffen, die Schnittfläche gespachtelt, erneut geschliffen und anschliessend verlegt.

Für das Schneiden benötigt man ein grosses Sägeblatt, es muss mindestens doppelt so gross wie die Breite des Steines sein, es muss gut 3 Millimeter dick sein. Dadurch und mit dem Schleiden erhält man eine neue Höhe zirka 2 mal 25-26 mm. Handelsübliche, neuwertige Kunststeinplatten haben oft eine Höhe von 27 mm.

LW: Wie sieht es mit dem Aufwand aus? Welche Schritte sind aufwändig, welche weniger?

Schneiden an sich ist preislich vertretbar. Um den Stein schneiden zu können, muss er eingespannt werden, wegen des Sägeblattes. Beim Schneiden kann es aber zu einem grösseren Ausschuss kommen, das hängt ganz von der Qualität des Steines ab. Diese hängt vom Alter des Steines ab sowie wo er eingesetzt wurde, also ob er Frost oder sauren Regen erfahren hat. Saurer Regen verursacht die grössten Schäden am Stein. Es wird also diverse Qualitätsklassen geben, abhängig von Alter, eben Standort.

Spachteln ist sehr aufwändig und daher teuer. Dafür gibt es zwei Varianten: 1. das 'Abspachteln', also ausreiben und; 2. das 'überschüssig Spachteln'. Das wird aber nie vor Ort gemacht, wegen der Maschinen und weil es zu teuer ist. Die Spachtelmasse ist ein Gemisch aus Sand und Zement. Hier kann man eine auf die Farbigkeit des Steines abgestimmte Mischung herstellen, also die Farbigkeit des Sandes wählen.

Beim Schleifen muss immer auf die oberste Körnung kommen. Das Grobschleifen ist sehr teuer, wir sparen uns aber diesen Schritt, da wir die Steine ja halbieren. Fein geschliffen werden muss der Stein ohnehin. Beim Schleifen ist das Einspannen aufwändig. Wichtig ist beim Schleifen, dass er ganz glatt wird. Denn bleibt er uneben, also offen, hat das Auswirkungen auf die Hygiene: Man kann ihn nicht richtig reinigen und er fängt an zu riechen. Man muss also so weit runterschleifen, bis man auf eine gute Verdichtung trifft, damit die Kanten nicht abbrechen.

Und der Begriff 'Terrazzo', den ihr verwendet, ist eigentlich nicht richtig. Ein Terrazzo ist immer gegossen, ihr macht eigentlich einen Kunststeinboden oder einen Kunststeinbelag.

OZ: Können Sie uns ungefähre Kosten zu diesen Arbeitsschritten nennen?

AG: Ich schätze den fertig verlegten Bodenbelag mit eurem Stein, inklusive schneiden, spachteln, schleifen und verlegen auf 600 bis 800 Franken pro Quadratmeter. Das bedeutet, dass wir uns im High End-Bereich beweisen müssen. Normale Kunststeinplattenbeläge haben einen Quadratmeterpreis von 200-300 Franken pro Quadratmeter, inklusive Unterlagsboden. Ein Terrazzo kostet 300-400 Franken pro Quadratmeter, ohne Unterlagsboden.

Aber neue Recycling-Produkte steigen immer zuerst teuer in den Markt ein. Mit der Zeit, vor allem durch Nachfrage, optimale Maschinen und so weiter wird er schon günstiger.

LW: Wir haben hier einige Bodenaufbauten aufgezeichnet. Besonders interessiert uns der Einsatz im Holzbau.

AG: Will man den Stein direkt auf eine Holzkonstruktion legen, kann man ihn nicht halbiert einsetzen, da er zu weich ist. Der Stein braucht einen zementären Untergrund, also entweder eine Betonkonstruktion oder einen zementären Unterlagsboden, mit zementären Fugen und Silikondilatationsfugen. Bezüglich Trittschall hängt es davon ab, ob wir in einem Wohnraum sind oder einen Atelierboden haben.

OZ: Wie sieht es mit Silikonfugen aus?

AD: Der Einsatz von Silikonfugen ist grundsätzlich zu hinterfragen, weil er nicht sehr hochwertig ist. Man hat ja vor allem in den ersten zwei Jahren Bewegung im Boden.

LW: Wie funktioniert in unserem Falle das Kleben der Steine beim Einsatz als Boden?

AG: Die Unterseite muss eigentlich zuerst geschliffen werden, damit der Stein überhaupt auf den Unterlagsboden geklebt werden kann und auch haftet. Weil der Stein unbearbeitet uneben, schmutzig, womöglich vollgesogen und von saurem Regen angegriffen ist. Da könnte es mit der Garantie beim Hafttest schwierig werden... Und je dünner der Stein ist, desto weniger haftet er, da er leichter ist. Bei der Hochdruckreinigung ergibt sich die Problematik, dass die Kanten beschädigt werden.

Aus Gesprächen mit den verschiedenen Akteurinnen und Akteuren gehen in einer Kreislaufwirtschaft für den Vertrieb von Betonverbundsteinen und Bauteilen im Allgemeinen, folgende Möglichkeiten hervor:

BAUTEILBÖRSEN

Bauteilbörsen sind eigenständige Unternehmen, die Bauteile rückbauen, aufbereiten und zur Wiederverwendung anbieten. Sie vereinen die ganze Lieferkette von Rückbau, Industrie und Lagerung sowie Vertrieb.¹ Bauteilbörsen sind heute in der Wiederverwendung von Bauteilen wichtige Akteurinnen. Jedoch sind wir der Überzeugung, dass die Wiederverwendung von Bauteilen künftig in allen Bauabläufen ein integraler Bestandteil sein muss. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Wiederverwendung in der Bauindustrie zum Normalfall wird.

Wird die Lieferkette auf verschiedene Akteur:innen aufgeteilt, müssen Rückbauunternehmen und Produzent:innen neue Rollen übernehmen. Abhängig davon, wie der Stein eingesetzt wird, sind unterschiedliche Zusammenarbeiten und Abläufe notwendig.

SZENARIO 1: DER STEIN BLEIBT ALS AUSSENBELAG VOR ORT UND WIRD AUFGEFRISCHT:

1. Steinbearbeitungsfirma

SZENARIO 2: DER STEIN WIRD AUSGEBAUT, AUFGEFRISCHT UND AN EINEM ANDEREN ORT WIEDERVERWENDET:

1. Rückbauunternehmen baut aus

2. Produzent:in frischt in der Fabrik auf

3. Zwischenhändler:in oder Produzent:in vertreibt (je nach Auftragsgrösse)

¹ Syphon AG. „über uns. Unternehmensgeschichte“. <https://www.syphon.ch/de/ueber-uns> (Abruf: 17.12.22)

«[...] SCHLUSSENDLICH MUSS
ZIRKULÄRWIRTSCHAFT NICHT ÜBER
SUBVENTIONEN ETC. PASSIEREN,
SONDERN MUSS VON DER WIRTSCHAFT
KOMMEN. DANN FUNKTIONIERT ES AUCH
NACHHALTIG.»¹

DANIEL EBERHARD

SZENARIO 3: DER STEIN WIRD ZUM MAUERWERKSTEIN UMGENUTZT:

1. Rückbauunternehmen baut aus
2. Produzent:in frischt in der Fabrik auf
3. Zwischenhändler:in oder Produzent:in vertreibt (je nach Auftragsgrösse)

SZENARIO 4: DER STEIN WIRD ZU EINEM TERRAZZO-KUNSTSTEIN IM INNEN-
BEREICH AUFGEWERTET:

1. Rückbauunternehmen baut aus
2. Produzent:in frischt in der Fabrik auf
3. Steinbearbeitungsfirma halbiert die Steine, schleift und spachtelt sie (vgl. Kapitel Aufwertung) im Auftrag des Herstellers je nach Bedarf
4. Zwischenhändler:in, Produzent:in oder Steinbearbeitungsfirma vertreibt (je nach Auftragsgrösse und Zielgruppe)

PRODUKT ALS SERVICE

Eine zentrale Veränderung im Vertrieb bringt das Konzept «Produkt als Service». Dabei ist das Ziel nicht mehr, Produkte zu verkaufen, sondern einen Service zu vermieten.¹ Am Beispiel des Verbundsteins bedeutet dies, eine gewisse Anzahl Steine über eine bestimmte Nutzungsdauer zu vermieten und anschliessend wieder zurück zu nehmen. Dabei würden Produzierende und Konsumierende anstelle eines Kaufvertrages einen Nutzungsvertrag eingehen. Für Baustoffhändler:innen könnte das heissen, dass sie Ausstellungspartner:innen und Vertretende der verschiedenen Produzierenden werden und somit eine vermittelnde Rolle einnehmen.

¹ Eberhard, Interview (s. Kapitel 1.5)

¹ Pré Sustainability B.V., Amersfoort, the Netherlands. „5 roads to a circular economy – Part II: Product as a service“ veröffentlicht: 26.05.16, bearbeitet: 18.08.21. <https://pre-sustainability.com/articles/5-roads-to-circular-economy-part-ii-product-as-a-service/> (Stand 8.8.2022)

INTERVIEW

Hendrix Müller, MÜLLER-STEIN AG Gruppe

geführt von Felix Dillmann und Sophie Nussbaumer, transkribiert von Oliver Zbinden
Ort: Microsoft Teams am 17.12.2021

Sophie Nussbaumer: Vielen Dank, dass Sie sich Zeit nehmen für ein kurzes Interview mit uns. Wir machen unsere Entwurf-Vorlesung dieses Semester bei Barbara Buser an der ETH und haben uns mit der Wiederverwendung von Bauteilen auseinandergesetzt. Wir starteten unser Semester an einem Rückbauobjekt in Zürich-Seebach, wo wir Material ausbauen konnten und sind dabei auf diesen Zementverbundstein gestossen, den es in dieser Siedlung als Terrassenbelag en masse gab. Wir haben geforscht, wie wir diesen Stein als Reuse-Material in einer neuen Verwendung wieder einsetzen können. Dazu haben wir ein Mock-up gebaut und den Stein darin in verschiedenen Mauerverbänden eingesetzt. Wir haben ihn auch als Bodenbelag für den Innenraum eingesetzt und testeten, welche Möglichkeiten wir damit überhaupt hätten. Wir den Stein sogar upcyclen, denn wir haben ihn geschliffen und poliert. Ausserdem haben wir uns stark mit der Zirkulärwirtschaft auseinandergesetzt. Uns interessierte der Kreislauf vom Rückbau bis zu einer Zweitverwendung in einem neuen Einbau. Hier sehen Sie, wie sich der Stein als Innenboden einsetzen lassen würde und welche anderen Möglichkeiten es gäbe, den Stein wieder zu verwenden.

Felix Dillmann: Diese Steine haben schon einige Zeit in dieser Siedlung als Terrassenboden gediene. Während des Aufbereitens haben wir gemerkt, dass unter deren Oberflächen, die natürlich schon ein wenig verbraucht und dunkel geworden sind, intakte Steine stecken, denen die Verwitterung nicht geschadet hat. Wenn man den Stein wieder aufarbeitet, kann man mit relativ geringem Aufwand zu sehr ästhetisch anspruchsvollen Produkten kommen. Wir haben darüber mit einem Terrazzo-Unternehmer gesprochen und auch mit Rückbaufirmen wie Eberhard. Ihr als Hersteller seid ein wichtiger Teil unserer Gespräche, die wir zum ganzen Zyklus der Wiederverwendung oder zur Zirkulärwirtschaft geführt haben. Wir möchten mit allen Stakeholdern einmal sprechen, um zu sehen, wer in diesem Prozess eine Rolle spielt.

Wir verglichen unsere Lösungen mit Standardlösungen – beispielsweise mit einem Standard-Terrazzo, den man vor Ort giesst – und versuchten, die Kosten gegenüberzustellen. Wir als Studenten sind sehr interessiert an einer nachhaltigen Wirtschaft und gerade den Beton, der momentan eher kritisiert wird, wollen wir als Produkt wertschätzen. Man kann sagen, dass man hier in der Wiederverwendung extremes Potenzial steckt. Für uns sind die Kosten natürlich sehr zentral: Die Welt funktioniert nur über die Kosten und wir sind uns bewusst, dass wir kompetitiv werden müssen. Gut, Terrazzo ist ein Produkt im Hochpreissegment, aber gerade da haben wir herausgefunden, dass wir mit der Möglichkeit der Vorfabrikation den Preis um fast 50 Prozent unterbieten können. Wenn man die Wände mit Badezimmer vergleichen würde, bekommen wir durch den Stein eine zusätzliche Ästhetik, die es uns ermöglicht, auf Fliesen oder Wandfarben zu verzichten. So können wir definitiv kompetitiv werden. Im Vergleich zu Fliesen sind wir deutlich billiger, aber im Vergleich mit einer Mauerwand leicht teurer. Dafür hat unser Stein aber andere ästhetische Qualitäten. Die Einsparung von CO₂ spricht ausserdem dafür. Vielleicht muss ich noch sagen, dass hier der Transport nicht enthalten ist, dieser schlägt auf die Masse gerechnet aber kaum zu Buche.

SN: Ich glaube, da können wir die Frage an Sie richten: Wie sehen Sie als Hersteller von Zementverbundsteinen Ihre Rolle in der Zirkulärwirtschaft?

FD: Wir merkten nämlich, dass ein starker Wertverlust stattfindet, wenn man das Material in einen Secondhandmarkt, wie eine Materialbörse eingliedert und als Secondhandmaterial definiert. Wenn dieses Secondhandprodukt dann mit einem neuen Produkt von euch konkurrieren soll, kann es nicht mithalten und wird nicht wirtschaftlich sein. Darum ist es für uns wichtig, zurück zu den Produzenten zu gehen und mit diesen zu sprechen. Ihr habt die Expertise und die Fachleute und ihr wisst, welches Material verwendet wurde, wie man es eingebaut hat, wie man es wieder ausbaut und was die physi-

kalischen Eigenschaften dieser Steine sind. Wenn ihr hinstehen und das Produkt als ein neuwertiges anpreisen würdet, was würde das bedeuten? Man würde es nicht mehr als Secondhandprodukt verkaufen, sondern als neuwertig ...

Hendrix Müller: Aktuell ist es so, dass wir eigentlich nur als Hersteller fungieren. Wir sind aber mit gewissen Kunden im Gespräch, wie man eine Nutzungszeit vereinbaren könnte. Man würde dann eigentlich sagen: «Wir stellen dir die Pflaster für den Platz für eine bestimmte Nutzungszeit zur Verfügung. Wenn das gewünscht ist, kannst du auch neue Steine einsetzen, aber wir bauen ihn danach wieder aus und verwenden ihn als Sekundärbaustoff.» Bei uns ist aktuell die Verwertung als RC-Granulat die Hauptanwendung eines alten Pflastersteins. Wie die anderen Ausbauproduktionen, die wir haben, werden sie bei uns hauptsächlich durch den Brecher gelassen und als RC-Beton eingesetzt, teilweise bei den Pflastersteinen selbst, teilweise beim Transportbeton-Werk oder bei der Elementanwendung. So, wie ihr das jetzt gemacht habt, haben wir es noch nie gemacht. Da würde auch die Lieferfähigkeit zu einem Thema werden.

Meine persönliche Meinung ist, dass graues Material bei grauem bleiben soll und rotes Material bei rotem. So kann gerade bei der Verwertung wieder RCM-Granulat gemacht werden. Aus grauem Granulat kann wieder grauer RC-Beton ohne grosse Verluste hergestellt werden. Im Aufbereitungsprozess muss der Aufwand möglichst klein ausfallen. Wenn man sich die Firma Eberhard anschaut mit ihrer automatischen Sortierungsanlage, dann war das eine Rieseninvestition. Wir haben sie bei uns noch nicht getätigt, aber auch da sind einige Sachen in Bewegung, die wir sicher mitanschauen.

Es ist ein interessanter Ansatz, diese ausgebauten Steine auch in den Hochbau zu bringen. Als ihr mir die geschliffenen und gebürsteten Ansichten vom Stein gezeigt habt, habe ich mich gefragt, ob ihr sie alle auf die gleiche Höhe geschliffen habt, sodass sie massgenau sind. Weil die Oberfläche hatte durch Salzeintrag oder andere Einflüsse bestimmt eine gewisse Beeinträchtigung, wodurch die Höhe nicht immer genau gleich gegeben war. Habt ihr sie auf die gleiche Höhe geschliffen?

FD: Wir haben unsere Steine von Hand geschliffen. Wenn sie geschliffen sind, verlieren wir ein bis zwei Millimeter, aber wir haben mit dem Terrazzo-Hersteller darüber diskutiert, er sagte, dass man durch Schneiden der Steine die Höhe genauer

hinbekommt, sodass der Fliesenleger nicht verrückt wird.

HM: Massungenaugigkeiten ...

FD: Genau. Man könnte sie dann auch auf einem Dünnbettmörtel auslegen und müsste sie nicht in ein Kiesbett klopfen. Das sollte also möglich sein.

HM: Ihr habt jetzt diesen Betonverbundstein genommen, aber er gibt auch noch andere von anderen Herstellern. Der Verbundstein bietet durch seine Form schon gewisse Möglichkeiten, aber bei quadratischen oder rechteckigen sieht das wieder anders aus. Trotzdem finde ich es einen interessanten Ansatz, dass man dem Kunden sagt, wir nehmen den Stein auch wieder zurück und bereiten ihn auf. Wir wären dann Inverkehrbringer, aber gleichzeitig auch Aus-dem-Verkehr-Nehmer, um ihn später erneut in Umlauf zu bringen.

FD: Um dort einzuhaken: Wenn wir über Nachhaltigkeit sprechen, also über die verschiedenen Zyklen, dann sprechen wir zuerst davon, dass man das Material wieder in der gleichen Funktion einsetzt, wie es vorher schon genutzt wurde, also: Boden bleibt Boden. Die weiteren Anwendungen ergeben sich, zum Beispiel, wenn jemand den Stein nicht mehr als Boden möchte, dann kann man mit ihm eine Wand errichten. Oder wenn die Oberflächen nicht mehr mitmachen, sind die Seiten, die durch den Einbau geschützt und nicht dem Regen ausgesetzt waren, noch gut und geben eine schöne Wand. Das Ziel wäre, den Stein so lange wie möglich, als das zu nutzen, was er ist und erst dann mithilfe möglichst geringer Aufbereitung neu einzusetzen. Wenn es geht, könnte man diese Prozesse gerade vor Ort machen oder wie Sie schon erwähnt haben, ihn im Rahmen eines Produkt-als-Service-Angebots wieder zurückholen und wieder einsetzen. Wie sieht das bei euch aus, wie holt ihr diese Sachen wieder zurück?

HM: Aktuell ist es noch keine Dienstleistung, die wir anbieten. Wir sind wirklich nur Produzenten und bedienen unsere Kunden, die das Produkt einbauen. Also Gartenbauer, Baumeister, auch Private, die sie kaufen und einsetzen. Wir stellen es nur her. Wir sind in der Entwicklung erst so weit, dass wir uns überlegen, ob wir ein Service anbieten sollen, um diese wieder zurückzunehmen.

FD: Ihr habt das Know-how, was das Material kann, wie man es herstellt und aufbereitet. Wir haben gestern mit der Firma Eberhard gesprochen –

diese würden sich natürlich als Rückbauunternehmer dort aufstellen und könnten euch das Material wieder zuführen. Es kommt dann in eurer Fabrik palettiert an. Sie haben aber keine Ahnung von der Aufarbeitung, da wärt ihr die Experten. Wenn wir jetzt sagen würden, ihr hättet das Urban Mining im Vertrag vereinbart, also: Der Baumeister baut ein Produkt ein und er wird es irgendwann später wieder ausbauen und euch zurückbringen. Könntet ihr euch vorstellen, so zusammenzuarbeiten?

HM: Eine Möglichkeit ist es auf jeden Fall. Wir sind einfach noch nicht so weit, dass wir es jetzt machen könnten. Wir haben darüber schon einmal diskutiert, aber haben es noch nicht weiter vorangetrieben. Wir merken, dass wir in der Entwicklung immer weit voraus sind, aber bis es schlussendlich umgesetzt wird, braucht es immer Zeit.

FD: Was würde es für euch an Aufwand bedeuten? Wie müsste das Material bei euch in der Fabrik ankommen oder habt ihr vielleicht schon die Infrastruktur, um so etwas aufzuarbeiten?

HM: Nein, wir haben noch nichts da. Aber wir haben Anlagen, in denen paletten- oder lageweise etwas befördert werden kann. Wir haben auch Oberflächenbearbeitungsmaschinen, die zum Beispiel einen Pflasterstein altern lassen können. Wir haben auch gewisse Curling-Bürsten, um die Oberflächen bürsten zu können. Die Anforderung wäre es zwar ein wenig intensiver, als für die bisherigen Anwendungen, weil wir den Stein eigentlich in einem feuchten Zustand veredeln. Die Bürste müsste entsprechend angepasst werden, um auch bei sehr ausgehärteten Steinen noch eine Wirkung zu erzielen. Aber da gäbe es sicher Möglichkeiten, wie man das in die Produktion integrieren könnte. Oder wir könnten einfach eine eigene Produktionsslinie dazu aufbauen. Wir haben auch gewisse Anlagen, in denen die Steine sortiert und ausgerichtet werden können, sodass man sie gerade lage- oder bahnenweise vorsortieren kann. Danach nimmt der Roboter sie und legt diese lagenweise auf die Paletten, sodass man sie verpacken kann.

FD: Wie wird abpalettiert? Wird das Material aus einer Mulde gegriffen oder wie macht es diese Maschine?

HM: Die ist bei den Steinen eingesetzt, die wir altern lassen. Wir haben Rohlinge, die wir nehmen und altern lassen. Sie gehen durch eine Trommel durch, die die Oberfläche beschädigt. Durch die

Oberflächenbeschädigung bekommt die Steine einen antiken Touch. Die Steine werden in einen Bunker gegeben und dann durch diese Trommel gelassen, dann fährt es weiter durch einen Sortierteller, das heisst, die Steine werden durch Rotation beschleunigt und so ausgerichtet, dass alle in die gleiche Richtung schauen. Ein Roboter kontrolliert dann mit einer Kamera die Oberfläche, ob diese den Bedingungen entspricht. Entsprechend wird der Stein in eine Bahn eingelegt. Wenn die Bahn lange genug ist, werden alle miteinander vom Roboter gepackt und lagenweise auf die Palette gelegt.

FD: Kann man sagen, dass 80 oder 90 Prozent der Infrastruktur schon da wäre? Man müsste vor allem einen anderen Bürstenkopf aufsetzen und könnte loslegen?

