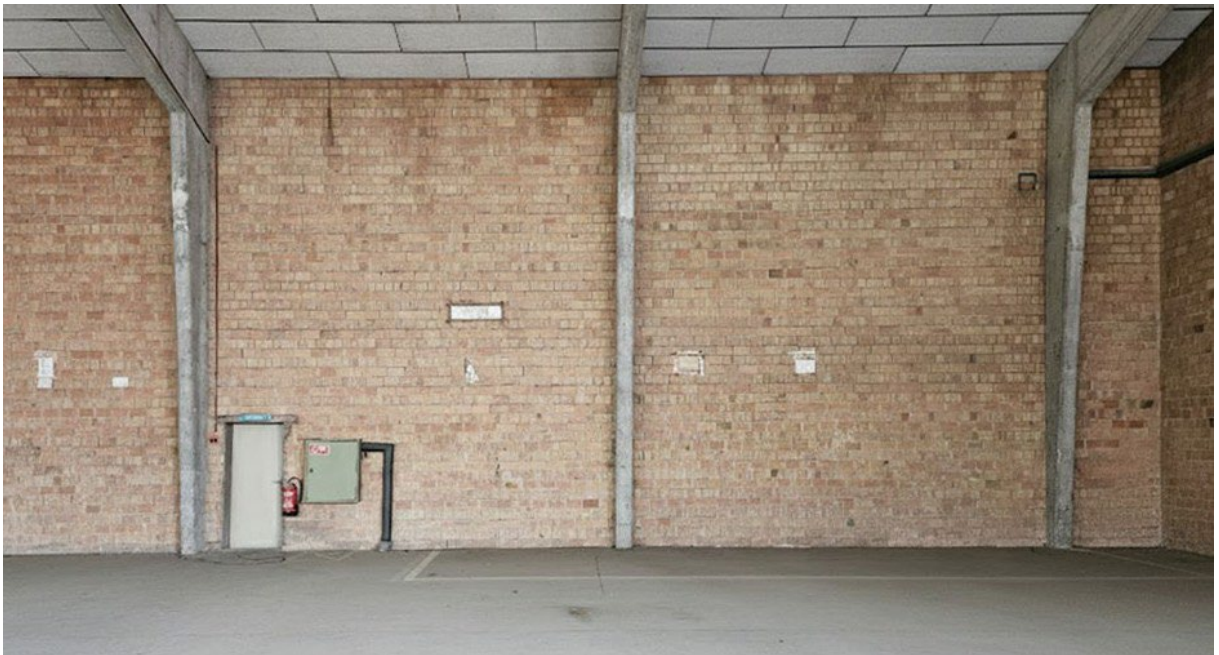




Zwischenbericht vom 22. Oktober 2025

ReWaModule

ReUse-Module - Wiederverwendung von modularen Teilstücken gemauerter Wände



Quelle: FHNW, 2025

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch

Ko-Finanzierung:

Bricks AG
Stadt Zürich
Kanton Basel-Stadt
Kanton Basel-Land

Subventionsempfänger/innen:

FHNW - Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch

Zirkular GmbH
CH-4053 Basel
www.zirkular.net

Keller AG Ziegeleien
CH-8422 Pfungen
www.keller-unternehmungen.ch

Dr. Deuring + Oehninger AG
CH-8401 Winterthur
www.deuringoehninger.ch

Pool Architekten Genossenschaft
CH-8003 Zürich
www.poolarch.ch

Berner Fachhochschule
Departement Architektur, Holz und Bau
CH-2502 Biel
www.bfh.ch/ahb/de/

Autor/in:

Gregor Steinke, FHNW, gregor.steinke@fhnw.ch
Anna Niessing, Zirkular, a.niessing@zirkular.net

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Martin Ménard, menard@lowtechlab.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502874-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt ReWaModule untersucht die Wiederverwendung von gemauerten Wänden in Form modularer Wandstücke als Beitrag zur Reduktion grauer Treibhausgasemissionen im Schweizer Gebäudesektor. Im Gegensatz zur Wiederverwendung einzelner Steine bleibt bei diesem Ansatz der Verbund aus Stein und Mörtel erhalten.

Im ersten Projektjahr wurden die methodischen Grundlagen und der inhaltliche Rahmen geschaffen. Der Schweizer Gebäudebestand wurde systematisch analysiert, um Bauperioden, Gebäudetypen und Mauerwerksarten mit hohem Wiederverwendungspotenzial zu identifizieren. Besonders relevant sind Wohn- und Industriebauten der 1950er- bis 1970er-Jahre, da diese zunehmend rückgebaut werden.

Auf dieser Basis wurde ein Klassifizierungs- und Bewertungssystem entwickelt, das technische, ökologische und ökonomische Parameter kombiniert. Es erlaubt eine systematische Beurteilung der ReUse-Eignung von Bestandsmauerwerk und bildet die Grundlage für die weiteren technischen und gestalterischen Arbeitspakete.

Im Rahmen der Voruntersuchungen auf dem Areal Ziegelei Ost in Allschwil wurden geeignete Testobjekte identifiziert. Halle 5 (Backstein- und Kalksandsteinwände) und Halle 33 (Hochlochmauerziegelwände) bieten ideale Voraussetzungen für Demontage- und Testversuche. Eine erste Testwand in Halle 33 wurde kartiert und Konzepte für die modulare Entnahme erarbeitet.

Die kommenden Projektphasen (AP3–AP6) fokussieren auf die technische Validierung der Demontage- und Prüfverfahren sowie auf die architektonische Anwendung. Mitte 2026 werden Mockups im Massstab 1:1 auf dem Areal Ziegelei Ost umgesetzt, um die Praxistauglichkeit der entwickelten Verfahren zu demonstrieren. Die Ergebnisse fliessen in einen Leitfaden für die Wiederverwendung gemauerter Wände ein, der Fachpersonen konkrete Entscheidungsgrundlagen und Handlungsempfehlungen bieten soll.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Kontext und Motivation	8
1.2 Projektziele	8
2 Vorgehen, Methode, Ergebnisse und Diskussion.....	9
2.1 Schweizer Gebäudebestand mit Relevanz für die Wiederverwendung von Mauerwerk (AP2)	11
2.1.1. Quantitative Analyse des Gebäudebestands nach Bauperiode	11
2.1.2. Charakterisierung des relevanten Wohngebäudebestands (1950–1970).....	12
2.1.3. Charakterisierung des relevanten Industrie- und Gewerbebaus (1950–1970)	13
2.2 Situation des Rückbaus in der Schweiz (AP2)	14
2.2.1. Abbruchstatistiken und Ursachen für Rückbau	14
2.2.2. Gebäudebestand als Materialquelle	14
2.2.3. Konventioneller Abbruch und Selektiver Rückbau	15
2.2.4. Bestandsaufnahme der Verwertungswege.....	16
2.3 Charakterisierung des Mauerwerksbaus 1950-1970 (AP2)	17
2.3.1. Backsteine	17
2.3.2. Kalksandsteine:	18
2.3.3. Mörtel	19
2.3.4. Wandkonstruktionen	20
2.4 Entwicklung des Klassifizierungs- und Bewertungssystems (AP2).....	23
2.4.1. Klassifizierungsparameter	23
2.4.2. Methodik der Datenerhebung und Analyse potenzieller Quellwände	25
2.5 Bewertungssystems für die Wiederverwendbarkeit (AP2)	27
2.5.1. Struktur des Bewertungssystems: Der «ReWaModule-Potenzial-Index» (RPI).....	27
2.5.2. Bewertungskriterien und Gewichtung	27
2.5.3. Definition von ReUse-Potenzialklassen.....	28
2.6 Bestandsaufnahme und Analyse Ziegelei Allschwil (AP2).....	29
2.6.1. Methodisches Vorgehen bei der Bestandsaufnahme.....	29
2.6.2. Ergebnisse der Analyse der Bestandsbauten auf dem Areal Ziegelei Ost	30
2.6.3. Halle 5 (Baujahr 1968).....	30
2.6.4. Halle 33 (Baujahr 1980).....	31
2.6.5. Halle 7 (Baujahr 1954).....	32



	2.6.6. Weitere Bauten (Halle 3, 12, 120)	32
3	Schlussfolgerungen und Ausblick	35
4	Publikationen und andere Kommunikation	36
5	Literaturverzeichnis	37



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gebäudebestand der Schweiz nach Alter (Referenzjahr 2023) [4].	12
Abbildung 2: Wohngebäude Massivbauweise 1950er Jahre. Quelle: www.abz.ch	12
Abbildung 3: Stahlbetonskelettbau mit Backsteinausfachungen, Halle 5 Ziegelei Ost, Allschwil. Foto: FHNW	13
Abbildung 4: Abriss von Gebäuden in der Schweiz nach Gebäudekategorie und Alter zwischen 2000 und 2023 [4].	14
Abbildung 5: Konventioneller Abbruch, Beispiel Polyfeld MuttENZ (Foto: FHNW)	15
Abbildung 6: Selektiver Rückbau und Demontage Parkhaus Lysbüchel Basel (Foto: Derek Li Wan Po) [18].	16
Abbildung 7: Links – Schneiden der Backsteinmodule (Foto: Rasmus Hjortshøj). Rechts - Fassade mit geschnittenen Backsteinmodulen, Wohnbauprojekt «Resource Rows» Lendager Group Kopenhagen [20].	17
Abbildung 8: Läuferverband [23].	20
Abbildung 9: Blockverband [23].	21
Abbildung 10: Kreuzverband [23].	21
Abbildung 11: Vertikalschnitt zweischaliges Sichtmauerwerk mit Luftschicht, Kerndämmung [23].	22
Abbildung 12: Bohrkerne, Bohrloch, Kernbohrung an Mauerwerksfassade, Allschwil 2024. Fotos: Dr. Deuring + Oehninger AG	26
Abbildung 13: Bond-Wrench-Test zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit gemäss SN EN 1052-5 [30].	26
Abbildung 14: Übersichtsplan Ziegelei Ost Allschwil mit Bauten von 1904 bis 1988, inklusive Nummerierung der Hallen.	29
Abbildung 15: Ziegelei Ost Allschwil Aussenansicht Halle 5. Foto: Zirkular AG	31
Abbildung 16: Ziegelei Ost Allschwil Aussenansicht Halle 33. Foto: Zirkular AG	32
Abbildung 17: Detailanalyse und Konzeption für das Schneiden und Entnehmen der Module der Testwand Halle 33 Ziegelei Allschwil Ost. Quelle: Dr. Deuring + Oehninger	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebäudebestand in der Schweiz nach Bauperiode und Hauptnutzung (Stand 2024)	11
Tabelle 2: Standardisierte Backsteine in der Schweiz (ca. 1950-1970) basierend auf SIA 113 (1943) [25] und Herstellerangaben.	18
Tabelle 3: Standardisierte Kalksandsteine in der Schweiz (ca. 1950-1970) basierend auf SIA 113 (1965) [26] und Herstellerangaben.	19
Tabelle 4: Auszug aus der Parameter-Matrix zur Klassifizierung von Bestandsmauerwerk.	24
Tabelle 5: Struktur des Bewertungssystems «ReWaModule-Potenzial-Index» (RPI). Verknüpfung von Kriterien, Parametern, beispielhafte Bewertungsskala und vorgeschlagene Gewichtungsfaktoren.	28
Tabelle 6: Übersicht und vorläufige Eignungsbewertung der identifizierten Mauerwerkstypen auf dem Areal Ziegelei Ost.	33



Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BFH	Berner Fachhochschule
CSH	Calciumsilicathydrat-Phasen
DF	Dünnformat (Mauerstein)
DT	Zerstörende Prüfung (Destructive Testing)
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
f_k	Charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks
f_{vk}	Charakteristische Schubfestigkeit des Mauerwerks
f_{bk}	Charakteristische Druckfestigkeit des Mauersteins
f_{mk}	Charakteristische Druckfestigkeit des Mörtels
GWR	Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister
GWS	Gebäude- und Wohnungsstatistik
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KS	Kalksandstein
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
MDT	Minimal-destruktive Prüfung oder Teilzerstörende Prüfung (Minor Destructive Testing)
NF	Normalformat (Mauerstein)
NDT	Zerstörungsfreie Prüfung (Non-Destructive Testing)
ReUse	Wiederverwendung von Bauteilen oder Baukonstruktionen
ReWaModule	ReUse von Wänden in geschnittenen Modulen
RPI	ReWaModule-Potential Index
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
THGE	Treibhausgasemissionen



1 Einleitung

1.1 Kontext und Motivation

Die Schweizer Baubranche steht vor der Herausforderung, ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren. Gemäss den Verpflichtungen des Pariser Klimaabkommens müssen insbesondere die grauen Emissionen bei der Erstellung von Gebäuden gesenkt werden. Während für Beton bereits verschiedene Wiederverwendungsstrategien erforscht und in Pilotprojekten umgesetzt werden, besteht für gemauerte Wandkonstruktionen eine Forschungslücke.

Die aktuelle Rückbaupraxis führt dazu, dass gemauerte Wände trotz ihrer Langlebigkeit und potenziellen Wiederverwendbarkeit grösstenteils als Mischabbruch auf Deponien enden oder bestenfalls einem Downcycling zugeführt werden. Dies stellt eine Ressourcenverschwendung dar, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Herstellung neuer Backsteine bei Prozesstemperaturen über 900°C unter Einsatz fossiler Energieträger erfolgt. Gemäss Ökobilanzdaten KBOB 2009/2022v6 [1] verursacht die Herstellung einer 11.5 cm Vorsatzschale aus Klinker-Sichtbackstein 68 kg CO₂-äqu./m², eine 15 cm Backsteinwand 43 kg CO₂-äqu./m².

