

## **Abschlussbericht**

Entwicklung eines Leitfadens für die Wiederverwendung von  
Mauerziegeln

Verfasser: Spreepan Projekt UG (haftungsbeschränkt)  
Antonia Bremer, Manuela Mathäs, Martin Schienbein

Im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)  
Geschäftszeichen: P 52-5-21.2-2099.23

Berlin, den 2024-04-23



## Über die Spreeplan Projekt UG (haftungsbeschränkt)

Die Spreeplan Projekt UG ist ein Architektur- und Projektbüro, das sich dem gesunden, ökologischen und kreislaufgerechten Bauen verschrieben hat. Unsere Architektinnen/ Architekten und Ingenieurinnen/ Ingenieure gestalten Gebäude mit höchsten Ansprüchen an die Nachhaltigkeit. Seit über 20 Jahren bieten wir Fachwissen, baubiologische Erfahrungen und Lösungsmöglichkeiten sowie ein Netzwerk kompetenter Partnerinnen und Partner an. Ob Neubau, Umbau oder Sanierung - wir beraten, erstellen baubiologische Gutachten und planen gesunde Gebäude, die ihren Wert über lange Zeit erhalten. Außerdem geben wir als BNE-Akteur der UNESCO im Rahmen der "Naturbauschule" Seminare zu Themen rund um das gesunde, ökologische und kreislauffähige Bauen für Fachleute, Laien und Interessierte, aber auch Kinder und Jugendliche.



Spreeplan Projekt UG (haftungsbeschränkt)

Reichsstraße 108 | 14052 Berlin

+49 3033772450

post@spreepplan.de

www.spreepplan.de

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1 Problemstellung und inhaltliche Einführung.....	6
1.2 Ziele und Abgrenzung des Forschungsprojektes.....	7
1.3 Aufbau des Abschlussberichts.....	8
<b>2 Zur Historie von Mauerziegeln und Mörteln.....</b>	<b>10</b>
2.1 Mauerwerksbau in der Vergangenheit.....	10
2.1.1 Von den Anfängen bis zum Ende des 19. Jh.....	10
2.1.2 Mauerwerksbau vom 20. Jh. bis heute.....	12
2.2 Entwicklungsgeschichte des Mörtels.....	13
2.2.1 Mörtel - Eine Begriffsklärung.....	13
2.2.2 Mörtelarten.....	13
2.3 Wiederverwendung im Wandel der Zeit.....	15
<b>3 Relevante Materialeigenschaften von Mauerziegeln.....</b>	<b>17</b>
3.1 Optisch erkennbare Materialeigenschaften von Mauerziegeln.....	17
3.2 Technisch prüfbare Materialeigenschaften von Mauerziegeln.....	21
3.2.1 Normative Grundlagen der Prüfung.....	21
3.2.2 Technisch prüfbare Eigenschaften von Mauerziegeln.....	23
3.3 Relevante Materialeigenschaften für die Wiederverwendung nach EAD 170005-00-0305 " Re-Cycled Clay Masonry Units".....	29
<b>4 Rechtliche Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Mauerziegeln.....</b>	<b>31</b>
4.1 Öffentliches Recht.....	31
4.2 Privates Recht.....	33
<b>5 Erfahrungen aus der internationalen Praxis.....</b>	<b>35</b>
5.1 Studienbeispiel: Bornholm.....	35
5.2 Studienbeispiel: Toronto.....	36
5.3 Praxisbeispiel: Wiederaufbau des Neuen Museums Berlin.....	37
<b>6 Prozessablauf der Wiederverwendung.....</b>	<b>39</b>
6.1 Der technische und organisatorische Prozess des Gebäuderückbaus.....	39
6.2 Das Umfeld des Wiederverwendungsprozesses.....	41
6.3 Akteure des Wiederverwendungsprozesses.....	42
6.4 Optimierung der Prozessstrukturen.....	45
<b>7 Schlussbetrachtung.....</b>	<b>47</b>
7.1 Zusammenfassung.....	47
7.2 Ausblick.....	50
Literaturverzeichnis.....	52
Anhang 1 - Leitfaden zur Wiederverwendung von Mauerziegeln	
Anhang 2 - Linkliste	

# Abkürzungsverzeichnis

aBG	Allgemeine Bauartgenehmigung
abZ	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
ATV	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen
CE	„Conformité Européenne“ (dt.: Europäische Übereinstimmung)
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EAD	European Assessment Document
ETA	European Technical Assessment
FÜ	Fremdüberwachung
Jh.	Jahrhundert
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
vBG	vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle
WTA	Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.
ZiE	Zustimmung im Einzelfall

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und inhaltliche Einführung

Bau- und Abbruchabfälle machen circa ein Drittel des gesamten Abfallaufkommens in ganz Europa aus<sup>1</sup>. (vgl. Christensen et al., 2022, S. 2) Eine ernüchternde Feststellung, hat sich doch die EU mit den Nachhaltigkeitszielen der Agenda 2030, insbesondere mit dem Ziel Nummer 12 “Nachhaltig produzieren und konsumieren”, sowie mit dem Circular Economy Action Plan (CEAP) aus dem Jahr 2020 klar zur Kreislaufwirtschaft positioniert. In einer Kreislaufwirtschaft werden Ressourcen wie Baumaterialien in einem Stoffkreislauf wieder- und weiterverwendet. Vermeintliche Abfälle werden dabei als Sekundärrohstoff wieder in den Kreislauf zurückgeführt. In Deutschland ist durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) eine Abfallhierarchie vorgegeben, an deren oberster Stelle die Vermeidung von Abfällen steht. Ist eine Vermeidung nicht möglich, sollte die Vorbereitung zur Wiederverwendung stattfinden. Erst danach folgen mit absteigender Priorität Recycling, energetische Verwertung, Verfüllung und schließlich die Beseitigung. (vgl. § 6 Abs. 1 KrWG) Tatsächlich erfüllen die Länder der EU, angetrieben von rechtlichen Rahmenbedingungen der EU, Verwertungsraten von Bauabfällen von über 70 %. Die formell hohen Raten sind aber darauf zurückzuführen, dass ein Großteil des anfallenden Abfalls für Bodenverfüllungen oder im Straßenbau verwertet wird. (EEA, Stand: 2020) Dies macht deutlich, dass die Baubranche noch nicht als Kreislauf funktioniert und alle Akteure schnellstmöglich daran arbeiten sollten, der Wiederverwendung eine höhere Priorität einzuräumen. Was können wir als Planende dazu beitragen?

Oberstes Ziel bei der Planung und Realisierung von Gebäuden sollte die grundsätzliche Vermeidung des Einsatzes von Ressourcen sein. Nicht immer ist dies möglich. Die Wiederverwendung von Baustoffen muss also mehr an Bedeutung gewinnen. Doch noch immer gibt es eine Vielzahl an Hürden, die die Wiederverwendung unattraktiv für Planende oder Bauherrschaft machen: beispielsweise die undurchsichtige rechtliche Lage, insbesondere bezüglich Haftungsfragen, häufig höhere Kosten, fehlende logistische Prozesse zur Beschaffung gebrauchter Baumaterialien oder schlicht mangelndes Wissen und Berührungängste, um nur einige Gründe zu nennen. Diese bereits 1999 identifizierten Schwierigkeiten sind bis heute aktuell. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 91 ff.)

Im Rahmen unserer Arbeit als Architektur- und Planungsbüro, welches vor allem in der Bestandssanierung tätig ist, konnten wir ein Baumaterial identifizieren, welches sich besonders für die Wiederverwendung eignet: der Mauerziegel. Mauerziegel sind langlebige, homogene Baustoffe, die durch die definierten Formate eine gewisse Modularität aufweisen und in großen Mengen in Bestandsgebäuden, die zurückgebaut oder abgebrochen werden, zur Verfügung stehen. (vgl. Rosen, 2018, S. 18 f.) Außerdem hat der Mauerziegel eine relativ hohe Witterungsbeständigkeit<sup>2</sup> und ist keiner “natürlichen” Materialermüdung ausgesetzt, wie beispielsweise Stahl. Dies sind wichtige Voraussetzungen für die Wiederverwendung. Nichtsdestotrotz werden in Deutschland jährlich 4,5 bis 5 Millionen Tonnen Ziegel (sortenrein entsorgte Mauer- und Dachziegel) als Abfall deklariert. (vgl.

---

<sup>1</sup> Circa die Hälfte davon entstehen aus Bodenaushub.

<sup>2</sup> Abhängig von der Ziegelart, besonders hart gebrannte Klinker sind hoch witterungsbeständig.

Statistisches Bundesamt, Stand: 2023) Durch die hohen Brenntemperaturen bei der Herstellung von Mauerziegeln und den anschließenden Transport ist ein hoher Energie- und Ressourcenaufwand notwendig. Diese in den Mauerziegeln bereits enthaltene graue Energie sollte über eine lange Lebens- und Nutzungsdauer ausgeglichen werden. (vgl. Nordby et al., 2009, S. 56 ff.) Heute kommt es allerdings meist zum Down-Cycling durch zerstörende Rückbauverfahren und eine anschließende Nutzung des Ziegelsplitts beispielsweise als Pflanzsubstrat für Dachbegrünungen und Außenanlagen, als Bodenaustauschmaterial in Trag-, Drän- und Frostschutzschichten von Straßen oder als Terrazzozuschlag mit einem durchschnittlichen Anteil an Recyclingmaterial von 30 %.

