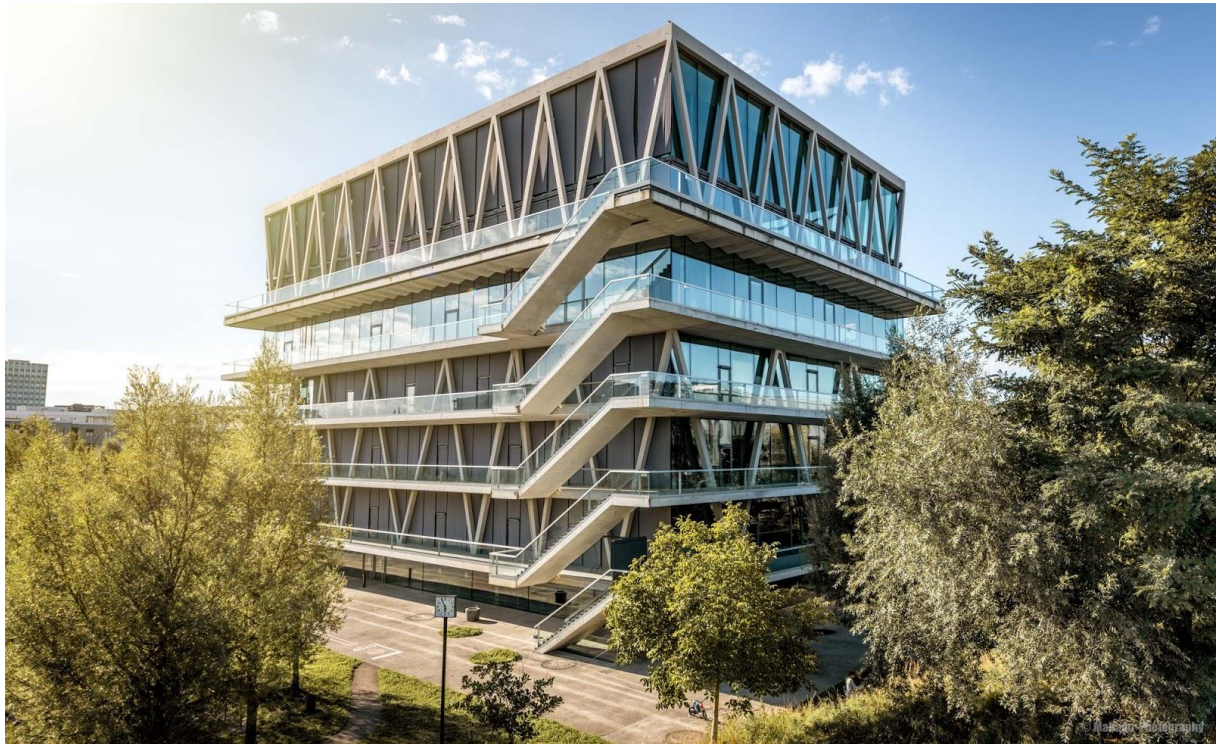


Umweltproblemlösen II
Dokumentation Projektgruppe 13

Unterrichtskonzept zur Sensibilisierung für Recyclingbeton

01. Juni 2018

Saskia Aeschbach, Daniel Andersen,
Fabiana Chiriatti, Emanuel Kissling,
Annina Maier, Tina Sidler

Abbildung Titelblatt: Schulhaus Leutschenbach in Zürich (Mallaun Photography, unbekannt)

Um den Text übersichtlicher zu gestalten, ist bei Wörtern, die eine maskuline und eine feminine Form haben können, nur die maskuline Form erwähnt. Dies ist in keiner Weise diskriminierend zu verstehen und schliesst alle Geschlechter mit ein.

Diese Massnahme wurde von Studierenden des ersten Jahres BSc
Umweltnaturwissenschaften im Rahmen der Veranstaltung Umweltproblemlösen (UPL)
2017/18 entwickelt.

Zusammenfassung

Momentan wird trotz technischer Machbarkeit ein sehr kleiner Teil des aufbereiteten Misch- und Betonabbruchs wieder im Hochbau eingesetzt, was auf die tiefe Akzeptanz von Recyclingbeton zurückzuführen ist (Moser et al., 2004; Van der Haegen, 2018). Um diese zu verbessern, setzt unsere Massnahme bei der sekundären Ausbildung von Bauingenieuren und Architekten an, denn diese behandeln das Thema Recyclingbeton bis jetzt kaum (Steinmann, 2018b).

Unsere Massnahme beinhaltet ein Unterrichtskonzept, in welchem die Lernenden in Gruppen selbständig zu verschiedenen Fragestellungen zum Thema Recyclingbeton recherchieren sowie Experteninterviews führen und sich ihr erarbeitetes Wissen am Schluss gegenseitig vorstellen. Das Unterrichtskonzept ist für die Lerneinheit «Umweltlehre» am Berufsbildungszentrum (BBZ) Luzern für Zeichner EFZ ausgelegt und wird von den wichtigsten Stakeholdern als durchführbar beurteilt, wenn auch mit unterschiedlich grossen Erwartungen an die Wirksamkeit.

Ausgangslage und Ziel

Einsicht

Zurzeit wird in der Schweiz ca. 80 - 85 % des Misch- und Betonabbruchs aufbereitet. Von diesem aufbereiteten Material gelangt jedoch nur 20 % wieder in den Hochbau. (Kaufmann, Maier, Schweiwiller, Strini, & Wiklund, 2017) und dies obwohl ein Grossteil des aufbereiteten Materials eine Qualität aufweist, die für den Hochbau ausreichend wäre (Van der Haegen, 2018).

Durch die geringe Nachfrage nach Recyclingbeton im Hochbau landet ein grosser Teil des aufbereiteten Beton- oder Mischabbruchs in Zwischenlagern oder wird im Tiefbau eingesetzt (Gauch, Matasci, Hincapié, Hörler, & Heinz, 2016).

Um die Nachfrage nach Recyclingbeton zu erhöhen, muss die Bauherrschaft vom Produkt Recyclingbeton überzeugt werden, wobei diese ungenügend bis gar nicht über Recyclingbeton informiert ist. Generell wendet sich die potentielle private Bauherrschaft, um an Wissen über den Hausbau zu gelangen, zuerst an einen Architekten, welcher anschliessend Rücksprache mit einem Bauingenieur hält (Knoeri, Binder, & Althaus, 2011). Häufig raten beide dann aufgrund fehlender Erfahrungen oder Vorurteile gegenüber Recyclingbeton zur Verwendung von Primärbeton (Moser et al., 2004). Dies erklärt die tiefe Nachfrage nach Recyclingbeton und ist eine wichtige Ursache für dessen geringen Anteil im Hochbau.

Problemstellung der Ingenieure und Architekten

Ingenieure und Architekten möchten einen möglichst sicheren und ästhetischen Bau planen. Ihr Entscheidungsspielraum oszilliert zwischen relativ schwammig formulierten Normen und der Einstellung der Bauherrschaft gegenüber Recyclingbaustoffen. Dementsprechend wären eigenen Vorkenntnissen oder Ausbildungsinhalte zu Recyclingbeton für sie wichtig, wobei sie dies jedoch normalerweise nicht haben.

Problemstellung der Ausbildungsinstitute

Die Berufsschulen für angehende Ingenieure und Architekten wollen ihre Lernende möglichst gut auf ihre spätere Arbeit vorbereiten und qualifizierte Arbeitskräfte ausbilden. Dabei ist ökologische Nachhaltigkeit nur ein kleiner Teil der Ausbildung, ausserdem umfasst dieses Thema weit mehr Bereiche als nur Recyclingbeton.

Problemstellung des arv Baustoffrecycling Schweiz

Die Hauptanliegen des arv Baustoffrecycling Schweiz (arv) bestehen darin, die Akzeptanz des Baustoffrecyclings bei Behörden, Bauherren und Unternehmen zu fördern, innovative und marktgerechte Lösungen zu erarbeiten sowie Einfluss auszuüben, um die Umsetzung des Baustoffkreislaufdenkens voranzutreiben (arv, unbekannt).

Ziel

Das Ziel unserer Massnahme ist, die Nachfrage nach Recyclingbeton im Hochbau zu steigern, wodurch weniger hochbaufähiger Recyclingbeton deponiert werden müsste. Diese Erhöhung der Nachfrage versuchen wir zu erreichen, indem unsere Massnahme die Bekanntheit von Recyclingbeton sowohl bei der Bauherrschaft als auch bei Ingenieuren und Architekten steigert. Dadurch kann Recyclingbeton als echte Alternative zu Primärbeton in Betracht gezogen werden, um als Baustoff auch gewählt zu werden, was u.a. auch dem Hauptanliegen des arv entspricht.

Unsere Massnahme spricht direkt nur Architekten und Ingenieure an, weil diese einen sehr grossen Einfluss auf die Betonwahl haben. Denn sie entscheiden, ob ein Projekt mit einer bestimmten Betonart überhaupt umsetzbar ist und geben besonders der privaten Bauherrschaft wichtige Empfehlungen zur Betonwahl ab. Ausserdem realisieren Architekten oder Ingenieure weit mehr Bauvorhaben als ein privater Bauherr, weshalb die Steigerung der Nachfrage nach Recyclingbeton über die Architekten effizienter ist.

Architekten und Bauingenieure wollen wir während ihrer Ausbildung für Recyclingbeton sensibilisieren und zwar schon in der Berufsschule und nicht erst während des Studiums. Grund dafür ist, dass die Lernenden dann einerseits noch besser auf eine Sensibilisierung ansprechen (Konrad, Firk, & Uhlhaas, 2013), andererseits die Integration des Themas «Recyclingbeton» gemäss Rückmeldung von Robert Flatt (2018), Professor am Institut für Baumaterialien an der ETH Zürich, in der sekundären Ausbildung viel einfacher ist als in der tertiären.

Der Nachteil unserer Massnahme ist, dass die Lernenden nach dem Abschluss der Berufsschule noch keinen grossen Einfluss im Entscheidungsprozess haben, ob Primär- oder Sekundärbeton verwendet werden soll. Doch nur schon während der Berufsschule absolvieren 50 Lernende (d.h. 12 %) berufsbegleitend die Matura (Steinmann, 2018a). Dadurch können diese im Anschluss ein Studium machen, womit sie schlussendlich doch einen relativ grossen Einfluss auf die Betonwahl haben (Christen, 2018; Steinmann & Suppiger, 2018).

Mit unserer Massnahme wollen wir ein fertiges Unterrichtskonzept zur Verfügung stellen, welches möglichst viele Lernziele des Berufsbildungs-Lehrplans abdeckt, alle weiterführenden Materialien für die Lehrpersonen beinhaltet, die wichtigen thematischen Schwerpunkte des Recyclingbetons behandelt und von den Lernenden positiv aufgenommen wird. Die ersten beiden Punkte sollen besonders die Attraktivität der Unterrichtseinheit für die

Ausbildungsinstitute steigern, damit sich diese für unser Unterrichtskonzept entscheiden. Die beiden letzten Punkte sind für eine erfolgreiche Sensibilisierung der Lernenden entscheidend.

Stand der Entwicklung

An der BBZ Luzern gibt es für die Fachrichtung Architektur und Ingenieurbau die Unterrichtseinheit Umweltlehre. Dabei wurde das Thema Recyclingbeton jedoch noch nie besprochen (Steinmann & Suppiger, 2018). Vor der Lerneinheit Umweltlehre erhielten die Zeichner EFZ eine A4-Seite zu Recyclingbeton (Steinmann, 2018b). Hierbei handelte es sich um nur sehr spärliche Informationen, die nicht ausreichen, damit sie später Recyclingbeton verwenden könnten.

Laut Laurent Audergon (2018), Geschäftsführer des arv, ist die Aufklärung an Hochschulen über Recyclingbeton sehr im Rückstand resp. kaum vorhanden. Zudem erwähnt Robert Flatt (2018), dass Recyclingbeton ebenfalls nicht gross im Studium thematisiert wird.

Darstellung der Massnahme

Unsere Massnahme beinhaltet ein Unterrichtskonzept für Zeichner EFZ der Fachrichtungen Architektur und Ingenieurbau (siehe Anhang A). Es handelt sich dabei um eine inhaltliche Gestaltung einer Unterrichtseinheit, die bereits im gesamtschweizerischen Bildungsplan zur Verordnung über die berufliche Grundbildung von Zeichner EFZ existiert (Steinmann, 2018a). Das Konzept ist auf das Beispiel des Berufsbildungszentrums Bau und Gewerbe in Luzern ausgerichtet. Dies hat unter anderem den Vorteil, dass dadurch mehr Sensibilisierungsarbeit geleistet werden kann, weil im Kanton Luzern Recyclingbeton im Hochbau viel seltener eingesetzt wird als im Pionierkanton Zürich (Steinmann & Suppiger, 2018). Somit kann die Massnahme in Luzern vermutlich mehr bewirken, gerade auch da in Luzern jährlich etwa 42'000 Tonnen Betonabbruch und 10'000 Mischabbruch angefallen (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2016, S. 35). Die Idee ist jedoch, dass das Konzept schliesslich an allen Berufsschulen in der Deutschschweiz angewendet werden kann.

Wie im Kapitel «Stand der Entwicklung» bereits angetönt, heisst die im Curriculum existierende Lerneinheit Umweltlehre, welche kein eigenes Fach ist, sondern Teil der Fächer «Naturwissenschaftliche Grundlagen» und «Planung». Umweltlehre wird bei der Fachrichtung Architektur im 3. Lehrjahr, bei der Fachrichtung Ingenieurbau im 2. Lehrjahr unterrichtet. Zu diesem Zeitpunkt haben alle Schüler im regulären Unterricht bereits einmal von Recyclingbeton gehört, wenn auch nur sehr oberflächlich. Jedes Jahr wird während sechs Doppelstunden ein anderes Thema des Bereichs Nachhaltigkeit behandelt (Steinmann & Suppiger, 2018). Unser Unterrichtskonzept verändert den Rahmen der Lehrveranstaltung «Umweltlehre» nicht, sondern stellt lediglich eine mögliche inhaltliche Gestaltung rund um das Thema Recyclingbeton dar.

In Absprache mit den Verantwortlichen der beiden Fachrichtungen am BBZ Bau und Gewerbe Luzern, Rita Steinmann und Reto Suppiger, wurde die Unterrichtsgestaltung in erster Linie als selbständige Arbeit konzipiert. Einzig die Einstiegslektion findet im Klassenverband statt, wo die Lernenden das von der UPL-Gruppe 12 entwickelte Brettspiel

zum Thema Recyclingbeton machen. Die Schüler sollen sich das Thema Recyclingbeton danach möglichst selbst erarbeiten. Da es sich aber um ein sehr umfassendes Thema mit vielen verschiedenen, spannenden Aspekten handelt, recherchieren die Lernenden in Gruppen zu einem spezifischen Unterthema und führen mindestens ein Experteninterview dazu. Damit am Schluss trotzdem alle Schüler einen Überblick über das gesamte Themenfeld haben, präsentieren die Gruppen ihre Erkenntnisse in der letzten Doppelstunde jeweils in einem kurzen Vortrag (Steinmann & Suppiger, 2018).

Umsetzung der Massnahme

Im vergangenen halben Jahr wurde das Unterrichtskonzept so genau wie möglich ausgearbeitet, so dass dessen konkrete Umsetzung leicht realisierbar wäre. Damit sich diese Umsetzung für die Lehrpersonen möglichst unkompliziert gestaltet, sind Begleitmaterialien mit weiterführenden Informationen bereits im Unterrichtskonzept zusammengestellt (siehe Anhang A). Diese sind dazu gedacht, dass die Lehrpersonen genügend Hintergrundwissen zum Thema zur Verfügung haben. Die Lehrpersonen können diese Quellen jedoch auch den Schüler abgeben, besonders, wenn diese selber keine geeigneten Quellen finden.

Die verschiedenen Arbeitsaufträge sind so gewählt, dass alle relevanten Aspekte zum Thema Recyclingbeton abgedeckt sind. Ausserdem war bei der Formulierung dieser Aufträge relevant, dass sie sowohl für die Fachrichtung Architektur als auch Ingenieurbau interessant und lösbar sind.

Bei der Auswahl der Exkursion war uns wichtig, dass die Schüler ein Gebäude aus Recyclingbeton sehen. Das aus architektonischer Sicht momentan wohl interessanteste ist, laut Daniel Christen (2018), Architekt des Büro Netwerch, das Leutschenbach-Schulhaus in Zürich (Abb. 1). Der Besuch unserer zweiten Massnahme, der Ausstellung «Recyclingbeton – belastbar, nachhaltig, ästhetisch» soll eine Abwechslung zur Gruppenarbeit bieten und den Lernenden neue Inputs und Motivation liefern.