Historisch betrachtet hat die Wiederverwendung von Backsteinen eine lange Tradition – über Jahrhunderte wurden Backsteine rückgebaut und neu vermauert. Diese Praxis ging jedoch mit der Entwicklung moderner Bautechniken und veränderter Mörtelzusammensetzungen weitgehend verloren. Gemäss SIA 390/1:2025 [2] können bei der Wiederverwendung von Bauteilen durchschnittlich 80% der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu Neubauteilen eingespart werden.

Das Forschungsprojekt ReWaModule adressiert diese Problematik durch folgenden Ansatz. Statt einzelner Backsteine sollen ganze Wandmodule als geschnittene Teilstücke wiederverwendet werden. Dieser Ansatz verspricht nicht nur höhere Effizienz im Rückbau- und Wiedereinbauprozess, sondern auch die Erhaltung der strukturellen Integrität des Mauerwerksverbands. Der Fokus liegt dabei auf Wohn- und Industriegebäuden der 1950er bis 1970er Jahre, die aktuell vermehrt für Ersatzneubauten rückgebaut werden und ein grosses Wiederverwendungspotenzial aufweisen.

1.2 Projektziele

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt ReWaModule verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz zur Etablierung der Wiederverwendung modularer Mauerwerksteilstücke in der Schweizer Baupraxis. Die Projektziele gliedern sich in mehrere Ebenen:

Wissenschaftlich-technische Ziele:

- Entwicklung einer Klassifizierung gemauerter Wände im Schweizer Gebäudebestand, basierend auf Materialzusammensetzung, Verarbeitung, Alter, Herkunft, Einsatzart und Häufigkeit
- Erarbeitung eines Bewertungssystems für die Wiederverwendbarkeit von Wandmodulen unter Berücksichtigung materialtechnologischer, ökologischer und ökonomischer Kriterien
- Entwicklung und Validierung standardisierter Prüfmethode zur Qualitätssicherung von ReUse-Wandmodulen, einschliesslich Tests zur Tragfähigkeit, bauphysikalischen Eigenschaften und Schadstoffbelastung

Praxisorientierte Ziele:

- Konzeption effizienter und sicherer Verfahren für alle Prozessschritte: Demontage, Transport, Aufbereitung, Lagerung und Wiedereinbau modularer Wandstücke
- Entwicklung skalierbarer und übertragbarer Prozesse unter Einbindung kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien



- Erstellung von Mockups zur Demonstration der Praxistauglichkeit auf dem Areal Ziegelei Ost in Allschwil
- Ausarbeitung eines praxisorientierten Handlungsleitfadens für Planer, Rückbauunternehmen und ausführende Betriebe

Ökologische und ökonomische Ziele:

- Quantifizierung des Einsparpotenzials grauer Treibhausgasemissionen durch Erstellung von THGE-Bilanzen gemäss SIA 2032 [3]
- Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen für alle Prozessschritte
- Bewertung des Skalierungspotenzials und der volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer breiten Implementierung

Architektonische und gestalterische Ziele:

- Untersuchung der gestalterischen Potenziale und funktionalen Abhängigkeiten bei der Integration wiederverwendeter Wandmodule
- Entwicklung architektonischer Anwendungsbeispiele für verschiedene Gebäudetypologien
- Erarbeitung von Entwurfsstrategien, die die spezifischen Eigenschaften wiederverwendeter Wandmodule als Gestaltungselement nutzen

2 Vorgehen, Methode, Ergebnisse und Diskussion

Das methodische Vorgehen kombiniert analytische, experimentelle, konzeptionelle und anwendungsbezogene Schritte in acht aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP).

Die Recherche und Bestandsanalyse bilden die Grundlage des Forschungsprojekts. Zusammen mit der anschliessenden Entwicklung technischer Verfahren ist dies die Basis für die praktische Erprobung und Bewertung. Theorie, Labor- und Felduntersuchungen sowie Entwurfs- und Simulationsmethoden werden integriert, um technische, gestalterische und ökologische Aspekte der Wiederverwendung zu untersuchen.

Die Vorgehensweise lässt sich in vier methodische Hauptphasen gliedern:

1. Analysephase (AP2)

In dieser Phase werden Grundlagen zur Wiederverwendung von Mauerwerk in geschnittenen Wandstücken recherchiert und repräsentative Wandtypen aus Wohn- und Industriegebäuden der 1950er–1970er-Jahre untersucht.

- Erhebung der Materialeigenschaften durch Literaturrecherche, Expert/inneninterviews, Feldstudien und Sondierungen.
- Klassifizierung der Wandaufbauten und Entwicklung eines Bewertungssystems für die Wiederverwendbarkeit auf Basis materialtechnologischer, ökologischer und ökonomischer Kriterien.
- Identifizierung relevanter Parameter wie Steinart, Mörteltyp, Verbundstruktur und Schadstoffbelastung.



2. Entwicklungsphase (AP3–AP4)

Aufbauend auf den Analyseergebnissen werden technische Prozesse für Demontage, Transport, Aufbereitung und Wiedereinbau entwickelt.

- Erstellung und Erprobung von Prototypen und Richtlinien zur sicheren Handhabung von Wandmodulen.
- Entwicklung und Validierung von Prüfmethoden zur Beurteilung von Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und bauphysikalischen Eigenschaften
- Ausarbeitung eines Entscheidungsschemas zur Eignungsprüfung für die Wiederverwendung.

3. Anwendungs- und Demonstrationsphase (AP5–AP6)

Es werden architektonische und konstruktive Einsatzmöglichkeiten erforscht.

- Entwicklung von Entwurfs- und Nutzungskonzepten für wiederverwendete Wandelemente.
- Umsetzung in Mockups im Massstab 1:1 auf dem Areal Ziegelei Ost Allschwil zur Überprüfung der Praxistauglichkeit.
- Dokumentation der Prozesse von der Entnahme bis zum Wiedereinbau unter realen Baustellenbedingungen.

4. Bewertungs- und Synthesephase (AP7–AP8)

Parallel zu AP 3 bis 6 werden ökologische und ökonomische Auswirkungen der entwickelten Verfahren quantifiziert.

- Erstellung von THGE-Bilanzen gemäss SIA 2032 [3] und auf Basis der KBOB 2009/1 [1].
- Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen und Sensitivitätsuntersuchungen zur Bewertung der Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit.
- Zusammenführung der Erkenntnisse in einem Leitfaden und wissenschaftlichen Bericht zur Anwendung in Planung und Praxis.

Das Projektteam vereint Kompetenzen aus Bauphysik, Tragwerksplanung, Materialtechnologie, Architektur, Ökobilanzierung und Kreislaufwirtschaft. Die Hochschulpartner FHNW und BFH arbeiten eng mit Industrie- und Planungspartnern (u. a. Zirkular AG, Keller AG Ziegeleien, Dr. Deuring + Oehninger AG, pool Architekten, Aregger AG) zusammen. Durch diese Konstellation werden Forschung, Entwicklung und Praxis verbunden.

Begleitung und Wissenstransfer

Es erfolgt eine Begleitung durch eine interdisziplinäre Begleitgruppe aus Fachstellen der Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft, Stadt Zürich und BAFU sowie Vertreter des BFE. Die Rückmeldungen fliessen in die Arbeitspakete ein.

Die Ergebnisse werden über Mockups, Workshops, Publikationen und Vorträge kommuniziert, um den Wissenstransfer in Lehre, Forschung und Praxis zu gewährleisten.

In den folgenden Abschnitten werden die Arbeiten und Ergebnisse des AP 2 dargestellt. Dabei wurde der Schweizer Gebäudebestand systematisch hinsichtlich seiner Relevanz für die Wiederverwendung von Mauerwerk untersucht. Ziel war es, Gebäudetypen, Bauperioden und Mauerwerksarten zu identifizieren, die aufgrund ihrer Materialität, Konstruktionsweise und Rückbauhäufigkeit besonderes Potenzial für die Wiederverwendung in Form geschnittener Wandmodule aufweisen.

Der Schwerpunkt lag auf Wohn- und Industriegebäuden aus den 1950er- bis 1970er-Jahren, da diese einerseits in grosser Zahl vorhanden sind und andererseits vermehrt rückgebaut werden. Für diese Bauten sind standardisierte Ziegel- und Kalksandsteinformate sowie mineralische Mörtel



charakteristisch, die eine vergleichsweise gute strukturelle Integrität und damit günstige Voraussetzungen für die Wiederverwendung bieten.

Die Analysephase diente als Grundlage für die Klassifizierung typischer Wandaufbauten, die Entwicklung eines Bewertungssystems zur ReUse-Eignung und die Vorbereitung der experimentellen Untersuchungen in den nachfolgenden Arbeitspaketen.

2.1 Schweizer Gebäudebestand mit Relevanz für die Wiederverwendung von Mauerwerk (AP2)

Dieser Abschnitt quantifiziert und charakterisiert den Gebäudebestand, der das Materialreservoir für das Forschungsprojekt darstellt.

2.1.1. Quantitative Analyse des Gebäudebestands nach Bauperiode

Die Grundlage für die quantitative Analyse bildet die Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) des Bundesamtes für Statistik (BFS) [4].

Ein grosser Teil des Schweizer Gebäudeparks stammt aus dem wirtschaftlichen Aufschwung der Nachkriegszeit. Gebäude, die zwischen 1946 und 1990 errichtet wurden, machen über 40 % der insgesamt ca. 2.3 Millionen Gebäude in der Schweiz aus. Die Analyse fokussiert auf die vom BFS definierten Bauperioden 1946–1960 und 1961–1970. Tabelle 1 zeigt, dass 236'402 Gebäude aus der Periode 1946–1960 und 218'140 Gebäude aus der Periode 1961–1970 stammen. Dies ergibt eine Gesamtzahl von über 454'000 Gebäuden, die die statistische Basis der potenziellen Materialquelle bilden. Die Verteilung nach Gebäudealter bezogen auf das Jahr 2024 ist in Abbildung 1 dargestellt.

Tabelle 1: Gebäudebestand in der Schweiz nach Bauperiode und Hauptnutzung (Stand 2024)

Bauperiode	Wohngebäude (Anzahl)	Nicht-Wohngebäude (Anzahl)	Total (Anzahl)
< 1919	343'914	95'499	439'413
1919–1945	187'372	52'030	239'402
1946–1960	185'158	51'415	236'573
1961–1970	170'731	47'409	218'140
1971–1980	193'254	53'663	246'917
1981–1990	200'548	55'689	256'237
1991–2000	178'582	49'589	228'171
2001–2010	166'396	46'205	212'601
2011–2022	174'178	48'366	222'544

Datenquelle: Bundesamt für Statistik (BFS), Gebäude- und Wohnungsstatistik, eidg. Gebäude- und Wohnungsregister (GWR). Anzahl und Verteilung der Nicht-Wohngebäude wurde aus der Gesamtanzahl der Gebäude und der Verteilung der Wohngebäude auf die Bauperioden ermittelt.

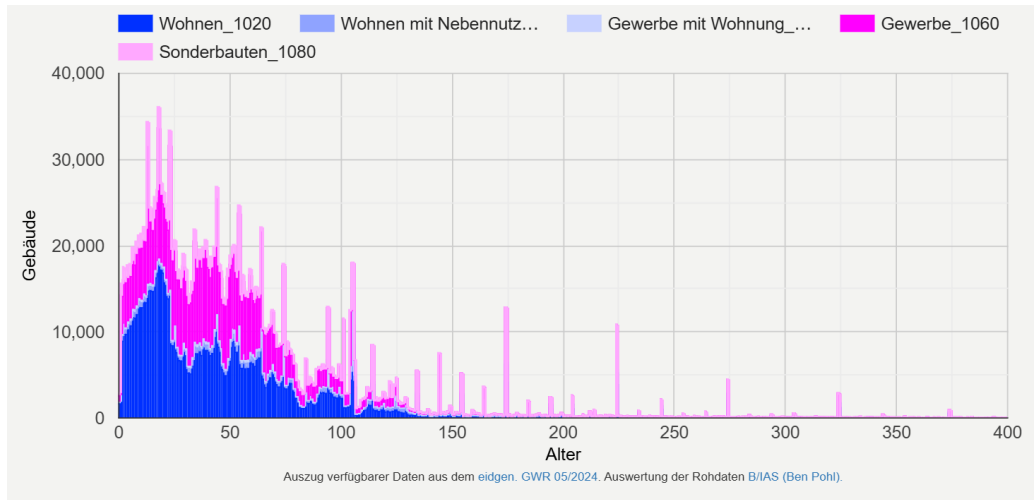


Abbildung 1: Gebäudebestand der Schweiz nach Alter (Referenzjahr 2023) [5].

2.1.2. Charakterisierung des relevanten Wohngebäudebestands (1950–1970)

Die Gebäude dieses Zeitraums weisen folgende bautechnische Merkmale auf, die für die Wiederverwendung von Mauerwerk relevant sind.

Bauweise: Bauten aus dieser Zeit sind typischerweise durch massive Konstruktionen gekennzeichnet. Aussenwände wurden üblicherweise als einschaliges verputztes Backsteinmauerwerk oder als verputztes zweischaliges Mauerwerk mit dazwischenliegender Luftschicht ausgeführt (Abbildung 2) [6]. In späteren Bauperioden wurden komplexere, mehrschichtige wärmedämmte Wandsysteme zum Standard.