Mauerziegel stehen in großen Mengen in historischen Gebäuden zur Verfügung. Besonders lassen sie sich aus Gebäuden des 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts gewinnen, da diese meist mit relativ weichem Kalk- oder Muschelkalkmörtel gemauert wurden. Im Laufe des 20. Jahrhunderts etablierte sich allerdings immer mehr die Bauweise mit Zementmörtel, welcher eine wesentlich festere Bindung mit den Mauerziegeln eingeht und dadurch einen zerstörungsfreien Rückbau sehr schwierig bzw. fast unmöglich macht. (vgl. Umweltbundesamt, 2015, S. 63 f.) Auch dies stellt eine Hürde der Wiederverwendung dar.

Mauerziegel können in neu zu errichtenden Gebäuden wie auch in Sanierungsobjekten wiederverwendet werden, beispielsweise als Ausfachungen für Fachwerk, für nicht tragende Innenwände, Verblendmauerwerk, Bodenbelag oder dekorative Bauteile. Darüber hinaus können sie auch in tragenden Konstruktionen wiederverwendet werden, was jedoch einer umfangreichen Planung und teilweise einer Zulassung bedarf. Die „Zustimmung im Einzelfall“ oder „allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ sind beispielsweise Möglichkeiten der Zulassung gebrauchter Baustoffe. Aufgrund der Komplexität des Themas der Wiederverwendung und aufgrund von Unsicherheit auf Seiten der Planenden und Ausführenden wird heutzutage in der Regel zu neu hergestellten Produkten gegriffen. Vor diesem Hintergrund haben gebrauchte Baustoffe wenig Chancen auf dem Markt. Der Gedanke der Wiederverwendung findet im Bauwesen allerdings immer mehr Anklang. Mittlerweile gibt es Plattformen, die gebrauchte Baustoffe und -materialien zur Wiederverwendung anbieten. Die Qualität und die Schadstoffbelastung der dort angebotenen Materialien sind aber meist schlecht abschätzbar. Für Planende, Architekten oder ausführende Betriebe stellen sie daher oft keine echte Alternative zu neuen Produkten dar.

Dabei hat die Baubranche ein riesiges Potential, durch die Wiederverwendung Ressourcen, Energie und Emissionen einzusparen und auf diese Weise eine echte Kreislaufwirtschaft aufzubauen. Allein durch die Wiederverwendung von 100 m<sup>2</sup> Mauerziegel können durchaus 2 bis 7 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart werden. (vgl. Rotor vzw/asbl, 2021, S. 12)

## 1.2 Ziele und Abgrenzung des Forschungsprojektes

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, die Wiederverwendung von Mauerziegeln für die Beteiligten im Prozessablauf zu vereinfachen. Als Ergebnis dieses Forschungsprojektes entsteht ein Leitfaden für die Wiederverwendung von Mauerziegeln. Dieser soll Planungs- und Ausführungshinweise sowie Handlungsanweisungen enthalten, welche auf Grundlage bestehender rechtlicher Rahmenbedingungen entwickelt werden. Der Leitfaden soll zudem Maßnahmen erläutern, die sowohl beim Rückbau eines Gebäudes bzw. der Gewinnung

wiederverwendbarer Mauerziegel, während der Lagerung und des Transportes sowie beim Wiedereinbau umgesetzt werden sollten. Dabei können oftmals Erkenntnisse aus der Denkmalpflege genutzt werden, in der die Wiederverwendung eine gängige Praxis darstellt. Das Ziel ist es, das vorhandene Wissen systematisch zusammenzutragen und daraus eine allgemein verfügbare Handlungsanleitung für die Bewertung und den Wiedereinbau von gebrauchten Mauerziegeln zu erarbeiten.

Um das Forschungsziel klar abzugrenzen, werden im folgenden einige Begriffsdefinitionen und Festlegungen für diesen Forschungsbericht erläutert.

Der Begriff des Mauerziegels wird gemäß DIN EN 771-1:2015-11 Abs. 3.2 wie folgt definiert: "Mauerstein, der aus Ton oder anderen tonhaltigen Stoffen mit oder ohne Sand, Brennstoffen oder anderen Zusätzen hergestellt ist und bei einer ausreichend hohen Temperatur gebrannt wird, um einen keramischen Verbund zu erzielen". In der Literatur sind Synonyme wie Backstein, Mauerstein, Ziegelstein etc. zu finden, in diesem Bericht wird zur Vereinfachung ausschließlich der Begriff "Mauerziegel" verwendet. **Darüber hinaus werden lediglich Vollziegel betrachtet, die die DIN 20000-401:2017-01 in Abs. 3.1 wie folgt definiert: "Mauerziegel, dessen Querschnitt durch Lochung senkrecht zur Lagerfläche bis 15 % gemindert sein darf oder Mulden aufweist, deren Anteil höchstens 20 % bezogen auf das Volumen der Ziegel betragen darf"**. Darüber hinaus liegt der Fokus in diesem Forschungsprojekt auf historischen Mauerziegeln, die bis ca. 1950 (vor Einführung der ersten Mauerwerksnorm) hergestellt wurden. Die Festlegungen werden damit begründet, dass ein Großteil der vor 1950 verwendeten Mauerziegel Vollziegel sind, die sich durch die Verbindung mit Kalkmörtel besonders für die Wiederverwendung eignen. Auf die Hintergründe wird im weiteren Verlauf des Berichts näher eingegangen.

Wird in diesem Forschungsbericht von "Wiederverwendung" gesprochen, ist dabei die erneute Verwendung eines Produktes entsprechend seines ursprünglichen Zweckes in seiner originären Produktgestalt gemeint. Darüber hinaus bleibt die ursprüngliche Zusammensetzung erhalten und das Produkt wird entweder direkt oder nach einer Vorbehandlung (Säuberung oder Reparatur) wieder eingebaut. (vgl. Häußler et al., 1999, S. 4) Dabei ist die Wiederverwendung abzugrenzen von der Wiederverwertung, einer Art des Recyclings, bei der ein energieintensiver Aufbereitungsprozess dazu führt, dass ein neues Produkt der gleichen Qualität entsteht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Stahlträger eingeschmolzen und zu einem neuen Stahlträger eines anderen Profils wird. Auch ein Down-Cycling, also die Entstehung eines Produktes niedrigerer Qualität, findet bei der Wiederverwendung nicht statt. (Hillebrandt/ Seggewies, 2018, S. 59 f.)

### 1.3 Aufbau des Abschlussberichts

In [Kapitel 2 "Zur Historie von Mauerziegeln und Mörteln"](#) wird die Historie von Mauerziegeln und Mörteln kurz erläutert. Dabei wird neben der Geschichte des Mauerziegels auch die Entwicklung des Mörtels dargestellt, da dieser einen maßgeblichen Einfluss auf die Rückbaubarkeit von Mauerwerk hat. Abschließend wird die geschichtliche Entwicklung der Wiederverwendung von Mauerziegel grob erläutert.

In [Kapitel 3 "Relevante Materialeigenschaften von Mauerziegeln"](#) werden die Materialeigenschaften erläutert, anhand deren Mauerziegel sowohl optisch als auch

technisch unterschieden werden können. Grundlage dafür bilden die geltenden Normen für Mauerziegel und Mauerwerksbau. Abschließend werden die Materialeigenschaften in den Fokus gestellt, die für die Wiederverwendung relevant sind.

In [Kapitel 4 “Rechtliche Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Mauerziegeln”](#) werden die aktuellen Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung in Deutschland erläutert. Dabei wird unterschieden zwischen öffentlichem Recht, welches maßgeblich für die Zulässigkeit eines Bauvorhabens ist, und dem privaten Recht, welches das Rechtsverhältnis der Projektbeteiligten untereinander regelt.

In [Kapitel 5 “Erfahrungen aus der internationalen Praxis”](#) soll anhand von zwei Studien und einem Best-Practise Beispiel im internationalen Kontext demonstriert werden, inwiefern und in welchen Maßstäben die Wiederverwendung von Mauerziegeln möglich ist. Darüber hinaus konnten aus den Studien und Beispielen Erkenntnisse für den Leitfaden gesammelt werden.

[Kapitel 6 “Prozessablauf der Wiederverwendung”](#) dient dazu den Status Quo des Wiederverwendungsprozesses sowie mögliche Verbesserungspotenziale zu erläutern und zu analysieren. Dabei wird vor allem der Prozess des Gebäuderückbaus fokussiert.

Im [Kapitel 7 “Schlussbetrachtung”](#) wird das Forschungsprojekt zusammengefasst. Am Ende gibt es einen Ausblick auf hilfreiche Entwicklungen sowie notwendige Forschungsarbeit.

Im Anhang 1 befindet sich der entwickelte Leitfaden.