HM: Ja, es bräuchte wahrscheinlich trotzdem noch eine gewisse Reinigung und gewisse Masse und gewisse Augen, die angesetzt werden. Da wäre der Vorteil, dass es mit Wasserbehandlung wahrscheinlich wäre, die man noch zuschalten müsste. Aber eine Waschanlage wäre machbar.

FD: Wir haben gar nicht damit gerechnet, dass durch die Produktion des Neusteins schon so viel Infrastruktur da ist, um solche Sachen zu machen.

HM: Die könnt ihr gerne einmal anschauen kommen.

FD: Ja, gerne. Es wäre unglaublich toll, wenn wir das einmal sehen könnten.

HM: Ihr seid jederzeit herzlich eingeladen, vorbeizukommen, um zu schauen, wie diese Anlage aktuell ausschaut. Also diese Alterungsanlage, mit der wir auch sortieren können.

FD: Ja, sehr gerne. Wir erwarten, dass in Zukunft Massnahmen gegenüber dem CO₂ kommen werden, also CO₂-Steuern sowie Netto-null-Auflagen. Wie stehen Sie dem gegenüber oder wie bereiten Sie sich darauf vor?

HM: Wir haben zum einen Gespräche mit den Zementlieferanten, welche unsere grössten Emittenten sind, dass sie selber Forschung betreiben, CO₂-arme Zemente herzustellen. Wir selbst haben eine neue Trocknungskammer installiert, mit der wir mit tieferer und konstanterer Hitze den Stein besser aushärten lassen können. Da können wir den CO₂-Ausstoss messen, den der Stein verur-

sacht. Auch könnten wir zusätzlich noch CO₂ im Stein binden, in dem wir diese Kammer begasen, sodass der Stein CO₂ aufnimmt. Das verfolgen wir momentan. Bei uns im Werk haben wir auch eine Holzschnitzelanlage, in welcher wir das ausgestossene CO₂ direkt wieder abscheiden können, um es wieder in den Trocknungsprozess zu integrieren.

SN: Das heisst, es geht mehr um die Produktoptimierung im CO₂-Ausstoss.

HM: Ja, aber nicht nur mit CO₂. Wir haben gerade einen Auftrag, um auf der Oberfläche Stickoxid abzubauen zu können.

FD: Eine neuere Diskussion ist, dass die Steine während ihrer Lebenszeit CO₂ aus der Luft binden könnten. Führt ihr das CO₂, dass ihr bindet, direkt aus der Produktion wieder hinzu oder betreibt ihr Direct Air Capturing?

HM: Wir wollen es in der Trocknungskammer zuführen, also nach der Produktion. Die Steine sind dann standfest und kommen in die Trocknungskammer. Im Normalfall lassen wir sie über Nacht aushärten, sodass man sie am nächsten Tag ins Lager bringen kann. In dieser Trocknungskammer, die wir jetzt installiert haben, ist der Trocknungsprozess schon nach sechs bis acht Stunden abgeschlossen, hier sind wir schneller geworden. Dadurch haben die Steine eine bessere Endfestigkeit und wir können auch externes CO₂ einführen, um dies im Stein zu binden.

FD: Ihr seid ein schweizerisches Unternehmen, dass auch mit Schweizer Rohstoffen arbeitet. Woher nehmt ihr die Rohstoffe für den RC-Beton?

HM: Am Standort Rickenbach haben wir eine eigene Kiesgrube. Diese ist vier Kilometer von uns entfernt. Das Material wird mit LKWs hergebracht. Hier haben wir ein Kieswerk, in dem wir es dann verarbeiten. Es ist ein Spezialitätenkieswerk, das uns Ware für die Betonwarenproduktion schafft. Sie haben andere Anforderungen als konventionelle Ware. So haben wir gewisse Dinge selbst in der Hand, die andere nicht können. Wir produzieren die Ware bei uns und integrieren sie dann in unsere Herstellung der Betonwaren. Mit Zuschlagsmittel, Wasser, Kies und Zement wird ein Stein geformt und hydraulisch in eine Form gepresst, getrocknet und vertrieben. Wir haben aber auch externe Lieferanten, also lokales Gewerbe, das uns Material liefert, wofür wir keine eigene Grube haben. In der Schweiz haben wir 17 Standorte, welche für unsere

Gruppe produzieren. Da wird immer der lokale Rohstoff gebraucht, die Transportwege sind also sehr nah. Wir wollen aber auch bei der Logistik so nahe wie möglich beim Kunden sein und produzieren gewisse Dinge deshalb an mehreren Standorten, um Transportwege einsparen zu können.

SN: Wissen Sie den jährlichen Waste-Stream, den es von Verbundsteinen gibt? Oder können Sie uns sagen, was Sie jährlich produzieren? Dann können wir ihn kalkulieren?

HM: Die Gesamtmenge kann ich nicht sagen, aber wir haben etwa einen Ausschuss von 0,2 Prozent.

FD: Einen Ausschuss?

HM: Ja, Ausschuss. Also Vorlauf und Nachlauf vom eigenen Prozess bei den Betonwaren, also bei den Pflastersteinen. Je grossformatiger die Platten sind, desto mehr Ausschuss gibt es, je kleinformatiger die Steine, desto weniger. Die Ansprüche der Kundschaft an die Oberfläche der Platten sind sehr hoch. Wenn ein kleiner Stein eine Verletzung hat, dann ist es einfach eine kleine Menge, die wegfällt.

FD: Die gesamthafte Produktionsmenge können Sie uns nicht sagen, habe ich das richtig verstanden?

HM: Kann ich nicht sagen, genau.

FD: Schade, denn wir wollen herauszufinden, wie viel Material für uns überhaupt zur Verfügung stünde. Wir wissen, dass der Stein in sehr vielen Siedlungen verbaut wurde. Wir haben auch begonnen, ein Tool zu entwickeln, mit dem man aus Satellitenbildern herauslesen kann, welcher Prozentsatz der Oberfläche mit diesem Stein belegt ist. Dadurch wollen wir herausfinden, was in den nächsten fünf bis zehn Jahren an Materialien frei werden könnte. So könntet ihr als «Rücknehmer» theoretisch schon wissen, dass ihr in drei Jahren 200 000 Steine von dieser Baustelle und 200 000 Steine von einer anderen Baustelle bekommen könntet. So könnte man das Angebot und die Produktionskette darauf ausrichten oder die Produktion von neuen Steinen herunterfahren, wenn man weiss, dass grosse Rückfuhr-Wellen ankommen werden.

Ja, dann müssen wir daran weiterarbeiten, weil wir den Waste-Stream nicht definieren können.

HM: Es ist natürlich auch schwer zu sagen, wie viel am Schluss am Markt sein wird, weil wir bekommen ja nicht mit, was wo eingebaut und was wieder ausgebaut wird, weil wir eigentlich nur Lieferant sind.

FD: Wir haben von der Firma Eberhard gehört, dass alles, was sie ausbauen, weggeschossen wird. Das heisst, alles was eingebaut wird, wird irgendwann weggeschmissen.

HM: Nicht weggeschossen, sondern rezykliert, also gebrochen und dann als Granulat verwertet. Weil das Material keine Armierung hat, wird ein schönes Granulat daraus und ist einfach zu verarbeiten.

FD: Kennt ihr euren Marktanteil?

HM: Ja, ich nehme an, es werden schweizweit circa 80 Prozent sein.

FD: 80 Prozent schweizweit.

SN: Das ist gross!

HM: Das gilt natürlich nur für den Aussenanwendungsbereich. Da konkurrieren wir auch mit den Naturbaustoffen. Wenn nicht Betonwaren zum Einsatz kommen, dann ist es Naturstein. Mit unserer Alterungsanlage versucht man, diese zu imitieren. Ihr Vorteil ist, dass sie im Vergleich zum Naturstein ein standardisiertes Produkt sind, aber es ist halt trotzdem Betonware und nicht ein Naturstein.

FD: Was mich noch interessieren würde, wäre, was wir als Forschende oder als Universität euch bieten könnten oder anders gesagt: Mit wem würdet ihr gerne einmal zusammensitzen, um Nägel mit Köpfen zu machen, damit wir in der Zirkulärwirtschaft einen Schritt vorwärtskommen?

HM: Was bietet diese Mauer, die ihr aufgebaut habt, im Vergleich zu einer Sandkalksteinmauer oder zu einer Backsteinmauer? Sie wird ja grundsätzlich andere Eigenschaften haben, es ist nicht das gleiche Element wie ein Backstein oder ein Kalksandstein. Was bietet sie? Was kann sie?

Wir arbeiten momentan auch mit Terrablock zusammen. Ich weiss nicht, ob ihr die kennt, sie machen aus Aushub, der zu schade ist, um deponiert zu werden, aber kein B-Boden ist, Pflastersteine. Dieses Material wird dann bei uns aufbereitet, um Pflastersteine zu produzieren, die sie danach selbst vertreiben.

FD: Damit die Steine im nächsten Zyklus wie-

derverwendet werden können, haben wir die Wände mit Lehm, also mit Lehmörtel gemauert, sodass man den Mörtel danach einfach abspritzen kann und nicht abmeisseln oder abschleifen muss. Wir haben auch mit Maurern darüber gesprochen, wie sie zu Lehm stehen und wie sie damit mauern. Wie es aussieht, ist nicht der Stein der Schwachpunkt, sondern der Lehm. Heute ist bei einer Ziegelsteinmauer der Ziegel der Schwachpunkt.

Darum haben wir uns darauf fokussiert, was der Lehm alles kann. Wir haben untersucht, was dieser Mörtel alles kann und welche Eigenschaften er hat. Wie muss man damit mauern? Wie schnell kann man mauern? Was kostet schlussendlich der Quadratmeter? Die Festigkeitswerte und welches Gewicht die Mauer haben wird, haben wir hochgerechnet.

Wir machen momentan ein Buch als Semesteraufgabe. Es ist natürlich ein Forschungsstand, es sind viele Thesen von uns, die man noch belegen müsste. Aber es wäre natürlich schön, von Ihnen zu hören, ob Sie Interesse haben, dieses einmal zu lesen und mehr über die Anwendungsmöglichkeiten des Steins zu erfahren.

HM: Ja, das würde ich sehr gerne lesen, einerseits, um zu sehen, was der aktuelle Stand ist, andererseits, um Input zu geben.

FD: Sehr gut. Darf ich noch fragen, wieso Wände interessant sein könnten?

HM: Wir sind mit unserer Betonware in der Fläche tätig, wir haben Hangsicherungselemente, aber es ist natürlich für uns auch interessant, in den Hochbau zu kommen, weil die Flächen, welche verbaut werden können, reduziert werden. Wenn man dies mit abdecken könnte, wäre es natürlich interessant.

FD: Der Stein ist aus Beton, grundsätzlich ein sehr wertvoller Rohstoff, der im Hochbau einfach eingesetzt wird, der kaum aus der Hochbauindustrie wegzudenken ist. Wir sagten uns, es müsste doch möglich sein, tragende Wände, also den Rohbau daraus zu machen. Das würden wir gerne aus diesem Stein realisieren. Wir werden Ihnen unser Dokument als PDF zukommen lassen, wenn es fertig ist.

HM: Tiptop. Und eben, die Einladung steht, kommt einmal vorbei, unser Werk anschauen, was wir da alles machen – von Betonanfertigungen über Elementfertigung ..

FD: Umgekehrt genau so, unser Mock-up steht

noch, also wenn Sie Lust haben, es anzuschauen ..

HM: Steht es an der ETH?

FD: Genau, am Höngherberg. Im Januar werden wir es zurückbauen müssen, aber bis dahin steht es. Wir würden es Ihnen sehr gerne zeigen. Sie können uns einfach schreiben.

HM: Dann schaue ich, ob ich es mir noch einrichten kann.

SN: Vielen Dank für das Gespräch, wir sind noch einmal einen grossen Schritt weitergekommen. Vielen Dank.

HM: Gern geschehen.

«IHR ALS ARCHITEKTEN SEID JETZT
GEFORDERT, DIE RICHTIGE NACHFRAGE
ZU GENERIEREN.»¹

DANIEL EBERHARD

Um die Wiederverwendbarkeit von Baumaterialien einordnen zu können gibt es heute verschiedenste Zertifikate (LEEDS¹, BREAM², Leitfaden für nachhaltig Bauen Berlin³, etc.). Sie beschreiben die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen über Parameter wie zum Beispiel Rückbaubarkeit, Kosten, Neuwert, Kostenersparnisse, Zustand des Materials, Lage im Bestand, Graue Energie und quantifizieren diese in Matrizen. Es werden nur wiederverwendete Baumaterialien berücksichtigt, die wieder für den gleichen Zweck eingebaut werden. Andersartige Wiederverwendung von Bauteilen durch Umnutzung, Up- oder Downcycling können in dieser Bewertung nicht berücksichtigt werden. Architekt:innen können mit ansprechenden und innovativen Lösungen dazu beitragen Bauteile für die Wiederverwendung neu zu bewerten. Es entsteht eine neue Ästhetik und neue Referenzen, die die Wiederverwendung von Bauteilen ermöglicht.

Besonders Architekt:innen sind gefordert die Bauherrschaft in das Feld der Wiederverwendung einzuführen und kreative Lösungen vorzuschlagen. Folglich sehen wir es als die Aufgabe der Architekt:in, eine Nachfrage für Bauten mit wiederverwendete Materialien zu schaffen. Jedes gebaute Beispiel mit wiederverwendeten Bauteilen trägt dazu bei, die Matrix für die Wiederverwendbarkeit neu zu definieren.

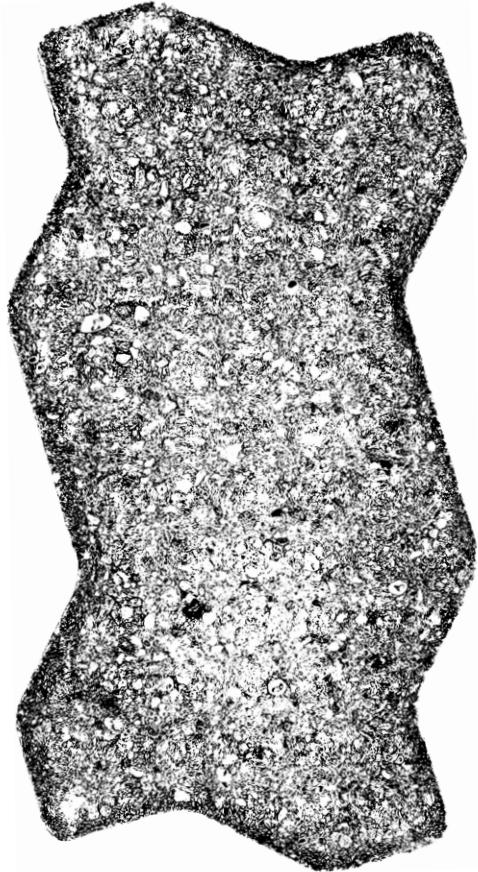
¹Eberhard, Interview (s. Kapitel 1.5)

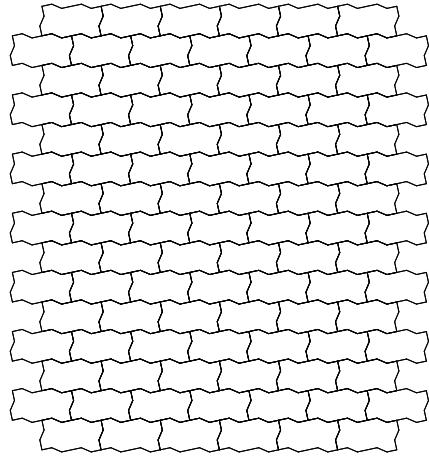
¹ <https://www.leedonline.com> (Stand 10.11.2022)

² <https://bregroup.com/products/breem/> (Stand 10.11.2022)

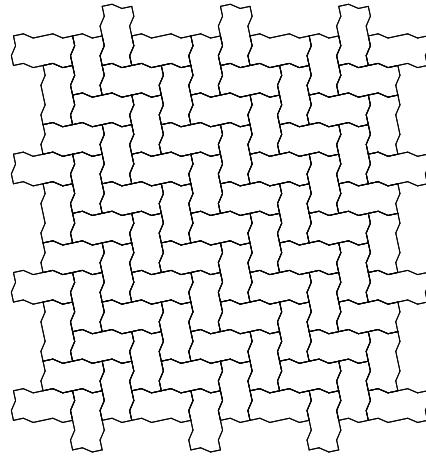
³ <https://www.bnbnachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/methodik-und-anwendung/> (Stand 10.11.2022)

2 KATALOG DER MÖGLICHKEITEN

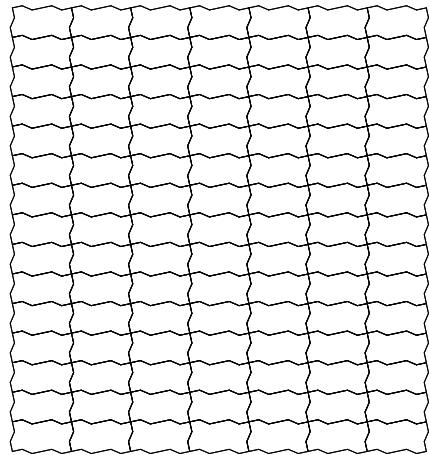




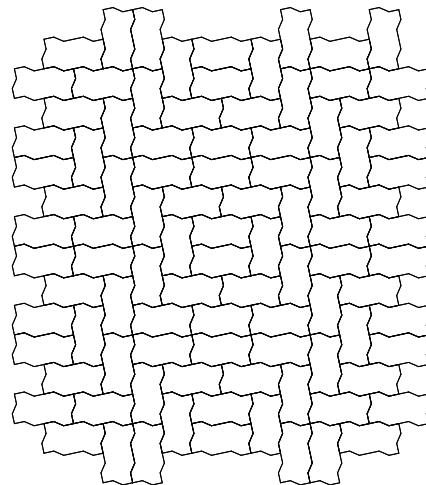
Versetzter Verband



Fischgrätverband



Verband ohne Versatz



Tatami Verband

ALLGEMEIN

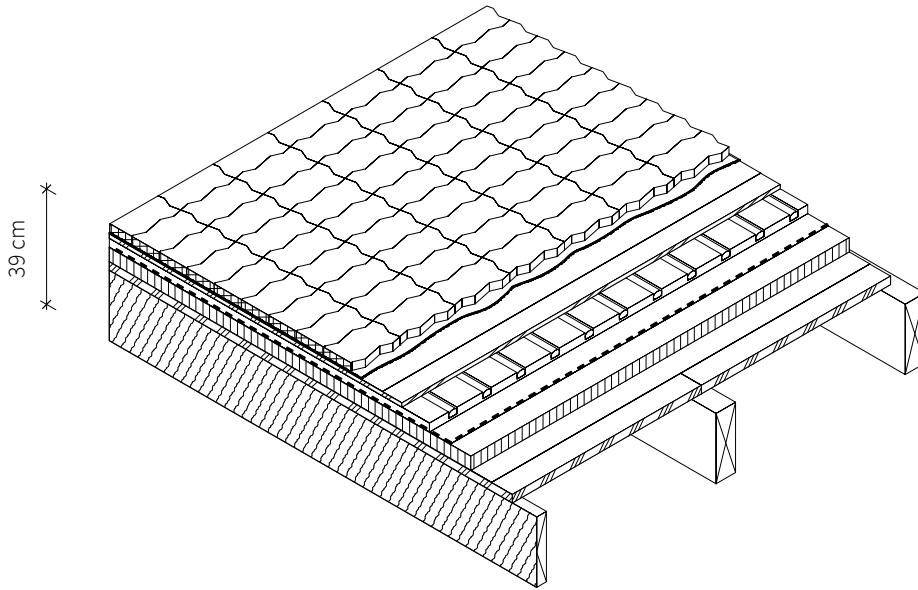
Um einen Quadratmeter Boden zu verlegen, werden ca. 40 Normalsteine benötigt. Da der Stein ein Länge-zu-Breite-Verhältnis von 2:1 aufweist und eine allseitige Verzahnung hat, sind verschiedene Bodenmuster möglich.

AUSSENRAUM

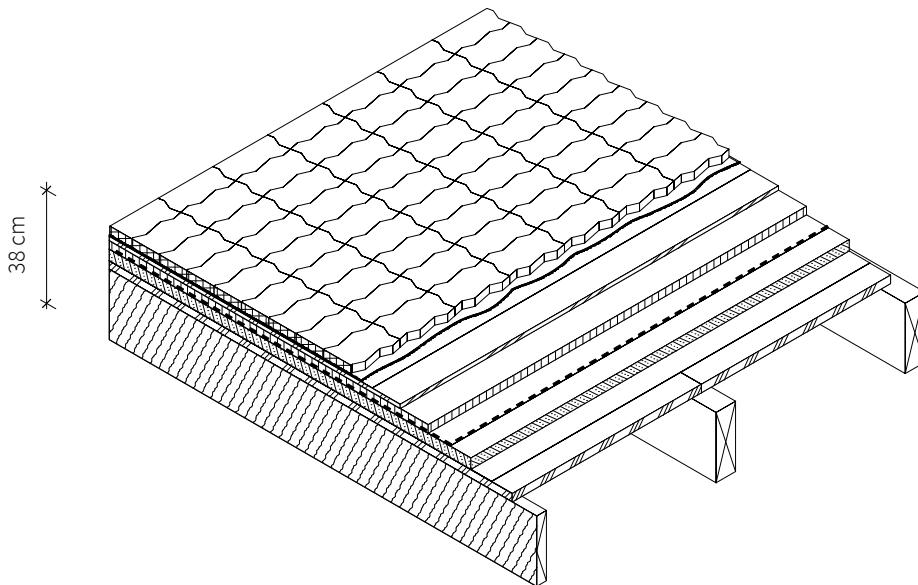
1. Bodenbelag:

Die einfachste Möglichkeit, den Stein einzusetzen, ist das trockene Verlegen im Aussenbereich: als Gehweg, Terrassen-, Vor- oder Parkplatzbelag. Hier sollte kein Mörtel verwendet werden. Unversiegelte Böden gewährleisten die Versickerung von Regenwasser und einen Boden-Luft-Austausch.

Zuerst wird das Gefälle der Bodenfläche festgelegt und ausgerichtet. Für die Bettung wird nun Splitt oder Kies darauf verteilt. Bevor die gesamte Fläche abgezogen wird, werden die Randsteine gesetzt. Zum Schluss werden die Steine im gewünschten Muster auf die eben beschriebene Bettung verlegt und verdichtet.