Abbildung 2: Wohngebäude Massivbauweise 1950er Jahre. Quelle: www.abz.ch

Materialien: Der primäre Baustoff für Wände war Backstein. Der verwendete Mörtel in diesem Zeitraum war typischerweise zementbasiert [7]. Dies führte zu starken Verbunden, die eine sortenreine Trennung einzelner Ziegel erschweren [7], sich aber potenziell ideal für die im Projekt angestrebte modulare Wiederverwendung ganzer Wandsegmente eignen.



Energetischer Zustand: Ein Hauptmerkmal dieses Gebäudebestands ist seine, nach heutigen Anforderungen, unzureichende energetische Qualität. Ein grosser Teil der Gebäude dieser Epoche gelten als energetisch sanierungsbedürftig [8]. Dieser Sanierungsstau ist ein wesentlicher Treiber für umfassende Sanierungen oder für den Abriss und Ersatzneubau.

2.1.3. Charakterisierung des relevanten Industrie- und Gewerbebaus (1950–1970)

Neben dem Wohnungsbau bietet auch der Industrie- und Gewerbebau dieser Periode ein erhebliches Potenzial.

Bauweise: Industriebauten dieser Bauperiode wurden häufig in Betonskelett- oder Stahlbauweise mit Ausfachung aus Mauerwerk ausgeführt.

Materialpotenzial: Industriebauten weisen oft grosse, einheitliche unverputzte Wandflächen mit wenigen Öffnungen auf. Diese Homogenität kann die Gewinnung grösserer und standardisierter Module für die Wiederverwendung ermöglichen. Die oft einfachere Konstruktion könnte zudem einen erleichterten, weniger aufwendigen Rückbau begünstigen. Die Industrie- und Gewerbebautypologien dieses Zeitraums könnten somit eine effiziente Quelle für wiederverwendbare Module darstellen. Für die praktische Erprobung der im Projekt zu entwickelnden Methoden stehen die Industriegebäude der ehemaligen Ziegelei Ost in Allschwil als Testobjekte zur Verfügung, an denen exemplarisch Wandmodule entnommen und zu Mockups verarbeitet werden können (Abbildung 3).



Abbildung 3: Stahlbetonskelettbau mit Backsteinausfachungen, Halle 5 Ziegelei Ost, Allschwil. Foto: FHNW



2.2 Situation des Rückbaus in der Schweiz (AP2)

2.2.1. Abbruchstatistiken und Ursachen für Rückbau

Zwischen 2000 und 2023 wurden in der Schweiz ca. 100'000 Gebäude abgerissen. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Rückbauten in diesem Zeitraum nach Gebäudealter und Gebäudekategorie. Die Analyse von Daten aus dem Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) zeigt, dass die höchste Anzahl an Abrissen im Wohnsektor Gebäude mit Baujahren zwischen 1940 und 1970 betrifft [5], [9]. Im Jahr 2023 waren über 30 % aller abgebrochenen Gebäude Wohnbauten [5]. Die Gesamtzahl der Abbrüche pro Jahr hat sich seit dem Jahr 2000 bis 2023 mehr als verdreifacht [5].

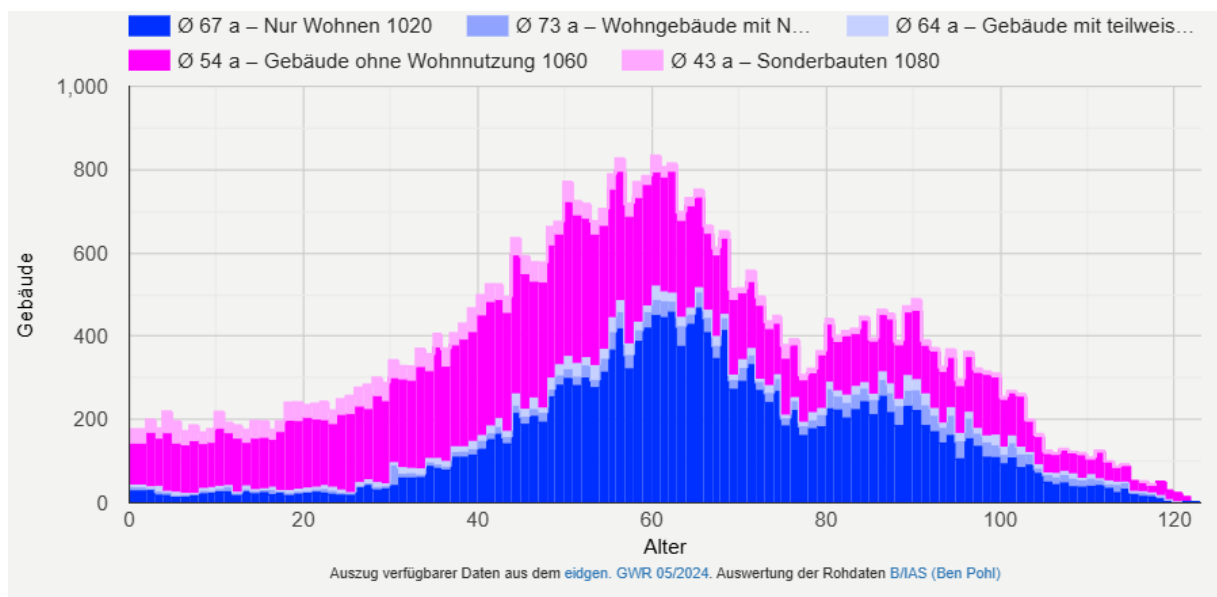


Abbildung 4: Abriss von Gebäuden in der Schweiz nach Gebäudekategorie und Alter zwischen 2000 und 2023 [5].

Aus einer Nachhaltigkeitsperspektive ist dieser vorherrschende Trend zum Abriss und Ersatzneubau kritisch zu bewerten. Anstatt intakte Bausubstanz zu vernichten, wäre der Erhalt der Gebäude in Kombination mit einer energetischen Sanierung und ggf. einer baulichen Erweiterung ökologisch und resourcentechnisch vorteilhafter [10]. Dies würde nicht nur die im Bestand gebundenen grauen Emissionen erhalten, sondern auch das Abfallvolumen reduzieren und zur Bewahrung der Baukultur beitragen.

Die treibende Kraft hinter dieser Entwicklung ist eine ökonomisch motivierte Verdichtung durch Ersatzneubau. Bestehende, oft kleinere Gebäude werden abgerissen, um Platz für neue, grössere Bauten mit mehr Nutzfläche und Wohneinheiten zu schaffen und so der Wohnraumknappheit zu begegnen [11]. Die abzubrechenden Gebäude sind häufig bautechnisch intakt und das Mauerwerk eignet sich für eine strukturelle Wiederverwendung anstelle einem Downcycling.

2.2.2. Gebäudebestand als Materialquelle

Der in 2.1.2 erwähnte Sanierungsstau betrifft rund 1.5 Millionen Gebäude in der Schweiz, die mehrheitlich aus der Nachkriegszeit stammen und schlecht gedämmt sowie fossil beheizt sind [8]. Die aktuelle Sanierungsrate ist mit nur etwa 1.5 % pro Jahr sehr gering [12]

Mit dieser Sanierungsquote würde es viele Jahrzehnte dauern, den gesamten Bestand energetisch zu erneuern. Folglich wird in den kommenden Jahrzehnten eine grosse Anzahl an Gebäuden umfassend saniert oder abgerissen werden. Dies sichert eine langfristige und vorhersagbare «Lieferkette» für wiederverwendbares Baumaterial. Diese Perspektive ist eine Voraussetzung, um Investitionen in die



notwendigen Technologien, Logistikketten und Geschäftsmodelle für eine zirkuläre Bauwirtschaft zu rechtfertigen.

2.2.3. Konventioneller Abbruch und Selektiver Rückbau

Konventioneller Abbruch: Die gängige Praxis ist der schnelle, maschinelle Abbruch. Mineralische Materialien wie Backstein, Ziegel und Beton werden dabei gemeinsam zerkleinert (Abbildung 5) und deponiert oder als sogenanntes Mischabbruchgranulat weiterverwendet. Dies stellt eine Form des Downcyclings dar, da das Material für minderwertige Anwendungen wie den Strassenunterbau genutzt wird. Jährlich fallen in der Schweiz rund 17 Millionen Tonnen Bauabfälle an [13].



Abbildung 5: Konventioneller Abbruch, Beispiel Polyfeld MuttENZ. Foto: FHNW

Selektiver Rückbau: Diese Methode ist die Grundvoraussetzung für das Konzept der Wiederverwendung in Form geschnittener Wandmodule. Sie beinhaltet den sorgfältigen, sortenreinen Ausbau von Bauteilen und Materialien, um deren Wiederverwendung zu ermöglichen (Abbildung 6) [14].

Trotz seiner ökologischen Vorteile ist der selektive Rückbau noch keine etablierte Praxis. Die grössten Hemmnisse sind:

- **Kosten:** Der selektive Rückbau ist aufgrund des höheren manuellen Aufwands und der längeren Projektdauer deutlich teurer als der konventionelle Abbruch [15].
- **Logistik:** Er erfordert eine komplexe Logistik für die sortenreine Trennung vor Ort, den schonenden Transport und die Zwischenlagerung der gewonnenen Bauteile [16].
- **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Es bestehen Unsicherheiten bezüglich der Haftung und Gewährleistung für wiederverwendete Bauteile, was Planer und Bauherrschaften abschrecken kann [17].

Trotz dieser Herausforderungen gibt es eine wachsende Dynamik in Richtung zirkuläres Bauen. Die revidierte Norm SIA 430 «Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen» [18] fördert explizit die Wiederverwendung vor dem Recycling und der Entsorgung und schafft damit ein normatives Fundament für zirkuläre Praktiken.

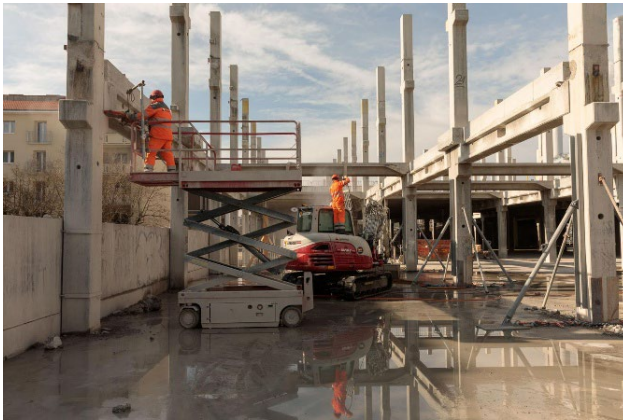


Abbildung 6: Selektiver Rückbau und Demontage Parkhaus Lysbüchel Basel (Foto: Derek Li Wan Po) [19].

2.2.4. Bestandsaufnahme der Verwertungswege

Die Recherche identifizierte folgende Verwertungsmöglichkeiten für Mauerwerk, die sich in Bezug auf Werterhalt, Ressourcenaufwand und Anwendbarkeit unterscheiden.

1. Wiederverwertung als Mischabbruch: In der Schweiz fallen jährlich rund 5 Millionen Tonnen Beton- und Mischabbruchgranulat an. Die BAFU-Studie «Mischabbruchverwertung in der Schweiz» [20] zeigt, dass Mauerwerk typischerweise 15-25% des Mischabbruchs ausmacht. Trotz hoher Verwertungsquoten gelangen immer noch mindestens 0.7 Millionen Tonnen pro Jahr auf Deponien. Die Wiederverwertung stellt den heute in der Schweiz vorherrschenden Verwertungsweg dar. Dabei wird das mineralische Abbruchmaterial mechanisch zerkleinert und zu einem Sekundärrohstoff, typischerweise Mischabbruchgranulat, aufbereitet. Dieses Granulat findet hauptsächlich im Strassen- und Tiefbau als Füllmaterial oder als Zuschlagstoff für Recyclingbeton Verwendung. Diese Methode führt jedoch zu einem erheblichen Verlust des im Material gespeicherten Wertes und der investierten Herstellungsenergie (Downcycling).
2. Die Wiederverwendung einzelner, gereinigter Steine ist ein traditionelles Verfahren, das über Jahrhunderte praktiziert wurde. Diese Methode ist von der Art des verwendeten Mörtels abhängig. Sie ist vor allem bei historischem Mauerwerk mit weichen, reversiblen Kalk- oder Lehm Mörteln technisch und wirtschaftlich machbar [7]. Für den im Projektfokus stehenden Gebäudebestand der 1950er- bis 1970er-Jahre ist dieser Ansatz in der Regel weniger geeignet. Die in dieser Zeit dominanten, hochfesten Zement- und Kalkzementmörtel machen eine zerstörungsfreie Trennung der einzelnen Steine vom Mörtel aufgrund der Haftzugfestigkeit aufwendig oder gar unmöglich, da die Haftzugfestigkeit oft die Zugfestigkeit des Steins selbst übersteigt.
3. Bei der Wiederverwendung von geschnittenen Wandmodulen (Fokus des Projekts) bleibt im Gegensatz zur Wiederverwendung einzelner Steine der Verbund aus Stein und Mörtel erhalten, was den Wert der Konstruktion weitgehend bewahrt. Dieser Ansatz wurde in einzelnen Projekten bereits erfolgreich praktiziert. Im Wohnbauprojekt «Resource Rows» des Architekturbüros Lendager Group in Kopenhagen (Abbildung 7) wurden 1x1m grosse Wandmodule beim Rückbau eines alten Brauereigebäudes mittels Diamantsägen aus den Wänden geschnitten, für den Transport mit Holzrahmen fixiert und als neue, nicht-tragende hinterlüftete Fassadenmodule wiederverwendet [21]. Eine Erkenntnis dieses Projekts war, dass bei einem Mörtel, der eine höhere Festigkeit als der Stein aufweist, das Schneiden von Modulen eine sinnvolle Option zur Werterhaltung ist. In einem Projekt vom baubüro in situ/Zirkular wurden gemauerte Brüstungselemente wiederverwendet. Im Rahmen einer Masterarbeit an der TU Delft (2024) wurden in einer Testanwendung geschnittene Wandmodule aus Bestandswänden entnommen [22]. Die Arbeit liefert Prozessbeschreibungen von der Voruntersuchung bis zur Qualitätssicherung.