In diesem Forschungsbericht wird aufgrund der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum genutzt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass damit Menschen aller Geschlechter gemeint sind und niemand dadurch benachteiligt oder ausgeschlossen werden soll.

## 2 Zur Historie von Mauerziegeln und Mörteln

Als Quelle für die Wiederverwendung dienen in der Regel historische Gebäude, die innerhalb der damaligen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen erbaut wurden. Die Wiederverwendung bedarf somit der Auseinandersetzung mit der Geschichte des rückzubauenen Gebäudes. Das Wissen über die in der Geschichte verwendeten Rohstoffe, Formate und Herstellungsverfahren hilft dabei, Materialeigenschaften und mögliche Nachnutzungen besser abschätzen zu können. Aufgrund dessen wird im Folgenden näher auf die historische Entwicklung der Komponenten Mauerziegel und Mörtel eingegangen.

### 2.1 Mauerwerksbau in der Vergangenheit

#### 2.1.1 Von den Anfängen bis zum Ende des 19. Jh.

Die Verwendung von Mauerziegeln zur Herstellung von Gebäuden verschiedener Nutzungsarten und Anforderungen ist eine der ältesten Bautechniken der Menschheitsgeschichte. Während anfänglich (ca. 10.000 - 5000 v. Chr. in Mesopotamien) noch ungebrannte, handgeformte Lehmziegel Verwendung fanden, sind die ersten wetterfesten Bauten aus gebrannten Tonziegeln bereits um 3500 v. Chr. auch in feuchten Erdregionen nachweisbar. (vgl. Campbell/ Pryce, 2003, S. 13)

Die historische Entwicklung der Verwendung von Mauerziegeln wurde dabei stark von deren Güte sowie dem Herstellungsprozess beeinflusst. So ist in erster Linie die stoffliche Zusammensetzung einer Tonlagerstätte, die als Rohstoffquelle für das Ausgangsmaterial der Ziegelherstellung dient, zu nennen. (vgl. Wallasch, 1999, S. 35 ff.)

Große Tongruben fanden sich beispielsweise in China, aber auch in Italien oder Byzanz, was man an beeindruckenden Ziegelbauten aus diesen Zeiten wie der Chinesischen Mauer (220 v. Chr.), den Ingenieurbauwerken der Römer (2. Jh. n. Chr.) oder der Hagia -Sophia (6. Jh. n. Chr.) ablesen kann. Dort, wo der gut formbare und reproduzierbare Rohstoff für die Herstellung von Ziegelsteinen abgebaut werden konnte, entwickelten sich auch die Herstellungs- und Anwendungstechniken stetig weiter und wurden durch Vertreter, der in den verschiedenen Ländern vorherrschenden Religionen, weiter verbreitet. (vgl. Campbell/ Pryce, 2003, S. 13)

Neben der Rohstoffgewinnung, -aufbereitung und Formgebung haben der Trocknungsprozess sowie der Brennvorgang großen Einfluss auf die Qualität und damit auch die Verwendbarkeit eines Mauerziegels. Schon im Spätmittelalter konnten Hersteller minderwertige Mauerziegel (zu stark oder zu schwach gebrannt) erkennen und aussortieren. (vgl. Wallasch, 1999, S. 32 f.)

Die sogenannten Schwachbrand- oder Starkbrandziegel waren bspw. Resultat von noch bis ins Mitte des 19. Jh üblichen sogenannten Feldziegeleien<sup>3</sup>, in deren Öfen kein gleichmäßiger Brand möglich war. Im ungünstigsten Fall waren dabei etwa nur zwei Drittel der Steine qualitativ so beschaffen, dass sie für den Bau verwendet werden konnten. Durch Asche, Schlacke, Schmolz oder zu starken oder zu schwachen Brand unbrauchbare oder minderwertige Mauerziegel konnten dann, statt als tragender Stein für das Außenmauerwerk, nur noch zur Hintermauerung oder als Füllziegel eingesetzt werden. Dennoch prägten Mauerziegel dieser Technik die Alltagskultur deutscher Dörfer und man findet sie noch heute in Bauernhöfen und Kirchen, vor allem in Nord- und Mitteldeutschland. (vgl. Schrader, 1997, S. 131 f.)

Mit der industriellen Revolution im 19. Jh. wurden vor allem von in England erschienenen Aufsätzen und Büchern ausgehend neue Methoden zur Ziegelherstellung entwickelt. Während die Ziegelherstellung bis etwa 1860 vor allem im Handstrichverfahren<sup>4</sup> oder Handschlagverfahren<sup>5</sup> durchgeführt wurde, kamen nun neue Maschinen, wie die von Carl Schlickeysen erfundene Schnecken- bzw. Strangpresse<sup>6</sup> auf den Markt, mit denen erste industriell gefertigte Ziegel in größeren Mengen hergestellt werden konnten. Die Einführung von kontinuierlichen Brennöfen wie dem Hoffmannschen Ringofen<sup>7</sup> gewährleistete zudem zunehmend eine gleichbleibende Qualität der hergestellten Tonprodukte, auch wenn zwischen 1860 und 1890 die Produktionstechnik noch nicht ausgereift war und dies auch Auswirkungen auf die Qualität der Vormauerziegel hatte. Diese Entwicklung war aber um 1890 mit höher entwickelter Technik- und Baustoffkunde weitgehend abgeschlossen.

Mit der wachsenden Produktion von qualitativ höherwertigen Mauerziegelprodukten, wuchs auch die allgemeine Akzeptanz und das Interesse an der Verwendung des Materials über einfache Wohnbauten und Stallungen hinaus. Während man die Masse der Gebäude aufgrund der teilweise schlechten Steinqualitäten in früheren Jahren oft verputzte, wurde der Mauerziegel im 19. Jh. zum Standardmaterial für Industrie- und Verwaltungsbauten in Sichtmauerwerksausführung. Diese Gebäude wurden mit dem neu entstandenen Verständnis für bauphysikalische Zusammenhänge und der Entwicklung von Hohlmauerwerken zunehmend als zweischaliger Mauerwerksbau errichtet. Während ein hart gebrannter Vormauerziegel die wetterfeste und repräsentative Wandschale bildete, wurde der Rest der Wand, getrennt durch eine durchgängige Luftschicht, aus Hintermauerziegeln geringerer Güte ausgebildet. Um Material und Kosten zu sparen, wurden im Laufe der Zeit die Vollsteine durch Lochverblender ersetzt. (vgl. Wallasch, 1999, S. 28 ff.)

---

<sup>3</sup> Der Meiler einer Feldziegelei bestand aus mehreren Lagen, Meter hoch gestapelter getrockneter Rohziegel, zwischen denen Abstände bestehen blieben, durch die die heiße Verbrennungsluft hindurchströmen konnte. Hohlräume im unteren Bereich dienten zur Aufnahme des Brennstoffs, der durch Löcher an der äußeren, mit Lehm verputzten Schicht entzündet werden konnte. Der Brennstoffverbrauch an Kohle, Torf oder Holz war im Vergleich zum später entwickelten Hoffmannschen Ringofen etwa drei- bis viermal so hoch. (vgl. Schrader, 1997, S.134 ff.)

<sup>4</sup> Die Arbeitsmasse wurde dabei ohne maschinelle Hilfe per Hand in eine Holzform geschlagen, abgezogen und anschließend gebrannt. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

<sup>5</sup> Die Arbeitsmasse wurde hier in eine eiserne Rahmenform geschlagen und anschließend gebrannt. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

<sup>6</sup> Der Ton wird dabei durch eine rotierende Förderschnecke in ein Mundstück gepresst, wo er zu Ziegeln geformt wird. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

<sup>7</sup> Die Mauerziegel werden in einem kreisförmigen Ofen mit mehreren Kammern gebrannt. Die Flammen wandern von Kammer zu Kammer, sodass die Mauerziegel in jeder Kammer die gleiche Brenndauer haben. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

Auch der preußische Baumeister Karl Friedrich Schinkel entdeckte das Material für seine Architektur wieder, wobei er für seine Sichtziegelbauten hochwertige geschlämmte Mauerziegel verwendete, deren Herstellungsverfahren sehr teuer und aufwändig waren. In diesem Zuge führte Schinkel auch die ersten Qualitätsnormen für Ziegelmauerwerk ein (vgl. Schrader, 1997, S. 35), die u.a. eine Grundlage zur Einführung des ersten Normalformates (1872), später Reichsformat genannt, bildete. Dieses Format wurde erst 1952 mit Einführung der DIN 105 vom heutigen Normalformat (NF) abgelöst. Diese Prozessstandardisierung und Normung des Baustoffes war für die weitere Entwicklung des Mauerwerksbaus von enormer Bedeutung und führte zu deutlichen Verbesserung der Eigenschaften und einer vereinheitlichten Qualität der Mauerziegel. Nur so konnten beispielsweise die Berliner Mietskasernen realisiert werden, zu deren Bau allein pro Gebäude eine Million Mauerziegel hergestellt werden mussten. (vgl. Wallasch, 1999, S. 28 ff.)