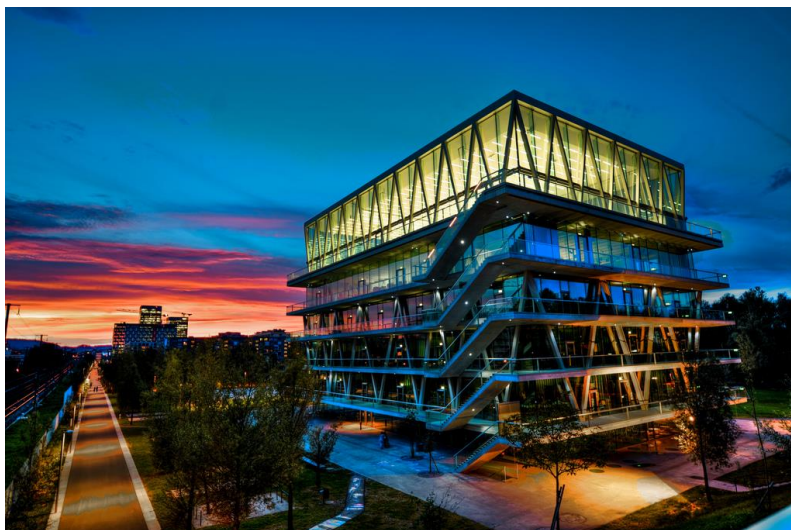


Abb. 1: Ziel der Exkursion, das Schulhaus Leutschenbach (Swissrock, 2010)

Entstehende Kosten und Gewinne

Durch die Massnahme werden keine Mehrkosten entstehen, denn die von uns geplante Änderung in der Umweltlehre betrifft nur den Inhalt des Kurses. Der einzige

kostenverursachende Punkt ist die Exkursion, welche am BBZ Luzern von den Lernenden selber getragen werden. Zusätzlich muss zwar das Spiel für die Einführungslektion erworben werden, das aber nur etwa 40 Fr. kostet (Schnegg, 2018).

Nachhaltigkeit der Massnahme

Im Folgenden wird unsere Massnahme anhand von vier MONET-Indikatoren sowie einer Ökobilanz auf ihre Nachhaltigkeit beurteilt. Folgende Indikatoren wurden einbezogen, um unser Ziel, den vermehrten Einsatz von Recyclingbeton im Hochbau, auf seine Nachhaltigkeit zu beurteilen:

1. Bildung Nachhaltigkeit
2. Material-Fussabdruck
3. Materialintensität
4. Gütertransportintensität

Durch unsere Massnahme steigt der erste Indikator, also die Zahl der Personen, die auf Nachhaltigkeit sensibilisiert werden. Dadurch resultiert eine nachhaltigere Situation.

Beim zweiten Indikator kommen wir zum Schluss, dass der Rohstoffverbrauch abnimmt. Dabei gilt, dass der Fussabdruck umso kleiner wird, je grösser der Anteil an recyceltem Material und je kleiner der Zementanteil im Recyclingbeton ist.

Beim dritten Indikator wird die gleiche volkswirtschaftliche Leistung mit weniger Ressourcen erbracht, d.h. der Indikator verändert sich in eine nachhaltigere Richtung.

Wie sich der letzte Indikator, welcher die Transportleistung im Verhältnis zum BIP angibt, verändert, ist sehr situationsabhängig, weshalb zur Veränderung des Indikators keine abschliessende Aussage gemacht werden kann.

Insgesamt wird das Ziel unserer Massnahme, der erhöhte Einsatz von Recyclingbeton, vermutlich eine nachhaltigere Situation entstehen lassen. Dabei gilt es zu beachten, dass es sehr stark von den einzelnen Projekten abhängt, in wie grossem Masse dies der Fall sein wird. Auch durch die Ökobilanz kommt man zu keinem klaren Schluss über die Nachhaltigkeit von Recyclingbeton (siehe Anhang B).

Massnahme in System

Wie unserem Ziel im Kapitel «Ausgangslage und Ziel» entnommen werden kann, ist unser System auf die Nachfrage nach Recyclingbeton im Hochbau ausgerichtet. Die Massnahme steigert die Nachfrage über eine Kette von verschiedenen Faktoren. Sie setzt beim Informationsstand der Architekten und Ingenieuren an und erhöht diesen. Wenn diese Stakeholder mehr über Recyclingbeton wissen und sie ihre Materialwahl nicht mehr von Vorurteilen gegenüber Recyclingbeton beeinflussen lassen, steigt deren Akzeptanz gegenüber diesem Baustoff. Dadurch werden sie sich gegenüber der Bauherrschaft mehr für Recyclingbeton aussprechen und somit deren Akzeptanz ebenfalls erhöhen. Des Weiteren steigt die Nachfrage nach Recyclingbeton (Abb. 2).

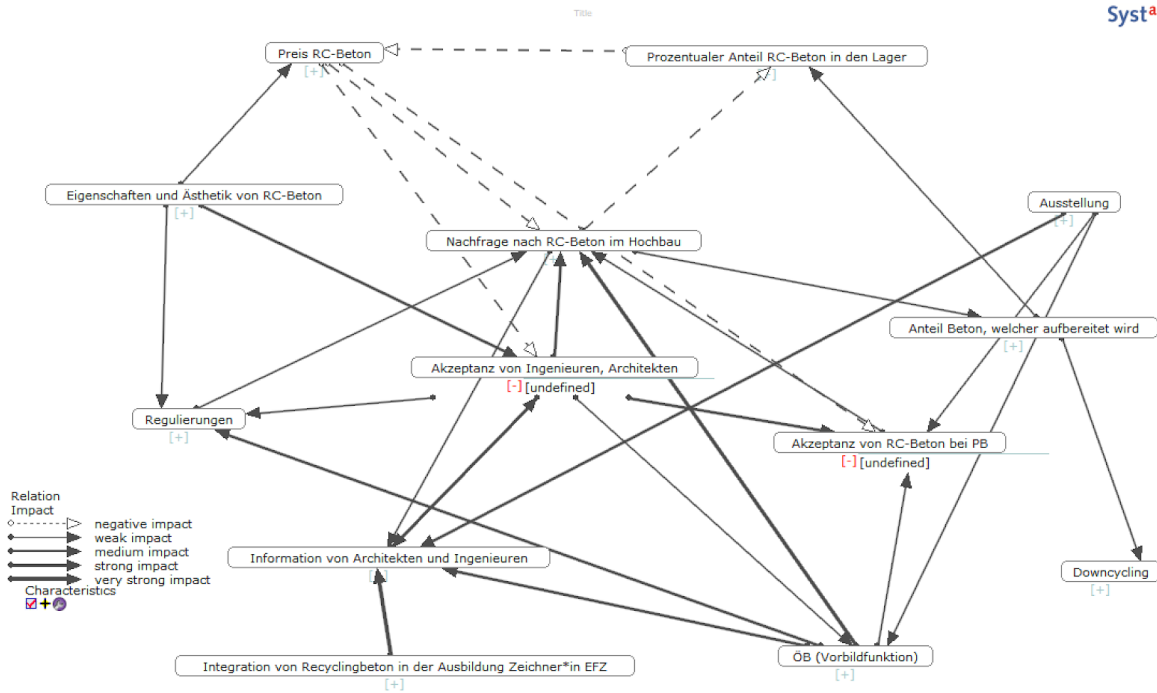


Abb. 2: Das Systemmodell, welches die gegenseitigen Einflüsse der Variablen zeigt (eigenen Darstellung)

Die Massnahme ist nicht sehr effizient, wie Abb. 3 zeigt. Dafür weist sie einige Effekte auf, welche die Nachfrage indirekt ebenfalls erhöhen können. Des Weiteren ist ein Ansatz bei der Bildung meist relativ nachhaltig, d.h. über längere Zeit wirksam.

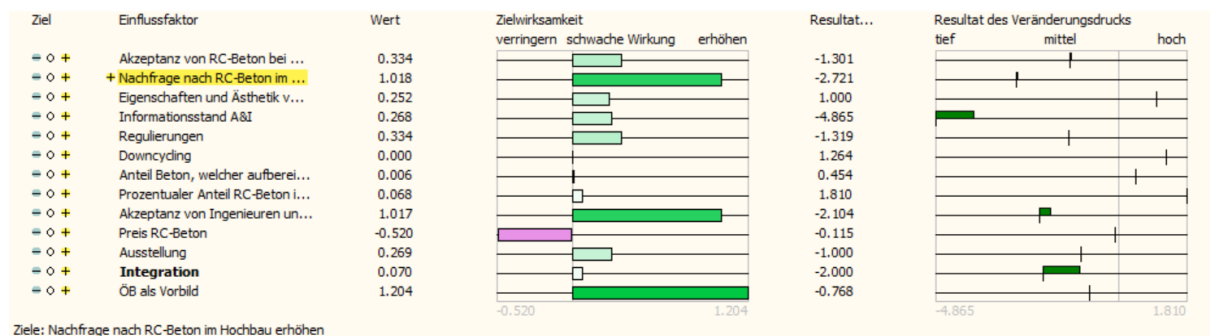


Abb. 3: Die tiefe Zielwirksamkeit der Variable «Integration in der Ausbildung» (eigene Darstellung)

Zudem wird die Massnahme durch unsere zweite Massnahme, die Ausstellung «Recyclingbeton – belastbar, nachhaltig, ästhetisch» unterstützt. Diese setzt im Prinzip am gleichen Punkt an wie die Integration in der Ausbildung (Abb. 2), könnte aber auch die Akzeptanz bei der Bauherrschaft fördern, da die Ausstellung auch diese Stakeholdergruppen direkt anspricht. Somit ist die Ausstellung kurzfristig effektiver als die Integration in die Ausbildung, letztere ist jedoch vermutlich längerfristig wirksam. Die zwei Massnahmen ergänzen sich demnach optimal (siehe Anhang C).

Weiteres Vorgehen

Für die konkrete Umsetzung unserer Massnahme müssten wir unser Konzept nochmals Rita Steinmann und Reto Suppiger vorlegen und allenfalls abändern. Danach müsste wir zusammen mit den Lehrpersonen, welche unser Unterrichtskonzept dann auch nutzen, den Unterricht aus didaktischer Sicht planen, weil wir uns bisher nur auf den thematischen Inhalt konzentriert haben. Dies müsste möglichst schnell, spätestens aber bis Ende 2018 geschehen. Reto Suppiger hat uns bereits jetzt angeboten, unser Unterrichtskonzept anschliessend mit einer Pilotklasse am BBZ in Luzern zu testen, was voraussichtlich im Frühling 2019 stattfinden könnte (Steinmann & Suppiger, 2018). Dank dem Feedback der Klasse und der Lehrperson könnten wir - beispielsweise in Zusammenarbeit mit einem Lehrspezialisten - unsere Massnahme nochmals überarbeiten und verbessern. Danach wäre ein Einsatz am BBZ in Luzern möglich.

Der letzte Schritt bestünde dann darin, dass unser Unterrichtskonzept nicht nur am BBZ Luzern, sondern an weiteren Berufsbildungszentren in der deutschsprachigen Schweiz mit dem Lehrgang Zeichner EFZ Fachrichtung Architektur sowie Fachrichtung Ingenieurbau zur Verfügung gestellt würde. Dabei würden wir am besten über Rita Steinmann oder Reto Suppiger den Kontakt zu weiteren Schulen suchen und ihnen von den Erfahrungen berichten, welche in Luzern gemacht wurden.

Die anfallenden Kosten sind, wie im Kapitel «Beschreibung der Massnahme» schon erwähnt, sehr tief und somit nicht relevant für das weitere Vorgehen.

Fazit

Im Systemmodell wird ersichtlich, dass die Massnahme nicht sehr wirksam ist, weshalb die neue Situation durch unsere Massnahme nicht zwingend nachhaltiger sein muss. Dies widerspiegelt sich auch in der Kritik, die wir von Fachpersonen erhalten haben. Gleichzeitig ist es unserer Ansicht nach aber schwierig, an wirksameren Punkten im System anzuknüpfen, da beispielsweise eine Veränderung der Normen nach Martin Tschan vom BAFU (2018) praktisch nicht möglich ist.

Es wird aber sicherlich ein Bewusstsein für Nachhaltigkeit in der Zielgruppe Architekten und Ingenieure geschaffen, was als Grundstein für nachhaltiges Verhalten erachtet werden kann. Laut Reto Suppiger (2018) könnten wir das Unterrichtskonzept mit einer Pilot-Klasse am BBZ Luzern testen und anschliessend nochmals entsprechend verbessern. Danach könnte man die Massnahme vielleicht wirklich an mehreren Schulen durchführen, um dadurch mehr Leute zu erreichen. Dadurch würde die momentane Situation, wenn auch nur in beschränktem Masse, positiv verändert.

Referenzen

- arv. (unbekannt). Über uns: Unsere Vision: Kreislaufwirtschaft als Fundament der Schweiz. Zugriff am 15.05. Abgerufen von <http://www.arv.ch/de/1024/Verband.htm-a-0>.
- Audergon, L. (2018, 12.04.). Stakeholdertreffen [persönliche Mitteilung].
- Bundesamt für Statistik. (2017, 17.10.). MONET – Gütertransportintensität. Zugriff am 14.05. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet/alle-nach-themen/produktion-konsum/materialintensitaet.html>.
- Bundesamt für Statistik. (2018a, 26.03.). MONET – Material-Fussabdruck. Zugriff am 14.05. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet/alle-nach-themen/produktion-konsum/material-fussabdruck.html>.
- Bundesamt für Statistik. (2018b, 26.03.). MONET – Materialintensität. Zugriff am 23.05. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet/alle-nach-themen/produktion-konsum/materialintensitaet.html>.
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2016). *Energie- und Ressourcen-Management GmbH*. Abgerufen von: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/externe-studien-berichte/studie_bauabfaelle_tiefbau_2015.pdf.download.pdf/Bericht_Tiefbau_Endversion.pdf
- Christen, D. (2018, 07.05.). Stakeholdertreffen [persönliche Mitteilung].
- Flatt, R. J. (2018, 18.04.). Stakeholdertreffen [persönliche Mitteilung].
- Gauch, M., Matasci, C., Hincapié, I., Hörler, R., & Heinz, B. (2016). *Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz (Projekt MatCH)*. Abgerufen von:
- Kaufmann, A., Maier, A., Schweißwiller, M., Strini, L., & Wiklund, K. (2017). *Teilanalyse Stoffflussanalyse und Ökobilanz Gruppe 2*. Abgerufen von:
- Knoeri, C., Binder, C. R., & Althaus, H.-J. (2011). *Decisions on recycling: Construction stakeholders' decisions regarding recycled mineral construction materials*. Abgerufen von:
- Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E., & Althaus, H.-J. (2013). *Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications*. Abgerufen von:
- Konrad, K., Firk, C., & Uhlhaas, P. J. (2013). Hirnentwicklung in der Adoleszenz. Zugriff am 23.05. Abgerufen von <https://www.aerzteblatt.de/archiv/141049/Hirnentwicklung-in-der-Adoleszenz-Neurowissenschaftliche-Befunde-zum-Verstaendnis-dieser-Entwicklungsphase?s=Adoleszenz>.
- Mallaun Photography. (unbekannt). Schoolhouse Leutschenbach. Zugriff am 01.06. Abgerufen von http://www.mallaun.ch/7185194/schulhaus_leutschenbach.
- Moser, K., Bertschinger, H., Hugener, M., Kramer, H., Richner, P., & Richter, K. (2004). *Baustoffmanagement 21*.
- Schnegg, L. (2018, 16.05.). Besprechung über Zusammenarbeit unserer Massnahmen mit UPL-Gruppe 12 [persönliche Mitteilung].
- Steinmann, R. (2018a, 21.05.). E-Mail zum Aufbau der Lerneinheit Umweltlehre [persönliche Mitteilung].
- Steinmann, R. (2018b, 28.03.). E-Mail zum Vorwissen über Recyclingbeton [persönliche Mitteilung].
- Steinmann, R., & Suppiger, R. (2018, 04.05.). Stakeholdertreffen [persönliche Mitteilung].
- Swissrock. (2010, 14.09.). Schulhaus Leutschenbach Zürich Schwamendingen Nord. Zugriff am 01.06. Abgerufen von <https://www.flickr.com/photos/swissrunner/4991010356>.
- Tschan, M. (2018, 12.01.). Rückmeldung zum Prototypenmarkt [persönliche Mitteilung].
- Van der Haegen, P. (2018, 9.5.). Stakeholdertreffen [persönliche Mitteilung].