BODENAUFBAU ALS BODENBELAG (MIT FUSSBODENHEIZUNG)



BODENAUFBAU ALS BODENBELAG (OHNE FUSSBODENHEIZUNG)

INNENRAUM

1. Bodenbelag:

Durch die vielseitigen Bearbeitungsmethoden der Oberfläche (vgl. Kapitel 1.7) erhält der Stein einen neuen Ausdruck und kann auch im Innenbereich eingesetzt werden. Neben gewerblichen Nutzungen, wie zum Beispiel in Ateliers, eignet sich der Boden auch in Küche und Nasszellen, aber auch in Wohnbereichen ist er denkbar.

Im Unterschied zu einem herkömmlichen Kunststeinboden besitzt der Betonverbundstein-Terrazzo ein überraschendes Fugenbild. Die Fugen können unterschiedlich behandelt werden. Sie können je nach Anspruch vermörtelt oder offen gelassen werden. Grundsätzlich können alle handelsüblichen Fugenmaterialien eingesetzt werden. Beim Verwenden von zementösem Mörtel verbindet sich Stein und Mörtel zu einem einheitlichen Materialkonglomerat, dass später sortenrein rezykliert werden kann. Jedoch muss beachtet werden, dass der Stein dadurch nicht wieder unversehrt ausgebaut und wiederverwendet werden kann. Deshalb schlagen wir die Nutzung von wieder lösbaren Mörtel vor.

Inspiziert von der Optik der japanischen Kintsugi-Technik¹ können die Fugenfüllungen auch eingefärbt werden, womit das Fugenbild zusätzlich hervorgehoben wird.

BODENAUFBAU ALS BODENBELAG (MIT FUSSBODENHEIZUNG)

Betonpflasterstein (halbiert) im Sand / Mörtelbett	27 mm
Rieselschutzfolie	
Verlegeplatte (OSB)	15 mm
Klimaboden (Klicksystem)	30 mm
Trennlage	
Dämmung (TS + WD)	50 mm
Schutzfolie	
Holzplatten	30 mm
Balkenlage	

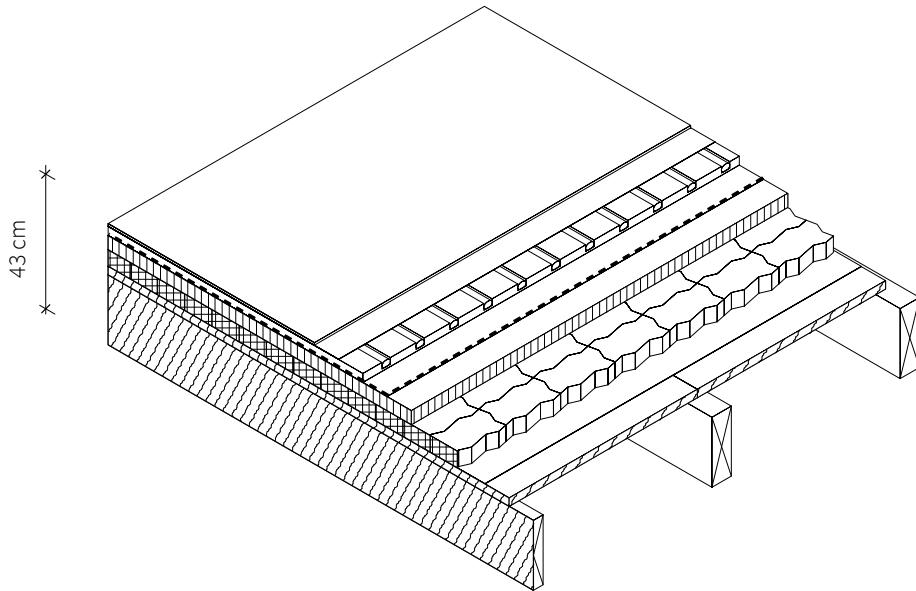
=152 mm

BODENAUFBAU ALS BODENBELAG (OHNE FUSSBODENHEIZUNG)

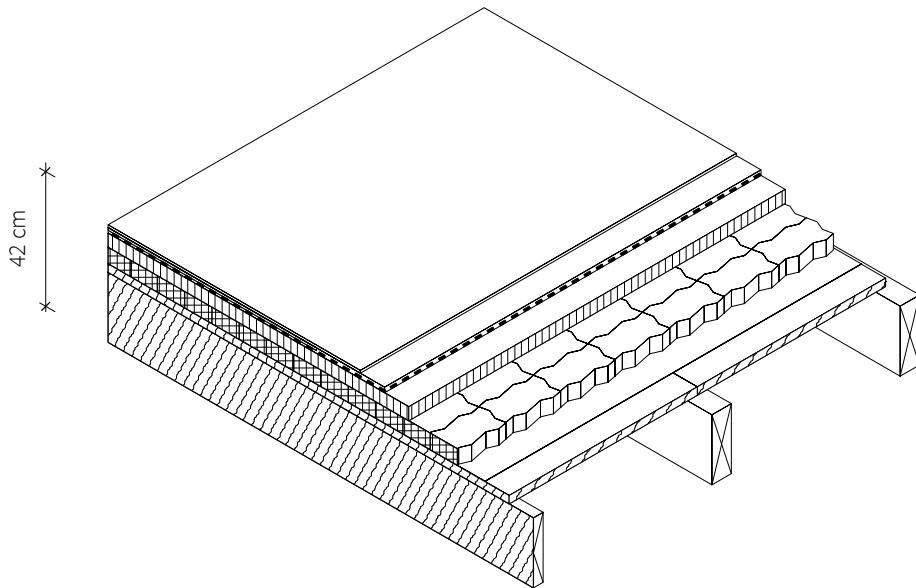
Betonpflasterstein (halbiert) in Sand/Mörtelbett	27 mm
Rieselschutzfolie	
Verlegplatte (OSB)	15 mm
Dämmung (TS + WD)	50 mm
Trennlage formstabil	
Unterlagsboden Estrich	40 mm
Schutzfolie	
Holzplatten	30 mm
Balkenlage	

=162 mm

¹ Kintsugi oder „Goldverbindung“ ist ein traditionelles, über 500 Jahre altes, besonders in Asien verbreitetes Verfahren zur gebrauchsfähigen Wiederherstellung beschädigter Keramik. # <https://www.kintsugi.de/kintsugi-technik.html> (Stand 10.11.2021)



BODENAUFBAU ALS BESCHWERUNG (MIT FUSSBODENHEIZUNG)



BODENAUFBAU ALS BESCHWERUNG (OHNE FUSSBODENHEIZUNG)

2. Bodenbeschwerung im Holzbau:

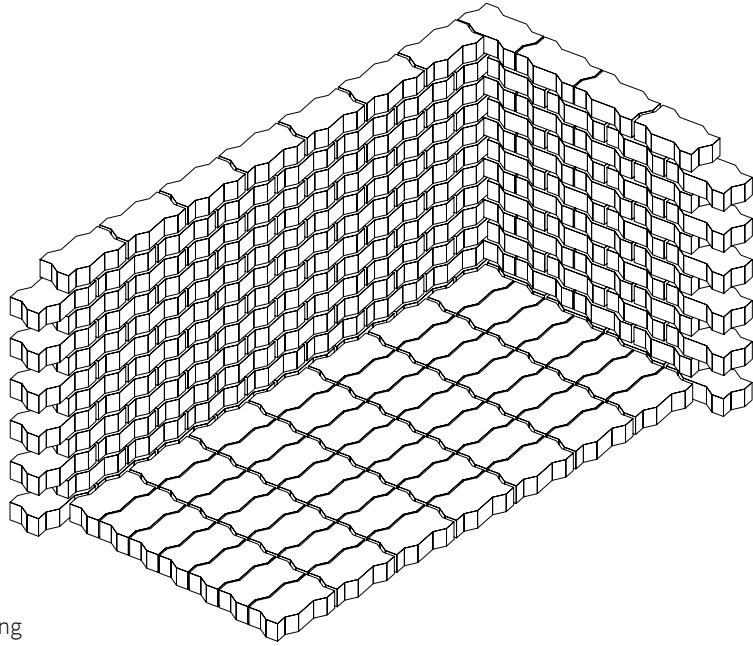
In Holzbauten müssen die Böden für eine ausreichende Akustik oft zusätzlich beschwert werden, um Schwingungen wie Trittschall zu vermeiden. Hier können auch Betonverbundsteine eingesetzt werden. Um die Schallübertragung zu reduzieren, werden die Steine auf einer elastischen Matte verlegt. Damit sich die Steine bei einer Bewegung nicht seitlich aneinander reiben und dadurch Geräusche verursachen, kann man eine Schüttung zwischen die Steine legen.

BODENAUFBAU ALS BESCHWERUNG (MIT FUSSBODENHEIZUNG)

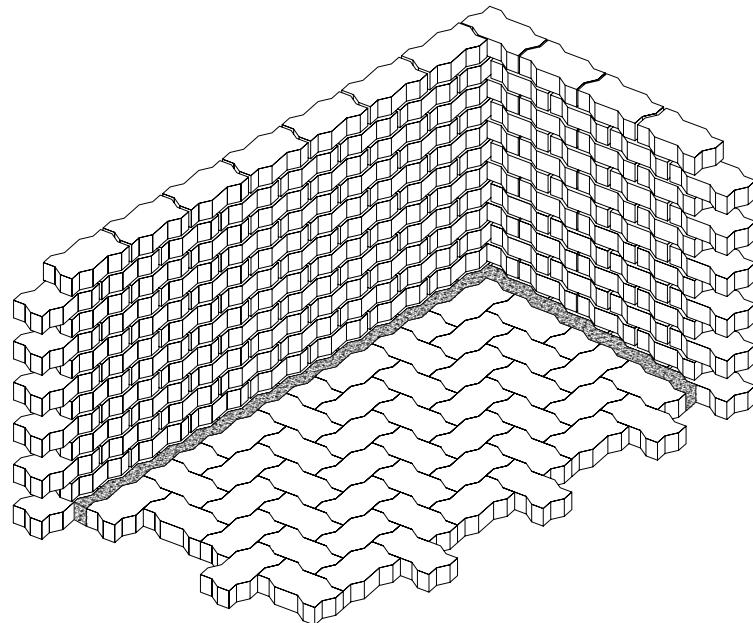
Bodenbelag	1 cm
Flies	
Klimaboden (Klicksystem)	3 cm
Trennlage	
Dämmung (TS + WD)	5 cm
Beschwerung	6 cm
Betonpflasterstein	
Rieselschutzfolie	
Holzplatten	3 cm
Balkenlage	25 cm

BODENAUFBAU ALS BESCHWERUNG (OHNE FUSSBODENHEIZUNG)

Bodenbelag	1 cm
Trennlage formstabil	2 cm
Dämmung (TS + WD)	5 cm
Beschwerung	6 cm
Betonpflasterstein	
Rieselschutzfolie	
Holzplatten	3 cm
Balkenlage	25 cm



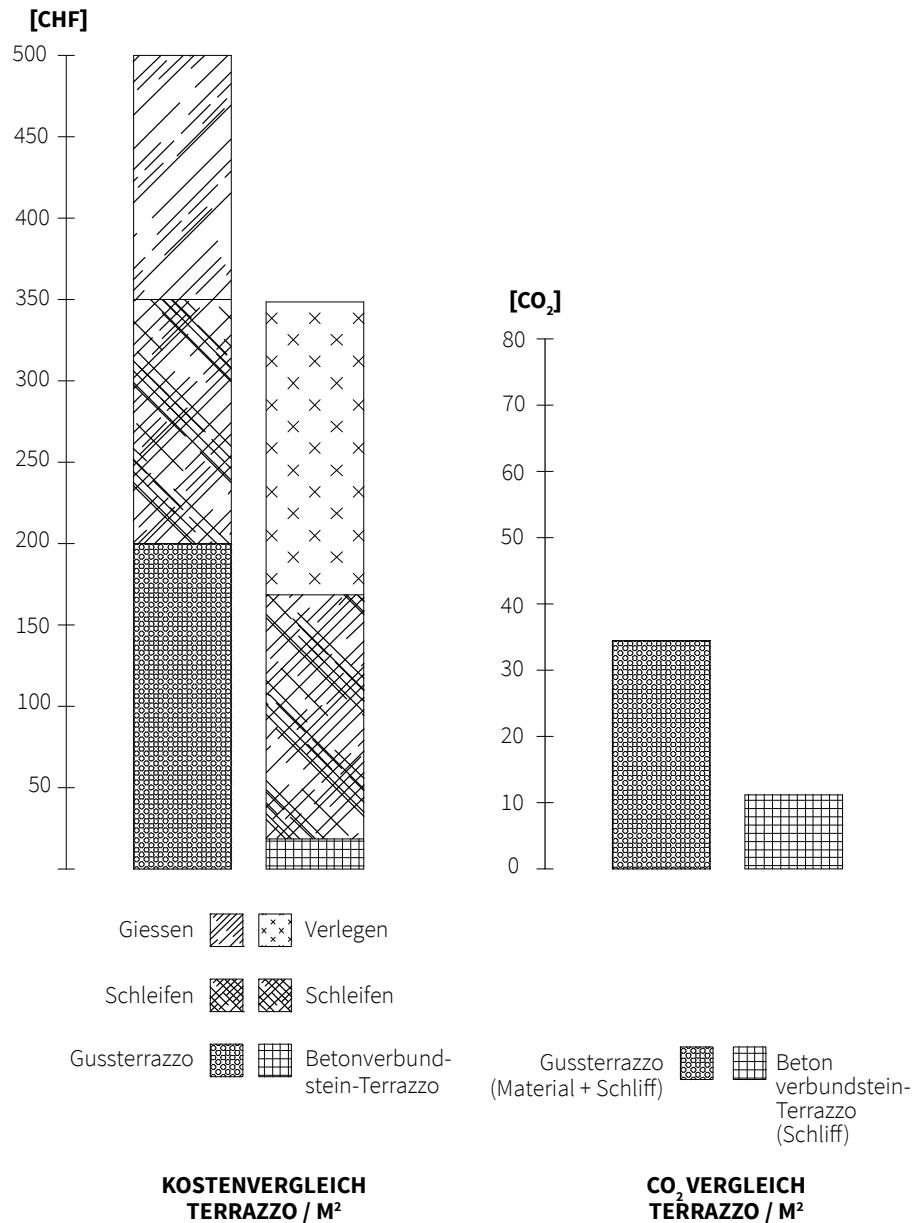
Wand-Boden Verzahnung



Umlaufendes Kiesbett

ANSCHLUSS WAND-BODEN

Wird der Stein sowohl als Element für den Boden als auch für die Wand eingesetzt, muss der Boden ebenfalls vermörtelt werden, da die Fugen für einen ineinandergreifenden Übergang gleich behandelt werden müssen. Andernfalls passen die Amplituden der Wellenform der Steine nicht mehr ineinander. Ausserdem müssen die Steine beiderorts jeweils mit der Oberseite nach oben oder unten verlegt werden, da die Form des Steins nicht spiegelsymmetrisch ist. Eine Alternative bildet ein umlaufender Wandabstand (z.B. ein Kiesbett), womit die Randverzahnung der Steine nicht mehr berücksichtigt werden muss. In diesem umlaufenden Abstand können auch Leitungen geführt werden.



KOSTEN- UND CO₂-VERGLEICHE

Um die Wirtschaftlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit der Böden zu überprüfen, wird der Betonverbundstein mit einem traditionellen Gussterrazzo verglichen. Beim Kostenvergleich wird ersichtlich, dass die Vorfabrikation von wiederverwendeten Steinen mit Maschinen im Werk vergleichbar ist mit einem Gussterrazzo, der vor Ort geschliffen wird.¹

> Werte sowie Herleitungen befinden sich im Kapitel 4.1 VERGLEICHE (S. 147)

¹ Gamma, Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

ALLGEMEIN

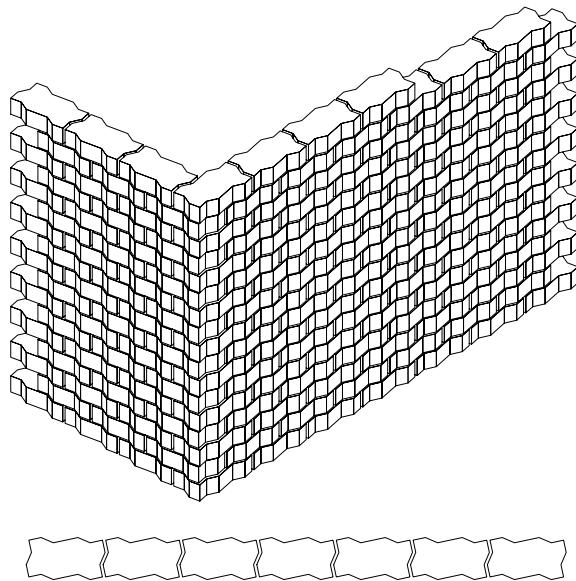
1 m² Wand benötigt im ...

Diagonalverband 112 Normalsteine.

Läuferverband 75 Normalsteine.

Kreuzverband 150 Normalsteine.

Läuferverband offen 50 Normalsteine.

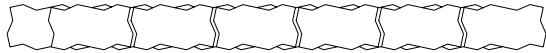
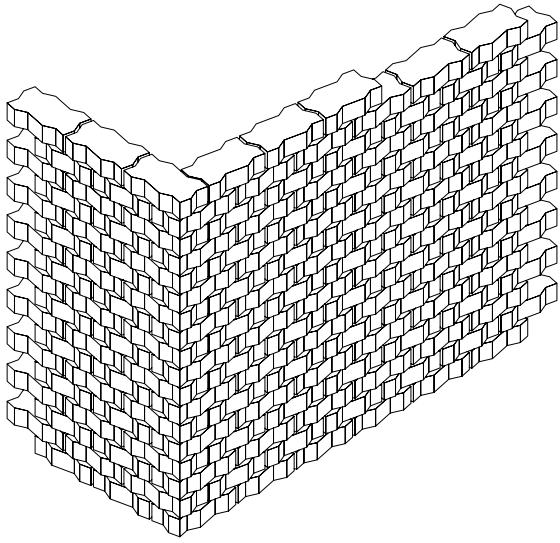


Läuferverband

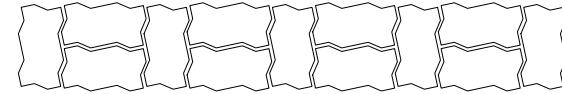
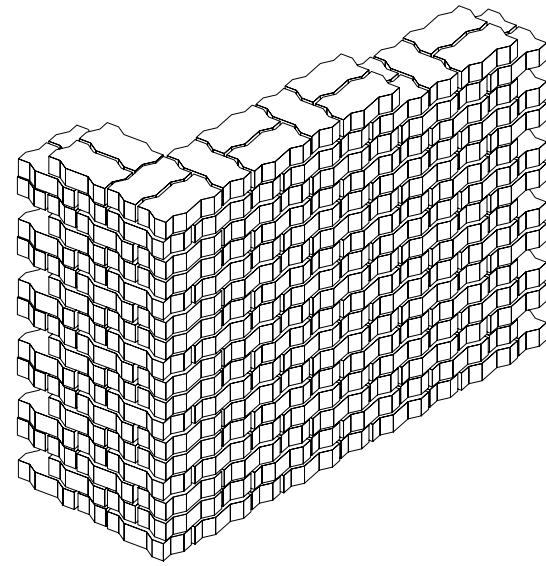
Die Verwendung von Betonverbundsteinen als Mauerwerkssteine unterscheidet sich von einem herkömmlichen Mauerwerk. Die seitliche Verzahnung des Betonverbundsteines muss über der Verzahnung der darüber- und darunterliegenden Steinschicht liegen, es sei denn, es ist ein Versatz in der Wand erwünscht. In diesem Falle kann jede zweite Schicht des Läuferverbandes mit der Unterseite nach oben gemauert werden (siehe Grafik «versetzter Läuferverband»). Die Form der Ränder verleiht der Wand eine gerillte Oberfläche und eine einzigartige Textur.

Wird der Stein als Element für ein Mauerwerk verwendet, müssen analog zu einem konventionellen Mauerwerk alle üblichen Aspekte wie Luft- und Wasserdichte der Wand, deren Armierung, Rückverankerung und Mörtelwahl beachtet werden. Da der Betonstein sehr stark auf Druck beansprucht werden kann, eignet er sich als tragende Struktur.

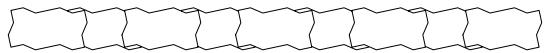
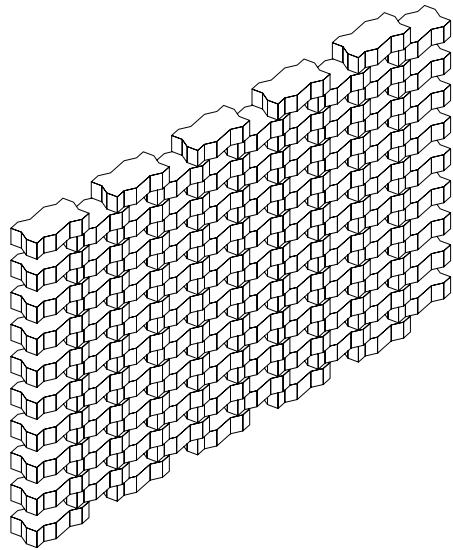
Die Wand kann wie jedes andere Mauerwerk verputzt werden. Dabei kann die gerillte Oberfläche nachgezogen werden oder die Wandfläche wird eben verputzt. Durch das direkte Auftragen des Feinputzes auf die Mauerwerkswand bleibt das textile Muster der Wand noch erkennbar und kann als gestalterisches Thema im Entwurf eingesetzt werden.