### 2.1.2 Mauerwerksbau vom 20. Jh. bis heute

Die Architektur des späten 19. Jh. und der ersten Hälfte des 20. Jh. spiegelte die sich wandelnde Gesellschaft wider. Gegenläufige Tendenzen und Stile beeinflussten die Verwendung von Mauerziegeln, die sowohl als Baumaterial als auch als gestalterisches Element eingesetzt wurden. Während im Historismus des ausklingenden 19. Jh. das Sichtziegelmauerwerk als gestaltendes und schmückendes Element vorrangig in repräsentativen oder Industriebauten vorzufinden war, wurde der Mauerziegel nach dem verlorenen ersten Weltkrieg als schlichtes und billiges Baumaterial entdeckt. Seine Sichtbarkeit stand im Sinne des "Heimatstils" und "Traditionalismus" auch an einfacheren Bauten und Wohnhäusern im Vordergrund. Die Einfachheit des Baustoffes gepaart mit qualitativ hochwertiger handwerklicher Arbeit "[...] verhalf dem Ziegelbau zu einer eigenen Akzeptanz, die nie wieder in diesem Ausmaß erreicht werden sollte." (Schrader, 1997, S. 52)

Der Qualität der Ziegelbauten der Gründerzeitjahre ist es zu verdanken, dass nach den verheerenden Zerstörungen des zweiten Weltkrieges Mitte des 20. Jh. zumindest die Trümmer der Bauwerke weiter genutzt werden konnten und der Baustoff Mauerziegel das erste Mal in großer Menge wiederverwendet oder recycelt werden konnte. "Trümmerfrauen" sammelten Mauerziegel und entfernten in mühsamer Handarbeit den Mörtel, um brauchbare Steine aus den Überresten der einstigen Bauwerke für die Errichtung neuer Gebäude zu gewinnen. Dabei enthielt ein Kubikmeter Trümmersmasse im Schnitt gerade mal 65 noch brauchbare ganze Mauerziegel, der Ziegelbruch konnte nur noch durch Aufbereitung zu Ziegelsplitt bzw. Ziegelsplittbeton verarbeitet werden. (vgl. Wedler/ Hummel, 1947, S. 21 ff.)

In den folgenden Jahrzehnten war es jedoch schwer, den Ziegelbau als solchen zu erkennen. Der Wunsch nach einer modernen Formensprache und der einhergehenden Verwendung von Beton oder Stahl als gestaltgebendes Baumaterial verdrängte das Sichtmauerwerk und ließ dem Mauerziegel, wenn überhaupt, nur Platz hinter dem Verputz von Fassaden. Erst gegen Ende des 20. Jh. wurde diese Entwicklung aufgehalten, sah man doch zunehmend wie Bauten aus Beton und Stahl im Laufe der Zeit stark verschmutzten, korrodierten und teilweise schon nach wenigen Jahrzehnten verfielen. Einem Ziegelbau setzte die starke Umweltverschmutzung weniger zu, verlieh einer Ziegelfassade mitunter sogar eine Patina von eigenem Reiz. Aus der daraus resultierenden Rückbesinnung auf das alte Baumaterial entstanden nicht nur architektonisch neue Stile im Sinne der Postmoderne, sondern diese Entwicklung führte auch zu der erneuten Suche nach neuen Technologien,

sowie Qualitäts- und Ausdruckssteigerung von Ziegelprodukten. Neue Glasuren, Formen und Farben gaben dem Ziegelbau ein modernes Antlitz und emanzipierten ihn von seinem Ruf als altmodisches Baumaterial. (vgl. Schrader, 1997, S. 54)

## 2.2 Entwicklungsgeschichte des Mörtels

### 2.2.1 Mörtel - Eine Begriffsklärung

Die Historie des Mauerwerks ist eng verknüpft mit der Entwicklung des Mörtels, der die Fügung der Mauerziegel zu einem Bauwerk erst möglich macht. Der Mörtel verbindet die einzelnen Mauerziegel miteinander und sorgt dafür, dass sie eine feste Einheit bilden. Dadurch wird die statische Last des Mauerwerks gleichmäßig auf die einzelnen Steine verteilt. Durch seine Plastizität gleicht er zusätzlich Unebenheiten und Maßabweichungen der verwendeten Mauerziegel aus. Stärke, Formgebung und Farbe der Fuge sind zudem wichtige architektonische und ästhetische Merkmale von Mauerwerksbauten, die durch die Verwendung von Mörteln unterschiedlicher Zusammensetzung und Qualität zum Ausdruck gebracht werden.

Mörtel besteht aus Bindemitteln wie Kalk, Gips oder Zement, einem Füllstoff und Wasser. Die Art des Bindemittels bestimmt die Eigenschaften des Mörtels, wie die Festigkeit, Wasserbeständigkeit und Verarbeitungseigenschaften. Als Füllmaterial und Zuschlagstoff wird in der Regel Sand verschiedener Körnung verwendet. Durch Zugabe von Wasser werden die anderen Bestandteile vermischt und aktiviert.

Bei der Verwendung von Mörteln müssen stets bauphysikalische Zusammenhänge im Gefüge mit den verwendeten Mauerziegeln betrachtet werden. Schwankungen von Temperatur und Feuchtigkeit können zu Spannungen im Bauteil führen, die sich durch Rissbildungen in den Mauerziegeln oder Fugen zeigen. (vgl. Schrader, 1997, S. 188 f.)

### 2.2.2 Mörtelarten

#### **Lehmmörtel**

Die Entwicklung von Mörteln ist so alt wie der Ziegelbau selbst. Die ersten einfachen Mörtel bestanden aus Lehm, der, wie auch der Mauerziegel, an der Luft trocknete und damit aushärtete. Lehmmörtel ist wasserdampfdurchlässig und feuchteregulierend, aber nicht wasserfest. Daher kann er durch Zugabe von Wasser auch nach dem Trocknungsprozess wieder plastisch gemacht und quasi unendlich neu verarbeitet werden. Das macht Lehmmörtel auch im Hinblick auf die Wiederverwendbarkeit von Mauerziegeln besonders interessant, denn Lehmmörtel ist leicht vom Stein lösbar. Diese Art von Mörtel ist noch heute zu finden in vielen alten gemauerten Stall- und Scheunengebäuden.

#### **Luftkalkmörtel**

Schon seit der Antike wurde zudem ein Gemisch aus Kalk und Sand zur Herstellung der ersten Kalkmörtel verwendet. Diese sogenannten Luftkalkmörtel bestehen aus abgebautem Karbonatgestein, welches bis zu 900 °C erhitzt wird. Dabei bildet sich Calciumoxid (CaO). Der daraus entstehende sogenannte Branntkalk wird anschließend mit Wasser gelöscht und reagiert zu Calciumhydroxid (Ca(OH)<sub>2</sub>) wobei er sein Volumen um das 2.5- fache vergrößert. Das Calciumhydroxid ist das Bindemittel des Luftkalkmörtels, was zur Festigkeit des Mörtels

beiträgt. Unter Zugabe von Wasser und Sand entsteht schließlich der fertige Mörtel. (vgl. Schrader, 1997, S. 190)

Dieser Mörtel ist besonders wasserdampfdurchlässig und atmungsaktiv und wird noch heute als Fugenmörtel, aber auch zur Ausbildung von Putzoberflächen verwendet. Da er mit dem Stein keine feste Verbindung eingeht, lassen sich mit Luftkalkmörtel vermörtelte Mauerziegel gut wieder säubern und kommen daher für die Wiederverwendung in Betracht. Der Mörtel selbst ist aber nach dem Trocknungsprozess nicht wiederverwendbar, da er, im Gegensatz zum Lehm, nach dem Abbinden nicht mehr wasserlöslich ist.

### **Römischer Zement**

Dort, wo es auf Wasserbeständigkeit ankam, wie beim Bau von Hafentürmen, Wasserleitungen oder Fundamenten, wurde "Römischer Zement", auch Puzzolankalk genannt, verwendet. Dieser wurde in einer chemischen Reaktion aus vulkanischer Asche, Kalk und Meerwasser gewonnen und bereits vor 2.000 Jahren von den Römern verwendet. Im Gegensatz zum Luftkalk binden die Kalkhydrate bei diesem Mörtel nicht nur an der Luft ab. Die hydraulischen Zuschläge (wie z.B. Puzzolane) werden durch das Vorhandensein von Kalk und Wasser auch unter Luftabschluß hart. (vgl. Schrader, 1997, S. 192)

### **Portlandzement**

1824 wurde der erste Portlandzement von Joseph Aspdin zum Patent angemeldet, wobei es sich hierbei eigentlich um einen künstlich hergestellten Romanzement handelte. Erst 1844 erkannte Isaac Charles Johnson, dass der Sinterprozess einen erheblichen Einfluss auf die Festigkeit des Materials hatte und führte den "echten" Portlandzement ins Baugewerbe ein. Danach sollte es noch rund 20 weitere Jahre der Entwicklung dauern, bis sich dieser auch als Alternative zum Kalkmörtel durchsetzte und Ende der 1860er Jahre zum industriellen Standard wurde.