Anhang

Anhang A

UNTERRICHTSKONZEPT ZEICHNER*INNEN EFZ

FACHRICHTUNGEN ARCHITEKTUR UND
INGENIEURBAU



Saskia Aeschbach, Daniel Andersen, Fabiana Chiriatti, Emanuel Kissling, Annina
Maier, Tina Sidler

Inhalt

1. INHALT.....	13
2. ZEITPLAN.....	13
3. LEKTION 1 & 2.....	14
4. PROJEKTARBEIT.....	14
3.1 BEURTEILUNGSKRITERIEN.....	16
4. EXKURSION.....	17
5. EVALUATION.....	18
6. BEGLEITMATERIAL FÜR LEHRPERSONEN.....	18
6.1 BEGLEITMATERIAL FÜR DIE EINFÜHRUNGSLEKTION.....	18
6.2 BEGLEITMATERIAL ZU DEN ARBEITSAUFTRÄGEN.....	18
6.3 BEGLEITMATERIAL FÜR DIE EXKURSION.....	21
7. ANHANG.....	23
7.1 AUFTRÄGE PROJEKTARBEIT.....	23
7.2 BEGLEITMATERIAL FÜR LEHRPERSONEN.....	30
7.3 FRAGEBÖGEN ZUR EVALUATION.....	45

Quelle:

Abbildung Titelblatt: Eigenfotografie

Umweltlehre: Recyclingbeton

UNTERRICHTSKONZEPT FÜR ANGEHENDE ZEICHNER*INNEN EFZ
(FACHRICHTUNGEN ARCHITEKTUR UND INGENIEURBAU)

1. INHALT

Im Verlaufe der letzten ein bis zwei Jahre haben die Lernenden bereits viele Inputs zu Ökologie bzw. Nachhaltigkeit erhalten. Im Rahmen des Fachs Umweltlehre sollen sich die Schüler*innen in diesem Jahr mit dem Thema Recyclingbeton beschäftigen. Nach einem kurzen Input wird diese Lehrveranstaltung zum grössten Teil aus der selbständigen Erarbeitung eines Themas bestehen. Dabei werden sich die Lernenden in Gruppen mit einem Aspekt von Recyclingbeton vertieft auseinandersetzen. Zum Schluss des Kurses werden die Gruppen ihre Erkenntnisse präsentieren. Optional kann auch eine Exkursion durchgeführt werden.

2. ZEITPLAN

Datum	L1	Einleitung, Spiel zum Baustoffkreislauf
	L2	Auftrag Projektarbeit, Gruppeneinteilung
Datum	L3	selbständige Arbeit am Projekt
	L4	selbständige Arbeit am Projekt
Datum	L5	Besprechung mit der Lehrperson, selbständige Arbeit am Projekt
	L6	Besprechung mit der Lehrperson, selbständige Arbeit am Projekt
Datum	EXKURSION	
Datum	L9	selbständige Arbeit am Projekt

	L10	selbständige Arbeit am Projekt
Datum	ABGABE DER PROJEKTARBEIT	
Datum	L11	Präsentation der Projektarbeiten
	L12	Präsentation der Projektarbeiten, Abschluss

3. LEKTION 1 & 2

Die erste Doppelstunde ist in drei Teile gegliedert:

1. Den Lernenden wird der Lernplan für die nächsten zwölf Lektionen vorgestellt (siehe Kapitel 2 Zeitplan). Danach füllen sie den Fragebogen zu Lektion 1 aus (siehe Kapitel 7.3 *Fragebögen zur Evaluation*) 15min
2. Baustoffkreislauf: Spiel von einer anderen UPL-Gruppe (Gruppe 12) zu Recyclingbeton im Baustoffkreislauf. 60min
3. Die Lernenden müssen fünf Gruppen bilden. Anschliessend erhält jede Gruppe den Auftrag zu ihrer Projektarbeit (siehe Kapitel 4 *Projektarbeit* und Kapitel 7.1 *Aufträge Projektarbeit*), den sie in den nächsten sechs Lektionen bearbeiten sollen. 15min

4. PROJEKTARBEIT

Recyclingbeton ist ein sehr umfangreiches Themenfeld mit zahlreichen verschiedenen Gesichtspunkten. Die Lernenden sollen sich deshalb mit einem Aspekt vertieft auseinandersetzen und diesen in der abschliessenden Präsentation auch den anderen Schüler*innen näherbringen.

Die zur Auswahl stehenden Themenbereiche sind im Folgenden aufgelistet:

- Wo im Hochbau kann Recyclingbeton eingesetzt werden? Was wurde bisher mit Recyclingbeton gebaut und wie waren die Erfahrungen damit?
- Warum wird von welcher Seite nichts unternommen, um Recyclingbeton zu fördern? (Perspektive der Architekten, Ingenieure, Bauherren)
- Wie wird Recyclingbeton hergestellt? Für den Standort Ihres letzten Projektes: Ist Recyclingbeton oder Primärbeton preisgünstiger?

- Was gilt es bei der Verwendung von Recyclingbeton zu beachten und welche Einschränkungen bestehen? Gibt es zwischen einer fertigen Wand aus Primär- und Recyclingbeton Unterschiede?
Was muss beim Umgang mit Recyclingbeton während dem Bau beachtet werden? Welche Schwierigkeiten gibt es? Welche Methoden sind möglich?
- Inwiefern ist Recyclingbeton nachhaltiger als Primärbeton? (Ökobilanz) Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Recyclingbeton nachhaltiger als Primärbeton ist? (Was sind andere Vorteile, die für Recyclingbeton sprechen?)

Die Handouts zu den genauen Aufträgen sind im Anhang zu finden.

3.1 BEURTEILUNGSKRITERIEN

Inhalt Gewichtung: 30 %

- Sie haben die Fragestellung beantwortet
- Sie haben ein Interview mit einer Fachperson geführt und in die Arbeit einbezogen
- Sie haben sorgfältig recherchiert und geben Fakten korrekt wieder

Selbständigkeit Gewichtung: 30 %

- Sie organisieren ihre Gruppe und machen eine sinnvolle Aufgabenteilung
- Sie zeigen Eigeninitiative
- Wenn Fragen auftauchen, versuchen Sie zuerst, diese selbst zu beantworten, und holen sich falls nötig Hilfe

Formales Gewichtung: 20 %

- Quellen werden korrekt zitiert
- Die Arbeit ist gut strukturiert
- Die Arbeit ist schön gestaltet

Präsentation Gewichtung: 20 %

- Die Präsentation enthält die wichtigsten Erkenntnisse Ihrer Arbeit
- Sie sprechen frei und in einem angenehmen Tempo
- Fragen zu Ihrer Projektarbeit beantworten Sie kompetent

4. EXKURSION

Exkursionen können den Lernenden neue Perspektiven eröffnen und aufzeigen, dass das von ihnen bearbeitete Thema aktuell und relevant ist. Deshalb wird hier beispielhaft der Plan für eine Exkursion gezeigt.

Lernziele

- Die Lernenden erhalten einen groben Überblick über die Geschichte, Herstellung und Verwendung von Recyclingbeton
- Die Lernenden kennen ein Beispiel eines mit RC-Beton errichteten Gebäudes

Inhalt

- Besuch der Ausstellung «Recyclingbeton – belastbar, nachhaltig, ästhetisch»
- Besichtigung des Schulhauses Leutschenbach

Programm

08:10	Abfahrt Zug in Luzern
08:56	Ankunft in Zürich
09:11	Tram 14 bis Zürich Werd, 5 Minuten zu Fuss zur Schweizer Baumuster-Centrale Zürich
09:30	Besichtigung Ausstellung «Recyclingbeton – belastbar, nachhaltig, ästhetisch»
11:15	Mittagspause
12:14	Tram 14 nach Zürich Oerlikon
12:40	Besichtigung Schulhaus Leutschenbach, Lehrperson informiert über weitere Projekte aus Recyclingbeton (z.B. Letzigrund, Schulhaus Im Birch, Triemli)
13:52	Abfahrt Zug in Zürich Oerlikon
14:49	Ankunft in Luzern

5. EVALUATION

Ziel dieser Lerneinheit ist es, angehende Zeichner*innen für Recyclingbeton zu sensibilisieren. Um zu überprüfen, ob und in welchem Masse dieses Ziel erfüllt wird, können die Lernenden in der ersten sowie in der letzten Lektion je einen Fragebogen ausfüllen. Die beiden Fragebögen sind im Anhang unter *7.3 Fragebögen zur Evaluation* aufgeführt.

6. BEGLEITMATERIAL FÜR LEHRPERSONEN

Im Anhang sind einige Unterlagen zusammengestellt, die der Lehrperson als Unterstützung dienen können. Beispielsweise können den Gruppen Texte als Hilfestellung oder als Selbstkontrolle, ob sie mit der selbständigen Recherche auf dem richtigen Weg sind, ausgeteilt werden.

Die Unterlagen, die wir selbst zusammengestellt und bearbeitet haben, sind als Text im Anhang zu finden (*7.2 Begleitmaterial für Lehrpersonen*). Zu Dokumenten, die wir als nützlich empfinden, die aber nicht von uns stammen, ist jeweils ein Verweis zu finden. Nachfolgend ist eine Übersicht über das Begleitmaterial zusammengestellt.

6.1 BEGLEITMATERIAL FÜR DIE EINFÜHRUNGSLEKTION

- **Baustoffkreislauf & Notwendigkeit von Recyclingbeton** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Dokumentation der UPL-Gruppe 12**

6.2 BEGLEITMATERIAL ZU DEN ARBEITSAUFTRÄGEN

Zum Auftrag 1 gehöriges Begleitmaterial für Lehrpersonen:

- **Eigenschaften von Recyclingbeton** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)

- **SIA - Merkblatt Recyclingbeton¹**
Ergänzung zur Norm SIA 262, um den Einsatz von Recyclingbeton zu fördern. Enthält viele wichtige, grundlegende Definitionen und Erklärungen sowie die Normen zum Einsatz von Recyclingbeton.
- **Recyclingbeton aus Mischabbruchgranulat – Das «Richi-Haus» in Weiningen (ZH)²**
Beispiel für ein Gebäude, welches fast ausschliesslich aus Mischabbruchgranulat hergestellt wurde.
- **Schulhaus Im Birch**
 - Tagesanzeiger-Bericht³
 - Architekturpaper⁴Beispiel für eine Schulanlage, welche grösstenteils aus Recyclingbeton gebaut wurde. Besonders ist, dass der Recyclingbeton im Innern der Schule häufig als Sichtbeton vorkommt. Ausführliche Informationen auch aus Architektursicht.
- **Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat⁵, S.24 - 26**
Erklärt die Unterschiede zwischen Recyclingbeton und Primärbeton und wie sich diese Unterschiede auf den Einsatzbereich von Recyclingbeton auswirken.

Zum Auftrag 2 gehöriges Begleitmaterial für Lehrpersonen:

In diesem Bereich gibt es nur eine sehr beschränkte Auswahl an Fachliteratur. Deshalb lohnt es sich, die Gruppe zu motivieren, möglichst schnell und möglichst viele Experteninterviews zu führen.

- **Usic zeigt bei Eberhard das Potenzial der Wiederverwertung⁶**
Die Schweizerische Vereinigung Beratender Ingenieurunternehmungen usic setzt sich für Baustoffrecycling ein. Neben der Problematik der begrenzten Ressourcen werden auch einige Gründe thematisiert, warum Recyclingbeton noch nicht so häufig eingesetzt wird.
- **Die Nachfrage nach Recycling-Beton könnte besser sein⁷**
In diesem Artikel wird der tiefe Preis von Kies sowie das schlechte Image von Recycling im Allgemeinen als Grund für die mangelnde Nachfrage nach Recyclingbeton genannt.
- **Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat⁵, S.28**
Hier ist eine Auflistung von Bereichen, bei denen noch Untersuchungsbedarf herrscht, zu finden.

¹ <https://www.dora.lib4ri.ch/empa/islandora/object/empa%3A1004/datastream/PDF/view>

² http://www.richi-weiningen.ch/rich/files/RCB_RichiHaus_D.pdf

³ <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/Fachstellen/Ingenieurwesen/Recyclingbeton.pdf>

⁴ <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/schulen/imbirch/Architektur/Dokumente/LinkClick.pdf>

⁵

https://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewiPtBOM66rbAhVRmbQKHOUA1kQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cemsuisse.ch%2Fcmsuisse%2Fforschung%2Fforschungsbereichte%2Fberichte_2011%2Findex.html%3Fclang%3Dde%26download%3DNHHzLpZeg7t%2Clnp6I0NTU04212Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCDe4B3gmym162epYbg2c_JiKbNoKSn6A-&usq=AOvVaw1yX9VS4HOKftCU5QH0caQn

⁶ https://www.usic.ch/de/Verband/Medien/Medienmitteilungen/2018_04_04_mm_Recycling_Baustoff_der_Zukunft_d.pdf

⁷ <http://www.schweizerbauwirtschaft.ch/2017/10/die-nachfrage-nach-recycling-beton-koennte-besser-sein/>

Zum Auftrag 3 gehöriges Begleitmaterial für Lehrpersonen:

- **Herstellung von Recyclingbeton** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Ökobilanz** (Unterkapitel *Transport*, siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat⁵**
Material und Methoden (Recycling-Gesteinskörnung, Betonherstellung S. 11-14).
Empfehlungen für die Praxis (Betonherstellung/Frischbetoneigenschaften von RC-M, Festbetoneigenschaften von RC-M S. 24)
- **SIA - Merkblatt Recyclingbeton⁸**
Recyclinggesteinskörnung, stoffliche Zusammensetzung (S. 1-2)

Zum Auftrag 4 gehöriges Begleitmaterial für Lehrpersonen:

In diesem Bereich gibt es nur eine sehr beschränkte Auswahl an Fachliteratur. Deshalb lohnt es sich, die Gruppe zu motivieren, möglichst schnell und möglichst viele Experteninterviews zu führen.

- **Mögliche Ansprechpersonen**
 - Eberhard Recycling - Baufirma, welche Recyclingbeton herstellt und auch einsetzt
 - KIBAG RE - Baufirma, welche Recyclingbeton herstellt und auch einsetzt
 - Richi Weiningen AG- Baufirma, welche Recyclingbeton herstellt und auch einsetzt
 - Empa, Abteilung Ingenieur-Strukturen (Cathleen Hoffmann) - Forschungsstelle, welche sich auch mit Recyclingbeton befasst
 - Hochschule Luzern, Institut für Bauingenieurwesen - Forschungsstelle, welche sich auch mit Recyclingbeton befasst
 - ETH Zürich, D-BAUG (Robert Flatt, Guillaume Habert) - Forschungsstelle, welche sich auch mit Recyclingbeton befasst
 - Polier, Maurer, Baumeister..., welche schon mit Recyclingbeton gearbeitet haben
 - Hausbesitzer, welche in einem Haus aus Recyclingbeton wohnen
- **Recyclingbeton – Materialarchiv⁹**
Informationsblatt mit sehr vielen Informationen über Recyclingbeton, auf S. 5 - 6 hat es wenige Informationen zur Bearbeitung und Anwendung
- **Grosses Potential für Konstruktionsbeton aus Mischabbruch im Hochbau¹⁰**
Beispiel des Richi-Gebäude, wo aus Mischabbruch hochbaufähiger Konstruktionsbeton hergestellt wurde, Fokus liegt auf den Zusatzstoffen und den daraus resultierenden Eigenschaften des RC-Mischabbruchgranulats

⁸ <https://www.dora.lib4ri.ch/empa/islandora/object/empa%3A1004/datastream/PDF/view>

⁹ <http://www.materialarchiv.ch/app-tablet/#detail/1521>

¹⁰ <http://www.richi-weiningen.ch/rich/files/Konstruktionsbeton%20aus%20Mischabbruch.pdf>

Zum Auftrag 5 gehöriges Begleitmaterial für Lehrpersonen:

- **Eigenschaften von Recyclingbeton** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Ökobilanz** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Ökobilanzen im Überblick¹¹**
Als Einführung in die Ökobilanz
- **SIA - Merkblatt Recyclingbeton¹²**
Ergänzung zur Norm SIA 262, um den Einsatz von Recyclingbeton zu fördern. Enthält viele wichtige, grundlegende Definitionen und Erklärungen sowie die Normen zum Einsatz von Recyclingbeton.
- **Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat¹³**, S.24 - S. 26
Erklärt die Unterschiede zwischen Recyclingbeton und Primärbeton und wie sich diese Unterschiede auf den Einsatzbereich von Recyclingbeton auswirken.
- **Faktor - Beton¹⁴**, S. 21-22
Betongranulat und Mischgranulat, Ist Recyclingbeton nachhaltig?

6.3 BEGLEITMATERIAL FÜR DIE EXKURSION

- **Fragebogen zur Ausstellung «Beton – belastbar, nachhaltig, ästhetisch»** (siehe Kapitel 7.2 *Begleitmaterial für Lehrpersonen*)
- **Schulhaus Im Birch**
 - Tagesanzeiger-Bericht¹⁵
 - Architekturpaper¹⁶Beispiel für eine Schulanlage, welche grösstenteils aus Recyclingbeton gebaut wurde. Besonders ist, dass der Recyclingbeton im Innern der Schule häufig als Sichtbeton vorkommt. Ausführliche Informationen auch aus Architektursicht.
- **Schulhaus Leutschenbach¹⁷**
Auf S. 55 geht es spezifisch um Recyclingbeton.