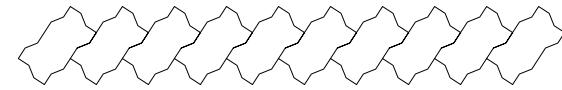
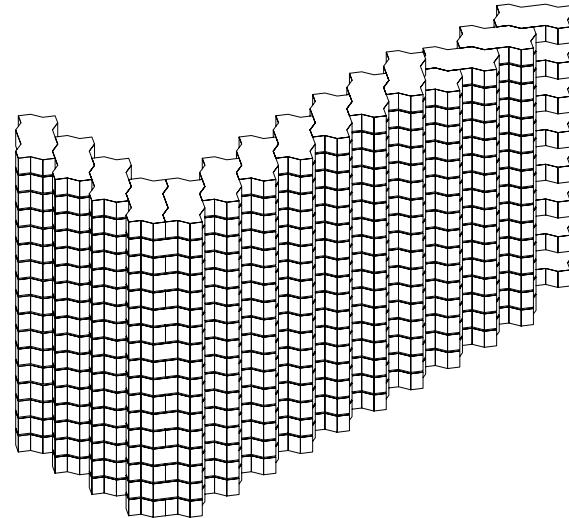
Versetzter Läuferverband



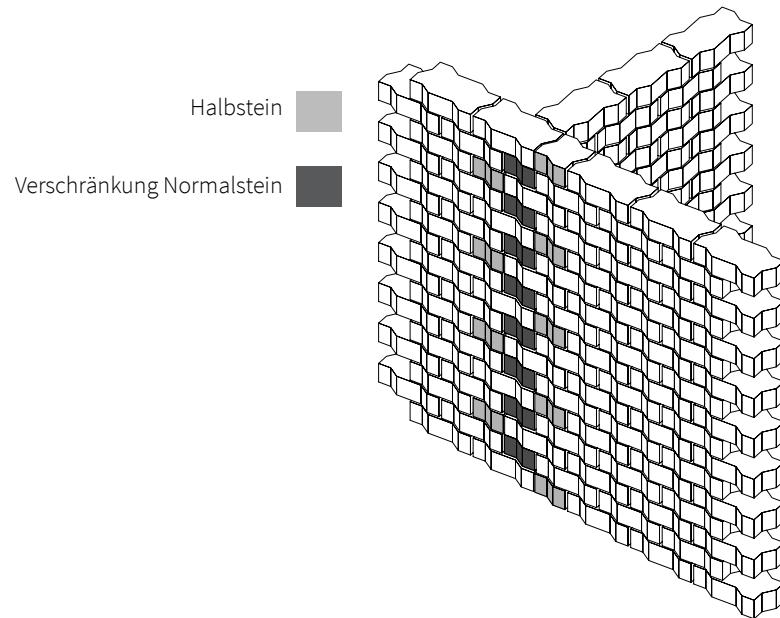
gotischer Verband, versetzt



offener Läuferverband



Diagonalverband



ANSCHLUSS WAND-WAND

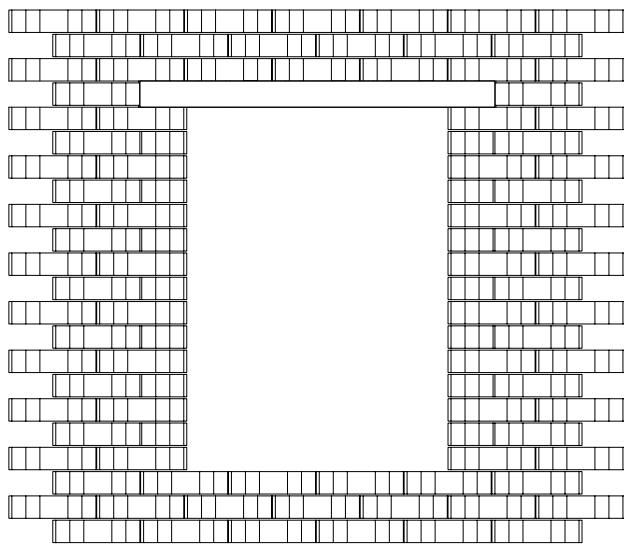
Im Falle eines senkrechten Zusammentreffens zweier Wände ist es wichtig, diese miteinander zu verzahnen. Dies kann mittels Verschränkung des Mauerverbandes erfolgen (s. Grafik)

ÖFFNUNGEN

Um horizontale Stürze zu ermöglichen, muss im Mauerwerk auf ein alternatives Material zurückgegriffen werden. Die Aussenform des Sturzes kann dabei die Form der Ränder des Steines nachahmen oder überragen. Es sei denn, es werden vorfabrizierte Module mit Flachstahlbänder verwendet (s. Kapitel 2.2 Wand: Vorfabrikation).

MÖRTEL

Um dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft gerecht zu werden, sollte beim Mauern nur ein Mörtel zum Einsatz kommen, der sich nach Ablauf der Lebensdauer eines Gebäudes wieder vom Stein entfernen lässt. Da der Lehm Mörtel eine sehr nachhaltige Alternative ist, wird er im Folgenden etwas näher diskutiert.

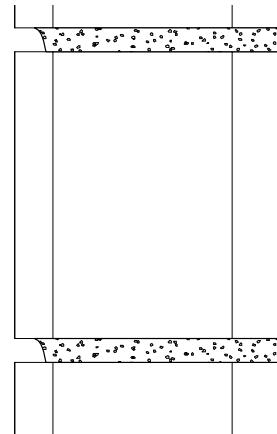


Sturzkonstruktion

«DIE VERWENDUNG VON STABILISATOREN IM LEHM WIRD HEUTE, AUCH IN FACHKREISEN, SEHR KONTROVERS DISKUTIERT. [...] DIE ZUGABE VON ZEMENT ERHÖHT DIE DRUCKFESTIGKEIT VON LEHM BETRÄCHTLICH [...].»¹

	DICHTE (kg/m ³)	GRAUE ENERGIE (NRE, MJ/KG)	CO ₂ -EMISSIONEN (GWP, CO ₂ /kg)
ZEMENTSTEIN	1700	0.961	0.129
BACKSTEIN	900	2.85	0.285
STAMPFLEHM	2000	0.465	0.023
GEPRESSTER LEHMSTEIN, 5% ZEMENT	1850	0.758	0.062

Tabelle: Vergleich von verschiedenen Bauteilen im Bezug auf Dichte, Graue Energie und Global Warming Potential (GWP) ²



Kehlfuge gegen Schlagregen

LEHMMÖRTEL

Beim Mauern mit reinem Lehmörtel müssen zwei Dinge beachtet werden:

1. Er bindet, abhängig seiner Umgebungsbedingungen, relativ langsam ab.
2. Bei hohen Lasten muss die Druckfestigkeit (Lehmmörtel ~ 2.4 N/mm²)¹ berücksichtigt werden.

Um die Festigkeit, sowie Witterungsresistenz von Lehm zu verbessern, können dem Lehmörtel Stabilisatoren beigelegt werden.² Die Zugabe von Zement und anderen Zusätzen sollte wann immer möglich vermieden werden. Kommt er dennoch zum Einsatz, sollte vorgängig geprüft werden, ob sich der Mörtel im Falle eines Rückbaus trotzdem noch leicht vom Stein lösen lässt. An der Aussenfassade sollte der Lehmörtel mit einer nach innen versetzten Kehlfuge ausgebildet werden, um den Mörtel vor Schlagregen zu schützen.

Es gibt in der Theorie verschiedene Möglichkeiten, den Prozess eines langsam trocknenden Mörtels zu beschleunigen. Grundsätzlich geht es dabei darum, das Wasser möglichst schnell aus dem Mörtel zu bringen, ohne dabei durch Schwindrisse die Festigkeit des Lehms zu reduzieren.

1. Biopolimere können unter den Mörtel gemischt werden. Sie haben die Eigenschaft, Wasser zu speichern, zu absorbieren und umzusetzen.³
2. Bakterien wachsen nur, solange ihnen Wasser zur Verfügung steht. Mittels 3D-Druck können sie schichtweise im Mauerprozess integriert werden: Bakterienplatten – Lehmörtel – Stein – Bakterienplatten ...⁴
3. Licht und Laser. Dabei wird mit Mikrowellen das Wasser zielgenau erhitzt und verdampft.⁵ Kritisch ist hier jedoch die Trocknungsgeschwindigkeit, die zu Schwindrissen führen kann.⁶

¹ Rodrigo Fernandez und Laurent de Wurtemberger. In: Roger Boltshauser, Nadja Maillard, Cyrill Veillon (Hg.). Pisé - Stampflehm, Tradition und Potential. Zürich: Triest Verlag, 2020. S. 207

² Ebd. S. 207

¹ Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (Hg.). „Kennwerte“. (Abruf: 16.12.21)

² R. Fernandez und L. de Wurtemberger. Siehe linke Seite, Referenz ¹

^{3,4} Lara Pfuderer, PhD cand. Chemie ETH, interviewt von Félix Dillmann, 5.12.21

⁵ Sebastian Heinekamp Msc. Computer Science ETH, interviewt von Félix Dillmann, 5.12.21

⁶ John Ochsendorf, Prof. for Building Technology, MIT, interviewt von F. Dillmann, 20.10.22

OBERFLÄCHENSCHUTZ

Sowohl der Lehmörtel als auch der offenporige Betonverbundstein müssen in Nassbereichen durch eine Oberflächenbehandlung vor Feuchtigkeit geschützt werden.

WASSERGLAS

Wasserglas ist eine Flächenversiegelung, die wie ein feiner Glasfilm auf die Wand aufgetragen wird. Die wässrige Lösung ist unter anderem zur Abdichtung von Oberflächen im Baubereich geeignet. Führt man zu Pulver gemahlenem Glas bestimmte Chemikalien und Wasser hinzu, entsteht Wasserglas. Diese wässrige Lösung kann beispielsweise mit einem Pinsel auf die Mauerwerkswand aufgetragen werden. Sobald das Wasser aus der Lösung verdunstet, bleiben nur noch die wasserunlöslichen Stoffe zurück und die Oberfläche wird wasserdicht. Spezifisch für diese Anwendung ist Kaliwasserglas geeignet.¹

Dabei besteht jedoch immer das Restrisiko, dass ein kleines Loch beim Anstrich oder durch physikalische Einflüsse entsteht, wo das Wasser punktuell eindringen kann. Ermöglicht der Wandaufbau, dass diese Feuchtigkeit auf der anderen Seite wieder entweichen kann, sollte das unbedenklich sein (muss situativ bauphysikalisch geprüft werden). Ansonsten entsteht in der Wand Staunässe, die in Verfärbungen oder Stabilitätsverlusten der Wand resultieren. Durch die mangelnde Reversibilität ist diese Art der Oberflächenbehandlung für die Wiederverwendbarkeit der Steine jedoch kritisch zu betrachten.²

IMPRÄGNIERUNG

Eine Imprägnierung zieht in den Stein ein und überzieht die Kapillarhalse an der Oberfläche mit einem transparenten Film. Dadurch werden die Kapillaren nicht vollständig verschlossen, sondern lediglich eingengt. Der Stein verliert somit seine Saugfähigkeit,³ behält aber nach dem Imprägnieren weiterhin seine Dampfdiffusionsoffenheit.⁴

Imprägnierungen sind nur sehr schwer wieder ablösbar. Bei Imprägnierungen ist die Viskosität durch Lösungsmittel gegeben und kann entweder für lange Zeit in den Stein eindringen oder bei Bearbeitung mit wassergelösten Imprägnierungen durch frequentierte Behandlungen oben aufliegen (oft bei ökologischen Imprägnierungen der Fall). Dabei ist zu beachten, dass die wassergelösten Imprägnierungen beim Reinigen abgewaschen werden und ins Grundwasser gelangen, während die dauerhafteren, nicht wasserlöslichen, in der Regel klimaschädlicher sind, dafür das Abwasser weniger belastet. Bei der Reinigung der Oberfläche kann bei Letzterem auf Kalklösemittel verzichtet und stattdessen Seife genutzt werden.¹

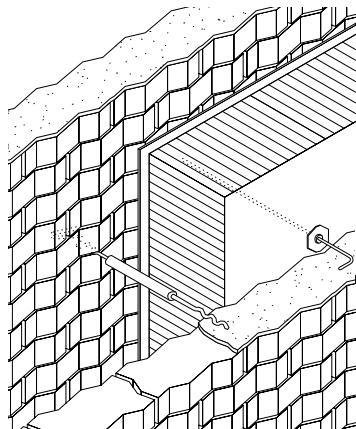
¹ bauen.de (Hg.) „Mit Wasserglas Oberflächen versiegeln.“ (Abruf: 16.12.21)

² Haenni AG. Persönliche Kommunikation von Félix Dillmann (Telefon). 13.12.21

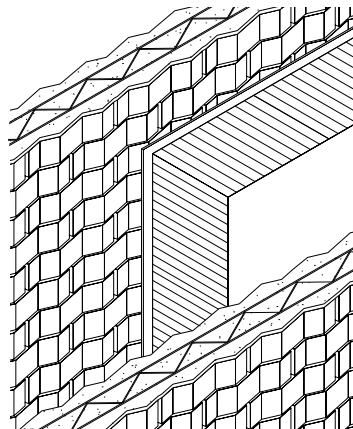
³ stonaturelle AG. „Terrassenplatten imprägnieren.“ (Abruf: 02.10.22)

⁴ Möller-Chemie Steinpflegemittel GmbH. „Imprägnieren oder Versiegeln von Naturstein, Feinsteinzeug, Fliesen.“ (Abruf: 02.10.22)

¹ Gamma. Interview. (vgl. Kapitel 1.7)



Rückverankerung in Lagerfuge



Lagerfugenarmierung

ARMIERUNG UND VERANKERUNG

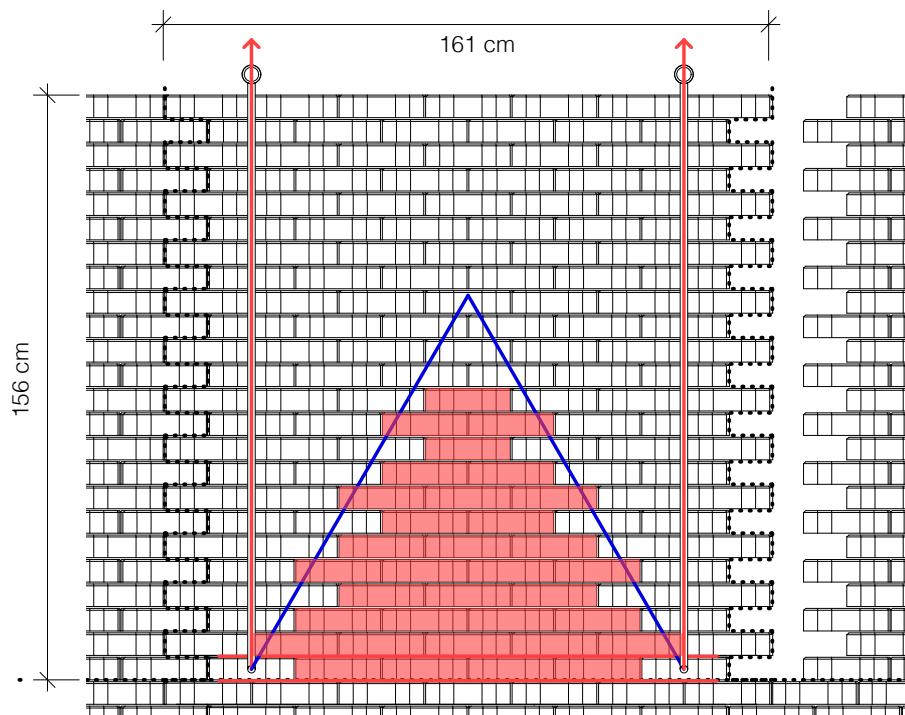
Mörtelarmierung sowie Verankerungen funktionieren wie bei einem üblichen Mauerwerk. Eine Verankerung nimmt die zur Mauerebene senkrecht verlaufenden Zug- und Druckkräfte auf. Als Faustregel kann man annehmen, dass ein Anker pro Quadratmeter gesetzt wird. Entlang der Ankerreihe bildet sich ein horizontaler Gurtstreifen, daher sollte jeweils über und/oder unter der Ankerreihe eine Lagerfugenarmierung eingelegt werden.¹

VORFABRIKATION

Die Vorfabrikation von Mauerwerksmodulen birgt bedeutende Vorteile. Neben optimiertem Bauprozess, termingerechter Vorfabrikation und automatisiertem Fertigungsprozess, können die Module effizient auf- und abgebaut werden.² So kann verglichen mit traditionellem Mauerwerk bei der Wiederverwendung viel aufbereitungsbezogener Aufwand eingespart werden.

Aufbau:

Das Modul hat Aussenmasse von 156 x 161 Zentimeter, bei einer Fugendicke von 5 Millimeter. Die Maximalmasse des Moduls entsprechend der maximalen Druckfestigkeit von Stein und Fuge. Das Kräfte diagramm im Modul entspricht einem Druckbogen. Die starken Zugkräfte, die während des Transports entstehen, werden in den untersten zwei Schichten durch Flachstahlbänder aufgenommen. Diese ermöglichen wiederum die Ausbildung von bis zu 115 Zentimeter langen, sturzf freien Überspannungen. Die auf Zug belasteten Lagerfugen unterhalb des Druckbogens werden im Falle von Überspannungen durch die geringe, aber bestehende Zugkraft des Lehm Mörtels gehalten. Diese Werte ergeben sich bei einer Haftzugkraft von 0,1 N/mm², wobei bei besseren Haftwerten auch grössere Module und Überspannungen ausgebildet werden



Vorfabriziertes Wandelement

¹ Andrea Deplazes. Architektur Konstruieren, vom Rohmaterial zum Bauwerk-Ein Handbuch. 4. Auflage. Basel: Birkhäuser. 2005. S.39.

² Güteschutz Ziegelmontagebau e.V. (Hg.). „Mauertafeln“. (Abruf: 07.12.21)

LEHMMÖRTEL

Druckfestigkeit [N/mm ²]	2.0 - 2.4
Zugfestigkeit [N/mm ²]	0.1 - 0.89
Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	0.1 - 0.4

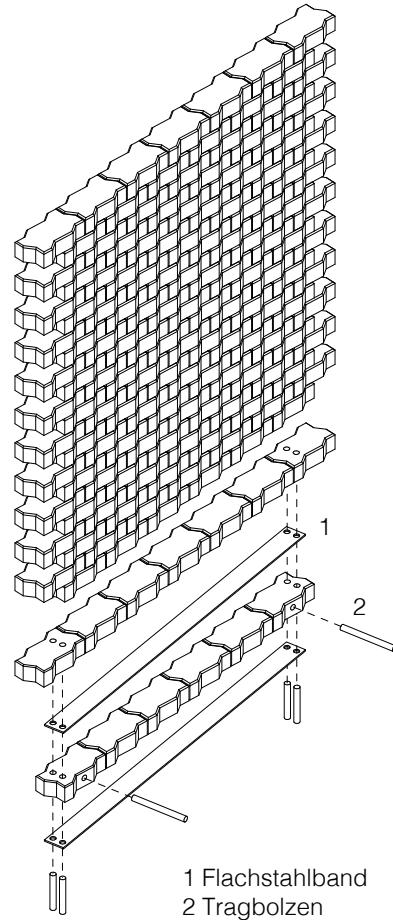
*Vergleichswerte

Haftzugfähigkeit f_{tk} [N/mm ²]	0.1
Fläche Stein A [mm ²]	25'300
Gewicht Stein N_k [N]	33
Gewicht Stein N_d [N]	49.5
Sicherheitsbeiwert γ_Q^1	1.5
Widerstandsbeiwert γ_M^2	1.5

$$\begin{aligned} f_{td} &= f_{tk} / \gamma_M^3 \\ f_{cd} &= f_{ck} / \gamma_M \\ N_d &= f_{td} \times A_{eff} \end{aligned}$$

Zug	
f_{td}	0.07
$N_{d,max}$	1686.67
max. Anzahl Steine	34.07

Druck	
f_{cd}	1.33
$N_{d,max}$	33'733.33
max. Anzahl Steine	681.48



könnten. Die offenen Fugen zwischen den Modulen können nach ihrer Positionierung entweder reversibel ausgemörtelt oder als Dilatationsfugen verkittet werden.¹

TRANSPORT

Der Transport der Module kann auf zwei Arten erfolgen:

- 1) Tragbolzen: Durch die beiden untersten und äussersten Steine wird jeweils ein Tragbolzen gesteckt, woran ein Kettengehänge befestigt wird.
- 2) Hebeband: Ein Transportsystem aus Textilhebebändern oder Umreifungen aus Flachstahlbändern wird wie Schlaufen um die Mauer gelegt.²

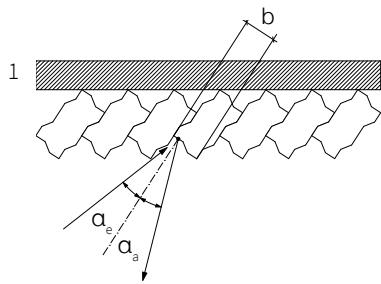
¹ Philippe Block. 2.6 Formelblatt, Kompendium Tragwerksentwurf I&II - HS20/FS21. ETH Zürich. S.13. (Stand 16.12.2021)

² Ebd.

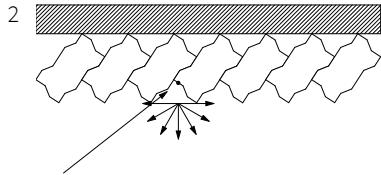
³ Ebd.

¹ Güteschutz Ziegelmontagebau e.V. (Hg.). „Regeln für den Mauertafelbau, Transportsysteme für Mauertafeln, Merkblatt 02“. (Abruf: 07.12.21)

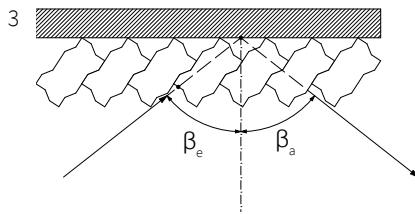
² Ebd. Fassung 2014-10. S.2.



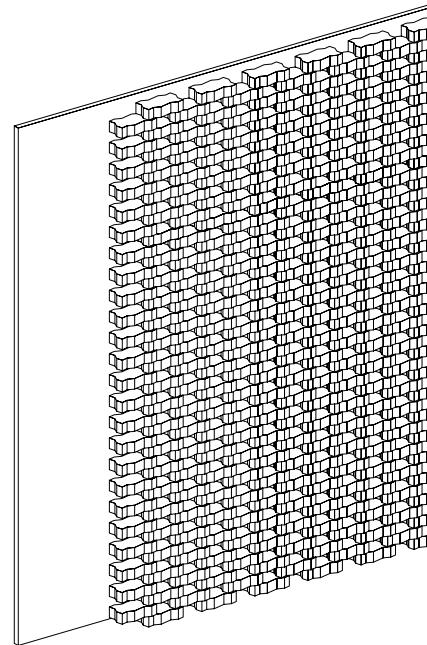
1 spiegelnde Diffusion: $b > \lambda$; $\alpha_e = \alpha_a$
 (deutlich bei über 5-facher Wellenlänge)



2 diffuse Reflexion: $b = \lambda$
 (deutlich bei 1-2 - facher Wellenlänge)



3 spiegelnde Diffusion: $b < \lambda$; $\beta_e = \beta_a$
 (deutlich bei weniger 1/5-Wellenlänge)¹



Schemaskizze
Lärmschutzwand

AKUSTIK

Um eine gute Raumakustik zu erreichen, sollte in Innenräumen auf harte und glatte Oberflächen verzichtet werden. In Konzertsälen setzt man unregelmässig gewellte Oberflächen ein, um den Schall diffus zu streuen. Das Verbundsteinmauerwerk hat eine vergleichbare Oberfläche sofern die Wellenlänge der Frequenz in der Grössenordnung der gewellten Oberfläche ist. Der Diagonalverband mit Betonverbundsteinen würde bei Frequenzen um 1000 Hertz wirksam, was zwar hohen, aber gut hörbaren Tönen entspricht. Bei einer repetitiven Oberfläche könnten in einem sehr kleinen Frequenzbereich unangenehme Effekte entstehen, wenn gleichzeitig Frequenzen reflektiert und andere gestreut werden.