Portlandzement wird in einem zweistufigen Prozess hergestellt. Zunächst wird Kalkstein und Ton bei ca. 1450°C zu Branntkalk gebrannt. Das so entstandene Klinkergranulat wird nach dem Abkühlen zusammen mit Gips gemahlen, um Portlandzement herzustellen.

Die Erfindung des Portlandzementes war ein bedeutender Schritt auch in der Entwicklung des Mauerwerksbaus. Während der Kalkmörtel auch nach dem Abbindeprozess relativ weich blieb, die Mauerziegel voneinander trennte und somit Ausdehnung und Kontraktion bei Temperaturschwankungen zuließ, war Portlandzement härter als die Mauerziegel. Durch starke Adhäsionskräfte wurden die Mauerziegel im Verbund zusammengehalten. Diese monolithische Wirkung hatte zwar einen großen positiven Effekt auf die statische Belastbarkeit eines Bauteils, führte jedoch dazu, dass bei starken Temperaturschwankungen eine Ausdehnung oder Kontraktion der Materialien nicht mehr möglich war und die Gebäude teilweise auseinanderbrachen. Diese Zusammenhänge erkannte man jedoch erst im Laufe der Zeit. Aufgrund dieser Erfahrungen und auch des im Vergleich zu Kalkmörtel fast doppelt so hohen Preises, wurde Mörtel aus Portlandzement erst Mitte des 20. Jh. auch für gewöhnliche Backsteinbauten eingesetzt. (vgl. Campbell/ Pryce, 2003, S. 217)

Portlandzement ist wasserbeständig, nicht brennbar, witterungsbeständig und druckfest, so dass sich Bauteile von hoher Dauerhaftigkeit herstellen lassen. Weil dieser Mörtel eine so starke Verbindung zum Mauerziegel aufbaut, ist es jedoch nur sehr schwer möglich, den Mörtel nach dem Abbruch eines Gebäudes wieder vom Mauerziegel zu lösen, ohne ihn

dabei zu beschädigen. Das macht die Wiederverwendung von Mauerziegeln, welche mit Portlandzement zu einem Bauteil zusammengefügt wurden, sehr schwierig.

Mauersteine				Mörtel			
Formgebung		Herstellung		Bindemittel		Mischtechnik	
Handstrich	bis ca. 1970 <sup>1)</sup>	Ziegelbrennen Feldbrandofen	bis 1900	Lehm	bis 1900	Händisch	Antike bis heute <sup>3)</sup>
Ziegelstreichmaschine	1800 bis 1970 <sup>1)</sup>	Ziegelbrennen Ringbrandofen	1860 bis 1980 <sup>1)</sup>	Gips- und Anhydrit <sup>2)</sup>	bis heute	mechanische Mischhilfen	
Strangpresse (Ziegel)	1850 bis heute	Ziegelbrennen Tunnelofen	1950 bis heute	Kalk (Sumpfkalk, Kalkhydrat)	bis heute	Freifallmischer	1800 bis heute
Einzelsteinpresse (Kalksandsteine)	1890 bis heute	Autoklavhärtung (Kalksandstein)	1890 bis heute	Hydraulischer Kalk	bis heute	Zwangsmischer	1870 bis heute
Fertigungsmaschine: Formguss/-presse und Rüttelverdichtung) (zementgebundene Steine, Hüttensteine, Schlackensteine)	1860 bis heute	Erhärtung durch Abbinden	1860 bis heute	Romanzement	1800 bis 1850	Durchlaufmischer	1960 bis heute
				Portlandzement	1850 bis heute		
				Werk trockenmörtel	1960 bis heute		

1) werden weiterhin hergestellt für spezielle Anwendungen (Denkmalschutz etc.)  
2) vorwiegend in Gegenden mit natürlichen Vorkommen, siehe WTA Merkblatt 2-11 [31]  
3) nur noch selten und bei kleinen Baustellen ausgeführt

Tabelle 1: Entwicklung der Herstellung künstlicher Mauersteine und Mörtel in Deutschland (Quelle: WTA, 2021, S.6)

### 2.3 Wiederverwendung im Wandel der Zeit

Die Wiederverwendung von Baustoffen wie dem Mauerziegel ist keinesfalls ein neues Phänomen. Schon 400 bis 700 n. Chr. begann man hierzulande, römische Ziegel oder Dachdeckungen aus leerstehenden Gebäuden aus einst römischer Herrschaft zu entnehmen, um sie beispielsweise für Bauernhäuser oder Kapellen zu nutzen.

Diese Art der Zweitverwendung, manchmal sogar Drittverwendung, war bei fast allen Baustoffen für unsere Vorfahren ganz selbstverständlich. Weggeworfen wurde nur, was nicht mehr funktionstüchtig war. Sparsamkeit und ökonomischer Druck waren dabei nicht immer der Antrieb. Das Aufzeigen von Status, Macht und Repräsentanz durch Entnahme von wertvollen Fliesen, Putten, Portalen etc. aus Stein oder anderen Baustoffen aus Wohnhäusern aber auch Burgen, Schlössern oder Kirchen, um eigene Bauten zu schmücken, war eine gängige Praxis bei der jeweils herrschenden Klasse. Dabei wurde der Begriff "Spolien" geprägt, der gleichbedeutend mit "erbeutetem Gut" steht und aufzeigt, dass Wiederverwendung durchaus auch Raub oder Zerstörung zur Grundlage haben konnte.

Mit der industriellen Entwicklung und der damit aufkommenden Massenfertigung von Baustoffen wie dem Mauerziegel, kam es zu einer Verschiebung der Relation des Wertes von Material und Arbeitskraft. Die Herstellung von Mauerziegeln wurde günstiger und die Notwendigkeit der Wiederverwendung des Baustoffes trat immer weiter in den Hintergrund. Dennoch war es noch bis Anfang des 20.Jh. selbstverständlich, dass erst dann ein neues

Haus gebaut wurde, wenn das alte nicht mehr reparabel war, solange wurde es von versierten Handwerkern repariert, ergänzt oder es wurden einzelne Bauteile ausgetauscht. Ihren vorläufigen Höhepunkt fand diese Entwicklung in den Jahren des Wiederaufbaus unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg.

Spätestens mit Beginn der Wirtschaftswunderjahre ab etwa 1950 verdrängte der Wunsch nach Neuem die historischen Baustoffe. Die kulturellen und funktionellen Werte alter Gebäude oder Baumaterialien wurden in den Hintergrund gerückt. Die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB), welche bereits 1926 eingeführt wurde, ist das Abbild dieser Denkweise und trug dazu bei, dass die Wiederverwendung von Baustoffen fast vollständig in Vergessenheit geraten ist. (vgl. Schrader, 1997, S. 203 ff.) Gleichzeitig ging durch diese Entwicklung auch jahrhundertealtes Fachwissen der Handwerker und damit viel Know-How über die Wiederverwendung von Baustoffen verloren.

In den letzten Jahrzehnten ist das Umweltbewusstsein der Gesellschaft stark gewachsen. Dies hat auch zu einer verstärkten Nachfrage nach nachhaltigen Baumaterialien geführt. Mauerziegel sind ein nachhaltiges Baumaterial, das sich durch seine Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit auszeichnet. Die Wiederverwendung von ganzen Mauerziegeln aus Abbruchgebäuden für die Gebäudesanierung oder den Bau neuer Gebäude kann ihren Beitrag zur Ressourcenschonung und damit dem Umweltschutz leisten.

# 3 Relevante Materialeigenschaften von Mauerziegeln

## 3.1 Optisch erkennbare Materialeigenschaften von Mauerziegeln

Historische Mauerziegel weisen eine wesentlich größere Variabilität in ihren Materialeigenschaften auf, als heute industriell hergestellte Mauerziegel. Zurückzuführen ist dies auf die damals wesentlich geringeren Produktionsgrößen, damalige regionale Herstellungsverfahren und Verfügbarkeit der Rohstoffe.

Eigenschaften, die eine erste, optische Einteilung von Mauerziegeln ermöglichen sind (Auflistung nicht vollständig):

1. Herstellungsmethode,
2. Format,
3. Farbe und Erscheinungsbild.

### **Rückschlüsse auf Herstellungsmethode**

Die Herstellungsmethoden im Laufe der Jahre wurden in [Kapitel "2.1 Mauerwerksbau in der Vergangenheit"](#) bereits näher erläutert. Abhängig von der Herstellungsmethode ergeben sich Unterschiede bzw. Auffälligkeiten an historischen Mauerziegeln, anhand derer sich Rückschlüsse auf das Alter ziehen lassen. Handstrichziegel, die noch per Hand gefertigt wurden, weisen beispielsweise seitliche Quetschfalten auf. Handschlagziegel, die ab ca. 1800 verbreitet waren, sind wiederum erkennbar an den scharfen Kanten und glatten Oberflächen, da die Arbeitsmasse hier in eine eiserne Rahmenform eingebracht und anschließend gebrannt wurde. Maschinenstrichziegel, die in Strang- oder Stempelpressen (ab 1900) hergestellt wurden, weisen, wie auch die Handstrichziegel, seitliche Quetschfalten auf, haben allerdings eine glattere Oberfläche<sup>8</sup>. Diese Methode wird heute noch genutzt, um denkmalpflegerischen Ersatz für Handstrichziegel zu produzieren. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

Bis heute werden die Formlinge der Mauerziegel in Strang- oder Stempelpressen aus einer erdfeuchten Rohmasse aus Lehm und Löss oder Mergel hergestellt. Sie werden anschließend in Trockenkammern vorgetrocknet und dann in Tunnelöfen gebrannt. Je nach Brenntemperatur werden die Mauerziegel fester oder weniger fest. Mauerziegel erreichen durch die Brenntemperatur von 900 bis 1100°C einen hohen Widerstand gegen chemische Einwirkungen, eine mäßig hohe Festigkeit, geringen Frostwiderstand und eine hohe kapillare Saugkraft. Klinker hingegen werden bei 1100 bis 1300°C, feuerfeste Steine und Schamotte bei 1300 bis 1800°C gebrannt. Dadurch entstehen hochfeste Steine, die frostbeständig sind, wenig wassersaugend und sehr dicht sind und einen sehr hohen Widerstand gegen chemische Einwirkungen haben. (vgl. Weber et al., 2017, S. 169 f.)