¹¹ <http://www.gesundes-haus.ch/oekobilanz/oekobilanzen-im-ueberblick.html>

¹² <https://www.dora.lib4ri.ch/empa/islandora/object/empa%3A1004/datastream/PDF/view>

¹³

https://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewiPtBOM66rbAhVRmbQKHOUA1kOFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cemsuisse.ch%2Fcemsuisse%2Fforschung%2Fforschungsberichte%2Fberichte_2011%2Findex.html%3Fiang%3Dde%26download%3DNHHzLpZeg7t%2Clnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qzpnO2Yuuq2Z6gpJCDe4B3gmym162epYbg2c_JiKbNoKSn6A--&usq=AOvVaw1yX9VS4HOKftCU5QH0caQn

¹⁴ <http://www.betonsuisse.ch/Publikationen/Faktor-Beton/>

¹⁵ <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/Fachstellen/Ingenieurwesen/Recyclingbeton.pdf>

¹⁶ <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/schulen/imbirch/Architektur/Dokumente/LinkClick.pdf>

¹⁷ http://www.daemtech.ch/daemtech_content/_download/BIB_leutschenbach_09_10.pdf

- **Stadion Letzigrund**¹⁸
Zahlen und Fakten über Volumen des Rückbaumaterials etc.
- **Ressourcenstrategie «Bauwerk Stadt Zürich»**¹⁹
Übersicht über die Bauwerke, welche die Stadt Zürich mit Recyclingbeton gebaut hat. Dabei liegt der Fokus auf der Ressourcenbewirtschaftung der mineralischen Baustoffflüsse der Stadt Zürich und die nachhaltigen Effekte wie verkürzte Transportwege oder weniger Graue Energie, welche daraus resultieren.

¹⁸ <https://www.stadionletzigrund.ch/de/zahlenfakten>

¹⁹ http://www.energie-ressourcen.ch/Downloads/Ressourcenstrategie_Stadt_Zuerich.pdf

7. ANHANG

7.1 AUFTRÄGE PROJEKTARBEIT

Arbeitsauftrag Gruppe 1

Fragestellung

Wo im Hochbau kann Recyclingbeton eingesetzt werden? Was wurde bisher mit Recyclingbeton gebaut und wie waren die Erfahrungen damit?

Aufgabe

Recherchieren Sie, wo im Hochbau Recyclingbeton eingesetzt werden kann. Versuchen Sie herauszufinden, welche Sorte unter welchen Voraussetzungen an welchen Stellen (in welchen Expositionsclassen) eingesetzt werden kann.

Ebenfalls sollten Sie sich damit beschäftigen, ob bereits Gebäude aus Recyclingbeton gebaut wurden und falls ja, wo und wie viel Recyclingbeton dabei eingesetzt wurde. Versuchen Sie herauszufinden, ob es dabei gewisse Komplikationen gab und wie die Langzeiterfahrung mit Recyclingbeton aussieht.

Gehen Sie bei der Beantwortung Ihrer Fragestellung auch auf die unterschiedlichen Arten von Recyclingbeton, sprich Recyclingbeton aus Mischgranulat und Recyclingbeton aus Betongranulat ein und bringen Sie in Erfahrung, wie sich diese beiden in Bezug auf Ihre Frage unterscheiden.

Ihre Erkenntnisse geben Sie in einer Arbeit wieder. Ihr Text soll ca. 10'000 Zeichen mit Leerzeichen umfassen. Achten Sie darauf, dass in Ihrer Arbeit die obenstehende Fragestellung beantwortet wird. Als Teil der Recherche sollen Sie zudem ein Interview mit min. einer Fachperson führen, welche bereits Recyclingbeton im Hochbau verwendet hatte.

In der letzten Doppellektion werden Sie eine Präsentation halten, in der Sie Ihren Mitschüler*innen die wichtigsten Punkte aus Ihrer Arbeit vorstellen sollen. Die Präsentation dauert 10 Minuten.

Zwischenbesprechungen

Einmal während ihres Projektauftrags müssen Sie eine Besprechung mit der Lehrperson abhalten. Dabei geht es darum, dass Sie der Lehrperson zum einen zeigen, was sie bis jetzt gemacht haben, und zum anderen erklären, wie sie jetzt weiterarbeiten wollen. Ausserdem sollten sie die Gelegenheit nutzen, um allfällige Fragen zu klären. Falls Sie das Bedürfnis haben, können Sie auch weitere solche Besprechungen mit der Lehrperson vereinbaren, beispielsweise wenn Sie nicht weiterkommen oder Sie sich nicht sicher sind, ob Sie auf dem richtigen Weg sind.

Arbeitsauftrag Gruppe 2

Fragestellung

Warum wird von welcher Seite nichts unternommen, um Recyclingbeton zu fördern?
(Perspektive der Architekten, Ingenieure, Bauherren)

Aufgabe

Versuchen Sie herauszufinden, warum von vielen Seiten nichts unternommen wird, um Recyclingbeton zu fördern. Gehen Sie dabei auf die drei Gruppen Architekten, Ingenieure und Bauherren ein. Was sind ihre Gründe, eher Primär- statt Sekundärbeton einzusetzen?

Gehen Sie bei der Beantwortung Ihrer Fragestellung auch auf die unterschiedlichen Arten von Recyclingbeton, sprich Recyclingbeton aus Mischgranulat und Recyclingbeton aus Betongranulat ein und bringen Sie in Erfahrung, wie sich diese beiden in Bezug auf Ihre Frage unterscheiden.

Ihre Erkenntnisse geben Sie in einer Arbeit wieder. Ihr Text soll ca. 10'000 Zeichen lang sein. Achten Sie darauf, dass in Ihrer Arbeit die obenstehende Fragestellung beantwortet wird. Als Teil der Recherche sollen Sie zudem mind. zwei Interviews mit einer Fachperson führen. Die beiden Fachpersonen müssen aus zwei der drei Berufsgruppen (Architekten, Ingenieure, Bauherren) kommen, welche sie untersuchen.

In der letzten Doppellektion werden Sie eine Präsentation halten, in der Sie Ihren Mitschüler*innen die wichtigsten Punkte aus Ihrer Arbeit vorstellen sollen. Die Präsentation dauert etwa 10 Minuten.

Zwischenbesprechungen

Einmal während ihres Projektauftrags müssen Sie eine Besprechung mit der Lehrperson abhalten. Dabei geht es darum, dass Sie der Lehrperson zum einen zeigen, was sie bis jetzt gemacht haben, und zum anderen erklären, wie sie jetzt weiterarbeiten wollen. Ausserdem sollten sie die Gelegenheit nutzen, um allfällige Fragen zu klären. Falls Sie das Bedürfnis haben, können Sie auch weitere solche Besprechungen mit der Lehrperson vereinbaren, beispielsweise wenn Sie nicht weiterkommen oder Sie sich nicht sicher sind, ob Sie auf dem richtigen Weg sind.

Arbeitsauftrag Gruppe 3

Fragestellung

Wie wird Recyclingbeton hergestellt? Für den Standort Ihres letzten Projektes: Ist Recyclingbeton oder Primärbeton preisgünstiger?

Aufgabe

Recherchieren Sie, wie Recyclingbeton hergestellt wird. Gehen Sie bei der Beantwortung Ihrer Fragestellung auch auf die unterschiedlichen Arten von Recyclingbeton, sprich Recyclingbeton aus Mischgranulat und Recyclingbeton aus Betongranulat ein und bringen Sie in Erfahrung, wie sich diese beiden in Bezug auf Ihre Frage unterscheiden.

Wählen Sie den Standort, an welchem sie Ihr letztes Projekt hatten. Wie weit ist der nächste Lieferant von Primärbeton und der nächste Lieferant von Recyclingbeton entfernt? Welchen Transportunterschied (in km) gibt es zwischen diesen beiden Lieferanten? Sollte der Lieferant von Recyclingbeton weiter entfernt sein, als jener von Primärbeton; Lohnt es sich trotzdem den Recyclingbeton zu verwenden?.

Ihre Erkenntnisse geben Sie in einer Arbeit wieder. Ihr Text soll ca. 10'000 Zeichen lang sein. Achten Sie darauf, dass in Ihrer Arbeit die obenstehende Fragestellung beantwortet wird. Als Teil der Recherche sollen Sie zudem ein Interview mit min. einer Fachperson führen, welche in der Herstellung von Recyclingbeton tätig ist.

In der letzten Doppellektion werden Sie eine Präsentation halten, in der Sie Ihren Mitschüler*innen die wichtigsten Punkte aus Ihrer Arbeit vorstellen sollen.

Zwischenbesprechungen

Einmal während ihres Projektauftrags müssen Sie eine Besprechung mit der Lehrperson abhalten. Dabei geht es darum, dass Sie der Lehrperson zum einen zeigen, was sie bis jetzt gemacht haben, und zum anderen erklären, wie sie jetzt weiterarbeiten wollen. Ausserdem sollten sie die Gelegenheit nutzen, um allfällige Fragen zu klären. Falls Sie das Bedürfnis haben, können Sie auch weitere solche Besprechungen mit der Lehrperson vereinbaren, beispielsweise wenn Sie nicht weiterkommen oder Sie sich nicht sicher sind, ob Sie auf dem richtigen Weg sind.

Arbeitsauftrag Gruppe 4

Fragestellung

Was gilt es bei der Verwendung von Recyclingbeton zu beachten und welche Einschränkungen bestehen? Gibt es zwischen einer fertigen Wand aus Primär- und Recyclingbeton Unterschiede?

Was muss beim Umgang mit Recyclingbeton während dem Bau beachtet werden? Welche Schwierigkeiten gibt es? Welche Methoden sind möglich?

Aufgabe

Mögliche konkrete Fragen zur Fragestellung wären:

- Funktioniert die Cobiax-Technologie, welche Sie bereits kennen, auch mit Recyclingbeton?
- Funktioniert das Vorspannen auch mit Recyclingbeton?
- Gibt es spezielle Anforderungen an die Schalung bei Recyclingbeton?
- Worauf muss der Polier beim Einsatz von Recyclingbeton speziell achten? Temperatur, Wassergehalt des Betons, Trocknungszeit...
- Müssen in einer Recyclingbetonwand mehr Fugen angebracht werden?
- Können bei einer Wand oder einer Decke aus RC-Mischabbruchgranulat genau gleich Löcher gebohrt werden wie bei einer aus Primärbeton?

Sie müssen nicht all diese Fragen beantworten, sondern können sich auf zwei festlegen, welche Sie interessieren. Gerne dürfen Sie auch eine andere, konkrete Frage entwickeln; besprechen Sie diese jedoch zuerst mit der Lehrperson, bevor Sie loslegen! Recherchieren Sie zuerst zu Ihrer Frage und überlegen sich dann, wer Ihnen diese Frage beantworten könnte. Wenn Sie genügend Wissen gesammelt haben, führen sie pro Frage mind. ein Experteninterview durch. Es dürfen gerne auch mehr sein, gerade wenn Sie ansonsten nicht genügend Infos finden.

Gehen Sie bei der Beantwortung Ihrer Fragestellung auch auf die unterschiedlichen Arten von Recyclingbeton, sprich Recyclingbeton aus Mischgranulat und Recyclingbeton aus Betongranulat ein und bringen Sie in Erfahrung, wie sich diese beiden in Bezug auf Ihre Frage unterscheiden.

Ihre Erkenntnisse geben Sie in einer Arbeit wieder. Ihr Text soll ca. 10'000 Zeichen lang sein. Achten Sie darauf, dass in Ihrer Arbeit die obenstehende Fragestellung beantwortet wird.

In der letzten Doppellektion werden Sie eine Präsentation halten, in der Sie Ihren Mitschüler*innen die wichtigsten Punkte aus Ihrer Arbeit vorstellen sollen.

Zwischenbesprechungen

Einmal während ihres Projektauftrags müssen Sie eine Besprechung mit der Lehrperson abhalten. Dabei geht es darum, dass Sie der Lehrperson zum einen zeigen, was sie bis jetzt gemacht haben, und zum anderen erklären, wie sie jetzt weiterarbeiten wollen. Ausserdem sollten sie die Gelegenheit nutzen, um allfällige Fragen zu klären. Falls Sie das Bedürfnis haben, können Sie auch weitere solche Besprechungen mit der Lehrperson vereinbaren, beispielsweise wenn Sie nicht weiterkommen oder Sie sich nicht sicher sind, ob Sie auf dem richtigen Weg sind.

Arbeitsauftrag Gruppe 5

Fragestellung

Inwiefern ist Recyclingbeton nachhaltiger als Primärbeton? (Ökobilanz) Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, dass Recyclingbeton nachhaltiger als Primärbeton ist? (Was sind andere Vorteile, die für Recyclingbeton sprechen?)

Aufgabe

Recherchieren Sie, worin genau die Unterschiede zwischen Recyclingbeton und Primärbeton liegen. Vergleichen Sie die beiden Baumaterialien miteinander und versuchen Sie, eine Ökobilanz aufzustellen.

Gehen Sie bei der Beantwortung Ihrer Fragestellung auch auf die unterschiedlichen Arten von Recyclingbeton, sprich Recyclingbeton aus Mischgranulat und Recyclingbeton aus Betongranulat ein und bringen Sie in Erfahrung, wie sich diese beiden in Bezug auf Ihre Frage unterscheiden.

Untersuchen Sie, wie gut Recyclingbeton auf dem Markt zugänglich ist und beziehen Sie den Transport des Betons in die Nachhaltigkeitsbeurteilung mithilfe der Ökobilanz mit ein.

Ihre Erkenntnisse geben Sie in einer Arbeit wieder. Ihr Text soll ca. 10'000 Zeichen lang sein. Achten Sie darauf, dass in Ihrer Arbeit die obenstehende Fragestellung beantwortet wird. Als Teil der Recherche sollen Sie zudem mind. ein Interview mit einer Fachperson führen, welche sich mit Ökobilanzen oder den Eigenschaften von Recycling- und Primärbeton auskennt.

In der letzten Doppellektion werden Sie eine Präsentation halten, in der Sie Ihren Mitschüler*innen die wichtigsten Punkte aus Ihrer Arbeit vorstellen sollen.

Zwischenbesprechungen

Einmal während ihres Projektauftrags müssen Sie eine Besprechung mit der Lehrperson abhalten. Dabei geht es darum, dass Sie der Lehrperson zum einen zeigen, was sie bis jetzt gemacht haben, und zum anderen erklären, wie sie jetzt weiterarbeiten wollen. Ausserdem sollten sie die Gelegenheit nutzen, um allfällige Fragen zu klären. Falls Sie das Bedürfnis haben, können Sie auch weitere solche Besprechungen mit der Lehrperson vereinbaren, beispielsweise wenn Sie nicht weiterkommen oder Sie sich nicht sicher sind, ob Sie auf dem richtigen Weg sind.

7.2 BEGLEITMATERIAL FÜR LEHRPERSONEN

Baustoffkreislauf & Notwendigkeit von Recyclingbeton

Stoffflussmodell

Das Stoffflussmodell dient zur Darstellung eines Flusses von einem oder mehreren Stoffen in einem System, welches durch eine Systemgrenze definiert wird. In einem System gibt es mehrere Prozesse, wie zum Beispiel Misch- und Betonabbruch, Aufbereitung und Lager, durch welche ein Stoff fließen kann. Die Stoffflüsse werden in der Einheit Millionen Tonnen pro Jahr angegeben. Als Grundlage für diese Flüsse dienen Transferkoeffizienten. Ein Transferkoeffizient ist die prozentuale Angabe der Menge eines Stoffes, welche von einem Prozess zum anderen fließt. In einem Prozess kann ein Stoff entweder umgewandelt, gelagert oder gehandelt werden.

Die einzelnen Prozesse und Flüsse unterscheiden sich unter den Kantonen. Zürich ist ein Vorreiter und verwendete die Bodenwäsche als erster Kanton (Kind, 2006). Ebenfalls werden die Daten in manchen Kantonen nicht oder selten erhoben. Die meisten Daten beruhen auf Schätzungen und sind zum Teil veraltet.