Die akustischen Eigenschaften einer doppelschaligen, mit Lehm verputzten Wand entsprechen einer ähnlich hohen Schalldämmung wie der einer doppelschaligen Betonwand. Würde ein Mauerwerk mit grösseren, offenen Stossfugen eingesetzt werden, könnte man hinter der Wand ein schallabsorbierendes Material befestigen. So würde die Schallabsorption im Raum grösser, jedoch die Schalldämmung kleiner. Ein weiterer geeigneter Einsatzort von Mauerverbänden mit dem Betonverbundstein könnten Lärmschutzwände an Strassen sein. Diese brauchen eine harte, offene Oberfläche, mit einer dahinter liegenden geschlossenen Schicht (bsp. geschlossenes Blech).¹

¹ Markus Ettl. Bauphysik I, Akustik. 4. Auflage. Professur für Bauphysik - Prof. Jan Carmeliet. ITA DARCH. ETH Zürich. Februar 2015. S.104

¹ Dr. Stefan Schoenwald, Leiter Bauakustik Empa. Interviewt von Sophie Nussbaumer und Oliver Zbinden. 15.12.21 (vgl. Kapitel 2.2)

	HEDERA HELIX - EFEU¹	PARTHENOCIS-SUS QUINQUE-FOLIA - JUNG-FERNREBE²	PARTHENOCIS-SUS TRICUSPIDATA ‚VEICHI‘ - DREISPITZIGE JUNGFERNREBE³	HYDRANGEA ANOMALA SUBSP. PETIOLARIS - KLETTERTHORTENSIE⁴
WUCHS	HAFTSCHEIBEN & RANKEN (FLACHSWÜCHSIGE AUSLÄUFER)	HAFTSCHEIBEN UND RANKEN	HAFTSCHEIBEN UND RANKEN	HAFTSCHEIBEN, SELBSTHAFTEND (HAFTWURZELN)
BLÄTTER	IMMERGRÜN	INTENSIVE HERBSTFÄRBUNG	INTENSIVE HERBSTFÄRBUNG	GELBE HERBSTFÄRBUNG, WINTERGRÜN
WINTERHÄRTE	WINTERHART	WINTERHART	WINTERHART	WINTERHART
LICHT	SONNIG BIS SCHATTIG	SONNIG BIS HALBSCHATTIG	SONNIG BIS HALBSCHATTIG	HALBSCHATTIG
PFLEGE	ANSPRUCHSLOS UND PFLEGELEICHT	ANSPRUCHSLOS UND PFLEGELEICHT	ANSPRUCHSLOS UND PFLEGELEICHT	PFLEGELEICHT
GIFTIGKEIT	JA	NEIN	NEIN	SCHWACH GIFTIG, INSEKTENFREUNDLICH
BODEN	STEINIG BIS TONIG, MÄSSIG TROCKEN BIS FEUCHT, PH-WERT: ALKALISCH BIS SAUER	FRISCH BIS MÄSSIG FEUCHT, AKZEPTIERT SALZIGE, LEHMIGE, SANDIGE BÖDEN ABER KEINE STAUNÄSSE, PH-WERT: ALKALISCH BIS NEUTRAL	SANDIG BIS LEHMIG, FRISCH BIS MÄSSIG FEUCHT, PH-WERT: BEVORZUGT ALKALISCH BIS NEUTRAL	HUMOS, FRISCH, DURCHLÄSSIG, VERTRAGEN KEINE KALKHALTIGEN ODER SCHWERE BÖDEN PH-WERT: LEICHT SAUER

Selbstklimmer

BEGRÜNUNG

Die Begrünung des Stadtraumes ist in vielerlei Hinsicht wertvoll:

1. sie sorgt für eine atmosphärische Wirkung
2. sie erhöht die Luftfeuchtigkeit
3. die Begrünung wirkt kühlend auf die Umgebungstemperatur und kühlt im Sommer die Gebäude,
4. sie filtert Staubpartikel aus der Luft
5. sie bietet je nach Pflanzenart einen Lebensraum für Tiere.

Beim Einsatz vor einer Mauerwerkswand schützen dichte Pflanzenbewachsungen zusätzlich vor Witterungseinflüssen. Zu empfehlen sind grundsätzlich bodengebundene Pflanzen, so bleibt die Massnahme technisch einfach und benötigt kein externes Bewässerungssystem. Des Weiteren ist es empfehlenswert, verschiedenen Pflanzenarten einzusetzen. Potenzielle Schädlinge können damit nicht die ganze Fassadenbegrünung auf einmal zerstören. Wo immer möglich, sollen einheimische Pflanzen gewählt werden. Entscheidend für die Pflanzenwahl ist auch die Ausrichtung der Fassade.¹

Die Pflanzenart muss immer auf den Mörtel abgestimmt werden, um durch Einwachungen ungewünscht auftretende Kräfte und damit verbundene Schäden zu verhindern.

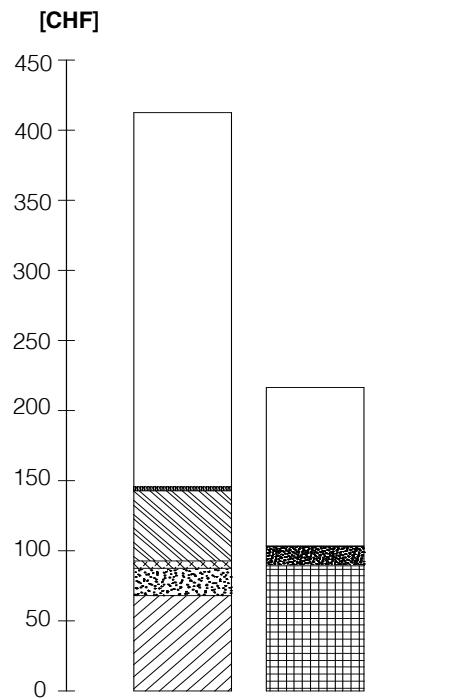
¹ Folkert Siemens und Sarah Stehr. „Gewöhnlicher Efeu“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.). 07.11.12.

² Kathrin Auer. „Wilder Wein, Selbstkletternde Jungfernebe“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.). 19.07.18.

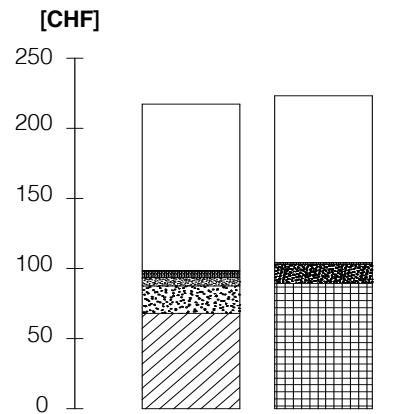
³ Folkert Siemens. „Wilder Wein ‚Veitchii‘, Dreispitzige Jungfernebe“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.). 14.10.18.

⁴ Ines Jachomowski. „Kletterhortensie: Pflegen und schneiden“ Gartenjournal, aboutpublishing GmbH (Hg.). (Abruf: 11.12.21)

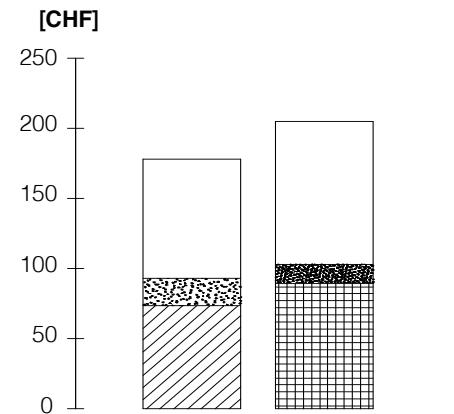
¹ Iris Scholl, Margot Zahner, Robert Kull. Stadt Winterthur, Stadtgrün Winterthur. „Bauen mit Natur, Fassadenbegrünung.“ Umweltschutzamt der Stadt St. Gallen, 1996 und Beauftragter für Umweltschutz der Stadt Winterthur (Hg.). Überarbeitete Fassung einer Broschüre der Stadt St. Gallen, 1997.



**KOSTENVERGLEICH
MWK-WAND BADEZIMMER / m²**



**KOSTENVERGLEICH
MWK-WAND INNEN / m²**



**KOSTENVERGLEICH
SICHT-MWK-WAND AUSSEN / m²**

- Aufwand □
- Fugenmörtel ■
- Fliesenkleber ▨ □ Aufwand
- Fliesen ▩ □ Aufwand
- Zementmörtel ▩ ■ Imprägnierung
- Ziegel MKW ▨ ▩ Betonverbundstein MWK

- Aufwand □
- Farbe ▩ ■
- Grundierung ■
- Deckputz ▩ □ Aufwand
- Grundputz ▩ ▩ Deckputz
- Zementmörtel ▩ ■ Lehmörtel
- Ziegel MKW ▨ ▩ Betonverbundstein MWK

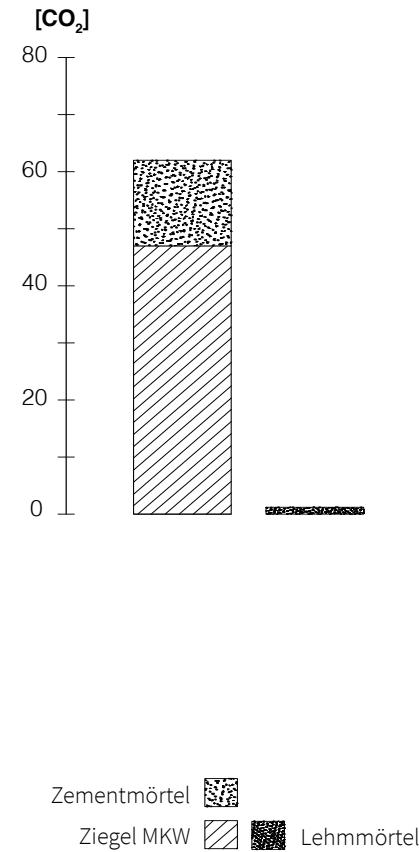
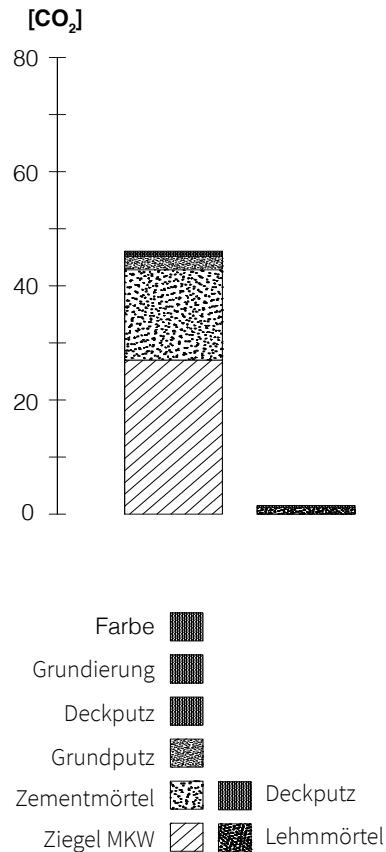
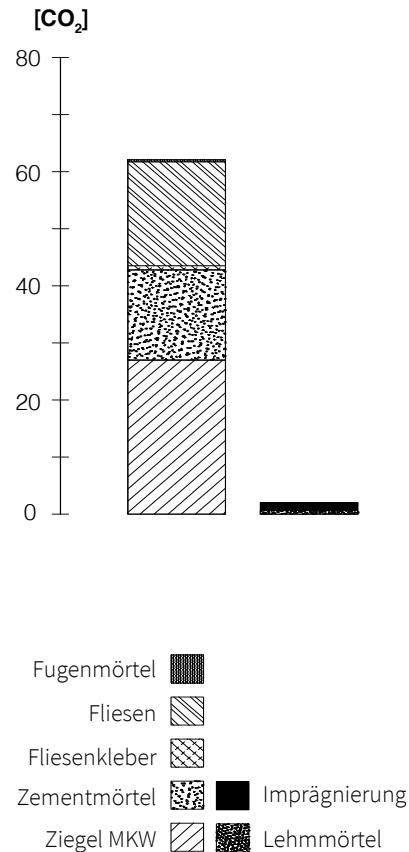
- Aufwand □ □ Aufwand
- Zementmörtel ▩ ■ Lehmörtel
- Ziegel MKW ▨ ▩ Betonverbundstein MWK

KOSTEN VERGLEICH

Vergleiche verschiedener Standarddetails mit dem Betonverbundstein sollen die ökonomischen und ökologischen Potentiale seiner Wiederverwendung aufzeigen. Das Ziel ist, mindestens kompetitiv mit Standard- oder gleichwertigen Lösungen mithalten zu können. Folglich sollen die Ästhetik und der positive ökologische Aspekt der entscheidende Faktor sein. Ein Vergleich von Badezimmerwänden mit Betonverbundsteinen und Mauerwerksziegel (s. Diagramm XY) zeigt, dass durch die ästhetische Qualität des Betonverbundsteines sowie seine Eigenschaften des mineralischem Materials auf eine Wandverkleidung verzichtet werden kann. Dasselbe gilt für eine Innenwand (vgl. Grafik xy). Die optische Qualität der gewellten Wand macht das Verputzen und Streichen der Oberfläche und damit verbundene Aufwände überflüssig. Der 20 Prozent höhere Arbeitsaufwand (Annahme) beim Mauern mit Lehmörtel kann bei grösseren Flächen vernachlässigt werden, da die langsame Trocknungsgeschwindigkeit nicht mehr limitierend ist. Folglich werden auch die

> Werte sowie Herleitungen befinden sich im Kapitel 4.1 VERGLEICHE (S. 146)

knapp kompetitiven Lösungen MWK-Wand Innen und MWK-Wand Aussen etwas günstiger als ein Vergleichsobjekt mit Putz und Farbe.



CO₂ VERGLEICH

Der Vergleich der CO₂-Werte zeigt auf, dass durch die Wiederverwendung bedeutende Mengen an Kohlenstoffdioxid eingespart werden können. Auch kann mit dem Weglassen einer Wandverkleidung der Materialverbrauch reduziert und die Steine sortenrein verbaut werden. Nicht einkalkuliert wurden Transport- und Aufwand verbundene Emissionen.

> Werte sowie Herleitungen befinden sich im Kapitel 4.1 VERGLEICHE (S. 149)

INTERVIEW

Dr. Stefan Schoenwald, Leiter Bauakustik EMPA

Geführt von Sophie Nussbaumer und Oliver Zbinden, transkribiert von Oliver Zbinden
Ort: Zoom-Meeting am 15.12.2021

Oliver Zbinden: Danke oftmals, dass Sie sich Zeit nehmen für ein Gespräch mit uns. Sophie und ich studieren Architektur an der ETH und sind momentan im Studio bei der Gastdozentur Buser. Wir haben uns das ganze Semester mit der Wiederverwendung von Baumaterialien befasst. Anfang des Semesters haben wir zwei Tage lang in Abbruchobjekten Baumaterialien gerettet. Dabei hat sich unsere Gruppe entschieden, das Potenzial der Wiederverwendung von Betonverbundsteinen zu untersuchen.

Wir haben insgesamt circa zwei Tonnen Steine rückgebaut und damit ein Mock-up an der ETH gebaut. Wir haben ein Boden-Wand-Anschlussdetail gebaut mit einer doppelschaligen Aussenmauer und einer tragenden Innenwand. Dafür haben wir einen Lehmörtel genommen, den wir im Sinne der Kreislaufwirtschaft sehr einfach wieder rückbauen können. Eine Wand ist mit Lehmputz geschlemmt, die anderen sind roh belassen, der Boden besteht auch aus Betonverbundsteinen, nur, dass wir diese wie einen Terrazzo geschliffen haben. Die Fassade ist in einem expressiven Diagonalverband gemauert.

Sophie Nussbaumer: Wir haben in unserem 1:1-Modell den Stein in all seinen Möglichkeiten ausgetestet.

Stefan Schoenwald: Sieht gut aus.

OZ: Wenn man einen Läuferverband mit diesen Steinen baut, dann entsteht durch ihre spezifische Form eine wellenförmige Oberfläche. Wir haben uns darum gefragt, ob diese Eigenschaft der Wand eine positive Auswirkung auf die Raumakustik hat. Wir wissen, dass für Musikräume parallele Wände ungünstig sind, da sind schräge Wandflächen gewünscht, um Flatterschall zu vermeiden. Darum haben wir begonnen, über die akustischen Eigenschaften zu recherchieren, unter anderem im Akustik-Skript von Martin Egglin, bei dem wir das Fach Akustik hatten und haben begonnen, die Absorptionseigenschaften des Steines zu recherchieren.

Um den Absorptionsgrad zu berechnen, haben wir die Annahme getroffen, dass der Stein etwa den gleichen Absorptionswert von 0,3 hat wie grober,

rauer Beton. So begannen wir zu rechnen. Ein poröser Absorber absorbiert hohe Frequenzen, ab welcher die Viertel-Wellenlänge der Dicke des Steines entspricht. Unser Stein hat eine Dicke von 11,25 Zentimeter, das mal vier genommen, ergibt eine Wellenlänge von 45 Zentimeter, die der Stein absorbiert.

SS: Genau, aber mit dem groben Beton muss man Folgendes beachten: Sie kennen vielleicht die gewellten Lärmschutzwände, die an den Autobahnen stehen. Die sind aus porösem Beton, da sieht man fast nur noch den Zuschlag und kaum mehr den Mörtel. Das ist der Beton mit dem Absorptionswert 0,3. Dieser Stein hier ist so gut wie luftdicht und hat deshalb fast keine Absorption. Ein grober, porösen Beton, wie er an der Autobahn-Schallschutz-Wand verwendet wird, lässt Luft rein und der Schall kann sich darin durch Reibung totlaufen. Diese Betonverbundsteine, wenn wir jetzt nur den Stein betrachten, ohne dass es einen Verbund oder so gibt, sind einfach schalldicht, da kriegen Sie keine Luft rein. Der einfachste Test, ob ein Material Schalloffen oder -geschlossen ist, ist, wenn man versucht, gegen die Oberfläche zu pusten, wie wenn man einen Luftballon aufblasen würde. Da merkt man, dass sich die Luft gar nicht bewegt, dass die Oberfläche dicht ist. Deswegen ist ihr angenommener Wert von 0,3 schon sehr optimistisch.

Wenn ich mir Ihre Versuche anschau, dann sind da verschiedene Verbände zu sehen, zum Beispiel Verbände mit Lehm, welche verputzt sind. Da ist eigentlich noch die Fugendichte und die Fugenart zu beachten, denn da kommt der Schall auch nicht rein – da muss man wirklich sagen, das ist zunächst eine schallharte Wand. Der Schall wird da einfach komplett reflektiert. Bei den Verbänden, die Sie jetzt gerade zeigen (Fotos von Mauerwerkverbänden, welche wir als Test ohne Mörtel aufgemauert haben), sind zwischendrin auch irgendwelche Fugen. Da müsste man erst einmal einschätzen, was diese Fugen machen. Generell muss ich sagen: Wenn Sie Fugen haben, müssen Sie aufpassen, weil Sie zwei Systeme haben. Das eine ist, wie gut der Stein oder die Konstruktion Schall schluckt, das heisst, wie gut der Schall rein und sich darin totlaufen kann. Das andere ist, wie gut die Kon-

struktion Schall dämmt, das heisst, wie viel Schall reflektiert wird. Zu unterscheiden ist: Wenn Sie in dem Raum stehen und merken, dass Sie Einfluss auf das Schallverhältnis (?) haben, wird der Schall geschluckt, dann ist es eben Absorption; wenn Sie jetzt den Schall des Nachbarn hören, dann handelt es sich um Schalldämmung. Das sind diese beiden Dinge, die man trennen muss, weil unter Umständen kann man mit so einer Mineralfaserplatte oder irgend einem porösen Absorber, eine Trennwand bauen, aber die lässt halt auch sehr viel Schall durch, weil wenn das Material am Ende ist, dann lässt es den Schall durch.. (unverständlich auf der Aufnahme). Deswegen müssen Sie je nach Anwendung Unterschiede machen.

Wenn Sie zum Beispiel bei der doppelschaligen Wand mit diesem Lehmputz eine Messung machen würden, dann kann man doch erwarten, vor allem, wenn man keinen starren Verbund zwischen den Schalen hat, dass dieser Stein zu einer ähnlich hohen Schalldämmung beiträgt wie eine doppelschalige Betonwand hat. Wenn man jetzt Löcher bohren würde, die zum Beispiel den Schall durch die Fugen in die Absorber, die zwischen diesen beiden Mauerschalen liegen, bringen, dann würde sich die Schalldämmung reduzieren, dafür hätten Sie aber einen grösseren Effekt für den Raum selbst, weil weniger Schall zurückgeworfen, sondern von der Wand geschluckt wird. Das sind diese beiden Schraubchen, die man da bedenken muss.

OZ: Das ist sehr spannend. Wir haben uns überlegt, dass man diese Stossfugen noch weiter öffnen und dahinter eine absorbierendes, schalldämmendes Material einbringen könnte und so eine sehr gute Schalldämmung bekäme. Habe ich das richtig verstanden, dass diese Eigenart des Steins und seine gewellte Form eigentlich nur auf sehr hohe Frequenzen oder Töne wirklich Einfluss hat? Sonst ist es einfach nur wie eine schwere Betonwand?