Abbildung 7: Links – Schneiden der Backsteinmodule (Foto: Rasmus Hjortshøj). Rechts - Fassade mit geschnittenen Backsteinmodulen, Wohnbauprojekt «Resource Rows» Lendager Group Kopenhagen [21].

2.3 Charakterisierung des Mauerwerksbaus 1950-1970 (AP2)

Die Periode von 1950 bis 1970 war von einem beispiellosen Wirtschaftswachstum und einer hohen Bautätigkeit geprägt [23]. Getrieben durch ein starkes Bevölkerungswachstum und eine expandierende Industrie entstand eine grosse Nachfrage nach Wohn- und Zweckbauten. Während die frühen 1950er-Jahre noch von Vorkriegstechnologien und materialintensiven, massiven Bauweisen geprägt waren, führten der Wohlstand und erste bauphysikalische Überlegungen zum Wärme- und Feuchteschutz ab den 1960er-Jahren zu geschichteten Konstruktionen. Viele dieser Bauten erreichen heute das Ende ihres ersten Lebenszyklus und stellen ein Reservoir an potenziell wiederverwendbaren Baumaterialien dar.

Entwicklung der Mauersteinproduktion

Die hohe Bautätigkeit war nur durch die Industrialisierung der Baustoffproduktion möglich. Die Herstellung von Mauersteinen wandelte sich von handwerklichen Betrieben zur hoch automatisierten Massenproduktion. Die Einführung von grösseren Steinformaten und die Entwicklung von Lochsteinen mit verbesserten wärmedämmenden Eigenschaften rationalisierten den Bauprozess und reagierten auf erste bauphysikalische Anforderungen.

2.3.1. Backsteine

In der Nachkriegszeit war Backstein ein dominierender Baustoff im Wohnungs- und Industriebau. Die Herstellung erfolgte industriell im Strangpressverfahren. Dabei wird eine aufbereitete Ton-Lehm-Masse durch ein Formstück gepresst, wodurch ein Endlosstrang mit dem gewünschten Querschnitt entsteht [24]. Dieser wird anschliessend von automatischen Abschneidern in einzelne Rohlinge geteilt. Nach einer Trocknungsphase, in der den Rohlingen ein Grossteil des Wassers entzogen wird, erfolgt der Brand. In den 1950er-Jahren waren hierfür noch oft Ringöfen im Einsatz, die einen diskontinuierlichen Betrieb darstellten. Ein bedeutender technologischer Fortschritt war die Einführung des Tunnelofens Ende der 1950er Jahre. In diesem durchlaufen die Rohlinge auf Ofenwagen kontinuierlich verschiedene Temperaturzonen, was eine effizientere Produktion und eine gleichmässige Qualität ermöglichten [25].



Die Brenntemperatur liegt typischerweise zwischen 900 °C und 1100 °C und ist massgeblich für die Eigenschaften des Backsteins. Sie beeinflusst die Porosität, die Wasseraufnahme und die Druckfestigkeit. Bei ca. 900°C gebrannte Backsteine haben ein poröses Gefüge mit einer hohen kapillaren Wasseraufnahme. Höher gebrannte Steine (Klinker) sind dichter, fester und frostbeständiger [24].

Typen und Formate

Die grundlegenden Anforderungen und Formate für künstliche Steine legte SIA 113 «Provisorische Normen für die Berechnung und Ausführung von Mauerwerk aus natürlichen und künstlichen Bausteinen» [26] von 1943 fest. Das am weitesten verbreitete Format war das Normalformat (NF) mit den Abmessungen 25 x 12 x 6 cm (Tabelle 2). Daneben definierte die Norm auch grössere Formate wie das 1½-fache Normalformat (25 x 12 x 9.5 cm) und das 2-fache Normalformat (25 x 12 x 13.5 cm), die eine rationellere Verarbeitung ermöglichten.

Gebräuchliche Haupttypen:

- **Vollziegel:** Diese Steine hatten einen Lochanteil von maximal 15 % und wurden aufgrund ihrer hohen Rohdichte und Druckfestigkeit primär für tragendes Mauerwerk im Innen- und Aussenbereich eingesetzt.
- **Lochziegel:** Ab den 1950er- und insbesondere den 1960er-Jahren gewannen Lochziegel (insbesondere Hochlochziegel) an Bedeutung. Durch die vertikale Lochung wurde die Rohdichte des Steins reduziert, was zu einer verbesserten Wärmedämmfähigkeit führte.

Hersteller und regionale Besonderheiten

Zu den grossen Unternehmen der Schweizer Ziegelindustrie in dieser Zeit zählten die Zürcher Ziegeleien (ZZ), die Keller AG Ziegeleien und die AGZ Ziegeleien. Diese Unternehmen betrieben mehrere Werke in der ganzen Schweiz und boten ein breites Sortiment an Backsteinen für verschiedene Anwendungszwecke an. Neben diesen grossen Akteuren gab es zahlreiche kleinere, regionale Ziegeleien, deren Produkte oft nur lokal vertrieben wurden. Die geologische Vielfalt der Schweiz führte dazu, dass die als Rohstoff genutzten Lehm- und Tonvorkommen regional unterschiedliche Zusammensetzungen aufwiesen. Dies resultierte in einer Vielfalt an Farben der gebrannten Steine, die von hellrot über rotbraun bis hin zu gelblichen Tönen reichte.

Tabelle 2: Standardisierte Backsteine in der Schweiz (ca. 1950-1970) basierend auf SIA 113 (1943) [26] und Herstellerangaben.

Steintyp	Typische Formate (L x B x H in cm)	Typische Rohdichte (kg/m³)	Typische Druckfestigkeit f_{bk} (N/mm²)	Typische Anwendung
Backstein (Voll)	25 x 12 x 6 (NF)	1600–2000	12–28	Tragendes Innen- und Aussenmauerwerk; Sichtmauerwerk oder verputzt
Backstein (Hochloch)	25 x 12 x 13.5 (2 NF)	800–1200	12–20	Wärmedämmendes Aussenmauerwerk, leichte Innenwände; Sichtmauerwerk oder verputzt
Klinker	24 x 11.5 x 7.1	> 1900	> 28	Äussere Schale von zweischaligem Sichtmauerwerk

2.3.2. Kalksandsteine:

Als Alternative zum Backstein etablierte sich nach 1900 der Kalksandstein, der mittels Dampfhärtung bei 160–220 °C und hohem Druck hergestellt wird [24]. Dieser Prozess führt zur Bildung stabiler Calciumsilicathydrat-Phasen (CSH), die dem Stein eine hohe Druckfestigkeit und Rohdichte verleihen.



Kalksandstein wird für hochbelastetes Mauerwerk und Wände mit hohen Schallschutzanforderungen eingesetzt. Moderne Werke, wie die von Hunziker & Cie in Dietikon (ab 1955), sicherten die breite Verfügbarkeit.

Typen, Formate und Qualitätsklassen

Die Formate waren auf die gängigen Mauerwerksmasse und die Vorgaben der SIA 113 abgestimmt, um eine Kompatibilität mit Backsteinen zu gewährleisten (Tabelle 3). Neben dem Normalformat wurden auch grössere Formate wie die Duplo- und Quattroblocksteine angeboten, die eine schnellere und wirtschaftlichere Verarbeitung, oft mithilfe von Versetzgeräten, ermöglichten.

Gängige Typen Kalksandstein:

- KS-Vollsteine (KS): Steine mit einem Lochanteil von unter 15 %, die für maximalen Schallschutz und höchste Tragfähigkeit eingesetzt wurden.
- KS-Lochsteine (KS L): Steine mit einem Lochanteil über 15 %, die ein geringeres Gewicht aufwiesen und teilweise für Installationen genutzt wurden.
- KS-Vormauersteine (KS Vm) und KS-Verblender (KS Vb): Diese Steine mussten gemäss Norm frostwiderstandsfähig sein und wurden für die äussere Schale von zweischaligem Sichtmauerwerk verwendet.

Tabelle 3: Standardisierte Kalksandsteine in der Schweiz (ca. 1950-1970) basierend auf SIA 113 (1965) [27] und Herstellerangaben.

Steintyp	Typische Formate (L x B x H in cm)	Typische Rohdichte (kg/m³)	Typische Druckfestigkeit f_{bk} (N/mm²)	Typische Anwendung
Kalksandstein (Voll)	25 x 12 x 6 (NF)	1800–2200	15–25	Hochbelastete Wände, Schallschutzwände, Kellerwände
Kalksandstein (Loch)	25 x 12 x 14	1400–1800	12–20	Tragendes Mauerwerk mit geringerem Gewicht
KS-Verblender	24 x 11.5 x 7.1	> 1900	> 28	Äussere Schale von zweischaligem Sichtmauerwerk

2.3.3. Mörtel

Der verwendete Mörtel entscheidet über die Rückbaubarkeit von Mauerwerkskonstruktionen. Die 1950-70er Jahre markierten den Übergang von traditionellen zu industriellen Bindemitteln mit Auswirkungen auf den Verbund zwischen Stein und Mörtel.

Kalkmörtel dominierte noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts. Die traditionelle Rezeptur von einem Raumteil gelöschtem Kalk zu drei Raumteilen Sand erzeugte elastische Verbindungen mit charakteristischen Kalkspatzenmörteln – kleine Kalkklümpchen dienten als Selbstreparatur-Reservoirs. Carbonatisierung als Abbindeprinzip ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) ermöglichte noch Jahre später reversible Trennungen, da die vollständige Aushärtung Jahrzehnte dauert.

Zementmörtel gewann ab den späten 1950ern an Bedeutung durch schnellere Aushärtung und höhere Tragfähigkeit. Die Hydratation erzeugte irreversible chemische Bindungen, die mechanische Trennung heute meist nur mit Steinbeschädigungen ermöglichen. Mischbinder-Mörtel (Kalkzementmörtel) mit typischen Mischungen von 2:1 Sand waren ein Kompromiss zwischen Elastizität und Festigkeit.

Backstein harmonierte optimal mit Kalkmörtel durch ähnliche Elastizitätseigenschaften und Feuchtigkeitsregulierung. Kalksandstein erforderte aufgrund höherer Festigkeit eher Zementmörtel, was jedoch die heutige Wiederverwendbarkeit stark einschränkt.



2.3.4. Wandkonstruktionen

Einschalige Konstruktionen

In den 1950er-Jahren waren einschalige Mauerwerke für Aussenwände typisch und wurden auch für Innenwände verwendet.

Tragende Aussenwände: Typischerweise 30–40 cm dick, aus Voll- oder frühen Lochziegeln gemauert und zum Witterungsschutz aussen mit Kalkzementputz verputzt.

Tragende Innenwände: Mit Dicken von 15–25 cm, oft aus Kalksandstein, Backstein-Voll- oder Lochziegeln, um hohe Anforderungen an Statik und Schallschutz zu erfüllen.

Mauerwerksverbände in einschaligem Mauerwerk

Läuferverband (Halbsteinverband): Dieser Verband besteht ausschliesslich aus Läufern, die von Schicht zu Schicht um einen halben Stein versetzt sind (Abbildung 8). Er ist konstruktiv einfach und materialsparend, bietet jedoch keinerlei Verzahnung in die Tiefe der Wand. Seine Schubtragfähigkeit parallel zu den Lagerfugen ist gering, und die Stabilität gegen Querbeanspruchung (z.B. Winddruck) ist limitiert.

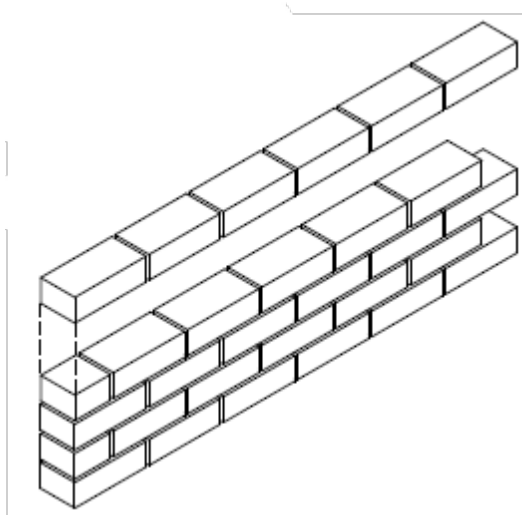


Abbildung 8: Läuferverband [24].



Blockverband: In jeder Schicht wechseln sich Läufer und Binder regelmässig ab (Abbildung 9). Dieser Verband gewährleistet durch die in jeder Schicht vorhandenen Binder eine sehr gute Verzahnung in Längs- und Querrichtung. Er gilt als einer der stabilsten Verbände und erzeugt ein quasi-monolithisches Verhalten der Wand.