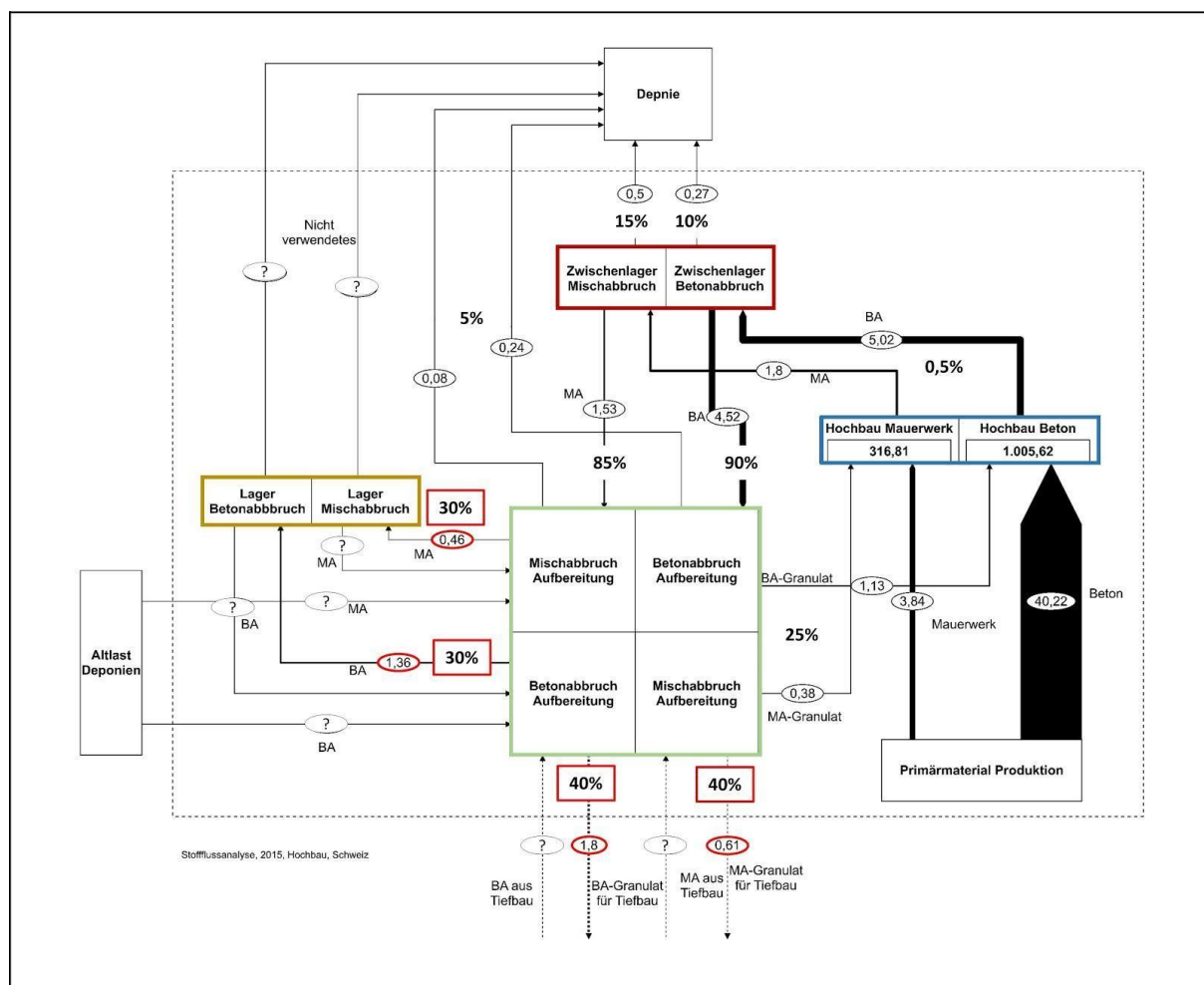
Als Grundlage für die Werte in diesem Stoffflussmodell diente die Arbeit „MatCH – Bau“ der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), welche im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) erstellt wurde.

Für manche Flüsse und Prozesse gibt keine präzisen Daten, sie sind somit auch nicht im Modell berücksichtigt. Dies war bei den Prozessen „Aushub Lager“, „Misch- und Betonabbruch Verarbeitung“ und „Primärmaterial Verarbeitung“ der Fall. Beim Prozess „Aushub Lager“ fließen die Stoffe entweder direkt wieder in den Hochbau oder zuerst fließen zuerst in die Primärmaterialverarbeitung, woraus sie anschliessend in den Hochbau fließen. Zur Vereinfachung der Darstellung ist deshalb im Primärbereich der Prozess „Primärmaterial Produktion“ ausgewählt, welcher die Flüsse „Primärmaterial Verarbeitung“ und „Primärmaterial Abbau“ zusammenfügt.

Bei den Verarbeitungsprozessen findet ein Stoffaustausch zwischen den Primär- und Sekundärzuflüssen statt. Der Anteil von RC-Granulat im RC-Beton beträgt durchschnittlich etwa 30%, die restlichen 70% bestehen aus Primärmaterial. Der ungefähre Anteil von Recyclinggranulat (RC-Granulat) im Primärbeton beträgt üblicherweise 20%, allerdings hat nicht jeder Primärbeton RC-Granulat Bestandteil, da dieser nicht von allen Anbietern hergestellt wird. Über die tatsächliche Menge an RC-Granulat im Primärbeton kann keine Aussage gemacht werden, da dazu keine Daten gefunden wurden. Deshalb sind in diesem Modell nur Prozesse mit bestehenden Daten, nämlich „Primärmaterial Produktion“ und „Misch- und Betonabbruch Aufbereitung“, bei denen die Flüsse ebenfalls in den Hochbau fließen.

Die Flüsse im Modell wurden mithilfe der Transferkoeffizienten berechnet. Sie beruhen meist auf Schätzungen, welche teilweise ungenau sind. Die Ergebnisse befinden sich in einer realistischen Grössenordnung, weichen jedoch vermutlich vom echten Wert ab.

Die Daten sind mit Hilfe des STAN-Modells visualisiert. Diese Applikation wurde von der Technischen Hochschule Wien entwickelt. Mit ihr lassen sich Prozesse, Stoffflüsse und Systemgrenzen einfach darstellen. Die Daten für die Flüsse und Prozesse wurden erfasst, dann mithilfe der Transferkoeffizienten evaluiert und in das Modell eingespeist. Die Einspeisung erfolgte entweder über die Eingabe der Lagerbestände und der Transferkoeffizienten oder über die Eingabe der manuell errechneten Werte im Flusstitel.



STAN-Modell Stofffluss

STAN-Modell

Als Ausgangsmenge wird ein Lagerbestand im Hochbau von 1'005.62 Mio. t Primärmaterial in Form von Beton und 36.81 Mio. t Mauerwerk angenommen.

Für den Primärzufluss wurde der Wert aus MatCH verwendet, welcher durch das positive Lagerwachstum und durch Abziehen des Sekundärflusses und der Direktverwendung berechnet wurde. Das Lagerwachstum wird im MatCH mit der Baufläche und der Bauhöhe anhand von Schätzungen berechnet. Der Lagerabfluss wird im MatCH unter der Annahme einer Gebäudelebensdauer von 200 Jahren berechnet.

Betrachtet man den Lagerabfluss, so werden rund 15% des Betonabbruchs, welcher grundsätzlich aus reinem Beton besteht, bzw. 20% des Mischabbruchs, der sich aus Backstein, Beton und Gips zusammensetzt, deponiert, das heisst sie können nicht wiederverwertet werden. Da es keine genauen Werte gibt, stellen diese Zahlen lediglich eine Schätzung dar, welche auf Literatur und Expertenmeinungen beruht. Laut Patric Van der Haegen werden mehr als 15% Mischabbruch deponiert, insbesondere weil der Mischabbruch nicht immer sauber getrennt wird. Der deponierte Anteil an Betonabbruch schätzt er geringer als 15% ein.

Daraus ergibt sich im Projekt MatCH der prozentuale Beton- und Mischabbruchanteil, der in den Recyclingprozess fließt und dort durch Reinigung und Verkleinerung zu Beton- resp. Mischgranulat verarbeitet wird. Auch diese Werte sind geschätzt und betragen 85%, beziehungsweise 80%. Patric Van der Haegens Schätzungen von einem Anteil von 85% des Betonabbruchs decken sich mit diesen Angaben. Ein Teil des Materials im Recyclingprozess wird dann später gelagert. Patric Van der Haegen bekundet vorwiegend eine Lagerung des Mischabbruchgranulats, da aus Betongranulat RC-Kies hergestellt werden kann und Betongranulat ausserdem dem Primärbeton bis zu 25% beigemischt werden kann. Laut Laurent Audergon wären es 30% des Beton- und Mischabbruchs im Recyclingprozess, die gelagert werden müssen. Aus 40% Beton- und Mischabbruch wird ein minderwertiger RC-Kies hergestellt (Downcycling), welcher dann in den Tiefbau fließt. Vom Beton- und Mischabbruch gehen angeblich 20 % vom Recyclingprozess wieder in die Häuser zurück. 5 % gelangen direkt, also ohne Recyclingprozess, wieder in den Hochbau und 5 % müssen auf eine Deponie gebracht werden. Folglich befinden sich 95 % der Beton- und Mischabbrüche im Recyclingprozess, die danach theoretisch wieder im Hochbau einsetzbar wären. Tatsächlich fließt aber insgesamt 25 % des Materials aus der Aufbereitung wieder in den Hochbau (Audergon, 2017). Vergleicht man dies mit der Gesamtmenge von mineralischen Baustoffen von 45.57 Mio. t, welche jährlich in den Hochbau fließen, so machen die Recyclingbaustoffe (RC-Baustoffe) etwa 3.3 % aus.

Im Modell gibt es jedoch einige Lücken. Beim Prozess „Lager Betonabbruch/Mischabbruch“ ist unbekannt, wie viel Material wieder in den Stofffluss zurückgeht und wie viel auf der Deponie landet. Ausserdem lagern Altlastdeponien teilweise rezyklierbare Materialien. Die Nutzung dieser Lager ist momentan noch sehr gering und steht zur Diskussion. Da in der Verarbeitung nicht zwischen Tiefbau- und Hochbauabbruch unterschieden wird, können zu den Tiefbauflüssen keine genaueren Angaben gemacht werden. Der Stofffluss in den Tiefbau kann lediglich als Hauptrichtung bezeichnet werden.

Zukünftige Entwicklung

Aus der Hochbaustudie 2015, die im Auftrag des BAFU durchgeführt wurde, kann der prozentuale Anteil von verbauten Materialien in den verschiedenen baulichen Zeiträumen

entnommen werden, genauso wie der prozentual verbaute Beton. Aus diesen Werten kann berechnet werden, wie viel Beton zu welcher Zeit verbaut wurde.

Bauperiode	<1900	1900-1946	1947-1960	1961-1975	1976-2000	2001-2013
verbaute Materialien	13%	14%	9%	21%	30%	13%
davon Beton	6%	12%	38%	59%	63%	54%
verbauter Beton	1.77%	3.80%	7.74%	28.04%	42.77%	15.89%

Betongebrauch über die Jahre

Vor 1946 wurde sehr wenig mit Beton gebaut, erst später erhielt die Betonverwendung ein grösseres Ausmass.

Im Jahre 2025 werden alle Bauperioden nach 1946 im Gegensatz zu heute an Bedeutung gewinnen. Dementsprechend werden die Bauperioden, in denen vermehrt mit Beton gebaut wurde, auch an Einfluss gewinnen.

Potenzial des RC-Betons

Es gelangen 40 % des Recyclingmaterials (RC-Material) in den Tiefbau und weitere 30 % werden gelagert. Diese Mengen RC-Material könnten auch in den Hochbau zurückfliessen.

in Mio. t	Lagerung	Downcycling	gesamtes Potenzial
MA-Granulat	0.46	0.61	1.07
BA-Granulat	1.36	1.8	3.16

Potenzial des RC-Betons 2015

Quelle:

Kaufmann Anja, Maier Annina, Scheiwiler Marcel, Strini Lena, Wiklund Kaj, *Teilanalyse Stoffflussanalyse und Ökobilanz Gruppe 2* (2017)

Eigenschaften von Recyclingbeton

Vergleich der Eigenschaften von Primärbeton und Sekundärbeton

Druckfestigkeit

Es kann zusammengefasst werden, dass vordergründig keine einheitliche Meinung darüber besteht, ob durch die Verwendung von Betongranulat und Mischabbruchgranulat eine Festigkeitsminderung oder -zunahme folgt. Je nach Versuch dominieren verschiedene Effekte die Ergebnisse.

- Durch die Kantigkeit der Recyclinggesteinskörnung kann ein besserer Verbund im Beton im Vergleich zu gerundeter Gesteinskörnung auftreten und sich eine höhere Festigkeit ergeben. Ist die Recyclinggesteinskörnung sehr kantig, kann ein höherer Zementleimgehalt oder der Einsatz von Fließmittel/Betonverflüssiger notwendig sein. Wird dem nicht Rechnung getragen, kann der Beton nicht gut verdichtet werden, wodurch die Festigkeit abnimmt.
- Durch die Porosität der Recyclinggesteinskörnung muss Beton mit Recyclinggesteinskörnung im Vergleich zu Beton mit natürlicher Gesteinskörnung einen höheren Wassergehalt aufweisen, um eine ähnliche Verarbeitbarkeit zu erhalten. Wird jedoch der Wassergehalt nicht erhöht, nimmt die Recyclinggesteinskörnung dennoch Wasser auf, d.h. dem Zement steht weniger Wasser zur Verfügung (tieferer w/z-Wert) bzw. der Beton blutet kaum/nicht. Ist dennoch der Beton gut verarbeitbar, bewirkt der tiefere w/z-Wert eine Druckfestigkeitszunahme; hingegen wird ein nicht mehr gut verarbeitbarer Beton einen Druckfestigkeitsabfall als Folge schlechter Verdichtung aufweisen.
- Recyclinggesteinskörnung weist eher geringere Festigkeiten als natürliche Gesteinskörnung auf. Je nach untersuchter Betonfestigkeit und der verwendeten natürlichen Gesteinskörnung kann sich dies mehr oder weniger deutlich bemerkbar machen.
- Ist die feine Recyclinggesteinskörnung poröser und/oder weicher als die grobe, sind die vorgenannten Effekte beim Einsatz der feinen Recyclinggesteinskörnung ausgeprägter.

Eine Umfrage bei den Schweizer Betonproduzenten zeigte, dass die Herstellung von Recyclingbeton mit einer Druckfestigkeit entsprechend den Klassen C25/30 und C30/37 etabliert ist (Anhang: Auswertung Umfrage). Der Anteil an verwendeter Recyclinggesteinskörnung beträgt dabei bis zu 60 % (C25/30) bzw. (C30/37). Darüber hinaus verdeutlichen Referenzobjekte, dass ein Recyclingbeton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 mit weit höheren Anteilen als 40 % an Recyclinggesteinskörnung möglich ist (B-I-M; Hoffmann and Huth, 2006; Hofmann and Patt, 2006).

Elastizitätsmodul

Die Verwendung von Recyclinggesteinskörnung führt in der Regel zu einer Abnahme des Elastizitätsmoduls im Vergleich zu Beton mit natürlicher Gesteinskörnung, wobei Ziegel-,

Kalksandstein- und Backsteingranulat den Elastizitätsmodul stärker als Betongranulat verringern. Das ist auf den geringeren Elastizitätsmodul (geringere Kornrohddichte) der Recyclinggesteinskörnung im Vergleich zu natürlicher Gesteinskörnung und auf den oftmals höheren Zementsteinanteil im Vergleich zum Beton mit natürlicher Gesteinskörnung zurückzuführen (Hoffmann and Leemann, 2004).

Schwinden und Kriechen

Bei allen in der Literatur aufgeführten Untersuchungsergebnissen zeigte sich eine Zunahme der Schwind- sowie Kriechverformungen mit steigendem Gehalt an Recyclinggesteinskörnung (Hoffmann and Huth, 2006; Müller, 2001). Die dabei ermittelten Werte schwanken sehr stark, was u.a. auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Recyclinggesteinskörnung zurückgeführt werden kann. Zusammenfassung: Das Schwinden wird von den folgenden Materialeigenschaften der Recyclinggesteinskörnung beeinflusst:

- Kornrohddichte
- Elastizitätsmodul

Dichtigkeit

Wie Empa-Untersuchungen zeigten (Hoffmann and Huth, 2006) weist Recyclingbeton, hergestellt mit unterschiedlichem Gehalt an Betongranulat oder Mischabbruchgranulat ein gleiches Verhalten zwischen Druckfestigkeit und Gasdurchlässigkeit wie Normalbeton auf.

Feuerwiderstand

Wie Khalaf und DeVenny (Khalaf and DeVenny, 2004) in ihrem Review verschiedener internationaler Veröffentlichungen zu Beton aus Mischabbruchgranulat aufzeigen, ist der Widerstand gegenüber Feuer bei Beton mit Recyclinggesteinskörnung gleichwertig und zum Teil höher als bei Beton aus natürlicher Gesteinskörnung.

Quelle:

Recyclingbeton aus Beton- und Mischabbruchgranulat, Sachstandsbericht

Cathleen Hoffmann, Dipl. Bau-Ing. TU Dr. Frank Jacobs, Dipl. Geologe BDG/SIA im Auftrag von Empa, Abteilung Ingenieur-Strukturen, Juli 2007

Herstellung von Recyclingbeton

Herkunft

Mischabbruch wird aus den Wänden von Plattenbauten gewonnen (Mühlhaus, 2017). Er muss aus einem Gemisch von ausschliesslich mineralischen Bauabfällen bestehen (BAFU, 2006).

Betonabbruch gewinnt man aus bewehrten oder unbewehrten Konstruktionen, sowie aus Belägen innerhalb eines Hauses. Diese müssen aus Beton bestehen (SIA Zurich, 2010). Beispielsweise kann man den Beton von Balkonen oder Böden gewinnen. Eine solche Annahme ist auf Plattenbauten beschränkt.

Rückbau

Zuerst wird untersucht, ob das Gebäude Schadstoffe, z.B. Asbest enthält. Danach wird ein Plan erarbeitet, zu welcher Mengen von welchen Materialgruppen anfallen und wie diese entsorgt und abtransportiert werden. Die Materialgruppen Betonabbruch, Mischabbruch, Ausbauasphalt und Strassenaufbruch, werden schon auf der Baustelle separiert. Bevor der Abbruch in eine Aufbereitungsanlage transportiert wird, muss er mit genauen Angaben zur Herkunft und Menge des Materials deklariert werden (BAFU, 2006).