---

<sup>8</sup> Meist fand das Einpressen der Arbeitsmasse durch eine drehende Bewegung statt, die den Ziegeln ihre Form gab. (vgl. Wallasch, 1999, S. 110 ff.)

## Ziegelart und Format

Zur eindeutigen Beschreibung des Mauerziegelformates werden im Weiteren die Begriffe aus der folgenden Abbildung genutzt:

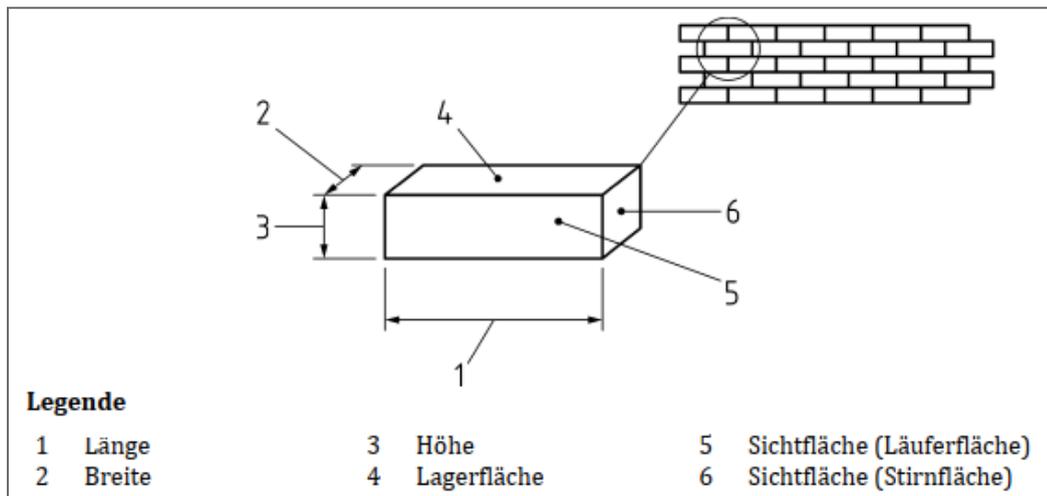


Abbildung 1: Geometrische Elemente eines Mauerziegels (nach DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.1.1)

Die Unterscheidung nach Ziegelart findet heute gemäß der DIN 20000-401 statt. Es werden folgende Ziegelarten unterschieden:

Mz	Vollziegel	VMz	Vormauer-Vollziegel
KMz	Vollklinker	PMz	Plan-Vollziegel
HLz	Hochlochziegel	VHLz	Vormauer-Hochlochziegel
KHLz	Hochlochklinker	PHLz	Planhochlochziegel
Lz	Langlochziegel		

(nach DIN 20000-401:2017-01, B.2)

Die Definitionen der einzelnen Ziegelarten können dieser Norm entnommen werden. In Abbildung 2 sind vier Ziegelarten exemplarisch dargestellt.

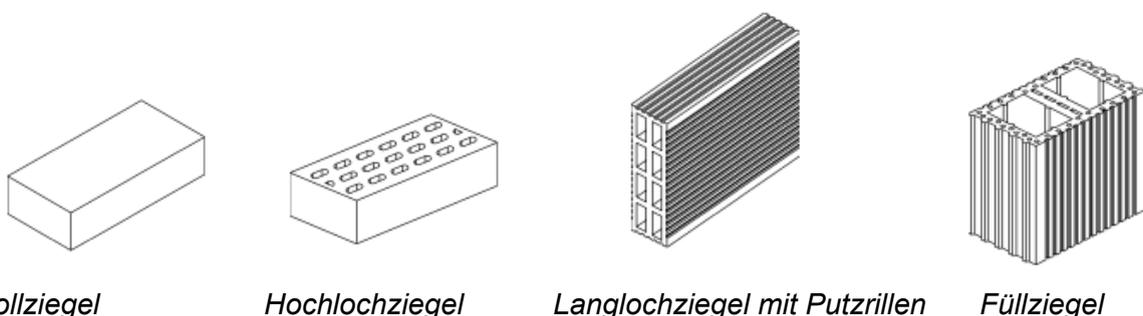


Abbildung 2: Beispiele für Ziegelarten (nach DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.2.1)

Über die Art hinaus, ist das Format eine wichtige Eigenschaft zur Unterscheidung von Mauerziegeln. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Mauerziegelformate ab dem 17. Jahrhundert.

Gebäude	Bauzeit	Länge (cm)	Breite (cm)	Dicke (cm)
Backsteine der Renaissance	17. Jh.	27	16	8
Königreich der Niederlande (Holland)	ab 17. Jh.	20	10	4
Königreich Preußen	ab 1701	20	10	4
Bamberg, Kutschenremise	18. Jh.	27	14	7
Lübeck, Hochbarock	18. Jh.	27	13	7
Alt-badisches Format	19. Jh.	27	13	6
Alt-Hamburger Format	19. Jh.	22	10,5	6,5
Altes Oldenburger Format	19. Jh.	22	10,5	5,2
Bayrisch Königstein	19. Jh.	29	14	6,5
Alt-Österreichisches Format	19. Jh.	29	14	6,5
Reichsformat (Deutsches Reich)	ab 1871	25	12	6,5
Normalformat nach DIN 105	ab 1952	24	11,5	7,1

Tabelle 2: Neuzeitliche Mauerziegelformate vom 17. Jahrhundert bis 1952 (nach Maier, 2012, S. 45)

Einen wichtigen Schritt in der Vereinheitlichung der Mauerziegelformate war die Einführung des Reichsformates (25 x 12 x 6,5 cm) im gesamten deutschen Reich im Jahr 1871. (vgl. Maier, 2012, S. 52) Das Reichsformat wurde darüber hinaus manifestiert durch die im Jahre 1922 eingeführte, erste deutsche Mauerziegelnorm, DIN 105. In dieser Norm wurden ausschließlich Vollziegel (heute als Mz eingestuft) betrachtet, andere Arten von Mauerziegeln waren nicht populär zu dieser Zeit. Unterschieden wurde in Mauerziegel 1. und 2. Klasse, Hartbrandziegel und Klinker/ Mauerklinker. Die Ablösung des Reichsformats fand im Zuge der neuen Ausgabe von DIN 105 im Jahr 1952 statt. Von dort an waren das Dünnformat (DF, 24 x 11,5 x 5,2 cm) und das Normalformat (NF, 24 x 11,5 x 7,1 cm) die gängigsten Mauerziegelformate. Auch neue Ziegelarten, wie Poren-, Langloch-, Hochlochziegel und Hochbau- und Hochlochklinker wurden das erste Mal in dieser Norm aufgeführt. Die Definition des Vollziegels wurde dahingehend präzisiert, dass ein maximaler Lochanteil von maximal 15 % für die Einstufung als Vollziegel vorliegen durfte. (vgl. Meyer/ Gierga, 2012, S. 201) Die Abmaße von Normal- und Dünnformat sind bis heute gleich geblieben. Eine Übersicht der verschiedenen Vollziegel-Arten ab 1920 mit entsprechender Kennzeichnung und Zuordnung zu heutigen Druckfestigkeitsklassen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Jahr	Normausgabe	Bezeichnung	Kennzeichnung	Zuordnung zur aktuellen Druckfestigkeitsklasse (DIN 20000-401)
1920 - 1951	1922/ 1936/ 1941	Mauerziegel 2. Klasse	ohne	≥ Mz 8
		Mauerziegel 1. Klasse		≥ Mz 12
		Hartbrandziegel		≥ Mz 20
		Klinker/ Mauerklinker		≥ Mz 28
1952 - 1957	1952	Vollziegel Mz 100	ohne	≥ Mz 8
		Vollziegel Mz 150	zwei senkrechte Kerben oder Prägung "150"	≥ Mz 12
		Hochbauklinker KMz 350	ohne	≥ Mz 28
1957 - 1969	1957	Vollziegel Mz 100	nur Werkskennzeichen	≥ Mz 8
		Vollziegel Mz 150	Werkskennzeichen und grüner Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 12
		Vollziegel Mz 250 (Hartbrandziegel)	Werkskennzeichen und weißer Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 20
1969 - 1982	1969	Vollziegel Mz	Werkskennzeichen und roter Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 8
			nur Werkskennzeichen	≥ Mz 12
			Werkskennzeichen und weißer Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 20
			Werkskennzeichen und brauner Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 28
1982 - 1991	1982	Vollziegel Mz	Werkskennzeichen und gelber Balken 20 mm breit auf mindestens jedem 200. Ziegel	≥ Mz 20