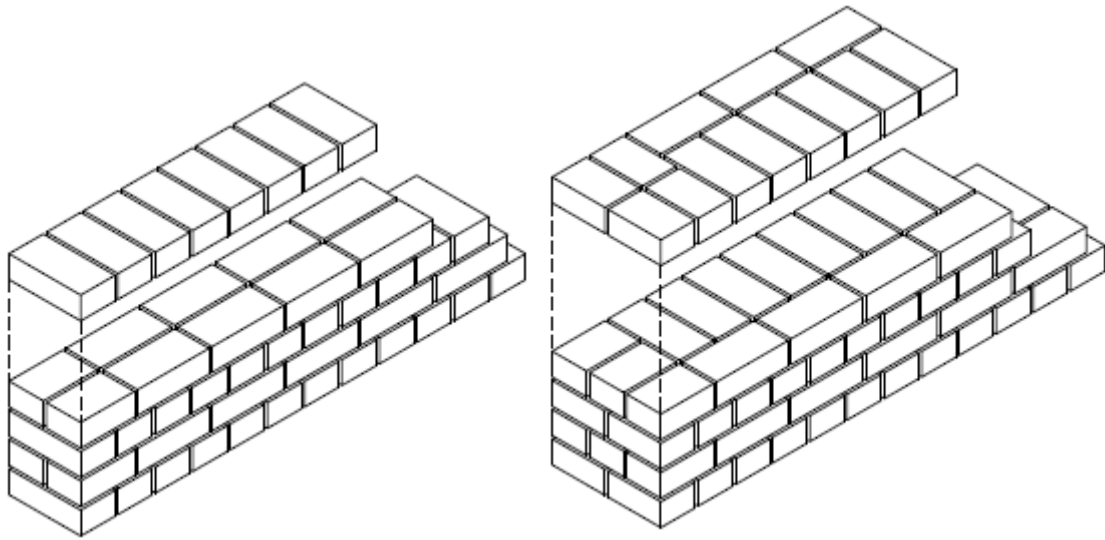


Abbildung 9: Blockverband [24].

Kreuzverband: Hier wechseln sich reine Läuferschichten und reine Binderschichten ab (Abbildung 10). Auch dieser Verband sorgt für eine sehr gute Kraftverteilung und eine hohe strukturelle Integrität. Die durchgehenden Binderschichten erhöhen die Biege- und Schubsteifigkeit der Wand.

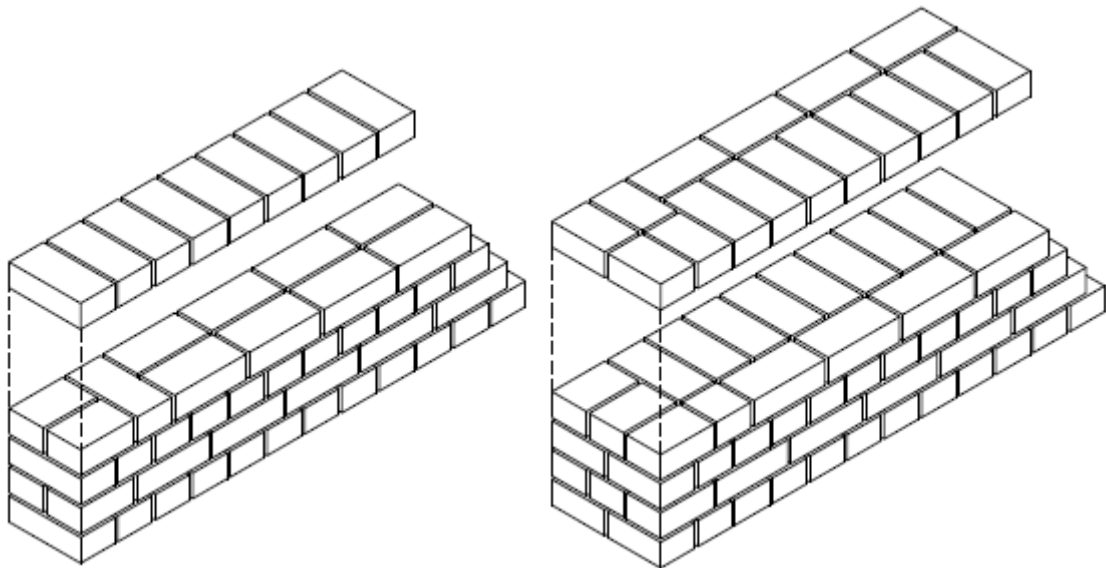


Abbildung 10: Kreuzverband [24].



Zweischalige Konstruktionen

Diese Bauweise markiert den Übergang zur funktionalen Trennung von Tragen und Witterungsschutz.

Sichtmauerwerk: Eine innere Tragschale (15–18 cm Backstein oder Kalksandstein) wurde durch eine 4–6 cm breite Luftschicht von der äusseren Vormauerschale (11.5–12.5 cm) getrennt (Abbildung 11). Die Aussenschale diente dem Witterungsschutz und wurde gestalterisch als Sichtmauerwerk aus frostbeständigen Klinkern oder KS-Verblendern ausgeführt. Die Verbindung erfolgte durch verzinkte Drahtanker.

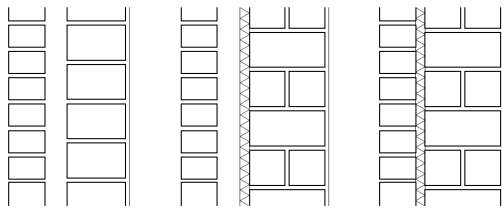


Abbildung 11: Vertikalschnitt zweischaliges Sichtmauerwerk mit Luftschicht, Kerndämmung [24].

Beidseitig verputzt: Als weit verbreitete Alternative zum Sichtmauerwerk wurden zweischalige Wände auch aussen und innen verputzt. Der Aufbau ist ähnlich, jedoch besteht die Aussenschale hier aus Standard-Backsteinen (z.B. Voll- oder Lochziegel). Diese Konstruktion verband die bauphysikalischen Vorteile der zweischaligen Wand mit der damals häufigsten Oberflächenbehandlung.

Nichttragende Ausfachungen in Skelettbauten: Insbesondere im Industrie- und Gewerbebau, wie er auf dem Areal der Ziegelei Ost anzutreffen ist, wurden häufig Tragstrukturen aus Stahlbeton oder Stahl erstellt. Die grossen Zwischenräume (Gefache) wurden mit nichttragendem Mauerwerk aus Backstein oder Kalksandstein ausgemauert. Diese Wände haben keine statisch tragende Funktion für das Gesamtgebäude und dienen lediglich dem Raumabschluss und dem Witterungsschutz. Sie sind oft nur durch ihre Verbindung zum umgebenden Rahmen gehalten und bieten daher ein besonders hohes Potenzial für eine modulare Entnahme, da ihre Entfernung die Standsicherheit des Gebäudes nicht beeinträchtigt.

Normative Grundlagen

Die Norm SIA 113 (1943 [26], revidiert 1965 [27]) war für den Zeitraum 1950-1970 das massgebliche Regelwerk. Sie definierte Standardformate wie das Normalformat (NF) mit $25 \times 12 \times 6$ cm und unterschied zwischen Vollziegeln (max. 15 % Lochanteil) und Lochziegeln. Entscheidend für das Wiederverwendungspotenzial sind die Vorgaben zum Mörtel. Während in den 1950er-Jahren noch Kalkzementmörtel (Mörtelgruppe II nach späterer Klassifizierung) verwendet wurden, setzten sich ab den 1960er-Jahren aus Gründen des schnelleren Baufortschritts und höherer Festigkeiten reine Zementmörtel (Mörtelgruppe III) durch. Die hochfesten Zementmörtel schafften einen quasi-monolithischen Verbund, bei dem die Haftzugfestigkeit die Zugfestigkeit des Steins erreichen oder übersteigen kann. Eine zerstörungsfreie Trennung einzelner Steine ist kaum möglich, was den Ansatz des Sägens ganzer Wandmodule zu einer sinnvollen Strategie macht.

Ab 1980 fasste die Norm SIA 177 [28] die technologischen Entwicklungen zusammen und führte modernere Bemessungskonzepte sowie eine stärkere Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte ein.

Im weiteren Projektverlauf (AP 3+4) wird für Analyse, Demontage, Logistik und Wiedereinbau der Bezug zu aktuellen Normen SIA 266:2015 «Mauerwerk» [29] und SIA 269/6-2/2014 «Erhaltung von Tragwerken - Mauerwerksbau» [30] hergestellt.



2.4 Entwicklung des Klassifizierungs- und Bewertungssystems (AP2)

Aufbauend auf der Charakterisierung des Bestands werden Parameter für eine Klassifizierung und für ein Bewertungssystem für die Wiederverwendung evaluiert. Die Auswahl der Parameter basiert auf der Analyse der Fachliteratur und Erfahrungen aus analysierten Pilotprojekten.

2.4.1. Klassifizierungsparameter

Das System gliedert die zu erhebenden Daten in vier Ebenen. Die endgültige Auswahl und Reihenfolge der Erhebung der Daten wird in zu einem späteren Zeitpunkt des Forschungsprojekts festgelegt. Tabelle 4 zeigt einen Auszug der Klassifizierungsparameter.

- **Ebene 1 Allgemeine Objekt- und Bauteilinformationen:** Erfassung der Informationen des Bauteils, wie Standort, Baujahr, ursprüngliche Nutzung, Position der Wand im Gebäude (Aussen-/Innenwand, Geschoss, tragend/nicht-tragend) sowie die logistischen Rahmenbedingungen wie die Zugänglichkeit für Demontagegeräte.
- **Ebene 2 Geometrisch-Konstruktive Merkmale:** Dokumentation der physischen und baulichen Eigenschaften der Wand. Dazu gehören die Wandabmessungen (Länge, Breite, Höhe), die Art des Wandaufbaus (einschalig/zweischalig), tragend oder nicht-tragenden, Oberflächenbehandlung (verputzt/unverputzt/gestrichen), Mauerwerksverband, das Vorhandensein und die Art von Öffnungen, Einbauteilen (z.B. Leitungen, Dosen) und bei zweischaligen Wänden die Art und Anordnung der Maueranker.
- **Ebene 3 Materialtechnische Eigenschaften (Komponenten):** Detaillierte Charakterisierung der einzelnen Materialkomponenten – Mauerstein und Mörtel. Schadstoffprüfung.
- **Ebene 4 Zustandsbewertung (System):** Aktueller Erhaltungszustand des gesamten Mauerwerksverbands, inklusive aller Schäden, Mängel, Degradationserscheinungen.

Materialtechnische Parameter (Ebene 3)

Schadstoffprüfung und Erfassung der Materialeigenschaften für die spätere statische und bauphysikalische Bewertung der ReUse-Module.

Mauerstein:

- **Art:** Differenzierung nach Backstein (Voll-, Hochlochziegel) und Kalksandstein (Voll-, Loch-, Blockstein).
- **Schadstoffe:** Asbest (Putz), Schwermetalle (Anstriche), PCB (elastische Fugen - Bewegungsfugen), nutzungsbedingte Schadstoffbelastung
- **Physikalische Kennwerte:** Bestimmung der Rohdichte, der charakteristischen Druckfestigkeit f_{bk} , sowie der Porosität bzw. der kapillaren Wasseraufnahme, welche für den Frost-Tausalz-Widerstand und den Haftverbund mit neuem Mörtel relevant ist.
- **Chemische Zusammensetzung (insb. Backstein):** Qualitative Analyse auf potenziell schädliche Bestandteile wie Eisenkies, lösliche Salze oder organische Stoffe, die die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können.

Mörtel:

- **Art:** Bestimmung des primären Bindemittels (Kalk-, Zement-, Kalkzementmörtel) durch einfache Vor-Ort-Tests (z.B. Säuretest) und, falls erforderlich, durch eine detailliertere Laboranalyse. Schadstoffprüfung (Asbest).
- **Schadstoffe:** Asbest, Schwermetalle (Anstriche), PCB (elastische Fugen - Bewegungsfugen), nutzungsbedingte Schadstoffbelastung



- **Physikalische Kennwerte:** Bestimmung der Mörteldruckfestigkeit f_{mk} und der qualitativen Fugenfestigkeit.

Mauerwerk:

- **Physikalische Kennwerte:** Druckfestigkeit des Mauerwerks. Zudem liefert die Haftfestigkeit zwischen Stein und Mörtel Erkenntnisse, ob ein herausgeschnittenes Wandstück den Belastungen beim Heben, Transportieren und Wiedereinbauen standhält.

Zustandsbezogenen Parameter (Ebene 4)

Die Erfassung von Schäden ist für die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit, Restnutzungsdauer und des Aufbereitungsaufwands erforderlich. Das Vorgehen orientiert sich an etablierten visuellen Inspektionsmethoden und Schadstoffanalysen.

- **Rissbilder:** Erfassung von Verlauf, Breite und Tiefe von Rissen.
- **Oberflächenschäden:** Dokumentation von Abplatzungen, Auswitterung und mechanischen Beschädigungen.
- **Feuchteinduzierte Schäden:** Identifikation von Ausblühungen (Effloreszenz), Frostschäden, Algen-, Moos- oder Pilzbefall.
- **Zustand der Fugen:** Beurteilung, ob Fugen intakt, ausgewaschen, rissig oder unsachgemäss repariert sind.

Tabelle 4: Auszug aus der Parameter-Matrix zur Klassifizierung von Bestandsmauerwerk.