SS: Sie müssen sich vorstellen, dass die Wellenlänge die gleiche Grösse haben muss, wie diese Struktur, um den Schall zu streuen. Die Struktur hat sicher einen Effekt, das verwendet man auch in Konzertsälen, man sieht dann diese gewellten Bänder, um Schall ein wenig diffus zu streuen. Diesen Einfluss hat diese Oberfläche aber nur – wenn wir das rein geometrisch betrachten –, wenn die Wellenlänge in der Grössenordnung dieser gewellten Oberfläche ist. Also bei 100 Hertz

– das sind die tiefen Töne, die wir hören – hat der Schall eine Wellenlänge von 3,4 Metern. Da können Sie sich vorstellen, dass diese Wellenstruktur des Steins keinen Effekt hat. Wenn man sich 1000 Hertz anschaut – also hohe Töne, die man recht gut hört –, da sind wir beispielsweise bei einer Wellenlänge von 34 Zentimetern, da kommt man bei einigen Strukturen, die Sie mir gezeigt haben, schon in die Nähe, wo gewisse Streueffekte erzielt werden können.

Zu Beispiel sind wir bei diesem Diagonalverbund in der Grössenordnung von 15 Zentimetern, da können Sie sich vorstellen, dass in diesem Wellenlängenbereich die Oberfläche schallstreuend wirkt. Beim offenen Läuferverband sieht es sehr ähnlich aus, der hat ja sogar Lücken ..

OZ: Ja dieser hat Lücken, aber der Diagonalverband ist ziemlich geschlossen.

SS: .. geschlossen, ja. Und da könnte man sogar mit diesen Tiefen noch spielen, dass man etwas erreicht. Wenn man auf einem offen Läuferverband also eine reflektierende oder absorbierende Schicht anbringt, dann könnte man doch einiges damit erreichen. Man muss halt aufpassen, wo man diese Wand einsetzt: wenn hinter diesem offenen Läuferverband beispielsweise direkt ein nächster Raum angrenzt, wäre das un- gut. Die Faustregel ist: Wenn man durchschauen kann, geht auch der Schall durch. Man könnte sich überlegen, wie gross die Schalldämmung ist, wenn man dahinter vielleicht noch eine geschlossene Wand mit Lehmverputz oder so etwas macht. Dann könnte man zumindest abschätzen – anhand der einschaligen und der doppelschaligen Wand – wo wir da zu liegen kommen .. irgendein Wert dazwischen wäre wohl realistisch.

OZ: Habe ich das also richtig verstanden? Wenn man den Stein richtig einsetzt, hätte man sehr viele Möglichkeiten?

SS: Mhm, durchaus schon, ja. Hersteller von Lärmschutzwänden stehen beispielsweise vor folgendem Problem: Sie brauchen eine harte Oberfläche, aber dahinter muss halt auch etwas Geschlossenes sein. Oftmals bilden sie die geschlossene Fläche als die Struktur aus, die hält, damit, wenn ein Auto dagegen fährt, nichts passiert. Es wäre eine Möglichkeit, dass man diese Logik umkehrt und die Oberfläche offen macht und dahinter noch eine geschlossene Schicht anbringt. Die bräuchte gar nicht so dick sein, da reicht in der Regel dünnes Blech

oder Holz. Wenn man den Wänden eine höhere Schalldämmung geben würde, würde der Schall, welcher über die Mauer darüber reflektiert würde, der grösste Anteil ausmachen. Man kann dann zwar die Schalldämmung erhöhen, aber es wird dadurch nicht leiser.

Das wäre also ein Beispiel, wo man gute Flächen gestalten kann, oder in Konzertsälen. Da muss man aber berücksichtigen, dass, wenn man periodische Konstruktionen wie den Diagonalverband mit den sehr tiefen Strukturen hat, diese Schallstreuung zum Teil nur in sehr begrenzten Frequenzbereichen erfolgt – wie oben erklärt, müssen die Frequenzen mit diesen Strukturiefen übereinstimmen, damit es zu Überlagerungen der Wellen kommt. Denn es könnten auch sehr unangenehme Effekte entstehen. Bei uns an der EMPA beispielsweise liegt gegenüber eine grosse Halle mit Wellblechfassade. Wenn da irgendetwas hinunterfällt, dann höre ich bei mir im Büro immer so ein hohes Zischen. «whuuuuitsch!», weil eben genau diese Frequenzen zu mir herübergestreut und dann reflektiert werden, während andere nur gestreut werden.

Da müsste man sich also dann nochmals genauer damit beschäftigen.

Aber ich kann Ihnen einen Tipp geben. Es gibt ein Buch von Fasold und Veres, Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Recht gut ist da zum Beispiel die Wirkung von Absorbern geschildert, also was passiert, wenn ein Absorber beispielsweise abgedeckt wird. Wie hängt das vom Lochflächenanteil ab? Von der Grösse der Öffnung, von der Tiefe der Abdeckung oder eben auch diesen einfachen Prinzipien, wie verschiedene Strukturen schallstreuend wirken.

OZ: Ja super, danke vielmals, das ist sehr hilfreich. Ich glaube, wir haben ziemlich alles besprochen, was ich mir aufgeschrieben habe. Sehr toll zu erfahren, dass der Stein für eine Lärmschutzwand eventuell sehr geeignet sein könnte. Unser Ziel wäre jetzt, dass wir mit diesen Erkenntnissen noch gewisse Elemente gestalten. Eigentlich machen wir einen Katalog mit allen Potenzialen dieses Steins.

SS: Auch dieser Boden mit dem Unterlagsboden, den Sie mir vorhin gezeigt haben, könnte interessant sein. Wir haben nämlich auch im Holzbau festgestellt, dass man durch das Aufschneiden (?) des Unterlagsbodens eine sehr hohe oder feste Trittschalldämmung bekommen. Dieser schwimmende Unterlagsboden ist dann stärker gedämpft, weil Reibung zwischen den Steinen entsteht. Fra-

gen, die hier eventuell auftauchen – das kennen wir aus der Praxis, wir haben auch schon mit solchen Gehwegplatten und so weiter experimentiert –, wären, wie man dann die Lastverteilung bewältigt, weil man immer noch eine recht weiche Zwischenschicht einbringen muss. Ihr habt da so eine Trittschalldämmung, so etwas Gelbes .. oder ist es Lehm?

OZ: Ja, das ist Lehm. Wir haben zu lange gewartet beim Einbau, sodass der Unterboden schon austrocknete, aber eigentlich wäre das Ziel, dass man den Stein schwimmend in den Lehm verlegt.

SS: Genau. Dann müsste man idealerweise, weil die Konstruktion sehr leicht ist, noch eine Entkopplungsschicht einbauen. Aber das müsste man sich überlegen, weil, wenn diese Schicht, wo jetzt der Lehm ist, zu weich ist, wird der Boden unschön, wenn man ihn nur punktuell oder einseitig belastet. Das haben wir an der EMPA bei dem Test mit diesen Gehwegplatten auch festgestellt.

SN: Und an was für eine Entkopplungsschicht denken Sie da?

SS: Also traditionell werden da im Bau im Innenbereich Mineralfasern, Glasfasern verwendet. Und da wäre sicher Potenzial, an dem man noch weiterarbeiten könnte, wenn man die Lastenverteilung einigermaßen hinkriegt.

OZ: Was wir gestern noch mit einer Konstruktionssassistentin besprochen haben, war die Möglichkeit, die Steine in die Balkenlage eines Holzbaus zu legen. Dass man daraus gar keinen Steinboden in einem Holzhaus einbaut, sondern für einen niedrigeren Bodenaufbau sorgt, gleichzeitig aber das Gewicht, das im Holzbau in den Böden oft fehlt, liefert.

SS: Genau, davon macht man ja auch bei diesen neuen, beschwerten Hohlkästen Gebrauch. Ich wäre mit den Steinen ein wenig vorsichtig, Lignatur verwendet für ihre Deckenkästen Steine, die liegen aber auf einer elastischen Matte drauf, sodass die Steine zu Schwingungstilgern werden. Wenn man nur eine Beschwerung möchte, dann sollte man lieber etwas Körniges nehmen, so etwas wie eine Schüttung. Das hat auch den Vorteil, dass man diesen Dämpfungseffekt dazubekommt. Ihr könnt euch das sicher vorstellen – denkt einfach mal, wie es klingt, wenn man eine Kiste voll mit Sand schüttelt .. Diesen Effekt hätte man mit Steinen wahrscheinlich nicht, weil sie klappern und

da müsste man – was Lignatur macht – mit diesen Tilgern arbeiten. Da muss man aber sehr vorsichtig sein und das System sehr genau abstimmen auf verschiedene Frequenzen, auch die Steine müssen entsprechend angeordnet sein, damit man da mehr als diesen Masseneffekt erreicht.

SN: Das heisst, dass sich der Stein so eignet, wie wir das jetzt im Modell sehen, aber eher nicht als Schüttung.

SS: Ja.

OZ: Unsere Kollegin ist gerade dabei, eine Variante aufzuzeichnen, in der wir den Stein sozusagen als Schüttung benutzen, aber es ist gut zu wissen, dass diese Variante nicht so ideal ist.

SN: Aufgrund dieser fehlenden Dämpfung, wie Sie gesagt haben.

SS: Genau. Also generell, würde man die Steine einfach so reinlegen, dann funktioniert es sicher nicht. Aber man könnte sie als Tilger ausarbeiten, dafür müsste man die elastische Schicht abstimmen, auf die man den Stein legt. Was funktionieren könnte – aber sicher bin ich mir nicht, weil ich das noch nie in der Anwendung probiert habe und auch nicht weiss, ob es überhaupt schon einmal ausprobiert wurde –, wäre, dass man den Hohlraum zwischen den Steinen mit Schüttung füllen würde. Also eine Kombination zwischen einer Kiesschüttung und den Steinen, die könnte das Potenzial haben, dass die notwendige Reibung und Kontakt entsteht. Würde man nur die Steine reinlegen, hätte man immer noch den Verbund, da müsste man überprüfen, wie viel Reibung entsteht. Aber sicher weniger, als wenn es Steine und Partikel gibt. Es gibt paar Partikel, die jetzt zum Teil untersucht werden, wo es um diesen Kontakt zwischen den Teilchen, wo viel Energie vernichtet wird, geht.

OZ: Sehr spannend ..

SS: Bei uns an der EMPA haben wir einmal für eine andere Studienarbeit – ein anderes Recyclingmaterial, das man als Schüttung verwenden kann – Untersuchungen gemacht. Dafür haben wir ein kleines Mock-up gebaut, letztendlich eine Holzkiste, ähnlich wie ein Sandkasten, und so einen Teil vom Boden simuliert. Dieser wird von oben mit einem Hammerwerk angeregt und unten mit dem Schwingungsaufnehmer mal gemessen: Wie stark schwingt denn der Boden, wenn die Kiste

leer ist, und wie, wenn man die normale Schüttung einbaut, dann eine neue Schüttung und noch eine andere? Damit haben wir sehr gute Erfahrungen gemacht, weil man da einfach schnell das Potenzial abschätzen kann. Da wäre sicher in einem kleinformatigen Versuch etwas möglich, um zu zeigen: He, da geht noch mehr!

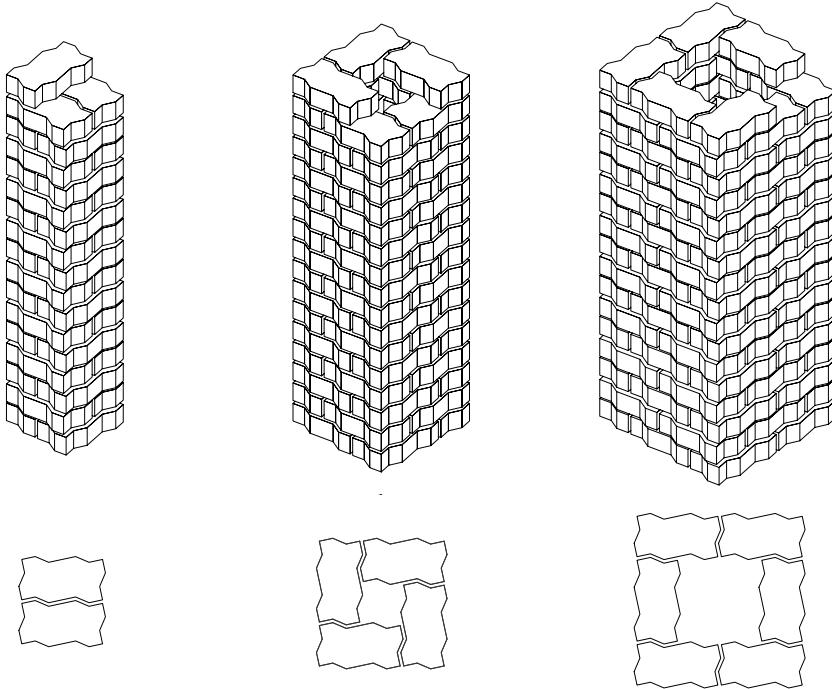
SN: Danke vielmals für die vielen Inputs und das Feedback.

OZ: Ja, danke vielmals für dieses Gespräch.

SS: Wenn Sie noch Fragen haben, melden Sie sich bei uns. Das Baubüro in situ kenne ich gut, die haben ja an der EMPA die Sprint-Unit und machen dort eine sehr interessante Arbeit. Da unterstützen wir gerne.

OZ: Das freut uns sehr. Noch einmal vielen Dank für das Gespräch.

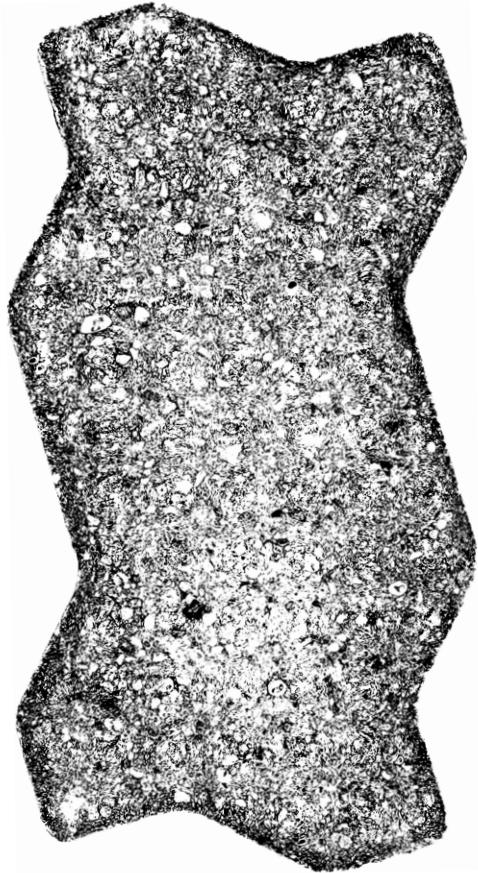
Mit Verbundsteinen können auch Pfeiler gemauert werden. Verbaut man nur zwei Steinen pro Lage, wird die minimale Grundfläche von 400 cm^2 , die es bei einem Mauerwerk benötigt, immer noch erfüllt, um als tragendes Element zu genügen. Wird eine grössere Standfläche gewählt, bietet es sich an, die Pfeiler hohl zu mauern und gegebenenfalls als Schacht zu nutzen.¹



Mauerwerkspfeiler

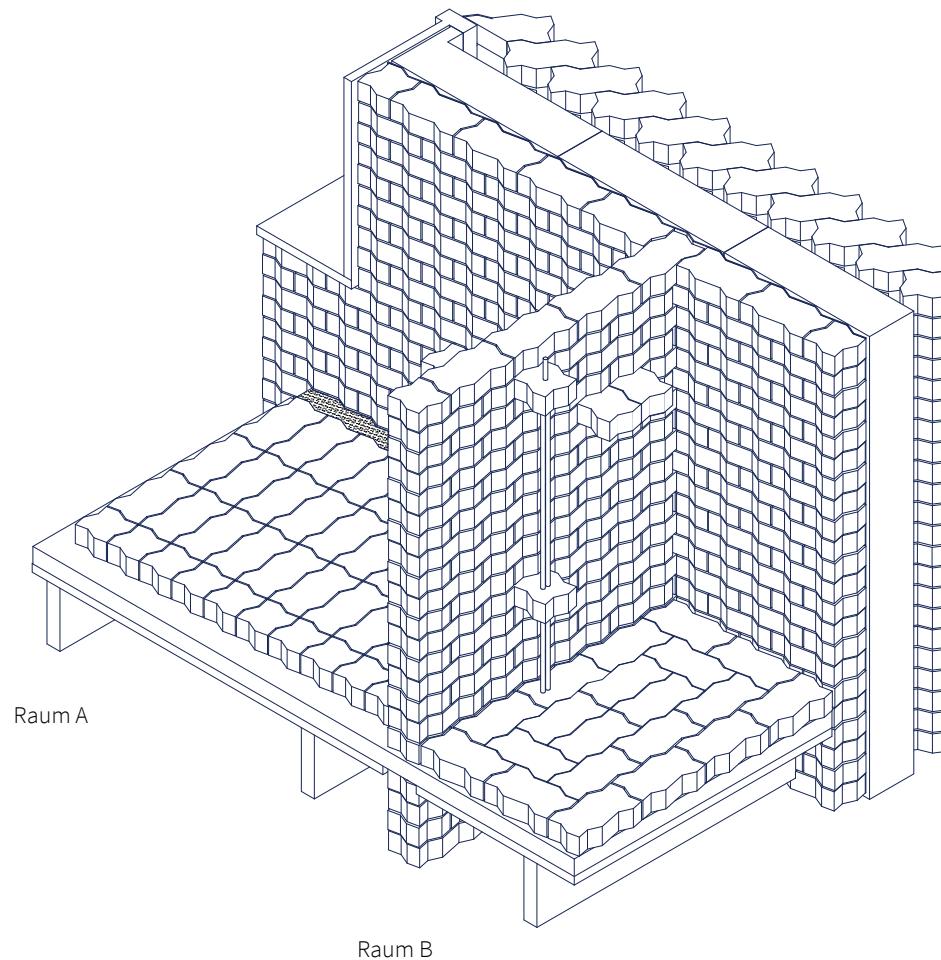
¹ Baunetzwissen (Hg). „Mauerwerkspfeiler“. Thema: Mauerwerk. <https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/baukonstruktion/mauerwerkspfeiler-2887633>

3 FALLSTUDIEN



Das Herbstsemester 2021 im Studio «Selon Arrivage» bei Barbara Buser wurde in drei Phasen aufgeteilt. Der erste Teil beinhaltete das Herantasten an das Thema der Wiederverwendung von Bauteilen. In der zweiten Phase lag der Fokus auf dem Rückbau, dem Wiedereinbau und der Demontage von Bauteilen, welche in einem 1:1-Mock-up verbaut und in ihren Einsatzmöglichkeiten getestet wurden. In einer letzten Phase wurden die Erkenntnisse des Semesters auf das Areal Campo in Winterthur, welches der Stiftung SKKG gehört, ausgeweitet.

Im folgenden Kapitel wird unser 1:1-Modell und der Bauprozess detailliert erläutert. Das im Grundriss T-förmige Detail zeigt eine zweischalige Aussenwand, die mit einer Innenwand verzahnt ist und so zwei Räume anschneidet: einen Innenraum (Raum A) und eine Nasszelle (Raum B). Im Fokus unseres Modells liegt der Betonverbundstein und seine Möglichkeiten im Einsatz als statisches Element, Bodenbelag und Wandverkleidung.

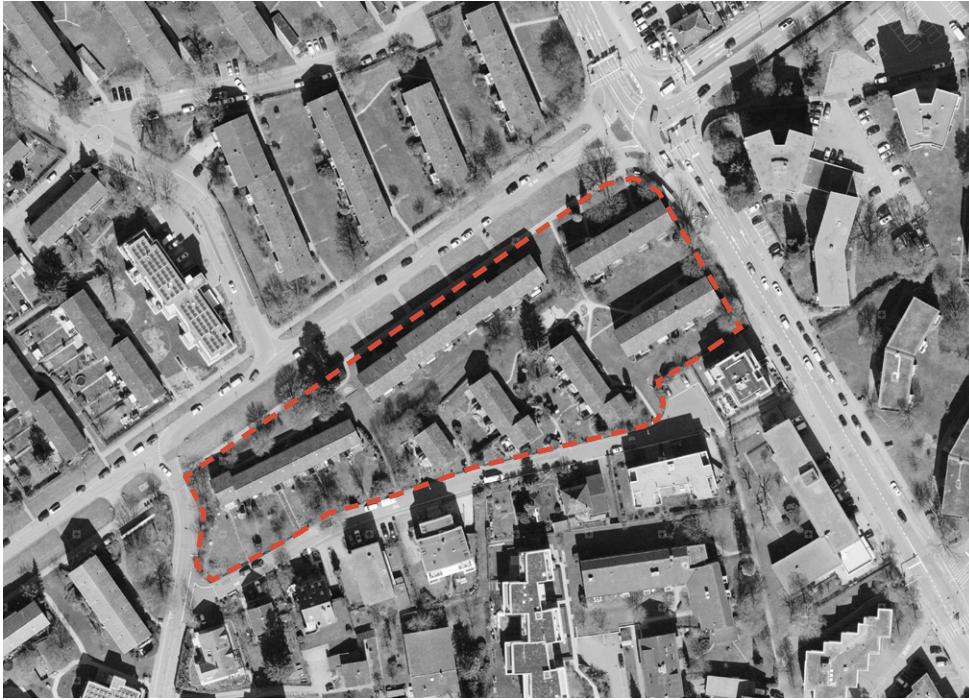


Raum A

Raum B





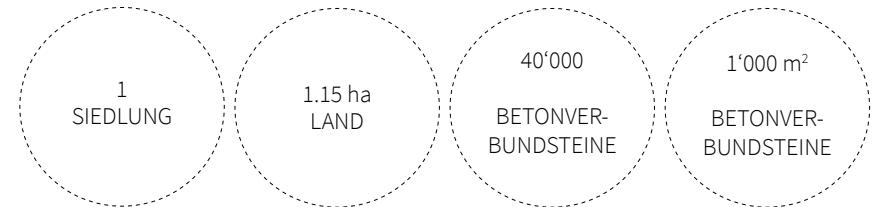


Swisstopo

RÜCKBAU

In einer Wohnsiedlung in Zürich-Seebach konnten wir im Rahmen eines Workshops mit der Wick Upcycling GmbH ungefähr zwei Tonnen Verbundsteine ausbauen. Die Steine fanden wir als Terrassenboden im Aussenraum trocken verlegt vor und konnten darum direkt von Hand ausgebaut, palettiert und abtransportiert werden. Auf den 1,15 Hektar Fläche der Siedlung hätten zirka 1000 Quadratmeter Verbundsteinpflaster ausgebaut werden können, was 40' 000 Steinen entspricht.