Tabelle 3: Historische Ziegelbezeichnungen von Vollziegeln, Kennzeichnung und Zuordnung zu aktuellen Druckfestigkeitsklassen (nach Meyer/ Gierga, 2012, S. 203)

### Farbe und Erscheinungsbild

Mauerziegel zeigen eine große Variabilität an Farben wie bspw. rot, orange, gelb, braun, grau oder sogar blau in unterschiedlichen Intensitäten. Die Hauptfaktoren, welche die Farbe eines Mauerziegels beeinflussen, sind die stoffliche Zusammensetzung und die Brenn-

temperatur. Hat der verwendete Ton beispielsweise einen hohen Kalkgehalt, führt dies zu einer eher gelblichen Farbe des Mauerziegels. Je höher der Eisenoxidanteil wiederum ist, desto dunkleres Rot entsteht. Auch die damals regional verfügbaren Tone variierten in ihrer Ausgangsfarbe und brachten somit Mauerziegel unterschiedlicher Rot- und Gelb-Nuancen zu Stande. (vgl. Wallasch, 1999, S. 35 ff.) Darüber hinaus hat die Brenntemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Farbe der Mauerziegel. Je heißer ein Stein gebrannt wurde, desto dunkler sein Erscheinungsbild. Dies war nicht nur abhängig von der gewählten Brenntemperatur, um eine höhere Festigkeit oder geringere Wasseraufnahmefähigkeit zu erreichen, sondern auch von der Lage im Brennofen. Heute werden Mauerziegel in Tunnelbrennöfen gebrannt, in denen alle Mauerziegel einer annähernd gleichen Temperatur ausgesetzt sind. In historischen Brennöfen war das allerdings nicht immer der Fall. So können dunklere oder hellere Nuancen bei Mauerziegeln auch auf unterschiedliche Lagen im Brennofen hinweisen. Die heißer gebrannten Mauerziegel sind nicht nur dunkler, sondern haben auch eine höhere Festigkeit und nehmen weniger Wasser auf als hellere Ziegel. (vgl. Rotor vzw/asbl, 2021, S. 2) Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch Mauerziegel verschiedener Farben und Farbnuancen von Vollziegeln.



Abbildung 3: Beispiele verschiedener Farben und Farbnuancen von Vollziegeln (Quelle: Rotor vzw/asbl, 2021, S. 3)

## 3.2 Technisch prüfbare Materialeigenschaften von Mauerziegeln

### 3.2.1 Normative Grundlagen der Prüfung

#### **DIN EN 771-1 - Festlegungen für Mauersteine, Teil 1: Mauerziegel**

Die maßgebende Norm für Mauersteine in Europa ist EN 771-1, in Deutschland derzeit umgesetzt durch DIN EN 771-1 "Festlegungen für Mauersteine, Teil 1: Mauerziegel". Diese

“[...] legt die charakteristischen Merkmale von und die Leistungsanforderungen an Mauersteine aus Ton, deren Hauptverwendung die Verwendung in geschütztem oder ungeschütztem Mauerwerk ist, fest”. (DIN EN 771-1:2015-11, 1) Sie definiert die Materialeigenschaften, die durch bestimmte Prüfverfahren (in anderen Normen beschrieben), im Rahmen der Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit geprüft werden. Auch die Anforderungen an die jeweilige Kennzeichnung der Mauersteine werden dort festgelegt. Zusammenfassend gibt sie somit die prüfbareren Materialeigenschaften fest, anhand derer Mauerziegel unterschieden und deklariert werden können.

Die Norm unterteilt Mauerziegel dabei abhängig von ihrer Verwendung in P-Ziegel und U-Ziegel. P-Ziegel sind Mauerziegel, die in geschütztem Mauerwerk ohne Wasserkontakt eingesetzt werden sollen. U-Ziegel hingegen werden in ungeschütztem Mauerwerk verwendet, das der Witterung ausgesetzt ist. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 3.5 & 3.6) Letztere müssen beispielsweise zusätzliche Anforderungen an die anfängliche Wasseraufnahme erfüllen. Die Materialeigenschaften, die in dieser Norm geregelt werden, sind:

1. Maße und Grenzabmaße
2. Form und Ausbildung
3. Rohdichte
4. Druckfestigkeit
5. Wärmeschutztechnische Eigenschaften
6. Dauerhaftigkeit (in Form der Frostwiderstandsklasse)
7. Wasseraufnahme (nur für U-Ziegel)
8. Anfängliche Wasseraufnahme (nur für U-Ziegel)
9. Gehalt an aktiven löslichen Salzen (nur für U-Ziegel)
10. Übliche Feuchtedehnung
11. Brandverhalten (nur bei Brandschutzanforderungen)
12. Wasserdampfdurchlässigkeit
13. Verbundfestigkeit
14. Gefährliche Stoffe

Die jeweiligen Prüfverfahren zur Bestimmung der Materialeigenschaften sind in dieser Norm ebenfalls benannt. Ein Großteil der Prüfverfahren werden in den verschiedenen Teilen von DIN EN 772 näher beschrieben. Die Norm macht darüber hinaus Vorgaben zur Prüfung und Bewertung der Leistungsfähigkeit, zum Inhalt der Leistungserklärung (DoP) und der CE-Kennzeichnung.

DIN EN 771-1 unterscheidet nicht zwischen neuen und gebrauchten Mauerziegeln und schließt somit nicht per se die Deklaration gebrauchter Mauerziegel aus. Die dort beschriebenen Anforderungen und Materialeigenschaften sowie die Prüfverfahren nach DIN EN 772 können also als Anhaltspunkt für die Prüfung gebrauchter Mauerziegel dienen. Das konkrete Vorgehen dabei wird im Leitfaden in Kapitel 3 “Prüfung auf Verwendbarkeit” näher beschrieben.

### **DIN 20000-401 - Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken, Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1:2015-11**

DIN 20000-401 ist eine Anwendungsnorm. Sie gibt an, wie die deklarierten Eigenschaften aus der Leistungsbeschreibung (nach DIN EN 771-1) bei Bemessung, Planung und Konstruktion anzuwenden sind. Außerdem trifft sie “[...] Regeln für die Zuordnung oder Einstufung deklarerter Werte in Stufen und Klassen, die für die Anwendung zu beachten sind.” (DIN 20000-401:2017-01, S. 4) Sie definiert beispielsweise Rohdichteklasse oder Druckfestigkeitsklassen, in die Mauerziegel, auf Grundlage der in den Prüfverfahren ermittelten Werte, eingeteilt werden.

Auf Mauerziegel, die nach EN 771-1 deklariert wurden, kann die DIN 20000-401 angewendet werden. Dies gilt demnach auch für gebrauchte Mauerziegel, die nach EN 771-1 deklariert wurden.

### **DIN EN 1996-1-1 und Nationaler Anhang - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk**

Im Nationalen Anhang von DIN EN 1996-1-1 sind die für Deutschland spezifischen Angaben zur Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten festgelegt. Der Eurocode 6 stellt Verfahren zur Konstruktion und Bemessung von Mauerwerksbauten bereit, damit diese den Anforderungen an Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit genügen. Die Tragfähigkeit eines Mauerwerks wird durch den Grenzzustand der Tragfähigkeit bestimmt. Dabei spielt die Druckfestigkeit der Mauerziegel genauso eine Rolle wie die Druckfestigkeit des Mörtels. Die Bemessung von Mauerwerk folgt der Teilsicherheitsmethode. So wird, um den Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit zu erhalten, die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit mit einem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  dividiert. Dieser kann der Norm entnommen werden und beträgt für unbewehrtes Mauerwerk aus Steinen der Kategorie I<sup>9</sup> für den ständigen und vorübergehenden Bemessungszustand mit Rezeptmörtel oder Mörtel nach Eignungsprüfung 1,5. (vgl. DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12, Tabelle NA.1)

Mauerziegel, die nach EN 771-1 deklariert wurden, können nach Eurocode 6 bemessen werden. Gleiches gilt für gebrauchte Mauerziegel, die nach EN 771-1 deklariert wurden.

## **3.2.2 Technisch prüfbare Eigenschaften von Mauerziegeln**

### **Maße und Grenzabmaße**

Die Maße eines Mauerziegels müssen laut DIN EN 771-1 in Form von Länge, Breite und Höhe in mm vom Hersteller angegeben werden (siehe dazu Abbildung 1). Darüber hinaus ist die Abweichung davon als Toleranzklasse anzugeben. DIN 20000-401 gibt außerdem die Mindest- und Maximalmaße für Mauerziegel an und definiert die Toleranzklassen näher. Das Prüfverfahren wird in DIN EN 772-16 “Bestimmung der Maße” beschrieben.