Aufbereitung

Die Aufbereitung von Beton- und Mischabbruch beginnt schon auf der Baustelle. Der Abbruch muss getrennt von anderen Bauabfällen und so sortenrein wie möglich gelagert werden (Bundesrat, 2015). Der rückgebaute Beton- und Mischabbruch wird dann zu einer Recyclingfirma transportiert. Bei der Ankunft vom Beton- und Mischabbruch in der Aufbereitungsanlage wird zuerst eine Warenannahme durchgeführt. Dabei wird die Ladung des Lastwagens erst von Auge überprüft: Es wird kontrolliert, ob nicht zu viele Fremdstoffe vorhanden sind, zusätzlich wird der Lastwagen gewogen. Allfällige Verunreinigungen und Fremdstoffe, beispielsweise Kunststoff oder Holz, werden direkt per Hand entfernt, sofern dies einfach zu bewerkstelligen ist. Bei zu grosser Kontamination wird dieser Vorgang von einer Maschine durchgeführt und die Mehrkosten werden dem Lieferanten in Rechnung gestellt (Mülhaupt, 2017).

Nach der Annahme und Deklaration beginnt die Aufarbeitung. Als erster Schritt wird der Beton- und Mischabbruch mithilfe eines Baggers zerkleinert, um passende Bruchstücke für die automatische Sortierstrasse zu erhalten. Bei diesem Zerkleinerungsvorgang werden verschiedene Aufsätze für den Bagger verwendet, wie zum Beispiel eine Schere. Zusätzlich ist in den Aufsätzen ein Magnet eingebaut, um metallische Verunreinigungen aus dem Material zu entfernen. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, kommen die Stücke in die automatische Sortieranlage. Diese besteht aus einem Fliessband, welches die Bruchstücke zu einem Sieb transportiert. Über dem Fliessband befindet sich ein Magnet, welcher die Metallteile anzieht und so vom Beton- und beziehungsweise Mischabbruch trennt. Das Sieb besteht aus einer Metallplatte mit Löchern. Zu grosse Brocken werden in einem Prallbrecher zerkleinert. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis man nur noch die gewünschte Granulatgrösse besitzt. Der ausgesiebte Sekundärrohstoff passiert zusätzlich einem Magnetabscheider, welcher nochmals übrig gebliebene metallische Überreste entfernt. Die Siebgrösse entspricht hier der gewünschten Korngrösse des Granulats (vgl. Kapitel 3.2.3). Das Granulat welches nach der

ersten Sortierung erhalten wurde, kann über weitere Siebanlagen laufen gelassen werden. (Morgan, 2017; Schraner, 2017).

Die Unterteilung der Gesteinskörnungen von Recyclingbeton entspricht der von Primärbeton. Mit diesen aufbereiteten Sekundärrohstoffen stellt man vor allem Primärbeton her, bei dem der Massenanteil von Sekundärrohstoffen weniger als 25% beträgt (NEROS.ch, 2017).

Eigenschaften und Normen von Recyclingbeton aus Betongranulat

Beton aus Betongranulat besteht aus mindestens 25 M.% RC-C und Gesteinskörnung, welche grösser als 4 mm ist. Es dürfen maximal 5 M.% Mischgranulat beigemischt werden (SIA Zurich, 2010). Dieser Teil beschränkt sich auf Beton mit 90 M.% RC-C und 10 M.% aus primärer Gesteinskörnung. (C. O. Hoffmann, Huth, 2006)

Der Recyclingbeton wird auf verschiedene Eigenschaften getestet. Die Ergebnisse dazu werden in den nächsten Abschnitten erklärt.

Expositionsklasse

Für RC-C Beton gelten folgende tabellarisch dargestellten Expositionsklassen. Die Klassen besitzen die gleichen Bezeichnungen und dementsprechend auch die gleiche Bedeutung wie bei Primärbeton.

RC-C Beton ist für die Expositionsklassen X0 bis XC4 zulässig und kann in diesen ohne Einschränkungen im Hochbau verwendet werden. Bei den Expositionsklassen XD, XF und XA1 bis XA3 müssen Voruntersuchungen gemacht werden, um zu testen, ob der Beton verwendet werden darf.

Recyclingbeton		Expositionsklasse				
	Anteile	X0	XC1(CH) trocken	XC1(CH) nass XC2(CH) XC3(CH)	XC4(CH)	XD(CH), XF(CH), XA
RC-C	$R_c \geq 25 \text{ M.-%}$ $R_b < 5 \text{ M.-%}$	zulässig				①
RC-M	$5 \text{ M.-%} \leq R_b \leq 25 \text{ M.-%}$ und $R_c + R_b \geq 25 \text{ M.-%}$	zulässig			①	nicht zulässig
	$R_b > 25 \text{ M.-%}$	zulässig		①	①	

① Nach entsprechenden Voruntersuchungen zulässig
M.-%: Massenprozent

Quelle:

Bührer Jan, Chiriatti Fabiana, Langer Jessica, Meisel Laurent, Vollgraff Pascal, Zahid Minaa, *Teilanalyse Baustoffe Gruppe 2* (2017)

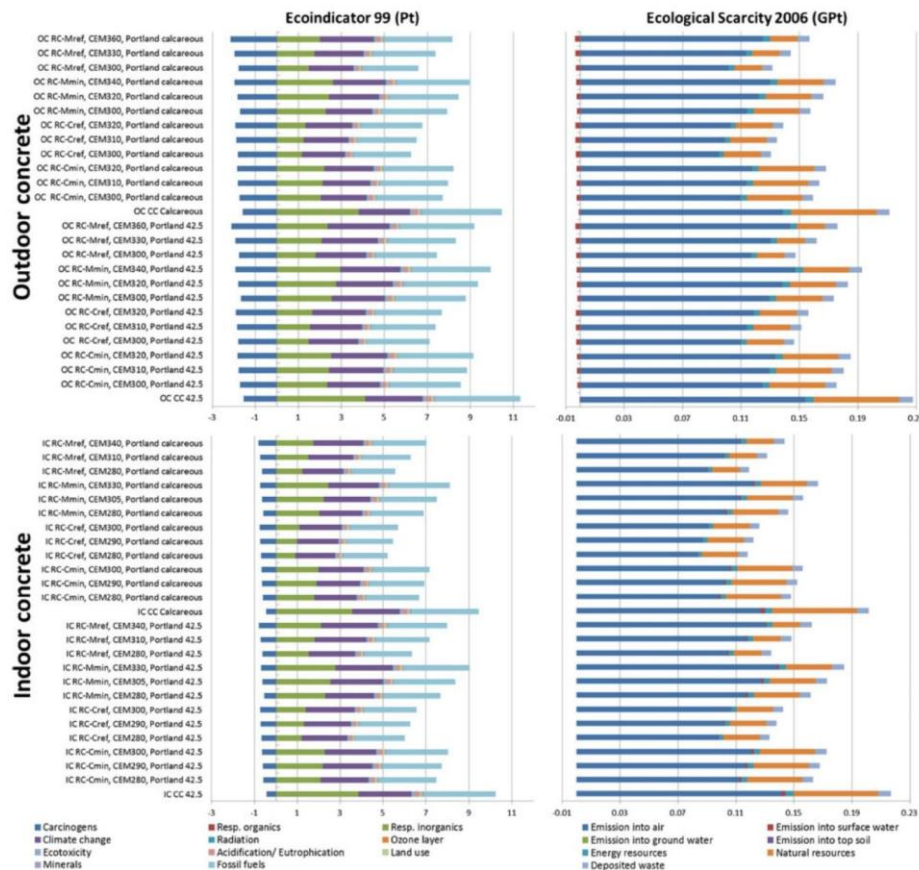
Ökobilanz

Mit einer Ökobilanz lässt sich anhand verschiedener Ökofaktoren die Umweltauswirkung einer Sachbilanz abschätzen. Die Auswirkungen werden in Umweltbelastungspunkten (UBP) pro Mengeneinheit gemessen. Generell gilt: Je höher die Anzahl UBP ist, desto grösser sind auch die Umweltauswirkungen.

Ökobilanz verschiedener Betonmischungen

In der folgenden Abbildung werden verschiedene Szenarien der Betonmischungen betrachtet. Für den RC-Beton aus Beton- und Mischabbruchgranulat werden zwei verschiedene Anteile (40 % für „ref.“ und 25 % für „min.“) der rezyklierten Gesteinskörnung angegeben. Die unterschiedlichen, zusätzlichen Zementmengen werden mit der nachstehenden Zahl bei CEM gekennzeichnet. CEM bezeichnet den Zementanteil im Beton. Dabei werden zwei verschiedene Zementarten betrachtet; den Zement Portland Calcareous und Portland 42.5. Beim Beton aus Primärkies, bezeichnet mit OC CC, wird ebenfalls zwischen den beiden Zementtypen unterschieden. Generell wird differenziert zwischen dem Outdoor- und Indoorbeton. Diese beiden Bezeichnungen geben die verschiedenen Festigkeitsklassen an. Die Ökobilanz wird mit den beiden Methoden Ecoindicator 99 und Ecological Scarcity 2006 berechnet.

Ebenfalls ist in folgender Abbildung erkennbar, dass die RC-Betonarten eine geringere Umweltbelastung als Primärbetonsorten aufweisen. Je höher der Anteil des RC-Granulats, desto niedriger ist die Anzahl der UBP. Der Durchschnittswert der beiden Methoden zur Ökobilanzierung zeigt für den Einsatz von RC-Beton eine Reduktion der Umweltbelastung von 31 % im Vergleich zu Primärbeton. Abhängig von der zusätzlich benötigten Betonmenge variiert die Verminderung der Ökobilanz von 15 % (für die minimale Menge an Mischabbruch-Granulat und einen Zement Portland 42.5 330 kg/m³ Beton) bis zu 50 % (für einen Betonabbruch-Granulat-Anteil von 40 % und CEM300 des Portland Calcareous).

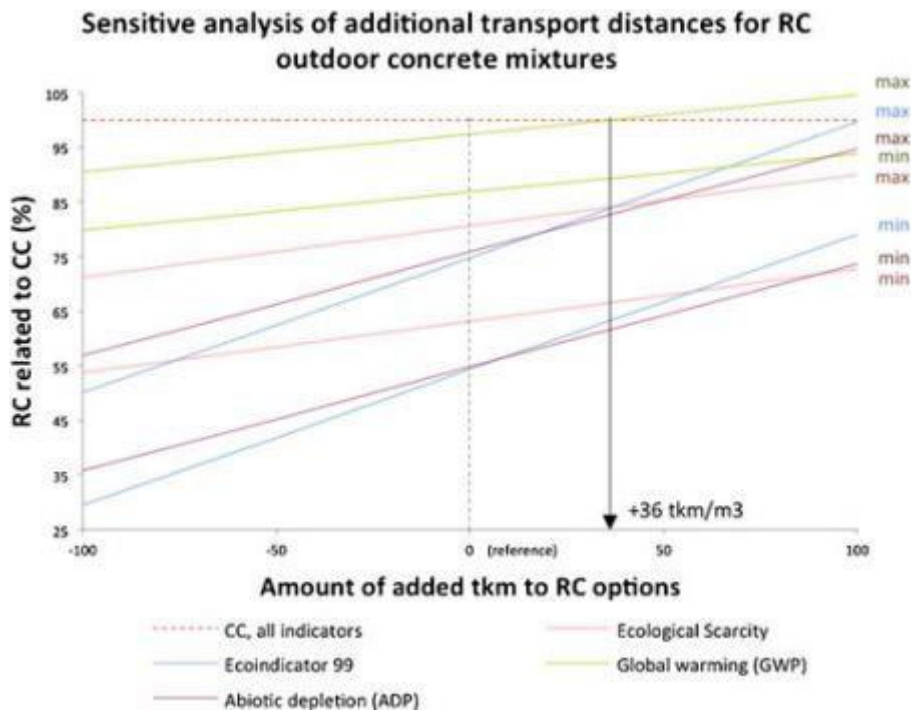


Ökobilanz

Transport

Selbst der Transport des Baustoffes hat einen Einfluss aus dessen Ökobilanz gelegt. In der Studie von Knoeri et al. wurde die Auswirkung von zusätzlichen Transportdistanzen mit dem Lastkraftwagen untersucht. In der folgenden Grafik ist die Sensitivitätsanalyse für den Outdoorbeton in Bezug auf die Transportdistanzen dargestellt. Es werden Mischungen von RC-Beton aus Betonabbruchgranulat mit dem Primärbeton aus Portland 42.5 Zement verglichen.

Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Betonmischung des RC-C mit den meisten UBP für 36 Tonnenkilometer zusätzlichen Transport dasselbe Klimaerwärmungspotenzial aufweist.



Sensitivitätsanalyse von zusätzlicher Transportdistanz in Tonnenkilometer (tkm) für RC-C Optionen im Vergleich zu CC für Outdoorbeton

Zement

Die physischen Eigenschaften von RC-Granulat unterscheiden sich von denjenigen des Primärkieses. Um dieselbe Verarbeitbarkeit und Konformität wie die des Primärbeton zu erreichen, wird dem RC-Beton teilweise mehr Zement zugegeben.

Gemäss Knoeri et al. und dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich sind die Menge und die Sorte des Zements ausschlaggebend für die Umweltbelastung des Betons. Laut dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich verursacht die Gesteinskörnung bloss 7 – 10 % und der Zement bis zu 83 % der Umweltbelastung bei der Herstellung von Beton.

Aus der Studie von Knoeri et al. geht hervor, dass Betonmischungen mit Portland 42.5 Zement ein um 12 – 15 % höheres Klimaerwärmungspotenzial aufweisen als Mischungen mit Portland Calcareous. Die Resultate jener Studie zeigen zudem, dass die Auswirkungen auf das Klima vergleichbar mit denjenigen des Primärbetons sind, wenn die Menge des Zements im RC-Beton auf maximal 110 % der im Primärbeton verwendeten Menge beschränkt wird.

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten, wie die Umweltbelastung und die Bereitstellung von Beton für den Hochbau verringert werden kann.

Möglichkeit 1: Vermehrter Einsatz von Recyclinggranulat im Hochbau – Sensitivitätsanalyse

Im aktuellen Zustand des Stoffflussmodells bestehen zwei Verfahren um dem Hochbau mehr RC-Beton zuzuführen. Eine Option wäre, das Downcycling zu vermeiden, eine andere, das noch verwertbare Material einzusetzen anstatt es zu lagern. Somit könnten 2.41 Mio. Tonnen Misch- und Betongranulat dem Hochbaubeton (anstelle des Tiefbaubetons) zugeführt werden,

was eine Werterhaltung für das Material bedeuten würde. Aktuell werden 1.82 Mio. Tonnen Granulat gelagert, welche das Potenzial hätten, im RC- Beton zum Einsatz zu kommen. Bei vollständiger Ausschöpfung dieser beider Potenziale könnten 9.9 % der Umweltbelastungspunkte pro Kubikmeter eingespart werden. Maximal 41 % des Volumens des heutigen Primärbetons könnte zusätzlich durch RC-Beton mit 30 % RC-Granulatanteil ersetzt werden. Somit würden neu 44 % statt den heutigen 13 % des Betons aus Recyclinggesteinskörnung bestehen.

Möglichkeit 2: Verwendung eines „umweltfreundlicheren“ Zements

Der Zement spielt eine grössere Rolle als die Gesteinskörnung hinsichtlich der Umweltbelastung. Nun wird ein Zementtyp vorgestellt, der weniger Umweltbelastung verursacht als herkömmlicher Zement.

Das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich erstellte ein Merkblatt, welches über die Zementart CEM III/B informiert. Demzufolge reduziert dieser Zementtyp den Ausstoss von Treibhausgasen um 25 % pro Kubikmeter Beton. Bei einer Betonmischung aus rezyklierter Gesteinskörnung und dem Zement CEM III/B könnten mehr als 10 % der Umweltbelastung pro Kubikmeter Beton eingespart werden. Bei der Annahme, dass in der Schweiz konsequent CEM III/B verwendet werden würde, ergäbe sich jährlich eine Einsparung von rund 2.65 Mio. Tonnen CO₂. Dies entspricht ungefähr der Treibhausgasemission von 11.5 Mio. Kubikmeter Beton.

Quelle:

Kaufmann Anja, Maier Annina, Scheiwiler Marcel, Strini Lena, Wiklund Kaj, *Teilanalyse Stoffflussanalyse und Ökobilanz Gruppe 2* (2017)

Fragebogen zur Ausstellung «Recyclingbeton - belastbar, nachhaltig, ästhetisch»

1. Stellen Sie schematisch dar, wie aus einem rückzubauenden Gebäude Recyclingbeton hergestellt wird. Versuchen sie, alle notwendigen Prozesse zu zeichnen.
2. Betrachten Sie die Wände aus Primärbeton, Recyclingbeton aus Betonabbruch und Recyclingbeton aus Mischabbruch. Schreiben sie die visuellen Unterschiede auf, welche sie auf der verputzten und welche sie auf der angeschnittenen Seite sehen.
3. Betrachten Sie die Bilder der Recyclingbeton-Gebäude. Überlegen Sie sich, ob eine Art von Gebäuden fehlt und wieso.
4. Schreiben Sie alle Vor- und Nachteile des RC-Betons gegenüber Primärbeton, welche in der Ausstellung genannt werden, auf.