Berechnungen Ergiebigkeit Siedlung Seebach:





Legende Werkzeuge:

A Lehmstampfer

B Abziehkelle

C Lotstangen

D Doppelmeter

E Wasserwaage

F Gummihammer

G Pendel

Werkzeugsammlung



Prozess Mauern

EINBAU

WAND

Mauern: Die Aussenwand unseres Modells ist ein Zweischalenmauerwerk, das mit wiederverwendeter Glaswolle ausgedämmt ist. Die Schalen sind in unterschiedlichen Verbandsarten gemauert, um den vielseitigen Einsatz des Betonverbundsteines aufzuzeigen. Die innere Schale haben wir im Längs-, die äussere im Diagonalverband gemauert.

Verankerung / Armierung: Die selbsttragende Aussenwand muss mit der tragenden Innenschale durch Maueranker verbunden werden. Im Mockup haben wir dies mit einem Draht imitiert. Zudem müssen die Lagerfugen beider Schalen armiert werden.

Mörtel: In unserem Modell verwendeten wir reinen Lehmörtel der Firma Lehmwerk in einem Verhältnis von 4:1 (vier Teile Schweizer Sand mit einer Körnung von 3mm und einem Teil Ton). Da der Lehmörtel sehr langsam abbindet und das herbstliche Wetter den Trocknungsprozess weiter verlangsamte, musste die Wand in Etappen gemauert werden. Pro Tag konnten wir maximal vier Lagen mauern. In Nasszellen und Küche ist der Einsatz von reinem Lehmörtel nur in Kombination mit einer Imprägnierung oder Versiegelung zu empfehlen.

LEITUNGEN

Für die Leitungsführung haben wir uns für eine Aufputzinstallation entschieden, die dem rohen Charakter der Mauer gerecht wird und bei einem allfälligen Defekt leicht zu ersetzen ist. Für die Führung der elektrischen Installationen planten wir ein Kiesbett, das entlang der Wand läuft und uns ermöglicht Boden- und Wandmuster unabhängig zu planen (vgl. Kapitel 'Katalog der Möglichkeiten', Abschnitt 'Anschluss Wand-Boden')



Putzauftrag Raum A

PUTZ

An der Innenwand zeigen wir auf, wie der rohe Ausdruck der gemauerten Wand durch das Verputzen verändert werden kann. Um die Struktur der Mauer sichtbar zu lassen, wurde sie lediglich mit einem Feinputz geschlemmt und auf einen zusätzlichen Grundputz verzichtet. Der natürlich rötliche Feinputz aus Lehm ohne künstliche Pigmente wurde ebenfalls von der Firma Lehmwerk bezogen.

BODEN

Auf eine primäre Balkenkonstruktion legten wir alte Schaltafeln, die uns für den Stampflehmunterboden als verlorene Schalung und gleichzeitig als Deckenuntersicht diente. In ein Lehmmörtelbett verlegten wir anschliessend einen sichtbaren Steinbelag aus Betonverbundsteinen. Die Träger haben wir in die tragende Wand eingemauert. Um Schallübertragungen zu minimieren, sollten die Balken nicht direkt auf dem Mauerwerk aufliegen, daher haben wir in unserem Modell ein Stück Fussbodenteppich zwischen Mauerwerk und Balken eingesetzt. Die Erde für den Stampflehboden bezogen wir auf einer Baustelle in Zürich-Höngg. Dieser Aushub müsste zuvor einer Qualitätskontrolle unterzogen werden, worauf wir bei unserem Mock-up verzichtet haben. Die Steine für den Boden im Innenraum (Raum 1) haben wir zu einer Terrazzo ähnlichen Oberfläche geschliffen, um eine wohnliche Atmosphäre zu schaffen. Für die Dusche haben wir eine metallene Duschwanne in den Stampflehmunterboden eingelassen. In dieser verlegten wir auf Abstandshaltern die Betonverbundsteine. Die Steine haben wir hier nur gebürstet, um eine rutschfestere Oberfläche zu erreichen. In der Duschwanne gibt es einen einzelnen Stein, der geschliffen ist und sich mit einem Saugnapf herausheben lässt. Ausgehend von diesem Stein, lässt sich der gesamte Verbund lösen und ermöglicht so die Reinigung der Wanne.



Endstand Rückbau

DEMONTAGE

Die Aufgabenstellung des Semesters beinhaltete auch den Rückbau des Mockups. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft war es unser Ziel, alle Materialien wieder verwenden zu können. Als Versuch liessen wir das Mockup vier Wochen Wind und Wetter ausgesetzt.

Der Zustand des Mockups blieb ohne grössere sichtbare Schäden. Wie erwartet hat die Nässe die Festigkeit des Lehms beeinträchtigt, so dass an gewissen Stellen in der Mauer die Steine sehr einfach abzunehmen waren. Dort, wo der Lehm trocken geblieben ist, brauchten wir einen Hammer, um die Steine wieder voneinander zu lösen. Da der Lehmörtel ohne Zuschläge verwendet wurde, konnten wir ihn unbedenklich in die Natur zurückführen. Die rückgebauten Betonverbundsteine reichten wir nebeneinander auf und entfernten mit dem Hochdruckreiniger die Resten des Lehmörtel und des Putzes. Später palettieren wir alle Steine wieder und bereiteten sie so für ihren nächsten Einsatz vor. Zu viert dauerte der gesamte Rückbau des Mockups nur drei Stunden.

Was zurückbleibt? Zwei Paletten mit Betonverbundsteinen, einen Erdhaufen, einige Schalttafeln, ein paar Bretter und einen Abdruck in der Wiese. Alle Baumaterialien können ausnahmslos weiterverwendet werden.

Innen:
mit Wänden



Innen:
mit Putz



Aussen:
mit Innen-
schale



Innen:
mit UB



Innen:
mit Bodenver-
kleidung



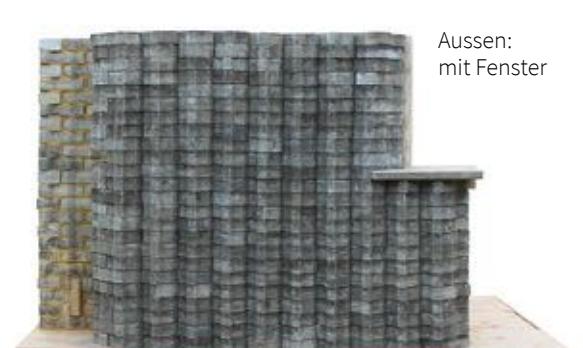
Aussen:
mit Aussen-
schale



Innen:
mit Ausbau



Aussen:
mit Fenster

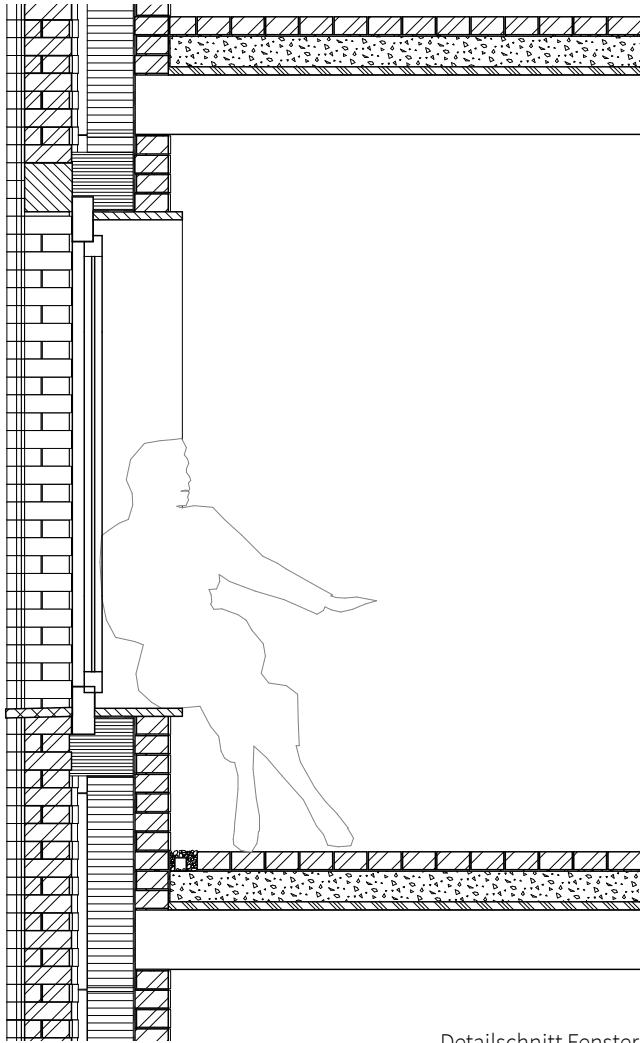




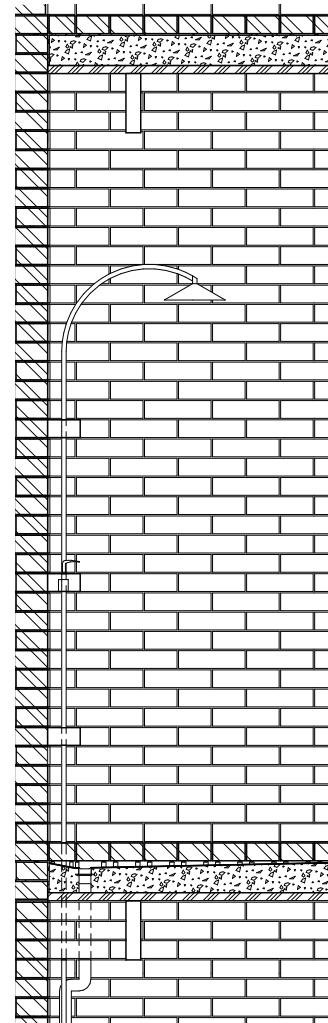
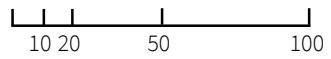
Seitenansicht 1



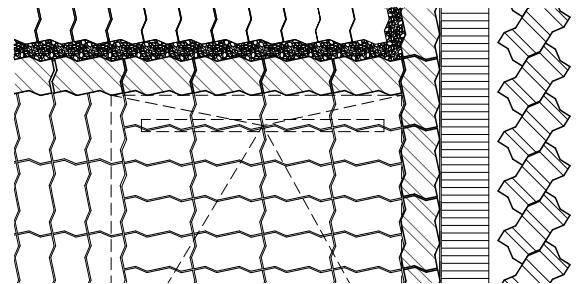
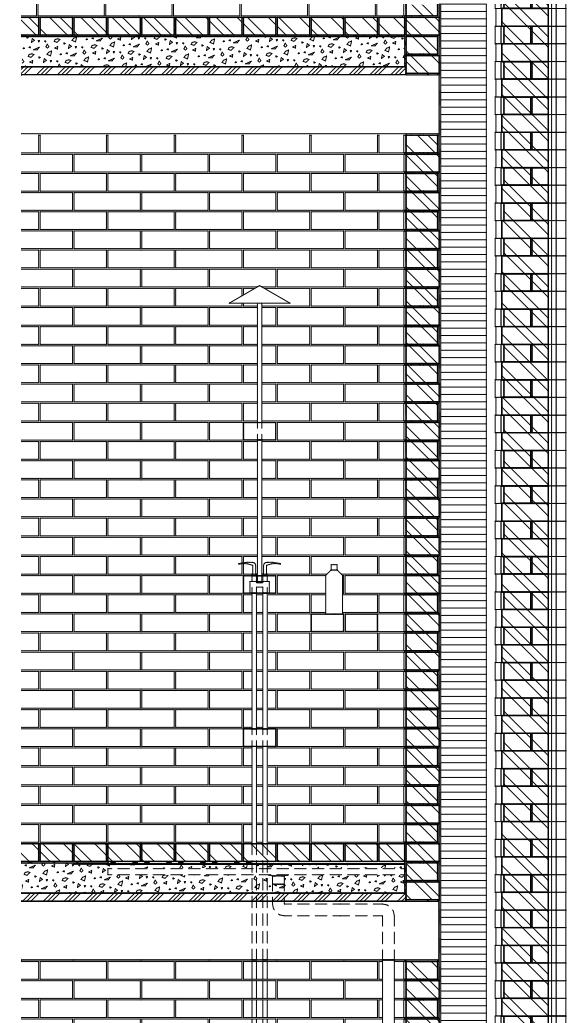
Seitenansicht 2



Detailschnitt Fenster

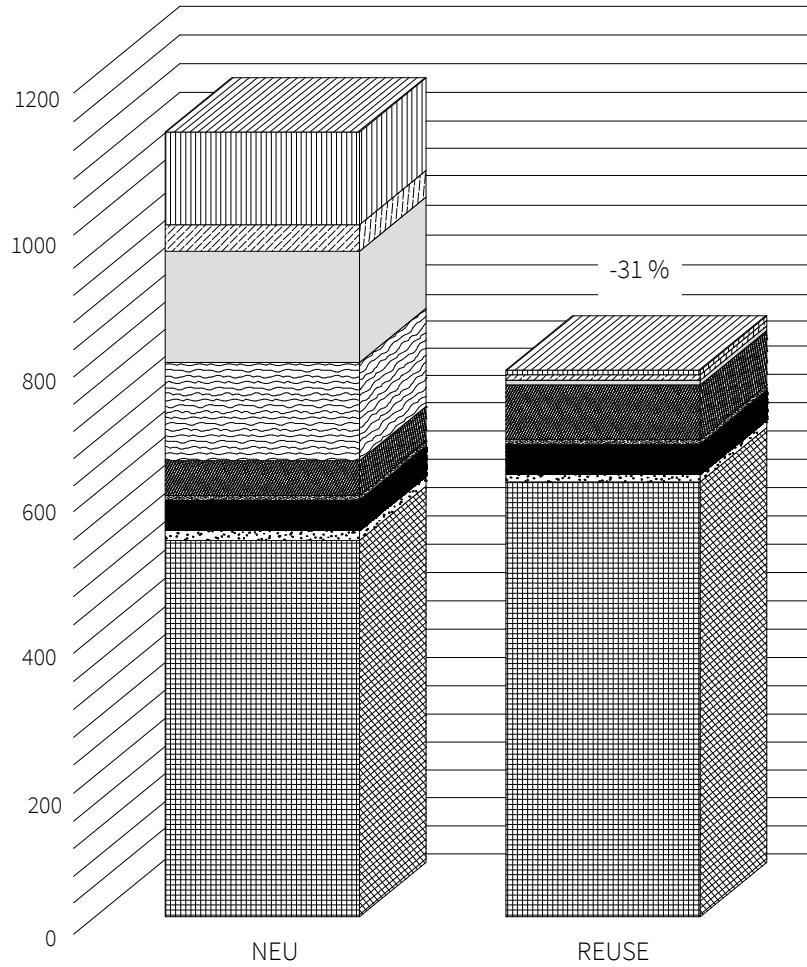


Detailschnitt Dusche

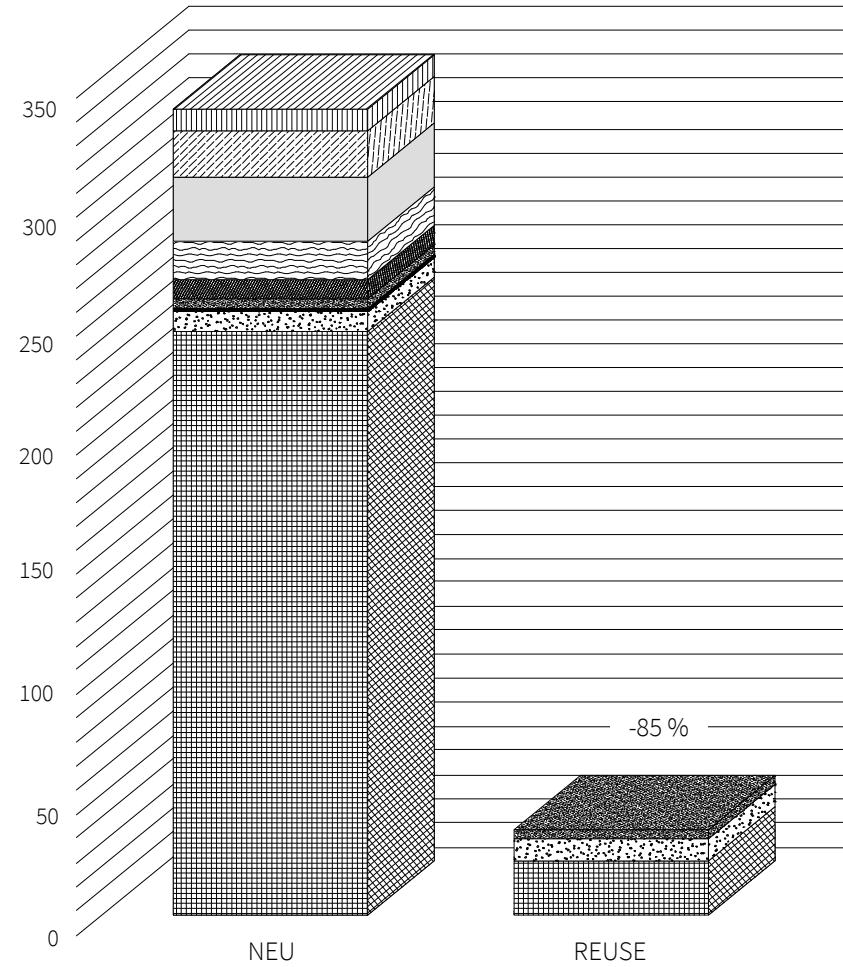


Grundriss Dusche

KOSTEN MOCKUP
[CHF]



EMBODIED CARBON MOCKUP
[kg CO₂ eq]



- Betonverbundstein
- Stampflehm
- Fenster
- Lehm Deckputz
- Brettschichtholz
- Kunststeinplatte
- Lehm Grundputz
- 3-Schicht Platte
- Aufbereitung

- Betonverbundstein
- Stampflehm
- Fenster
- Lehm Deckputz
- Brettschichtholz
- Kunststeinplatte
- Lehm Grundputz
- 3-Schicht Platte
- Aufbereitung

«MAN KÖNNTE DADURCH EIN PRODUKT
ERSCHAFFEN, DAS NACH 60 JAHREN
GLEICH NOCHMAL 60 JAHRE BEKOMMT...»¹

AARON GAMMA

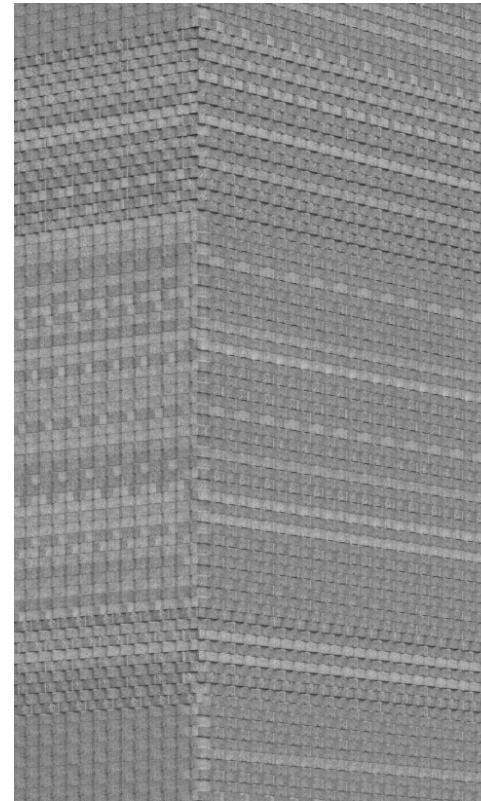
Die dritte und letzte Phase des Semesters beinhaltete die Auseinandersetzung mit der Wiederverwendung in Bezug auf die Umnutzung des Campo-Areals in Winterthur. Das Areal ist seit 2006 in Besitz der Stiftung für Kunst, Kultur und Geschichte (SKKG) und liegt im Stadtteil Neuhegi. Zukünftig soll es zu einem zweiten urbanen Zentrum der Stadt Winterthur werden. Auf dem Campo soll der Sammlungsbestand der Stiftung von rund 80'000 Objekten untergebracht werden. Neben der Lagerung sollen auch öffentliche Nutzungen, Wohn- und Arbeitsräume entstehen. Im September 2021 startete eine Testplanung, welche als Grundlage für einen anschliessenden Projektwettbewerb dient.

Die SKKG besitzt rund 250 Liegenschaften in der Schweiz, von denen mehr als zwei Drittel in und um Winterthur liegen. Ein Grossteil davon wurde im 20. Jahrhundert erbaut. Diese Gebäude werden nun nach und nach sanierungsbedürftig und müssen umgebaut werden. Für Eigentümer mit einem grossen Immobilienportfolio sehen wir sowohl die grosse Verantwortung als auch das Potenzial, einen hohen Anteil von Baumaterialien im Sinne der Kreislaufwirtschaft weiterzunutzen und weiterzunutzen.

Der Betonverbundstein ist dabei ein kleines Teilstück einer gesamten Liegenschaftssubstanz. Unsere Forschungsarbeit über die Wiederverwendung von Betonverbundsteinen auf einen grösseren Massstab anzuwenden, war das Hauptziel dieser Phase. Wir wollten testen, wie sich der grossflächig verfügbare Stein an der Fassade eines mehrgeschossigen Hallenbaus gestalterisch einbauen lässt. Zudem hatten wir die Möglichkeit der Bauherrschaft die Relevanz der Zirkulärwirtschaft in der Baubranche näher zu bringen.

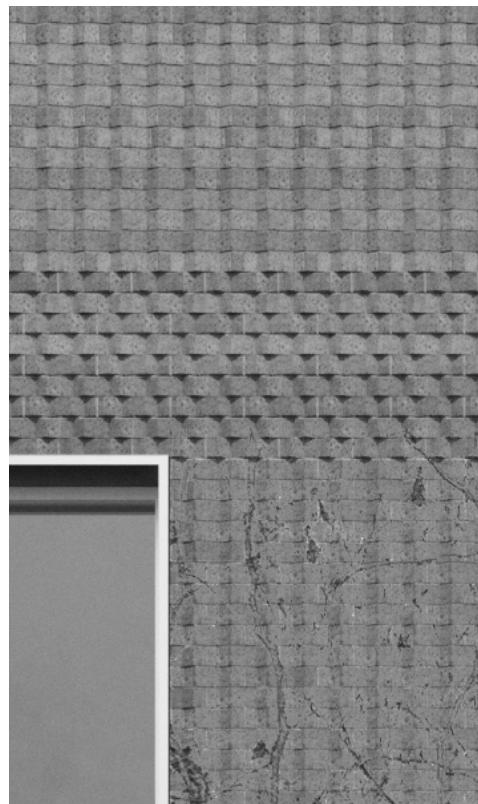


Das Hauptziel dieser kurzen Phase war, unsere gesamte Forschungsarbeit der Wiederverwendung vom Betonverbundstein auf einen grösseren Massstab auszuweiten. Ein Teil davon bildete das Aufzeigen, wie sich der grossflächig verfügbare Stein in einem mehrgeschossigen Hallenbau an der Fassade gestalterisch einbauen lässt.