Parameterbezeichnung	Ebene	Einheit	Erhebungsmethode	Relevanz für Wiederverwendbarkeit
Tragfunktion	1	-	Pläne, Visuell	Ursprüngliche Belastung und potenzielle neue statische Funktion.
Mauerwerksverband	2	-	Visuell	strukturelle Integrität und den Zusammenhalt des Moduls.
Art der Maueranker	2	-	Pläne, Metalldetektor	Demontageaufwand bei zweischaligen Wänden.
Schadstoffe	3	-	Labor	Mögliches Ausschlusskriterium für Wiederverwendung.
Druckfestigkeit (f_k), Stein, Mauerwerk	3	N/mm ²	Labor (Bohrkern), NDT (Schmidt-Hammer)	Kennwert für die statische Kapazität des Moduls.
Haftscherfestigkeit (f_{vk})	3	N/mm ²	In-situ (Bond-Wrench-Test)	Stabilität des Moduls bei Handhabung.
Max. Rissbreite	4	mm	Visuell, Rissbreitenlineal	strukturelle Schäden und den erforderlichen Reparaturaufwand.
Ausblühungen	4	-	Visuell	Feuchtigkeitstransport und potenziell schädliche Salze im Mauerwerk.

Im folgenden Abschnitt wird für einzelne Parameter die Datenerhebung erläutert.



2.4.2. Methodik der Datenerhebung und Analyse potenzieller Quellwände

Für die Datenerhebung wird ein mehrstufiges Vorgehen vorgeschlagen, das nicht-invasive, minimal-invasive und zerstörende Prüfverfahren kombiniert. Dieser Ansatz gewährleistet eine detaillierte Analyse bei gleichzeitig minimalem Eingriff in die Bausubstanz. Das Verfahren orientiert sich an Erkenntnissen aus der Recherche [31] [32] und etablierten Normen und Richtlinien wie dem WTA-Merkblatt 7-4 zur Prüfung von Bestandsmauerwerk [33]. Die detaillierte Ausarbeitung des Vorgehens und Auswahl der Prüfungen erfolgt in AP4.

Stufe 1: Bestandsaufnahme (Sichtung Unterlagen und visuelle Inspektion)

Sichtung von Originalplänen, Baubeschreibungen, statischen Berechnungen, vorhandenen Schadstoffanalysen und Materialspezifikationen (z.B. Eigentümerschaft, Bauarchiv) für Informationen bezüglich der Parameter der Ebenen gemäss Abschnitt 2.4.1. Durch visuelle Inspektion vor Ort unter Verwendung eines standardisierten Vorgehens werden der konstruktive Aufbau und insbesondere die zustandsbezogenen Parameter der Ebene 4 erfasst und fotografisch dokumentiert.

Stufe 2: Schadstoffanalyse

Beim Rückbau von Gebäuden oder Teilrückbau ist eine Schadstoffanalyse obligatorisch, wenn einer der folgenden Fälle zutrifft [34].

- Beim Rückbau, Umbau oder Abbruch fällt mehr als 200 m³ Bauabfall an.
- Es ist mit gesundheits- oder umweltgefährdenden Stoffen zu rechnen (z. B. Asbest, PCB, PAK, Schwermetalle, chlorierte Kohlenwasserstoffe).
- Das Gebäude wurde vor 1990 erstellt.
- Das Bauwerk diente industriellen oder gewerblichen Nutzungen, bei denen Schadstoffe entstehen oder freigesetzt worden sein könnten – unabhängig vom Baujahr.
- Der Standort ist im Kataster der belasteten Standorte eingetragen oder es liegen andere konkrete Verdachtsmomente (z. B. auffälliger Geruch, Fremdmaterial im Boden) vor.

Das Ergebnis der Schadstoffanalyse beeinflusst das weitere Vorgehen und die Entscheidung über notwendige Schadstoffsanierung, Wiederverwendung, Recycling oder Deponierung.

Stufe 3: Zerstörungsfreie In-situ-Prüfungen (NDT)

Das Ziel dieser Stufe ist eine quantitative Abschätzung der Materialeigenschaften und des inneren Zustands des Mauerwerks mit minimalem Eingriff.

- **Feuchtezustand:** Feldmessungen mittels kapazitiver/Widerstandsmessung und/oder Infrarot-Thermografie zur Identifikation von Feuchteanomalien.
- **Akustische Klopfprüfung:** Systematische Identifikation von Bereichen mit schwacher Stein-Mörtel-Haftung durch dokumentierte Klangcharakteristik.
- **Ultraschallprüfung:** Der Einsatz von Ultraschall ermöglicht die Detektion von inneren Inhomogenitäten, Rissen, Hohlräumen oder Ablösungen im Mauerwerksquerschnitt, die visuell nicht erkennbar sind [35].
- **Rückprallhammer (Schmidt-Hammer):** Dieses Verfahren dient der Abschätzung der Oberflächenhärte und der Homogenität von Steinen und Mörtelfugen. Aufgrund grosser Inhomogenitäten bei Mauersteinen und Mörtel ist dieses Verfahren für die Beurteilung der Festigkeit des gesamten Mauerwerks nur bedingt geeignet.



Stufe 4: Minimal-invasive und zerstörende Prüfungen (DT)

Zur Ermittlung normativ anerkannter Kennwerte für die statische Bewertung und Validierung der NDT-Ergebnisse werden an repräsentativen Stellen gezielt Proben entnommen.

- **Chemische Analyse:** Es wird eine Schadstoffanalyse durchgeführt. Zudem werden kleine Mörtelproben für eine Laboranalyse entnommen. Diese dient der Bestimmung des Bindemitteltyps (z.B. Portlandzement, hydraulischer Kalk) und des Mischungsverhältnisses, was für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit und für die Wahl eines kompatiblen Reparaturmörtels wichtig ist.
- **Mörtel-Ritzhärte-Test:** Bewertung der Mörtelqualität und Demontagefreundlichkeit mittels normtem Prüfstift.
- **Entnahme von Bohrkernen:** Gemäss dem Vorgehen nach WTA-Merkblatt 7-4 [33] werden Kleinbohrkerne aus dem Mauerwerk entnommen (Abbildung 12). An diesen Proben werden im Labor die Druckfestigkeiten von Stein (gemäss SN EN 772-1) und Mörtel (gemäss SN EN 1015-11) bestimmt. Dies liefert Materialkennwerte für die statische Analyse [36].



Abbildung 12: Bohrkern, Bohrloch, Kernbohrung an Mauerwerksfassade, Allschwil 2024. Fotos: Dr. Deuring + Oehninger AG

- **Bond-Wrench-Test (Hebelversuch):** Zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit (f_{vk}) wird der In-situ-Hebelversuch nach SN EN 1052-5 durchgeführt. Dieser Test misst direkt die Verbundfestigkeit in der Lagerfuge und liefert damit den Kennwert zur Beurteilung der mechanischen Integrität des potenziellen Wandmoduls.



Abbildung 13: Bond-Wrench-Test zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit gemäss SN EN 1052-5 [31].

- **Frost-Tau-Prüfung:** Falls für die entnommenen Module im Zielobjekt eine Aussenanwendung geplant ist, kann eine Frost-Tau-Prüfung erforderlich sein.



2.5 Bewertungssystem für die Wiederverwendbarkeit (AP2)

Auf Grundlage der Parameter der Klassifizierung wird ein Bewertungssystem erarbeitet. Dieses System soll eine transparente und nachvollziehbare Entscheidung über das Wiederverwendungspotenzial einer spezifischen Wand ermöglichen. Die detaillierte Ausarbeitung erfolgt in AP4.

2.5.1. Struktur des Bewertungssystems: Der «ReWaModule-Potenzial-Index» (RPI)

Es wird ein Punktesystem vorgeschlagen. Jeder relevante Parameter aus dem Klassifizierungssystem wird anhand einer vordefinierten Skala (z.B. 0-5 Punkte) bewertet. Die erreichte Punktzahl kann zusätzlich mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert werden, der die relative Bedeutung des Parameters für die Wiederverwendbarkeit widerspiegelt. Zudem könnte die Summe aller gewichteten Punkte in Form eines «ReWaModule-Potenzial-Index» (RPI) als Mass für die Eignung der Wand gebildet werden. Eine Wand mit leicht unterdurchschnittlicher Verbundfestigkeit könnte beispielsweise durch eine sehr einfache Zugänglichkeit und geringe Transportdistanz zum neuen Bauort logistisch und ökologisch so vorteilhaft sein, dass sie insgesamt eine nachhaltigere Wahl darstellt als eine technisch perfekte Wand, die aufwendig demontiert und über weite Strecken transportiert werden muss. Der RPI kann es ermöglichen Abwägungen zu treffen, indem technische, logistische, ökologische und ökonomische Faktoren in einer Kennzahl bewertet werden.

2.5.2. Bewertungskriterien und Gewichtung

Die Definition und Gewichtung der Kriterien muss im Verlauf des Forschungsprojekts weiterentwickelt werden. Tabelle 5 zeigt die Struktur des entwickelten Bewertungssystems. Ein erster Vorschlag der Gewichtung ist wie folgt:

Technische Eignung (Gewichtungsvorschlag: 40%):

- Druckfestigkeit des Mauerwerks (f_k)
- Haftscherfestigkeit (f_{vk}) (höchste Einzelgewichtung innerhalb dieser Kategorie).
- Zustand (Rissfreiheit, keine wesentlichen Materialschäden).

Demontage- & Logistik-Aufwand (Gewichtungsvorschlag: 30%):

- Verhältnis von Mörtel- zu Steinfestigkeit. Indikator für die Schneidbarkeit, basierend auf den Erfahrungen des Projekts «Resource Rows».
- Wanddicke, -geometrie und Vorhandensein von Einbauteilen.
- Zugänglichkeit auf der Baustelle für schweres Gerät (Kran, Säge).

Ökologisches Potenzial (Gewichtungsvorschlag: 20%):

- Abschätzung des Einsparpotenzials an grauen THGE, basierend auf Materialtyp und -masse des Moduls. Als Berechnungsgrundlage dienen die KBOB-Ökobilanzdaten und Vergleichswerte aus der Literatur.

Ökonomische Aspekte (Gewichtungsvorschlag: 10%):

- Grobabschätzung der Kosten für Demontage und Transport (gemäss Baukostenplan BKP, Gruppe 1) im Verhältnis zum Wert des gewonnenen Bauteils (vermiedene Kosten für Neumaterial und dessen Einbau, BKP Gruppe 2).



2.5.3. Definition von ReUse-Potenzialklassen

Basierend auf dem RPI-Wert wird die untersuchte Wand einer von drei Potenzialklassen zugeordnet. Diese Klassen sind mit klaren Handlungsempfehlungen verknüpft:

- Klasse A (z.B. RPI hoch): Hohes Potenzial. Die Wand eignet sich sehr gut für die Wiederverwendung als ReUse-Modul, potenziell auch für tragende oder andere hochbeanspruchte Anwendungen. Eine detaillierte statische Einzelfallprüfung für den neuen Einsatz wird empfohlen.
- Klasse B (z.B. RPI mittel): Mittleres Potenzial. Die Wand eignet sich für die Wiederverwendung in untergeordneten Anwendungen, z.B. als nicht-tragende Fassadenelemente, Brüstungen, Gartenmauern oder Innenwände.
- Klasse C (z.B. RPI tief): Geringes Potenzial. Eine modulare Wiederverwendung wird als technisch zu aufwendig oder riskant eingestuft. Es sollte geprüft werden, ob eine Wiederverwendung einzelner Steine (bei weichem Mörtel) möglich ist. Andernfalls ist ein hochwertiges, sortenreines Recycling anzustreben.

Tabelle 5: Struktur des Bewertungssystems «ReWaModule-Potenzial-Index» (RPI). Verknüpfung von Kriterien, Parametern, beispielhafte Bewertungsskala und vorgeschlagene Gewichtungsfaktoren.

Bewertungs-kriterium	Zugehöriger Parameter (Beispiele)	Bewertungsskala	Gewichtungsfaktor [%]
Schadstoffe	Asbest PCB PAK Schwermetalle	Vorhanden/nicht vorhanden Grenzwerte	Mögliches Ausschlusskriterium für Wiederverwendung
Technische Eignung	Haftscherfestigkeit (f_{vk}), Druckfestigkeit (f_{bk}, f_{mk}), Rissfreiheit	Beispiel für f_{vk} 5 Pkt: $f_{vk} \geq 0.3 \text{ N/mm}^2$; 3 Pkt: $0.15 \leq f_{vk} < 0.3 \text{ N/mm}^2$; 1 Pkt: $f_{vk} < 0.15 \text{ N/mm}^2$	40%
Demontage/ Logistik	Zugänglichkeit, Wanddicke	5 Pkt: Sehr gut zugänglich, $d \leq 25 \text{ cm}$; 3 Pkt: Bedingt zugänglich; 1 Pkt: Schwer zugänglich, $d > 37.5 \text{ cm}$	30%
Ökologisches Potenzial	Masse des Moduls, THGE-Faktor	5 Pkt: Schweres Modul, hoher THGE-Faktor (z.B. Klinker); 3 Pkt: Mittelschwer; 1 Pkt: Leichtes Modul	20%
Ökonomische Aspekte	Geschätzter Demontageaufwand, Transportdistanz	5 Pkt: Geringer Aufwand, kurze Distanz; 3 Pkt: Mittlerer Aufwand; 1 Pkt: Hoher Aufwand, lange Distanz	10%

Der Entwurf des Bewertungssystems wird im weiteren Projektverlauf validiert und weiterentwickelt.



visueller Begutachtung abgeschätzt, um das potenzielle Materialvolumen quantifizieren zu können.