7.3 FRAGEBÖGEN ZUR EVALUATION

Fragebogen der 1. Lektion

1. Wie viel weißt Du bereits über Recyclingbeton?
 - a. Viel
 - b. Einiges
 - c. Wenig
 - d. nichts
2. Wodurch hast Du schon von Recyclingbeton gehört?
 - a. Schule
 - b. unser Haus ist aus Recyclingbeton
 - c. ich habe noch nichts davon gehört
 - d. anderes: _____
3. Interessierst Du dich für Nachhaltigkeit?
 - a. ja, sehr
 - b. ja, ein bisschen
 - c. nein, eher nicht
 - d. nein, gar nicht
4. Findest Du es wichtig, auch beim Bauen auf die Umwelt zu achten?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nein
 - d. nein
5. Glaubst Du, Recyclingbeton ist nachhaltiger als normaler Beton?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nein
 - d. nein
6. Glaubst Du, dass Recyclingbeton qualitativ schlechter ist als normaler Beton?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nein
 - d. nein
7. Glaubst Du, dass Recyclingbeton weniger schön ist als normaler Beton?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nein
 - d. nein
8. Würdest du von deinem jetzigen Standpunkt aus Recyclingbeton verwenden?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nein
 - d. nein

Fragebogen der letzten Lektion

1. Wie viel wusstest Du schon über Recyclingbeton vor diesem Kurs?
 - a. sehr viel
 - b. einiges
 - c. wenig
 - d. nichts
2. Wie war deine Einstellung gegenüber Recyclingbeton?
 - a. Positiv
 - b. Neutral
 - c. Negativ
 - d. Ich wusste nichts über Recyclingbeton.
3. Wie hat sich deine Einstellung gegenüber Recyclingbeton im Laufe dieses Kurses verändert?
 - a. positiv
 - b. keine Veränderung
 - c. negativ
4. Könntest Du dir vorstellen, im Berufsleben mehr mit Recyclingbeton zu bauen?
 - a. ja
 - b. eher ja
 - c. eher nicht
 - d. nein
5. Was hast Du in diesem Kurs gelernt? (mehrere Antworten möglich)
 - a. Prinzip der Kreislaufwirtschaft
 - b. Allgemeines über Recyclingbeton
 - c. Integration von Recyclingbeton in ein Gebäude / Arbeiten mit Recyclingbeton
 - d. selbständige Arbeit an einem Projekt
 - e. Teamarbeit
6. Was hat Dir in diesem Kurs am meisten gebracht?
 - a. Theorie
 - b. Anwendung in der Projektarbeit
 - c. Exkursion
7. Was hat dir in diesem Kurs am meisten gefallen?
 - a. Theorie
 - b. Recherche (online, Literatur)
 - c. Interviews mit Fachpersonen
 - d. Exkursion
8. Welche Verbesserungsvorschläge hast Du?

Anhang B - Nachhaltigkeitsbeurteilung

Im Folgenden wird unsere Massnahme anhand von vier MONET-Indikatoren sowie einer Ökobilanz auf ihre Nachhaltigkeit beurteilt. Das Ziel, das unserer Massnahme zugrunde liegt, ist, Lehrlinge der Berufsrichtung Zeichner EFZ für Recyclingbeton zu sensibilisieren. Wir treffen die Annahme, dass durch eine solche Sensibilisierung die Akzeptanz gegenüber diesem Baustoff bei den entsprechend geschulten Lehrlingen steigt. Dies wird vermutlich dazu führen, dass sie in ihrem späteren Berufsleben eher dazu bereit sind, mit Recyclingbeton zu arbeiten oder potenziellen Kunden nicht von diesem Baustoff abzuraten. Somit nehmen wir an, dass durch unsere Massnahme mehr Recyclingbeton im Hochbau verwendet werden wird.

Bildung Nachhaltigkeit

Dieser von uns abgeänderte Indikator orientiert sich am MONET-Indikator «Bildungsstand der Bevölkerung». Unser Indikator beschreibt die Anzahl Leute, die bezüglich Nachhaltigkeit gebildet werden. Hierbei geht es primär um die Entwicklung eines Bewusstseins für Nachhaltigkeit und weniger darum, ob das Verhalten, das aus der Bildung resultiert, tatsächlich nachhaltig ist. Wir sehen das Themengebiet «Nachhaltiges Bauen» als Teilbereich der Nachhaltigkeitsbildung. Die Massnahme würde dementsprechend das gefragte Bewusstsein für die Nachhaltigkeit bilden oder stärken.

Durch die Massnahme, die Recyclingbeton thematisiert und den Leuten näherbringt, wird sich der Indikator somit positiv entwickeln.

Material-Fussabdruck

Dieser MONET-Indikator zeigt auf, wie der inländische Rohstoffverbrauch aussieht. Hierbei wird die inländische Gewinnung der Rohstoffe berücksichtigt sowie auch die Menge aller Rohstoffe, welche für die in der Schweiz genutzten oder verbrauchten Güter im Ausland hergestellt und in die Schweiz transportiert werden.

Das am meisten verbrauchte Material, und somit das Material mit dem grössten Material-Fussabdruck, bilden die nichtmetallischen Mineralien wie beispielsweise Kies und Sand. Zwischen 2000 und 2015 belief sich deren Material-Fussabdruck auf 41% (Bundesamt für Statistik, 2018a).

Der vermehrte Einsatz von Recyclingbeton würde eine Minimierung des Abbaus von Primärkies aus Kiesgruben bewirken und auf eine Verringerung der verwendeten Menge an Primärkies hinauslaufen. Gleichzeitig bedeutet der vermehrte Einsatz von Recyclingbeton im Hochbau auch, dass die Menge des aufbereiteten Beton- oder Mischgranulats, welches sonst auf Deponien, in Zwischenlager oder in den Tiefbau gelangen würde, abnimmt (Gauch et al., 2016).

Durch unsere Massnahme wird der Material-Fussabdruck kleiner, da die Aufbereitung von bereits vorhandenem Material aus rückgebauten Häusern zu Recyclingbeton weniger bis keine Rohstoffe benötigt. Hierbei kommt es natürlich darauf an, wie gross der Anteil an recyceltem Material im Recyclingbeton jeweils ist. Je grösser der Anteil an recyceltem Material im Recyclingbeton, desto weniger Rohstoffe in Form von Primärkies müssen dafür verwendet werden und desto mehr nimmt der Material-Fussabdruck ab.

Ein Punkt, der aber gegen die Nachhaltigkeit von Recyclingbeton spricht und daher auch der Verringerung des Material-Fussabdrucks entgegenwirkt, ist, dass Recyclingbeton in der Regel mehr Zement benötigt als Primärbeton. Da Zement hauptsächlich aus Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz besteht, werden somit auch Rohstoffe benötigt, um Recyclingbeton zu produzieren. Die Abnahme des Material-Fussabdrucks durch den vermehrten Einsatz von Recyclingbeton hängt somit vom verwendeten Anteil an recyceltem Material und von der benötigten Menge an Zement ab. Der Material-Fussabdruck nimmt folglich am meisten ab, wenn der Anteil an recyceltem Material im Recyclingbeton möglichst gross und der Zementanteil möglichst klein ist (Knoeri, Sanyé-Mengual, & Althaus, 2013).

Materialintensität

Der MONET-Indikator "Materialintensität" beschreibt den inländischen Rohstoffverbrauch im Verhältnis zum Bruttoinlandprodukt (Bundesamt für Statistik, 2018b).

Ähnlich wie beim Material-Fussabdruck geht es also darum, die natürlichen Ressourcen zu schonen. Zusätzlich ist hier aber die wirtschaftliche Tätigkeit integriert. Das Ziel ist, dass Wirtschaftswachstum nicht automatisch höheren Rohstoffverbrauch mit sich bringt. Auch dieser Indikator könnte durch unsere Massnahme verbessert werden. Wie bereits beim obigen Indikator dargelegt, schont der Einsatz von Recyclingbeton die natürlichen Ressourcen. Gleichzeitig kann man davon ausgehen, dass das BIP nicht abnimmt, da weiterhin gebaut wird und anstelle des Kiesabbaus als wirtschaftliche Aktivität nun die Aufbereitung des Abbruchmaterials tritt. Dies bedeutet, dass die gleiche volkswirtschaftliche Leistung unter weniger Ressourcenverbrauch stattfinden kann. Die Materialintensität nimmt ab.

Gütertransportintensität

Dieser MONET-Indikator zeigt die Transportleistung im Güterverkehr der Schiene und der Strasse im Verhältnis zum Bruttoinlandprodukt auf. Der Indikator umfasst jedoch nicht die Distanzen, über die Güter im Ausland transportiert werden. Die Distanzen von importierten und exportierten Gütern werden somit innerhalb dieses Indikators nicht berücksichtigt (Bundesamt für Statistik, 2017).

Wird unsere Massnahme umgesetzt und resultiert als Folge daraus ein tatsächlicher Anstieg des Anteils an aufbereitetem Abbruchmaterial, der im Hochbau zum Einsatz kommt, kann man sich überlegen, wie sich dies auf die Gütertransporte auswirkt.

In Fällen, wo es möglich ist, direkt vor Ort (an der Baustelle) mit mobilen Anlagen Abbruchmaterial aufzubereiten und dieses wieder am selben Standort für einen Neubau eingesetzt wird, geht der insgesamt nötige Transportweg der Baumaterialien massiv zurück. Ressourcen wie Primärkies und Zement müssen als Bestandteile von Recyclingbeton jedoch weiterhin zur Baustelle transportiert werden.

Wenn es nicht möglich ist, das Abbruchmaterial direkt vor Ort aufzubereiten, muss das Abbruchmaterial zu einer Aufbereitungsanlage transportiert werden. Von dort aus wird es nach vollständiger Aufbereitung wieder zu einer Baustelle eines Neubaus transportiert. In diesem Szenario sind die Transportwege nicht oder nur minimal kürzer als die für den Einsatz von Primärbeton. Der Transport von Primärkies wäre jedoch trotzdem kleiner oder würde ganz wegfallen, je nach Anteil an Primärkies im jeweils aufbereitetem Recyclingbeton. Beim Transport gilt weiter zu beachten, dass die Auswirkungen auf die Umwelt grösser sind

als bei Primärbeton, sobald zusätzliche Transportdistanzen zur Aufbereitung und Herstellung von Recyclingbeton mehr als 15 km betragen (Knoeri et al., 2013).

Abschliessend lässt sich sagen, dass der Gütertransport durch den Einsatz von Recyclingbeton gesenkt werden könnte. Wenn jedoch keine mobilen Anlagen eingesetzt werden, liegt der Transportweg in einem ähnlichen Rahmen oder kann sogar höher sein. Gleichzeitig ist keine bemerkenswerte Änderung des BIP zu erwarten. Es ist deshalb davon auszugehen, dass sich dieser Indikator durch unsere Massnahme nur leicht verändern wird und nicht ins Gewicht fällt.

Ökobilanz

Eine Studie von Christof Knoeri besagt, dass es klare umweltbezogene Vorteile gibt, wenn man Recyclingbeton anstatt Primärbeton verwendet (30%). Diese Vorteile entstehen durch das Recycling von Stahlanteilen, statt dass diese deponiert und neu fabriziert werden, und durch die Vermeidung der Deponierung von Abbruchmaterialien.

Im Allgemeinen ist Recyclingbeton nicht unbedingt ökologischer als Primärbeton. Die Spannweite der Klimaerwärmungspotenziale von Recyclingbeton und Primärbeton reicht nicht sehr weit. Sobald zwischen 22 und 40 kg an zusätzlichem Zement pro Kubikmeter Recyclingbeton benötigt wird, weist Recyclingbeton ein vergleichbares Klimaerwärmungspotenzial wie Primärbeton auf (Knoeri et al., 2013).

Bemerkung

Es besteht keine Garantie, dass durch die Ansatzpunkte unserer Massnahme (Aufklärung über Recyclingbeton als Baustoff und die Reduktion von Vorbehalten gegenüber diesem) tatsächlich mehr Recyclingbeton im Hochbau zum Einsatz kommt. Ob sich unsere Massnahme also wie beschrieben auf die berücksichtigten Indikatoren auswirken kann, ist fraglich.

Anhang C - Massnahme im System

Wie man unserer Ansicht entnehmen kann, ist unser System in erster Linie auf die Nachfrage nach Recyclingbeton ausgerichtet, denn diese ist momentan so gering, dass etwa 20% des bereits wieder aufbereiteten Abbruchmaterials schlussendlich doch deponiert werden muss. Verschiedene Faktoren haben einen Einfluss auf die Nachfrage. Gesetzlich Regulierungen können vorschreiben, wie gross der Anteil an Recyclingbeton sein soll oder muss. Private und vor allem öffentliche Bauherren können einen nachhaltigen Bau, z.B. im Sinne eines Labels wie Minergie Eco, fordern. Nicht zuletzt aber können Architekten und Ingenieure Einfluss darauf nehmen, welche Baustoffe verwendet werden. Solange diese Vorurteile gegen Recyclingbeton haben, werden sie den Baustoff kaum verwenden. Mit unserer Massnahme versuchen wir, die Akzeptanz von Recyclingbeton bei Architekten und Ingenieuren zu erhöhen. Da Akzeptanz etwas sehr Individuelles und kaum direkt Beeinflussbares ist, müssen wir den Umweg über einen weiteren Faktor gehen. In unserem Falle ist dies der Informationsgrad. Haben Architekten und Ingenieure mehr Wissen über RC-Beton, so wird vermutlich auch ihre Akzeptanz gegenüber Recyclingbeton gefördert, da nicht basierend auf Vorurteilen und Vermutungen, sondern auf Fakten über den Einsatz von RC-Beton entschieden wird. Diese Zusammenhänge sind vereinfacht auch unserem System (Abb. 2) zu entnehmen.

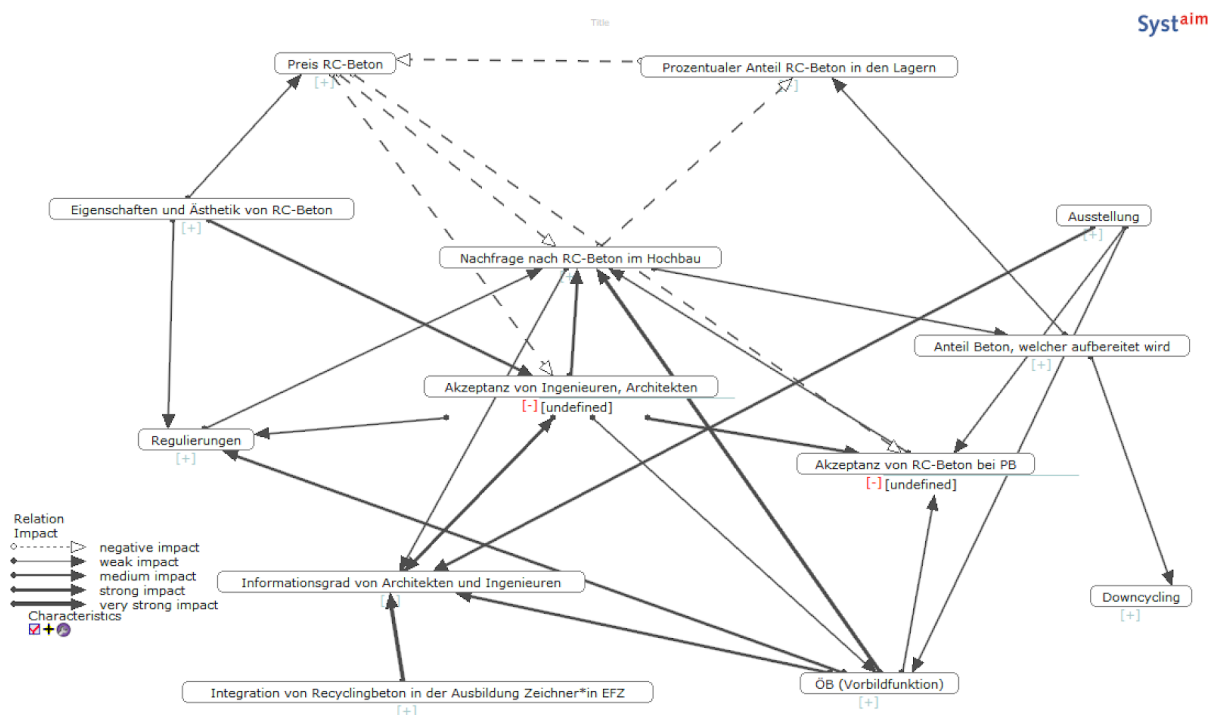


Abb. 4: Das Systemmodell, welches die gegenseitigen Einflüsse der Variablen zeigt (eigenen Darstellung)

Durch die Integration des Themas Recyclingbeton in die Ausbildung von angehenden Zeichnern werden die betroffenen Berufsgruppen neutral über Vor- und Nachteile von Sekundärbeton informiert. Der Informationsgrad der Architekten und Ingenieure nimmt somit zu. Dadurch steigt unserer Annahme nach zu einem gewissen Grad auch die Akzeptanz. Somit werden die Architekten und Ingenieure den Einsatz von RC-Beton nicht mehr ablehnen, so dass die Nachfrage direkt positiv beeinflusst wird. Gleichzeitig wird die

Nachfrage aber auch indirekt über einige weitere Faktoren erhöht. Wir gehen davon aus, dass Architekten und Ingenieure einen grossen Einfluss auf private, aber auch einen auf öffentliche Bauherren haben. Vor allem der öffentliche Bauherr hat wiederum sehr viel bei der Wahl der Baustoffe mitzureden. Werden die Bauherren von Architekten und Ingenieure von Recyclingbeton überzeugt, verlangen sie also möglicherweise selbst einen Bau mit diesem Material.