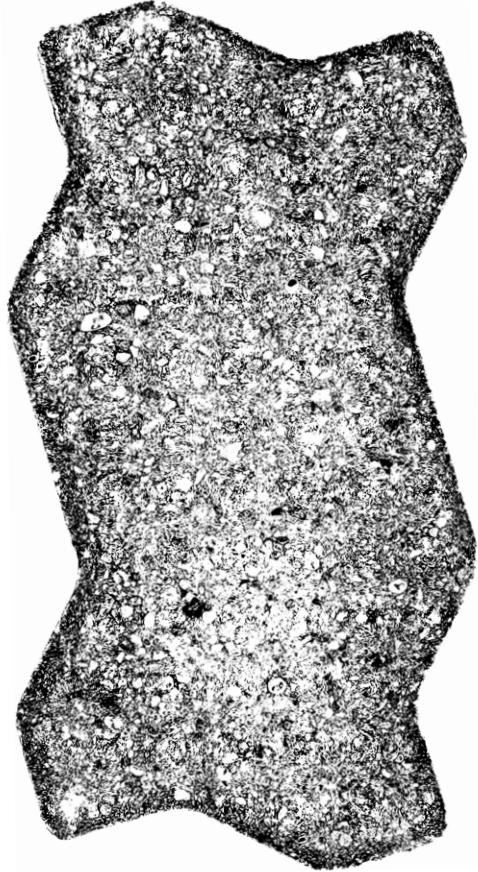




Weiter war es von grosser Wichtigkeit, der Bauherrschaft anhand unseres Betonverbundsteins aufzuzeigen, welche Relevanz die Zirkulärwirtschaft in der Baubranche hat und welche Rolle eine Bauherrschaft in dieser zirkulären Kette einnehmen kann. Wir sehen unsere Aufgabe darin, die Stiftung, als Besitzerin zahlreicher Liegenschaften, zu sensibilisieren und sie auf einen zukünftigen Umgang mit Bauteilen vorzubereiten.



4 ANHANG



KOSTENVERGLEICH

TERRAZZO¹

Gussterrazzo (S.83):

Betonverbundstein-Terrazzo (S.83):

	[CHF]		[CHF]
Material & Guss / m ²	350²	Reuse Betonverbundstein	18.5
<i>Schleifen</i>	150	Materialkosten / m ²	
		Transport	5
		Schneiden + Feinschliff	150
		Verlegen	65
		Mörtel	15
		UB	100
Total	CHF 500		CHF 350

CO₂ VERGLEICH

TERRAZZO¹

Diagramm (S.83):

MATERIAL	kg/m ²	Rohdichte/m ³	kg CO ₂ eq/kg	kg CO ₂ eq/m ²
Gussterrazzo ² 8cm	190	2375	0.18	34.2
Reuse Betonverbundstein-Terrazzo ³	135	2300	0.091	12.28

¹ Grobkostenschätzung auf Basis Gamma, Interview. (vgl. Kapitel 1.7)

² inkl. UB, Aufwand, Materialkosten, Transport

³ Erfahrungswert Ausbau (37.-) bis Bereitstellung (30'/m2 Annahme Stundenlohn 75.-) inkl. Transport geteilt durch zwei, da beim Aufschneiden, doppelte Menge entsteht

¹ KBOB-Liste, Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2022

² Terrazzo versiegelt

³ Reuse: -90% CO₂ Einsparung, abzgl. Wasserverbrauch und Energie für Schleifen und Schneiden

KOSTENVERGLEICH

MWK-WAND BADEZIMMER¹

Ziegelmauerwerk gefliesst
(S.103):

Verbundsteinmauerwerkversiegelt
(S.103):

	[CHF]		[CHF]
Ziegelmauerwerk		Re-use Betonverbundstein	
Materialkosten / m ²	86	Materialkosten / m ²	57²
Zementmörtel	19.5	Lehmmörtel	13.65
Kosten / kg	0.5	Kosten / m ²	0.26
kg / l	1.5	Anzahl [kg/m ²]	52.5
l / m ²	26	Versiegelung mit Wasserglas	0.55
Fliesen		Kosten / l	2.2
Kosten / m ²	50	Anzahl [l/m ²]	0.25
Fugenmörtel	2.97		
Kosten / kg	3.1		
kg / m ²	0.9		
Fliesenkleber	5.22		
Kosten / kg	2.9		
kg / m ²	1.8		

KOSTENVERGLEICH

MWK-WAND INNEN¹

Ziegelmauerwerk verputzt
(S.103):

Verbundsteinmauerwerk geschlemmt
(S.103):

	[CHF]		[CHF]
Ziegelmauerwerk		Re-use Betonverbundstein	
Materialkosten / m ²	86	Materialkosten / m ²	57²
Zementmörtel	19.5	Lehmmörtel	13.65
Kosten / kg	0.5	Kosten / m ²	0.26
kg / l	1.5	Anzahl [kg/m ²]	52.5
l / m ²	26	Lehmdeckputz	1.29
Grundputz	6.01	Kosten / kg	0.83
Kosten / kg	0.39	Anzahl [kg/m ²]	1.56
Anzahl [kg/m ²]	15.4		
Deckputz	2.74		
Kosten / kg	3.5		
Anzahl [l/m ²]	0.16		
Grundierung	1.76		
Kosten / kg	0.15		
Anzahl [l/m ²]	1.76		

¹ Alle Preise und Mengenangaben bilden einen Mittelwert und stammen aus verschiedensten Quellen von Schweizer Firmen. (Stand 2021)

² Erfahrungswert Ausbau (37.-) bis Bereitstellung inkl. Transport (5.-), Reinigung (15.-)

¹ Alle Preise und Mengenangaben bilden einen Mittelwert und stammen aus verschiedensten Quellen von Schweizer Firmen. (Stand 2021)

² Erfahrungswert Ausbau (37.-) bis Bereitstellung inkl. Transport (5.-), Reinigung (15.-)

iedensten

KOSTENVERGLEICH

SICHT-MWK-WAND AUSSEN¹

Ziegelmauerwerk gefliesst
(S.103):

Verbundsteinmauerwerkversiegelt
(S.103):

	[CHF]		[CHF]
Klinker		Re-use Betonverbundstein	
Kosten / m ²	73.5	Materialkosten / m ²	57²
Zementmörtel	19.5	Lehmmörtel	13.65
Kosten / kg	0.5	Kosten / m ²	0.26
kg / l	1.5	Anzahl [kg/m ²]	52.5
l / m ²	26		
Aufwand / m ²			
Mauerwerk			
Ziegelmauerwerk mit Zementmörtel			85
Zementsteinmauerwerk mit Lehmmörtel		(20% Mehraufwand)	102
Wandverkleidung	33.7	Schlemmen	17
Grundputz	6	Fliesen	182
Deckputz	13		
Grundierung	3.7		
Streichen	11		

CO₂ VERGLEICH

MWK-WÄNDE¹

Diagramm (S.105):

MATERIAL	kg/m ²	Rohdichte/m ³	kg CO ₂ eq/kg	kg CO ₂ eq/m ²
Backstein	103.5	900	0.267	27.635
Lehmmörtel ²	52.5	1800	0.023	1.207
Zementmörtel ³	39	1400	0.406	15.834
Fugenmörtel ³	0.9	1400	0.406	0.365
Lehmdeckputz ²	1.56	1800	0.033	0.051
Grundputz ⁴	15.4	925	0.158	2.433
Deckputz ⁵	2.85	1100	0.151	0.430
Versiegelung ⁶	2.5	2500	1.14	2.850
Anstrich ⁷	0.3	-	0.976	0.293
Fliesen ⁸	21.5	2150	0.484	10.400
Fliesenkleber ⁹	1.8	1400	0.406	0.731
Re-use Verbund- steinmauer ¹⁰	247.5	2300	0.005	12.375

¹ Alle Preise und Mengenangaben bilden einen Mittelwert und stammen aus verschiedensten Quellen von Schweizer Firmen. (Stand 2021)

² Erfahrungswert Ausbau (37.-) bis Bereitstellung inkl. Transport (5.-), Reinigung (15.-)

¹ KBOB-Liste, Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2022

² Lehmputz; ³ Baugleber/Einbettmörtel mineralisch; ⁴ Gips-Kalk-Putz; ⁵ Gips- / Weissputz

⁶ Flachglas unbeschichtet; ⁷ Anstrich, Lösemittelverdünnt, 2 Anstriche; ⁸ Kunststeinplatte zementgebunden 10mm; ⁹ Baugleber / Einbettmörtel mineralisch; ¹⁰ Hochbaubeton ohne Armierung (Reuse: 95% CO₂ Einsparung, abzgl. Wasserverbrauch & Energie für Reinigung)

KOSTENVERGLEICH MOCKUP¹

Neubau - Wiederverwendung (Reuse)
(S.136):

MATERIAL	[CHF NEUBAU]	[CHF REUSE]
Verbundstein	534	624
Lehm Deckputz	7	7
Lehm Mörtel	52	52
Stampflehm (UB)	5	5
Brettschichtholz (Träger)	53	0
3-Schicht Platte (Bodenschalung)	137	75
Fenster	160	5
Kunststeinplatte (Fensterbrett)	40	2
Glasfaserdämmung	132	3
Total	1122	773
Einsparung in %		-31%

- Alle Kosten sind Materialkosten, da der Aufwand beim Neubau bzw. Re-Use der gleiche ist.
 - Transport bezogene Kosten sind nicht eingerechnet - Re-Use bezogene Lagerkosten sind nicht eingerechnet
 - Erfahrungswert Ausbau bis Bereitstellung von Betonverbundsteinen (30'/m2; Annahme Stundenlohn 75.-)
 - Materialkosten für Wiederverwendetes Bauteil sind Abhängig der jeweils gemessenen Dauer für den Ausbau (Annahme Stundenlohn 75.-)

¹ Alle Preise und Mengenangaben bilden einen Mittelwert und stammen aus verschiedensten Quellen von Schweizer Firmen. (Stand 2021)

CO₂ VERGLEICH MOCKUP¹

Neubau - Wiederverwendung (Reuse)
(S.137):

MATERIAL	[kg CO ₂ eq/kg]	Volumen	Gewicht	NEUBAU	REUSE
		[m ³]	[kg]	[kg CO ₂ eq]	[kg CO ₂ eq]
Verbundstein ²	0.101	570 Stk.	1881	199	24 ³
Lehmdeckputz ⁴	0.033	0.0038	6.84	0.2	0.2
Lehmmörtel ⁴	0.033	0.3	390	12.9	12.9
Stampflehm (UB)	0.019	0.1	200	3.8	3.8
Balkenschichtholz (4 Träger)	0.343	4x 0.01	18	6.1	0
3-Schicht Platte (Bodenschalung)	0.471	0.058	29	13.6	0
Fensterausschnitt (0.22x0.7m) ⁵	0.157	0.005	2.35	6.6	0
Kunststeinplatte (Fensterbrett)	0.484	0.002	4	1.9	0.1 ⁶
Glasswolle	1.1	0.44	8.8	9.7	0
Total				245	36
Einsparung in %					-85%

- Transport bezogenes CO₂ ist nicht eingerechnet
 - Reuse bezogenes CO₂ für Lagerung ist nicht eingerechnet

¹ KBOB-Liste. Ökobilanzdaten im Baubereich. 2009/1:2022

² Hochbaubeton ohne Armierung; ³ Reuse; -90% CO₂ Einsparung, abzgl. Wasserverbrauch und Energie für Schleifen und Schneiden; ⁴ Lehmputz; ⁵ Holzrahmen, Isolierverglasung 2-Fach, Ug-Wert 1.1 W/m²K, Dicke 24mm³; ⁶ Reuse; -95% CO₂ Einsparung, abzgl. Wasserverbrauch und Energie für Reinigung

4.2

LITERATURVERZEICHNIS

PREFACE

Célia Küpfer, & Corentin Fivet. (2021). Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion: Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche. Zenodo. <<https://doi.org/10.5281/zenodo.5131243>>

European comission, The European Green Deal (2019) <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691> [09.05.2023]

European comission, Waste Framework Directive (2023) <https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en#ref-2023-wfd-revision> [09.05.2023]

Fedlex, Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (2023) <<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/de#toolbar>> [08.05.2023]

Stricker, E. et al. (2021) Bauteile wiederverwenden: ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Edited by E. Stricker et al. Zürich: Park Books.

United Nations Environment Programme (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.

TEXT

Admin.ch. https://www.kbob.admin.ch/dam/kbob/de/dokumente/Themen%20und%20Trends/Oekobilanzen/Empfehlung_Oekobilanzdaten_Baubereich_DT_FR.pdf.download.pdf/Empfehlung_Oekobilanzdaten_Baubereich_DT_FR.pdf (Abruf 05.08.2022)

Auer, Kathrin. „Wilder Wein, Selbstkletternde Jungfernrebe“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.). 19.07.18. <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/wilder-wein-jungfernrebe/wilder-wein-selbstkletternde-jungfernrebe> (Abruf 16.12.21)

bauen.de (Hg.) „Mit Wasserglas Oberflächen versiegeln.“ <https://www.bauen.de/a/mit-wasserglas-oberflaechen-versiegeln.html> (Abruf 16.12.21)

Baunetzwissen (Hg.). „Betonherstellung und Klimaschutz“. Thema: Beton. <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>. (Abruf 16.12.21)

Baunetzwissen (Hg.) „Mauerwerkspfeiler“. Thema: Mauerwerk. <https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/baukonstruktion/mauerwerkspfeiler-2887633> (Abruf 16.12.21)

Bauteilclick.ch. „Useagain: Secondhand-Bauteile & -Möbel“. <https://www.bauteilclick.ch/de/hauptnavigation/info-news/uber-uns-168.html> (Abruf: 17.12.21)

Block, Philippe. „2.6 Formelblatt, Kompendium Tragwerksentwurf I&II – HS20/FS21“. ITA WWBlock Research Group, ETH Zurich, Switzerland. https://block.arch.ethz.ch/eq/files/2.6_1602241312.pdf (Abruf: 12.12.21)

Bundesministerium nachhaltig Bauen Deutschland. <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/methodik-und-anwendung/> (Abruf 10.11.2022)

Bourguignon, Didier. Briefing, Closing the loop, New cyrcular economy package. Europäisches Parlament. Januar 2016.

Bream. Von <https://bregroup.com/products/breem/> abgerufen Circular Economy Switzerland. (08. 08 2022). Von <https://circular-economy-switzerland.ch/wis-sen/> (Abruf 10.11.2022)

Cerabeton Matériaux AG (Hg.). „Produktdatenblatt Beta® Verbundstein“. https://www.creabeton-materiaux.ch/media/documents/VERSETZHINWEISE_F_R_PFL_STERUNGEN_D.PDF

Circular Economy Switzerland (Hg.). „Wissen“. <https://circular-economy-switzerland.ch/wis-sen/> (Abruf

Deplazes, Andrea (Hg.). Architektur Konstruieren, vom Rohmaterial zum Bauwerk - Ein Handbuch. 4. Auflage. Basel: Birkhäuser, 2005

European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI\(2016\)573899_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI(2016)573899_EN.pdf) (Abruf 08. 08 2022)

Ettlin, Markus. Bauphysik I, Akustik. 4. Auflage. Professur für Bauphysik - Prof. Jan Carmeliet. ITA DARCH ETH Zürich. Februar 2015.

Fernandez, Rodrigo und de Wurtemberger, Laurent. In: Roger Boltshauser, Nadja Maillard, Cyrill Veillon (Hg.). Pisé - Stampflehm, Tradition und Potential. Zürich: Triest Verlag, 2020.

Güteschutz Ziegelmontagebau e.V. (Hg.). „Mauertafeln“. <https://www.mauerwerk-fertigteile.de/mauertafeln/einfuehrung> (Abruf: 07.12.21)

Güteschutz Ziegelmontagebau e. V. (Hg.). „Regeln für den Mauertafelbau, Transportsysteme für Mauertafeln, Merkblatt 02“. Fassung 2014-10. https://www.ziegel.de/sites/default/files/2018-12/12014-10-MB02_Transportsysteme.pdf (Abruf: 16.12.21)

Jachomowski, Ines. „Kletterhortensie: Pflegen und schneiden“ Gartenjournal, about:publishing GmbH (Hg.). <https://www.gartenjournal.net/kletterhortensie> (Abruf: 11.12.21)

KBOB-Liste, Ökobilanzdaten im Baubereich. 2009/1:2022.

Leed. <https://www.leedonline.com> (Abruf: 10.11.22)

Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (Hg.). „Kennwerte“. <https://www.lehmtonerde.at/de/lehm/lehm.php?aID=43> (Abruf: 16.12.21)

LSBcolor e.K., Klaus Bormann. Lack.Center:“Produktinformationen“. 2019. <https://hilfe.lack.center/hc/de/articles/360027576992-Erklärung-spezifisches-Gewicht-Dichte>

Madaster. <https://madaster.de> (Abruf 30.09.22)

MATERIAL ARCHIV. „Lehmmörtel“. Verantwortlich: ETHZ, KB, 2014. https://materialarchiv.ch/de/ma:material_1646/ (Abruf: 23.11.21)

Mentlein, Horst. Pflaster Atlas, Planung, Konstruktion und Herstellung. 5. Auflage. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co, 2020.

Menz AG (Hg.). „Kugelstrahlen mit Menz“. <https://menz.ch/angebot/strahltechnik/kugelstrahlen/>

OBI GmbH & Co. Deutschland KG. „Terrassenplatten versiegeln oder imprägnieren?“, <https://www.obide.de/magazin/garten/terrasse/terrasenplatten-versiegeln#Terrassenplattenversiegelnoderimpragnieren> (Abruf: 17.12.21)

PRé Sustainability B.V., Amersfoort, the Netherlands. „5 roads to a circular economy – Part II: Product as a service“ veröffentlicht: 26.05.16, bearbeitet: 18.08.21. <https://pre-sustainability.com/articles/5-roads-to-circular-economy-part-ii-product-as-a-service/> (Abruf 16.12.21)

Scholl, Iris; Zahner, Margot ; Kull, Robert. Stadt Winterthur, Stadtgrün Winterthur. „Bauen mit Natur, Fassadenbegrünung.“ Umweltschutzamt der Stadt St. Gallen, 1996 und Beauftragter für Umweltschutz der Stadt Winterthur (Hg.). Überarbeitete Fassung einer Broschüre der Stadt St. Gallen. 1997. <https://stadt.winterthur.ch/gemeinde/verwaltung/technische-betriebe/stadtgruen-winterthur/downloads/bauen-mit-natur/bauen-mit-natur/fassadenbegrueung-v3.pdf/view> (Abruf 16.12.21)

Siemens, Folkert und Stehr, Sarah. „Gewöhnlicher Efeu“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.). 07.11.12. <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/efeu/gewoehnlicher-efeu> (Abruf 16.12.21)

Siemens, Folkert. „Wilder Wein ‚Veitchii‘, Dreispitzige Jungfernebe“. Mein schöner Garten, Burda Senator Verlag GmbH (Hg.).14.10.18. <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/wilder-wein-jungfernebe/wilder-wein-veitchii-dreispitzige-jungfernebe> (Abruf 16.12.21)

SteinRein – Ihr Reinigungssteinmetz, in Landshut DE. Preisangebot. www.steinrein.com. (Abruf: 23.11.21)

FÉLIX DILLMANN

Félix Dillmann machte seinen Master für Architektur an der ETH und MIT. Als Architekt mit Schwerpunkt in Urban Design begreift er die urbane Umgebung als einen Ort, um multidisziplinäre Praxis zu schaffen und Ressourcensysteme neu zu gestalten. Als Design Thinking Coach und Facilitator für die ETH Sustainability arbeitet er bei verschiedenen projektbasierten Kursen im In- und Ausland, um die SDG's transdisziplinär anzugehen. Zuletzt arbeitete er mit einer NPO in Nepal, um mit wiederverwendeten Materialien Community-Architektur als sozio-ökonomische Motoren aufzubauen.

SOPHIE NUSSBAUMER

Sophie Nussbaumer hat im Jahr 2022 ihr Studium an der ETH abgeschlossen und arbeitet als Architektin in Zürich. Der Master hat sie darin bestärkt und motiviert mit dem Bestand zu arbeiten und Ressourcen, die bereits im Umlauf sind, in den Bauprozess einzubeziehen. Bauteile wieder zu verwenden und sie in einem neuen Kontext zu denken, sieht sie als Zukunft in der Architektur.

LINA VON WALDKIRCH

Lina von Waldkirch studierte Architektur an der ETH und arbeitet heute als Architektin in Zürich. Im Sommer 2022 unterstützte sie den Verein Countdown 2030 für die Ausstellung "Die Schweiz: ein Abriss" im Schweizerischen Architekturmuseum Basel. Ein nachhaltiger Umgang mit Baumaterialien beschäftigt sie seit längerer Zeit. Seit ihrem Semester bei Barbara Buser betrachtet sie eine Wende in der Baubranche in Richtung Kreislaufwirtschaft als unumgänglich und dringend notwendig.

OLIVER ZBINDEN

Oliver Zbinden studierte Architektur im Master an der ETH Zürich. Neben seinem Studium arbeitete er bei zirkular gmbh und erstellte dort Lebenszyklusanalysen von Bauteilen. Mit dem Verein Countdown 2030 organisierte er im Jahr 2022 als Mitglied der Projektleitung die Ausstellung „Die Schweiz: ein Abriss“ im Schweizerischen Architekturmuseum Basel. Die enorme Verantwortung der Baubranche in der Klimakrise motiviert ihn heutige Architekturpraktiken zu hinterfragen und diese nachhaltig zu verändern.

IMPRESSUM

Arbeit im Rahmen des Studio *Selon Arrivage*

Gastdozentur Barbara Buser

Herbstsemester 2021

ETH Zürich

_HERAUSGEBERIN

© 2023 LIBRARY OF REUSE

2. Auflage | Juni 2023

_INHALT, REDAKTION, KONZEPT

Félix Dillmann, Sophie Nussbaumer,

Lina von Waldkirch, Oliver Zbinden

_FOTOGRAFIEN, RENDERINGS

Sophie Nussbaumer

_GRAFIKEN

Lina von Waldkirch

_LEKTORAT, GESTALTUNG

Barbara Buser, Anna Buser