4. **Erstellung von Bewertungskriterien:** Basierend auf den Erkenntnissen aus AP2 wurden vorläufiger Kriterien entwickelt, um die Eignung jedes Wandtyps für die Zielsetzung des Projekts zu bewerten: einerseits die grossmassstäbliche Wiederverwendung in einem Demonstrationsvorhaben (Bauprojekt) und andererseits die methodische Untersuchung im Forschungskontext (Forschungsprojekt). Die angewandten Kriterien umfassten:
 - a. Materialmenge und Homogenität: Die Verfügbarkeit grosser, einheitlicher Wandabschnitte ist eine Voraussetzung für eine effiziente Demontage und Wiederverwendung.
 - b. Zugänglichkeit und Betriebszustand: Die Zugänglichkeit für schweres Gerät sowie Einschränkungen durch die laufende Nutzung von Gebäudeteilen wurden als operative Randbedingungen erfasst.
 - c. Konstruktive und materielle Herausforderungen: Das Vorhandensein komplexer Konstruktionen, integrierter Haustechnik oder potenziell problematischer Materialien (z.B. Verdacht auf Schadstoffe, schwacher Mörtel) wurde berücksichtigt.
 - d. Übertragbarkeit: Es wurde bewertet, inwieweit ein Wandtyp eine verbreitete Bauweise des Zeitraums 1950-1970 repräsentiert. Dies stellt sicher, dass die Projektergebnisse eine breite Relevanz für den Schweizer Gebäudepark haben.

2.6.2. Ergebnisse der Analyse der Bestandsbauten auf dem Areal Ziegelei Ost

Bei der Vor-Ort-Untersuchung wurden verschiedene Mauerwerkstypen identifiziert und die Eignung des Areals Ziegelei Ost als Experimentierfeld bestätigt. Der Standort bietet einen repräsentativen Querschnitt des industriellen Bauens der Mitte des 20. Jahrhunderts.

Identifizierte Wandtypen und Materialien:

- Kalksandstein-Wände hauptsächlich in Halle 5, Blockverband, Dimensionen 25 x 13.5 x 12 cm
- Hochlochmauerziegel: sowohl im Läufer- als auch Kreuzverband, verschiedene Formate identifiziert (24.5 x 13.5 x 12 cm bis 30 x 30 x 18.5 cm)
- Baujahre: Die untersuchten Gebäude stammen aus den Jahren 1903 bis 1980

Die Ergebnisse für die relevantesten Gebäude wurden durch Zirkular in einem separaten Bericht dokumentiert und werden nachfolgend dargestellt.

2.6.3. Halle 5 (Baujahr 1968)

Die Analyse identifizierte Halle 5 als das vielversprechendste Quellgebäude auf dem Areal (Abbildung 15). Es weist ein hohes Potenzial für sowohl die Forschungs- als auch die Demonstrationsaspekte des Projekts auf.

Identifizierte Mauerwerkstypen: Das Gebäude enthält zwei Haupttypen von nicht-tragendem Mauerwerk, die in grossen Mengen vorhanden sind:

- Hochlochmauerziegel: Diese machen eine geschätzte Wandfläche von ca. 1'100 m² aus. Die Konstruktion ist als ein- oder zweischalige Ausfachung ausgeführt. Im unteren Bereich wurde ein Läuferverband identifiziert, im oberen Bereich ein Block- oder Kreuzverband. Das Backsteinformat beträgt ca. 24.5 cm x 13.5 cm x 13.5 cm. Diese Wandaufbauten sind repräsentativ für Ausfachungswände in Industriebauten dieser Epoche.
- Kalksandstein: Es ist eine geschätzte Fläche von ca. 330 m² in Form von inneren Trennwänden vorhanden. Diese Wände sind im Blockverband gemauert, mit einem vermuteten Steinformat von 25 cm x 13.5 cm x 12.0 cm.



Zustand und Materialeigenschaften: Die Backsteinwände sind teilweise gestrichen oder verputzt. Die Fugen bestehen aus Zement oder Kalkzementmörtel. Die hohe Festigkeit des Mörtels macht eine sortenreine Trennung und Wiederverwendung einzelner Steine wirtschaftlich und technisch unrentabel.

Eignungsbewertung: Die grossen, homogenen Mengen an Backstein- und Kalksandsteinwänden machen Halle 5 zum geeigneten Objekt, um Entnahmetechniken im grossen Massstab zu entwickeln und zu testen (Bauprojekt). Zudem ist der feste Mörtel eine gute Voraussetzung für die Umsetzung der Wiederverwendung als geschnittene Wandmodule.

Operative Randbedingungen: Eine wesentliche Einschränkung ist der laufende Betrieb im Erdgeschoss der Halle, der den Zugang zu diesen Wandabschnitten einschränkt. Das Obergeschoss ist ungenutzt und für weitere Untersuchungen sowie für potenzielle Testentnahmen zugänglich. Der Zugang zur benachbarten Halle 4 ist derzeit aufgrund von Brandschutzabtrennungen nicht möglich.



Abbildung 15: Ziegelei Ost Allschwil Aussenansicht Halle 5. Foto: Zirkular AG

2.6.4. Halle 33 (Baujahr 1980)

Halle 33 wurde aufgrund der spezifischen technischen und sicherheitsrelevanten Situation als gut geeignet für Forschungsaspekte des Projekts eingestuft (Abbildung 16).

Mauerwerk und Zustand: Das Gebäude enthält nicht-tragende, verputzte Innenwände aus Hochlochmauerziegeln (ca. 24.5 cm x 13.5 cm) im Kreuzverband. Die Modulbreite wurde mit ca. 2 m geschätzt.

Identifizierte Herausforderungen: Die primäre Herausforderung ist die Integration von Haustechnik. Die Wände enthalten aktive Starkstrom- und Druckluftleitungen, was eine Demontage komplex macht. Dieses Szenario ist typisch für Industriegebäude und erfordert die Entwicklung sorgfältiger, zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden und Demontageprotokolle.



Erkenntnis und nächste Schritte: Für den Putz aus dem Jahr 1980 ist im nächsten Schritt eine Schadstoffbeprobung erforderlich, bevor bauliche Eingriffe erfolgen können. Diese Erkenntnis fließt in die Entwicklung von Risikobewertungsprotokollen innerhalb von AP 3 (Demontage, Logistik) und AP 4 (Qualitätssicherung) ein.



Abbildung 16: Ziegelei Ost Allschwil Aussenansicht Halle 33. Foto: Zirkular AG

2.6.5. Halle 7 (Baujahr 1954)

Aufgrund des vermutlich verwendeten Kalkmörtels in Halle 7 sind diese Mauerwerkswände für die Wiederverwendung einzelner Steine, statt geschnittener Wandmodule geeignet.

Mauerwerk und Zustand: Die Halle enthält sowohl Aussen- als auch Innenwände aus einschalig gemauerten Hochlochmauerziegeln im Läuferverband. Die Aussenwände sind aussenseitig gedämmt.

Materialeigenschaften: Vermutlich wurde für die Wände Kalkmörtel verwendet. Es wird erwartet, dass dieser eine deutlich schwächere Verbundfestigkeit zwischen Stein und Mörtel aufweist als die Wände mit Zementmörtel in Halle 5.

Eignungsbewertung: Die schwache Verbundhaftung stellt die Entnahme grosser, stabiler Module in Frage. Das Gebäude wird daher als eher nicht geeignet für das Demonstrationsprojekt eingestuft, ist aber für die Forschung relevant. Es zeigt sich, dass eine universelle Entnahmemethode nicht funktionieren wird. Bei kalkbasiertem Mörtel muss eine alternative Methode für kleinere Module mit sorgfältiger Handhabung oder die Wiederverwendung einzelner Steine in Betracht gezogen werden. Als weitere Einschränkung wurde die limitierte Zugänglichkeit aufgrund einer fehlenden Rampe vermerkt.

2.6.6. Weitere Bauten (Halle 3, 12, 120)

Bei der Arealanalyse wurden weitere Gebäude einer kurzen Inspektion unterzogen.

Halle 3 (1927): Die gemauerten Ausfachungen werden für eine potenzielle Entnahme in Betracht gezogen. Allerdings müssen der Verbund und die Mörtelart durch weitere Sondagen geklärt werden.



Halle 12 (1903): Wurde aufgrund der sehr geringen Menge an verfügbarem Material als ungeeignet eingestuft.

Halle 120 (1953): Dieses Gebäude wird voraussichtlich im Zuge der Arealentwicklung erhalten bleiben und steht daher nicht für zerstörende Prüfungen oder Materialentnahmen zur Verfügung.

Die Erkenntnisse der Begehung sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Übersicht und vorläufige Eignungsbewertung der identifizierten Mauerwerkstypen auf dem Areal Ziegelei Ost.

Objekt (Bau- jahr)	Mauer- werkstyp	Konstruk- tion / Ver- band	Ge- schätzte Menge (m ²)	Zustand Mörtel (ver- mutet)	Vorläufige Eignung	Bemerkungen / Nächste Schritte
Halle 5 (1968)	Hochloch- mauerzie- gel	Zweischalig / Läufer- & Kreuzver- band	ca. 1'100	Verputzt/ge- strichen; Ze- mentmörtel	Hoch (Bau- & For- schungspro- jekt)	Grosses Potenzial für grossformatige Mo- dule. Zugang im OG möglich.
Halle 5 (1968)	Kalksand- stein	Blockver- band	ca. 330	Gestri- chen/unbe- handelt; Ze- mentmörtel	Hoch (Bau- & For- schungspro- jekt)	Ideale Innenwände für Testentnahmen.
Halle 33 (1980)	Hochloch- mauerzie- gel	Kreuzver- band	ca. 100	Verputzt, ge- strichen; Un- bekannt	Hoch (For- schungspro- jekt)	Schadstoffbepro- bung des Putzes zwingend erforder- lich. Integrierte Haus- technik.
Halle 7 (1954)	Hochloch- mauerzie- gel	Einschalig / Läuferver- band	> 100	Unbehand- elt/gedämmt; Kalkmörtel	Mittel (For- schungspro- jekt)	Geringe Verbundfes- tigkeit erwartet, nur kleine Module denk- bar. Zugänglichkeit li- mitiert.
Halle 3 (1927)	Ziegel-Aus- fachung	Unbekannt	Gering	Unbekannt	Gering	Detaillierte Sondagen zur Verbund- und Mö- rtelprüfung erforderlich.
Halle 12 (1903)	Ziegel	Unbekannt	Sehr gering	Verputzt	Keine	Zu geringe Menge.
Halle 120 (1953)	Ziegel	Unbekannt	n/a	Guter Zustand	Keine	Gebäude bleibt erhal- ten.

Priorisierung für die weitere Bearbeitung:

- Priorität 1 (Forschungsprojekt): Halle 33 mit Hochlochmauerziegel-Aussenwänden, geeignet für Methodenentwicklung und Mockups.
- Priorität 2 (Bau- und Forschungsprojekt): Halle 5 mit grossen Mengen an Hochlochmauerziegel-Aussenwänden bei Ausfachungen und Kalksandstein-Innenwänden, gute Zugänglichkeit und Übertragbarkeit auf andere Projekte.



An einer Fassade der Halle 33 wurde eine geeignete Testwand für die erste Entnahme von ReUse-Mauerwerksmodulen für Mockups identifiziert und kartiert (Abbildung 17). Die Wand besteht aus Lochziegelmauerwerk mit zementhaltigem Mörtel und weist eine gleichmässige, homogene Struktur auf.

Zur Konzeption der Probeentnahme wurde die Wand in potenzielle Modulfelder unterteilt. Die Schnittränder und Befestigungspunkte wurden markiert, um die technische Machbarkeit und Stabilität der geplanten Entnahme zu prüfen.

Die Untersuchung dient der praktischen Vorbereitung der Demontageversuche im Rahmen des Arbeitspakets 5. Sie ermöglicht die Bewertung der optimalen Modulgrössen, der geeigneten Schnitfführung und der Risiken durch Risse und unvollständige Schnittkanten. Auf dieser Grundlage werden die Demontageverfahren und Befestigungstechniken für die erste Modulentnahme weiterentwickelt.