Der unmittelbare Einfluss der Massnahme auf die Nachfrage ist nicht übermässig gross, was wohl hauptsächlich daran liegt, dass nur indirekt über eine relativ lange Wirkungskette eingegriffen wird. Dies wird in Abb. 3 ersichtlich: Das Programm SystemQ hat für die Massnahme nur eine schwache Zielwirksamkeit hinsichtlich der Erhöhung der Nachfrage nach RC-Beton im Hochbau festgestellt.

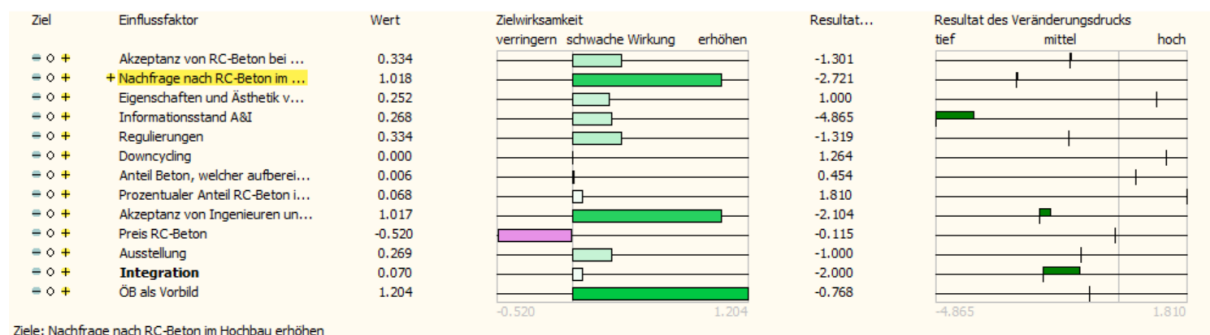


Abb. 5: Die tiefe Zielwirksamkeit der Variable «Integration in der Ausbildung» (eigene Darstellung)

Andererseits hat die Integration in der Ausbildung aber auch langfristige Vorteile. Wenn Architekten und Ingenieure mehr über Recyclingbeton informiert sind, können sie nämlich selbst wieder ihr Wissen weitergeben. Durch Referate, Diskussionen oder schlicht durch Austausch unter Fachleuten können sie ihr Wissen und allenfalls gesammelten Erfahrungen mit anderen teilen.

Die Massnahme ist also zwar nicht sehr effizient, aber dafür über einen längeren Zeitraum wirksam.

Dies wird gut ergänzt durch unsere Massnahme "Recyclingbeton - belastbar, nachhaltig, ästhetisch". Diese setzt am gleichen Punkt an wie die Massnahme der Integration in der Ausbildung, nämlich bei der Erhöhung des Informationsgrads von Architekten und Ingenieuren. Zusätzlich ist die Ausstellung aber auch für private und öffentliche Bauherren zugänglich, wenn auch nicht in erster Linie auf diese ausgerichtet, wodurch sie auch die Akzeptanz von RC-Beton bei der Bauherrschaft steigern kann. Durch diesen breiteren Ansatz, aber auch da mehr Aufmerksamkeit erzielt wird, ist diese Massnahme zielwirksamer als die andere. Dies zeigt auch die Einstufung von SystemQ (Abb. 4 und 5). Dafür ist sie vermutlich eher kurzfristig statt über längere Sicht wirksam. Die beiden Massnahmen zusammengenommen sollten sich wegen ihrem ähnlichen Ansatzpunkt kumulieren und decken gleichzeitig eine unmittelbare starke sowie eine längerfristige, schwächere Wirkung ab.

Unterrichtskonzept zur Sensibilisierung für Recyclingbeton

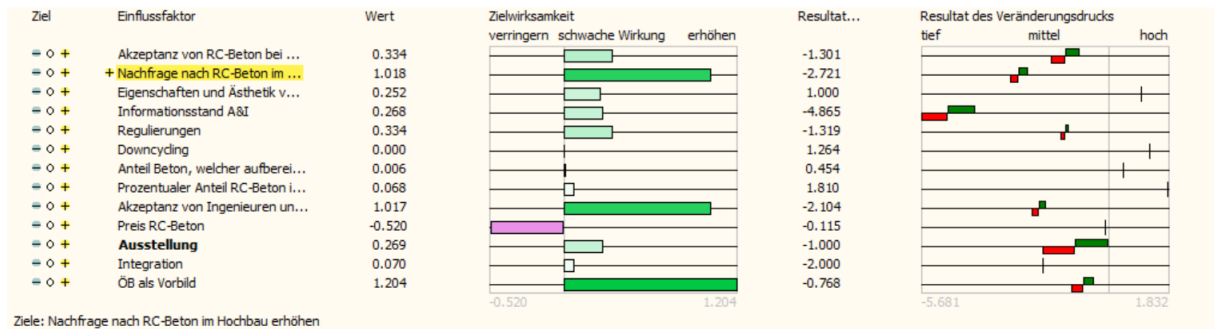


Abb. 4: Die tiefe Zielwirksamkeit der Variable «Ausstellung» (eigene Darstellung)

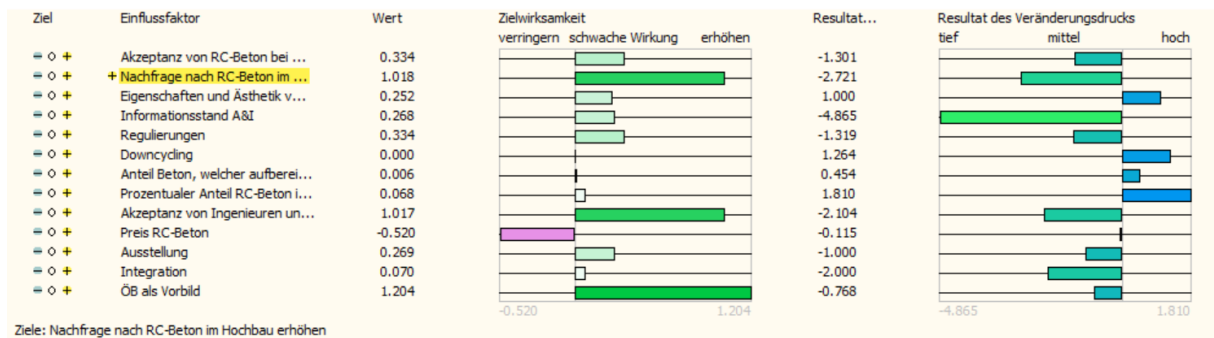


Abb. 5: Die Zielwirksamkeit im Vergleich der Variablen «Integration in der Ausbildung» und «Ausstellung»

Auf den nachfolgenden Seiten wird unser Variablensatz erläutert.

Variablensatz Projektgruppe 13

Name	Nachfrage nach RC-Beton im Hochbau
Beschreibung	Die Variable beschreibt, wie viel vom Anteil des aufbereiteten mineralischen Abbruchs wieder in den Hochbau gelangt. Dies ist eine quantitative Variable.
Hohe Ausprägung	>50%
Tiefe Ausprägung	<10%
Aktueller Zustand	ca. 20%
Indikator	Stoffflussanalyse durchführen, Stakeholder befragen
Hintergrund	Stoffflussanalyse und Ökobilanz

Name	Akzeptanz von RC-Beton bei privaten Bauherren (PB)
Beschreibung	Diese Variable beschreibt die Akzeptanz von RC-Beton bei privaten und öffentlichen Bauherren. Dies ist eine Bedürfnisvariable.
Hohe Ausprägung	Der Ruf von RC-Beton ist gleich gut wie der von Primärbeton
Tiefe Ausprägung	Es besteht kein Vertrauen und viele Vorurteile
Aktueller Zustand	Eher tiefe, aber tendenziell zunehmende Ausprägung.
Indikator	Durch Befragungen kann die öffentliche Meinung herausgefunden werden. Gemessen kann es auch indirekt in der Nachfrage werden.
Hintergrund	Ökonomie, Stoffflussanalyse und Ökobilanz

Name	Öffentlicher Bauherr (Vorbildfunktion)
Beschreibung	Diese Variable beschreibt das Verhalten des Öffentlichen Bauherren. Durch seine Ausschreibungen bestimmt er die Baustoffe für seine Projekte und nimmt eine Vorbildfunktion gegenüber Architekten, Ingenieuren und v.a. privaten Bauherren ein. Auch dies ist eine Bedürfnisvariable.
Hohe Ausprägung	Der ÖB verlangt in seinen Ausschreibungen in über 70% der Fälle die Verwendung von Recyclingbeton.
Tiefe Ausprägung	Der ÖB verlangt nur in den wenigsten Fällen (<10%) RC-Beton.
Aktueller Zustand	Eher tiefe, aber tendenziell zunehmende Ausprägung. Der aktuelle Zustand dieser Variable ist aber von Kanton zu Kanton verschieden.
Indikator	Durch Befragungen kann die Haltung des ÖB eruiert werden. Gemessen kann es auch indirekt in der Nachfrage werden.
Hintergrund	Ökonomie, Stoffflussanalyse und Ökobilanz

Name	Akzeptanz von RC-Beton bei Ingenieuren und Architekten
Beschreibung	Diese Variable beschreibt die Akzeptanz von RC-Beton bei Ingenieuren und Architekten. Durch ihre berufliche Tätigkeit sowie ihren Einfluss auf Bauherren können sie viel zu einer Entscheidung für oder gegen Recyclingbeton beitragen. Dies ist eine Bedürfnisvariable. Im System wird diese Variable einfachheitshalber «Akzeptanz von Ingenieuren, Architekten» genannt.
Hohe Ausprägung	Der Ruf von RC-Beton ist gleich gut wie der von Primärbeton.
Tiefe Ausprägung	Es besteht kein Vertrauen und viele Vorurteile, z.B. Vorbehalte betreffend minderwertiger Qualität und Ästhetik.
Aktueller Zustand	Eher tiefe, aber tendenziell zunehmende Ausprägung.
Indikator	Durch Befragungen kann die Haltung der betroffenen Berufsgruppen herausgefunden werden. Gemessen kann es auch indirekt in der Nachfrage werden.
Hintergrund	Ökonomie, Stoffflussanalyse und Ökobilanz

Name	Informationsgrad von Architekten und Ingenieuren
Beschreibung	Die Variable beschreibt, wie viel Architekten und Ingenieure durchschnittlich über RC-Beton wissen. Es handelt sich um eine Bedürfnisvariable.
Hohe Ausprägung	Architekten und Ingenieure sind umfassend über RC-Beton, dessen Eigenschaften und dessen Verwendungsmöglichkeiten im Hochbau informiert.
Tiefe Ausprägung	Architekten und Ingenieure wissen kaum etwas über RC-Beton und bleiben deshalb beim ihnen bekannten Beton.
Aktueller Zustand	Der Informationsgrad ist mittelmässig. Fakultative Schulungen erreichen nur einen kleinen Teil der Berufsgruppen.
Indikator	Anzahl angebotener Schulungen und Kurse
Hintergrund	Recht

Name	Eigenschaften und Ästhetik von RC-Beton
Beschreibung	Diese Variable beschreibt sowohl die Eigenschaften des RC-Beton, wie z.B. Elastizitätsmodul und Ausbreitmass, die v.a. für Ingenieure von Bedeutung sind, als auch die Ästhetik, die für Architekten eine grosse Rolle spielt. Dies ist eine Bedürfnisvariable.
Hohe Ausprägung	Der RC-Beton kann als Sichtbeton verwendet werden und schränkt die Möglichkeiten der Formen nicht ein. Die Eigenschaften entsprechen weitgehend denen von Primärbeton.
Tiefe Ausprägung	Der RC-Beton wirkt unästhetisch und beschränkt die Möglichkeiten der Formen. Die Eigenschaften sind merklich schlechter als diejenigen von Primärbeton.
Aktueller Zustand	Die Ästhetik ist für Bauherren und Architekten individuell verschieden und bei der formalen Struktur gibt es kaum Einschränkungen. Der aktuelle RC-Beton ist dem Primärbeton in seinen Eigenschaften mit Ausnahme kleinerer Unterschiede sehr ähnlich.
Indikator	Befragungen von Architekten und Bauherren Labortest von Recyclingbeton Vorbildgebäude aus RC-Beton Qualitätsprüfung
Hintergrund	Technisch/Baustoff
Name	Regulierungen

Beschreibung	Regulierungen und Vorschriften können in der Umsetzung die Nutzung von RC-Beton hemmen, fördern oder vorschreiben. Diese Variable umfasst sowohl die Anzahl existierender Regelungen als auch deren Qualität. Dies ist eine Bedürfnisvariable.
Hohe Ausprägung	Die Nutzung von RC-Beton wird gesetzlich klar (und fördernd) reglementiert.
Tiefe Ausprägung	Zur Nutzung von RC-Beton existiert keine gesetzliche Reglementierung, was die Umsetzung erschwert.
Aktueller Zustand	Es gibt keine gesetzlichen Vorschriften oder Reglementierungen in der Umsetzung von RC-Beton, lediglich unverbindliche Richtlinien.
Indikator	Gesetze, Verordnungen, Normen
Hintergrund	Recht/Technik

Name	Downcycling
Beschreibung	Als Downcycling zählen wir den Anteil an hochbaufähigem RC-Beton, welcher stattdessen im Tiefbau genutzt wird. Dies entspricht einer Abwertung des Materials, da die Ansprüche an die Qualität im Tiefbau niedriger sind. Dies ist eine quantitative Variable.
Hohe Ausprägung	Es wird weniger als 5% an hochbaufähigem RC-Beton im Tiefbau verwendet.
Tiefe Ausprägung	Der hochbaufähige RC-Beton wird zu über 50% im Tiefbau verwendet.
Aktueller Zustand	Ca. 30% des hochbaufähigem RC-Betons wird für den Tiefbau genutzt.
Indikator	Statistik, Kennzahlen von Tiefbauämtern und Tiefbauunternehmen
Hintergrund	Stofffluss

Name	Anteil Beton, welcher aufbereitet wird
Beschreibung	Die Variable beschreibt den prozentualen Anteil des rückgebauten Materials, welches aufbereitet wird. Durch diese Variable lässt sich erkennen, ob zu wenig Abbruch für den Einsatz im Hochbau aufbereitet wird (also ob das Problem beim Aufbereitungsprozess liegt) oder ob zwar aufbereitetes Material vorhanden ist, das aber im Hochbau nicht nachgefragt wird (das Problem liegt also bei der mangelnden Nachfrage). Dies ist eine quantitative Variable.
Hohe Ausprägung	100% des Materials der rückgebauten Gebäude werden aufbereitet.
Tiefe Ausprägung	<50% des Materials der rückgebauten Gebäude werden aufbereitet.
Aktueller Zustand	80%-85% des Materials der rückgebauten Gebäude werden aufbereitet.
Indikator	Hochrechnungen aus Datenerhebungen des BAFU
Hintergrund	Stofffluss

Name	Prozentualer Anteil RC-Beton in den Lagern
Beschreibung	Diese Variable beschreibt den prozentualen Anteil an RC-Baustoffen, welche gelagert und somit nicht gebraucht werden. Dies ist eine quantitative Variable.
Hohe Ausprägung	>60 %
Tiefe Ausprägung	<10%
Aktueller Zustand	~30%
Indikator	Stoffflussanalyse durchführen, Stakeholder befragen
Hintergrund	Stoffflussanalyse und Ökobilanz

Name	Preis RC-Beton
Beschreibung	Diese Variable beschreibt den prozentualen Anteil an RC-Baustoffen, welche gelagert und somit nicht gebraucht werden. Dies ist eine quantitative Variable.
Hohe Ausprägung	>60 %
Tiefe Ausprägung	<10%
Aktueller Zustand	~30%
Indikator	Preislisten vergleichen
Hintergrund	Ökonomie

Name	Ausstellung
Beschreibung	Dies ist eine Massnahmenvariable. Durch die Ausstellung inklusive einer Werbekampagne für diese werden private Bauherren sowie Architekten und Ingenieure auf das Thema aufmerksam gemacht.

Name	Integration von RC-Beton in der Ausbildung Zeichner*in EFZ
Beschreibung	Hierbei handelt es sich um eine Massnahmenvariable. Werden angehende Zeichner (Fachrichtungen Architektur und Ingenieurbau) betreffend Recyclingbeton geschult, so steigt mit ihrem Informationsgrad vermutlich auch ihre Akzeptanz. Später werden sie dadurch möglicherweise eher auf Sekundärbeton zurückgreifen.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Unterrichtskonzept zur Sensibilisierung für Recyclingbeton

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Meier

Chiriatti

Kissling

Aeschbach

Sidler, Andersen

Vorname(n):

Annina

Fabiana

Emanuel

Saskia

Tina, Daniel

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt [Zitier-Knigge](#) beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Zürich, 31.05.2018

Unterschrift(en)

F. Chiriatti

J. Aeschbach

T. Sidler, D. Andersen

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.