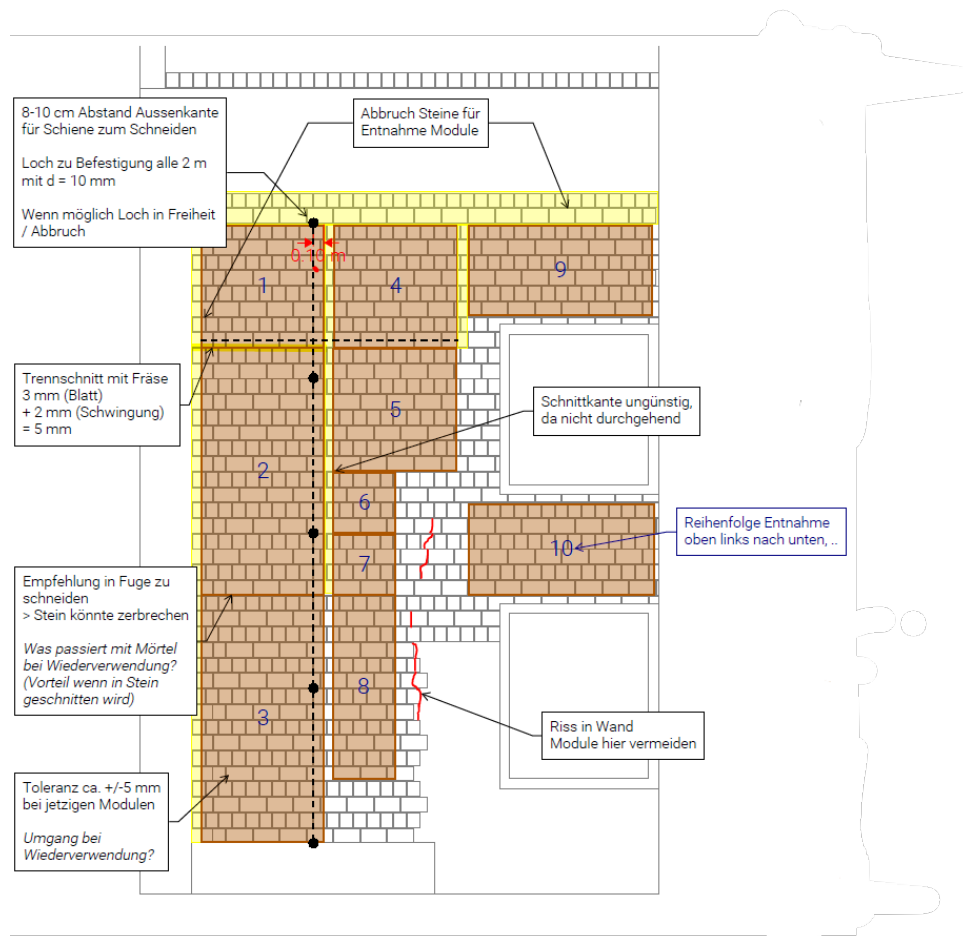


Abbildung 17: Detailanalyse und Konzeption für das Schneiden und Entnehmen der Module der Testwand Halle 33 Ziegelei Allschwil Ost. Quelle: Dr. Deuring + Oehninger



3 Schlussfolgerungen und Ausblick

In der ersten Projektphase wurden Grundlagen für die Wiederverwendung gemauerter Wände als modulare Teilstücke erarbeitet. Der Schwerpunkt lag auf der Erfassung und Bewertung des Schweizer Gebäudebestands sowie der Entwicklung einer Systematik zur Beurteilung der Wiederverwendbarkeit.

Die Analyse zeigte, dass insbesondere Gebäude der Bauperioden 1950–1970 aufgrund standardisierter Steintypen und Mörteln hoher Festigkeit ein grosses Potenzial für die Wiederverwendung aufweisen. Diese Bauten werden vermehrt rückgebaut und bilden damit eine zentrale Ressource für ReUse-Anwendungen.

Im Arbeitspaket 2 wurden Parameter für eine Klassifizierung identifiziert und ein Konzept für ein Bewertungsschema entwickelt, das technische, ökologische und ökonomische Kriterien kombiniert. Es ermöglicht die Beurteilung von Mauerwerkskonstruktionen im Bestand und bildet die Grundlage für die Planung weiterer Untersuchungen. Die erhobenen Material- und Zustandsdaten unterstützen die Definition geeigneter Prüfverfahren für Haftzug-, Druck- und Dauerhaftigkeitstests.

Für die kommende Projektphase liegt der Fokus auf der technischen Entwicklung und Validierung der Verfahren zur Demontage, Aufbereitung und Prüfung (AP3–AP4). Geplant sind Labor- und Insitu-Prüfungen zur mechanischen und bauphysikalischen Charakterisierung wiederverwendeter Wandmodule. Parallel werden Richtlinien und Prüfschemata zur Qualitätssicherung und Klassifizierung erarbeitet.

In Arbeitspaket 5 «Architektonischer Entwurf und Gestaltung» werden durch pool Architekten in Kooperation mit den Projektpartnern gestalterische und konstruktive Prinzipien für den Einsatz wiederverwendeter Mauerwerksmodule entwickelt. Ziel ist die Erstellung exemplarischer Anwendungsbeispiele und die Vorbereitung der Mockup-Planung in Zusammenarbeit mit der Lehre an der FHNW und der BFH.

Im Jahr 2026 folgt mit Arbeitspaket 6 «Praxisanwendung und Mockups» die Umsetzung entwickelter Konzepte im Massstab 1:1 auf dem Areal Ziegelei Ost in Allschwil. Die Mockups dienen der praktischen Erprobung der Verfahren sowie der Validierung der ökologischen und konstruktiven Ergebnisse. Sie sollen unterschiedliche Anwendungsszenarien abbilden und gleichzeitig als öffentlich zugängliche Demonstratoren wirken.

Mit der geplanten Umsetzung der Mockups wird der Übergang von der Forschung zur Anwendung vollzogen. Die Erkenntnisse aus den technischen, gestalterischen und ökologischen Teilbereichen fliessen in den abschliessenden Leitfaden für die Wiederverwendung gemauerter Wände ein. Dieser soll Planenden und Ausführenden konkrete Entscheidungs- und Handlungshilfen für den ReUse gemauerter Wände bieten und damit zur Reduktion grauer Treibhausgasemissionen im Schweizer Bauwesen beitragen.



4 Publikationen und andere Kommunikation

Das Forschungsprojekt wurde auf der Website von Zirkular und der FHNW publiziert.

Studentische Arbeiten

Im Vorfeld und begleitend zum Forschungsprojekt ReWaModule wurden studentische Arbeiten an der FHNW durchgeführt, die Grundlagen für die verschiedenen Arbeitspakete liefern können. Weitere studentische Projektarbeiten sind in der Bearbeitung und geplant.

Vertiefungsprojekte zu modularen Wandstücken (Matthias A. Schmidt, MSE, FS und HS 2024)

Zwei aufeinander aufbauende Projekte untersuchten die Wiederverwendung von Mauerwerk als geschnittene Module:

VP1 entwickelte ein Klassifizierungssystem für Mauerwerksquerschnitte nach strukturellen Anforderungen.

VP2 konkretisierte ein Verfahren für die schadensfreie Entnahme von Wandmodulen (1200 x 1200 mm) und führte eine erste Ökobilanz nach SIA 2032 durch.

Diese Vorarbeiten fliessen in die Arbeitspakete 3 und 4 des Forschungsprojekts ein.

Master-Thesis zur Lebenszyklusanalyse (Matthias A. Schmidt, MSE, FS 2025)

Eine LCA-Studie verglich fünf End-of-Life-Szenarien für Backsteinmauerwerk mittels SimaPro und Ecoinvent-Datenbank:

- Die modulare Wiederverwendung erreichte die beste THGE-Bilanz
- Alle Kreislaufstrategien sind ökologisch vorteilhafter als die Deponierung
- Rückbaumethode und Trennverfahren wurden als kritische Einflussfaktoren identifiziert

Die entwickelte LCA-Methodik und Datenbasis fliessen in die ökologische Bewertung in AP 7 ein.

Projektarbeit «Reuse Backsteine» (Timon Bangerter, EUT, FS 2025)

Diese Arbeit untersuchte die Wiederverwendung einzelner Backsteine für die drei gängigsten Mauersteinarten (Vollziegel, Hohlziegel, Kalksandstein). Die Ergebnisse zeigen:

- Vollziegel eignen sich sehr gut für die Wiederverwendung
- Kalksandsteine sind aufgrund oft starker Mörtelhaftung und Sprödigkeit weniger gut wiederverwendbar
- Die ökologischen Einsparungen sind signifikant, besonders bei energieintensiv hergestellten Vollziegeln

Diese Erkenntnisse fliessen in die Entwicklung des Bewertungssystems (AP 2) und die Ökobilanz ein (AP 7) ein.

Integration in das Forschungsprojekt

Die gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die Praxisrelevanz des Forschungsansatzes und untermauern die erwarteten ökologischen Vorteile der modularen Wiederverwendung von Mauerwerk. Im weiteren Projektverlauf sind zusätzliche studentische Arbeiten an der FHNW und BFH geplant (AP 5), um architektonische Anwendungsbeispiele zu entwickeln.



5 Literaturverzeichnis

- [1] KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/2022 v6," Bern, 2024.
- [2] SIA, *SIA 390/1:2025 - Klimapfad*. 2025.
- [3] SIA, *SIA 2032:2020 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden*. 2020.
- [4] "Gebäude- und Wohnungsstatistik 2024 - GNP Veröffentlichungen." Accessed: May 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungsweisen.gnpdetail.2025-0428.html>
- [5] "Statistiken zum Bauwerk Schweiz - Die gute Nachricht." Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: <https://diegutenachricht.ch/statistiken/>
- [6] Y. Yavaribajestani, N. Pieroni, and J. Pauli, "Historical review of building materials and their construction in Switzerland: Implications for renovation purposes," in *Structures and Architecture*, CRC Press, 2025, pp. 1583–1590. doi: 10.1201/9781003658641-188.
- [7] A. Bremer, M. Mathäs, and M. Schienbein, "Entwicklung eines Leitfadens für die Wiederverwendung von Mauerziegeln," 2024. [Online]. Available: www.spreepfan.de
- [8] M. Maniera, "Studie über das verbaute Material in der Schweiz," Zürich, 2021.
- [9] "GWR | Eidg. Gebäude- und Wohnungsregister." Accessed: Oct. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.housing-stat.ch/de/index.html>
- [10] H. Mittelbach, M. Alig, I. C. Nauser, and et al., "ZeroStrat Strategien für Neubauten mit Niedrigstemissionen in der Erstellung," Zürich, 2023. [Online]. Available: <https://sc.ibi.ethz.ch/>
- [11] M. Fleury, F. Schwartz, and A. Koch, "Immobilien Schweiz – 2Q 2025: Ungeliebter, aber notwendiger Ersatzneubau," Zürich, 2025.
- [12] M. Jakob, D. Berti, and G. Catenazzi, "Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich in der Periode von 2010 bis 2020," Zürich, 2024. [Online]. Available: www.tep-energy.ch Telefon+41435007171 Tel.+41584625611 Fax+41584632500 contact@bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch
- [13] "Rohstoffe, Abfall und Kreislaufwirtschaft: Das Wichtigste in Kürze." Accessed: May 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/inkuerze.html>
- [14] C. Küpfer and C. Fivet, "Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktionen: Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche," Lausanne, 2021. doi: 10.5281/zenodo.5131243.
- [15] Ute Dechantsreiter et al., "Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen," Dessau-Roßlau, 2015. [Online]. Available: www.umweltbundesamt.de
- [16] V. John and T. Stark, "Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE)," Konstanz, 2021. doi: 10.08.18.7-18.17.
- [17] A. Abegg and O. Streiff, *Die Wiederverwendung von Bauteilen*. Zürich, 2021.
- [18] SIA, "Norm SIA 430:2023 Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen," 2023, SIA, Zürich.
- [19] "Rückbau mit dem Skalpell: Parkhaus Lysbüchel in Basel | Espazium." Accessed: Oct. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/rueckbau-parkhaus-lys-buechel-basel>



- [20] S. Rubli, "Mischabbruchverwertung in der Schweiz," 2020.
- [21] A. Lendager, M. Foerch, J. Kiesslinger, and et. al., "Sustainability - Upcycle Studios & The Resource Rows," Jun. 2020.
- [22] A. van Gorkom, "GUIDELINE FOR THE REUSE OF MASONRY," 2024.
- [23] U. Hassler, W. van Aken, and A. Putz, "Materialien und Bauprodukte der Schweizer Architektur der Nachkriegszeit," 2015.
- [24] J. Achtziger, G. Pfeifer, R. Ramcke, and K. Zilch, *Mauerwerk Atlas*. DETAIL, 2013. doi: 10.11129/DETAIL.9783955531652/HTML.
- [25] "Ziegelei." Accessed: Oct. 16, 2025. [Online]. Available: <https://hls-dhs-dss.ch/articles/014018/2015-05-19/>
- [26] SIA, *SIA 113 - Provisorische Normen für die Berechnung und Ausführung von Mauerwerk aus natürlichen und künstlichen Bausteinen*. Zürich: SIA, 1943.
- [27] SIA, *SIA 113 Berechnung und Ausführung von Mauerwerk*. Zürich: SIA, 1965.
- [28] SIA, *SIA 177 Mauerwerk*. Zürich: SIA, 1980.
- [29] SIA, *SIA 266:2015 Mauerwerk*. Zürich: SIA, 2015.
- [30] SIA, *SIA 269/6-2:2014 Erhaltung von Tragwerken - Mauerwerksbau, Teil 2: Mauerwerk aus künstlichen Steinen*. Zürich: SIA, 2014.
- [31] M. Schuller, "Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures," Prague, 2006. [Online]. Available: www.ana-usa.com
- [32] B. Gigla, "Bestimmung der Druckfestigkeit von vorhandenem Mauerwerk," *Mauerwerk*, vol. 24, no. 4, pp. 215–226, Nov. 2020, doi: 10.1002/dama.202000010.
- [33] WTA, *WTA Merkblatt 7-4: Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatischen Steinen*. München: WTA, 2021.
- [34] D. Hiltbrunner and D. Bürgi, "Ermittlung von Schadstoffen und Angaben zur Entsorgung von Bauabfällen," 2020. [Online]. Available: www.bafu.admin.ch/uv-1826-d
- [35] Dipl.-I. A. Wendrich, *Zerstörungsfreie Ortung von Anomalien in historischem Mauerwerk mit Radar und Ultraschall - Möglichkeiten und Grenzen*. 2009. [Online]. Available: www.bam.de
- [36] F. Ferretti, A. Incerti, and C. Mazzotti, "Determination of Masonry Compressive Strength Properties by Testing Cores," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025, pp. 1101–1109. doi: 10.1007/978-3-031-73310-9_84.