---

<sup>9</sup> Kategorie I bedeutet: “Mauerziegel mit einer deklarierten Druckfestigkeit, wobei die Wahrscheinlichkeit des Nichterreichens dieser Festigkeit 5 % nicht überschreiten darf.” (DIN EN 771-1:2015-11, 3.34), Mauerziegel der Kategorie II erreichen dieses Vertrauensniveau nicht und dürfen nicht in tragendem Mauerwerk verwendet werden (vgl. DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12, Tabelle NA.1)

Die Maße sind bei der Wiederverwendung eine wichtige Eigenschaft, anhand deren Mauerziegel unterschieden bzw. gruppiert werden können. Außerdem geben sie Auskunft über das Format der Mauerziegel, was ein wichtiger Faktor für die Planung und Dimensionierung der Konstruktion ist. Die Maße sollten in jedem Fall vor der Wiederverwendung erfasst werden.

### **Rohdichte**

Die Rohdichte wird gemäß DIN EN 771-1 unterteilt in Brutto- und Netto- Trockenrohddichte. Das Prüfverfahren zur Bestimmung der Rohdichte von Mauerziegeln wird in DIN EN 772-13 "Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohddichte von Mauersteinen (außer Natursteinen)" erläutert. Die Brutto-Trockendichte kann anschließend vom Hersteller einer Rohdichteklasse (RDK) zugeordnet und in der Leistungserklärung angegeben werden. Die Einteilung der RDK wird durch die DIN 20000-401 vorgegeben. Die RDK von 0,8 bis 2,4 beschreiben Brutto-Trockenrohddichten von 705 bis 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Die Rohdichte ist ebenfalls eine relevante Eigenschaft für die Wiederverwendung, anhand deren gebrauchte Mauerziegel unterschieden werden können. Sie hat Auswirkungen auf andere Eigenschaften der Mauerziegel wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit.

### **Druckfestigkeit**

Die Druckfestigkeit von Mauerziegeln ist gemäß DIN EN 771-1 in Form der mittleren Druckfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge vom Hersteller anzugeben, wenn Anforderungen an die Standsicherheit bestehen oder dies für die Verwendung notwendig ist. Auch die normierte Druckfestigkeit ist vom Hersteller anzugeben, wenn sie für die Verwendung relevant ist. Die Prüfung der Druckfestigkeit erfolgt nach DIN EN 772-1 "Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmungen der Druckfestigkeit".

Anschließend kann die Druckfestigkeit einer Druckfestigkeitsklasse zugeordnet werden. Dafür muss die umgerechnete mittlere (und geprüfte) Steindruckfestigkeit mit einem Formfaktor  $f$  gemäß DIN 20000-401 multipliziert werden. Der Formfaktor richtet sich nach der Höhe des Mauerziegels und beträgt für das Dünn- und Normalformat 0,8. Die Druckfestigkeitsklassen von 4 bis 60 beschreiben Mauerziegel mit Festigkeiten von 5,0 bis 75,0 N/mm<sup>2</sup>.

Anforderungen an die Druckfestigkeit von Mauerziegeln bestehen seit der ersten Ausgabe von DIN 105 im Jahr 1922. Die damalige Einteilung in 4 Klassen sah wie folgt aus: 1. Klasse mit einer mittleren Steindruckfestigkeit<sup>10</sup> von mindestens 15 N/mm<sup>2</sup> (heutige Druckfestigkeitsklasse 12), 2. Klasse mit einer mittleren Steindruckfestigkeit von mindestens 10 N/mm<sup>2</sup> (heutige Druckfestigkeitsklasse 8), Hartbrandziegel (heute circa Druckfestigkeitsklasse 20) und Klinker (heute etwa Druckfestigkeitsklasse 28) (siehe auch Tabelle 3). Stammen gebrauchte Mauerziegel also aus Ziegelbauten von 1922 oder später, kann davon ausgegangen werden, dass sie mindestens der 2. Klasse und damit der heutigen Druckfestigkeitsklasse 8 zuzuordnen sind. (vgl. Meyer/ Gierga, 2012, S. 203) Nichts desto trotz sollten an diesen Mauerziegeln sowie an gebrauchten Mauerziegeln, die vor dieser Zeit produziert wurden oder deren Herkunft nicht eindeutig ist, vor der Wiederverwendung eine Prüfung der Druckfestigkeit vorgenommen werden.

---

<sup>10</sup> Mittlere Steindruckfestigkeit aus 10 Versuchen

Die Druckfestigkeit von Mauerziegeln wirkt sich maßgebend auf die Tragfähigkeit einer Mauerwerkswand aus und ist damit eine wichtige Eigenschaft für den Einsatz in tragenden Konstruktionen. Der Wert der mittleren Steindruckfestigkeit wird vom Hersteller angegeben und sollte gerade bei gebrauchten Mauerziegeln mit Sorgfalt bestimmt werden, da diese aufgrund der historischen Herstellungsverfahren weniger konsistent in ihren Eigenschaften sind als industriell hergestellte, neue Mauerziegel. Das bedeutet, dass zwar das vorhandene Prüfverfahren aus der Norm verwendet werden kann, aber die statistische Auswertung der Ergebnisse aufgrund der erwartbar großen Streuungen angepasst werden sollte. (vgl. Henkel, 2022, S. 38) Die Streuung der Eigenschaften über die Prüfkörper wird mithilfe des Variationskoeffizienten ausgedrückt. Eine Studie, bei der Mauerziegel aus 120 Bestandsgebäuden aus dem Baujahr 1850 bis 1950 in Deutschland auf ihre Druckfestigkeit geprüft wurden, untermauert die angenommene Streuung. Die Auswertung ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

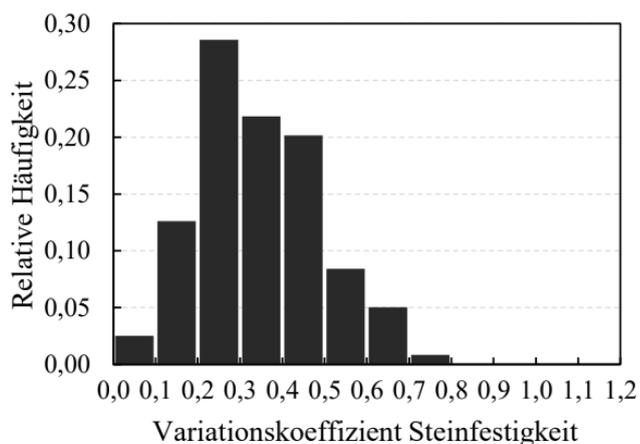


Abbildung 4: Exemplarische Auswertung der Steindruckfestigkeitsprüfungen an Beispielgebäuden in Deutschland (Quelle: AK Bauwerksdiagnostik, Stand: 2023)

Der Variationskoeffizient, der sich aus der Studie ergibt, liegt im Mittel bei ca 35 %. Ideal zur sicheren Berechnung bei kleiner Prüfkörperanzahl wären 10 %. Die heutigen Prüfverfahren können dementsprechend zwar angewendet werden, müssen aber aufgrund der zu erwartenden Streuungen angepasst werden, beispielsweise durch eine Erhöhung der Prüfkörperanzahl oder eine Veränderung der statistischen Auswertung der Ergebnisse. (AK Bauwerksdiagnostik, Stand: 2023) Die Vorgehensweise dafür wird im Leitfaden in Kapitel 3 "Prüfung auf Verwendbarkeit" beschrieben.

Die mittlere Steindruckfestigkeit  $f_{st}$  muss entweder direkt oder in Form der Druckfestigkeitsklasse in die Leistungsbeschreibung aufgenommen werden und kann anschließend für die Bemessung des neu hergestellten Mauerwerks aus gebrauchten Mauerziegeln und neuem Mauermörtel dienen.

### Wärmeschutztechnische Eigenschaften

Die Bestimmung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Mauerziegeln erfolgt nach DIN EN 1745 "Mauerwerk und Mauerwerksprodukte - Verfahren zur Bestimmung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften".

Diese Eigenschaft ist weniger relevant für die Wiederverwendung gebrauchter Mauerziegel, da sie nicht über die grundsätzliche Eignung für die Wiederverwendung entscheidet. Liegen aber wärmeschutztechnische Anforderungen aufgrund der geplanten Nutzung der Mauerziegel vor, ist die Wärmeleitfähigkeit zu bestimmen oder alternativ die Brutto- oder Netto- Trockenrohddichte<sup>11</sup> sowie die Form und Ausbildung der Mauerziegel anzugeben. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.5)<sup>12</sup>

### **Dauerhaftigkeit**

Die Dauerhaftigkeit im Sinne von DIN EN 771-1 wird anhand des Frostwiderstandes deklariert. Diese Materialeigenschaft ist nur relevant für U-Ziegel, da diese der Witterung ausgesetzt sind. Da es noch kein einheitliches, europäisches Verfahren für die Bestimmung des Frostwiderstandes gibt, wird dieser abhängig von der Umgebung, der die Mauerziegel ausgesetzt werden können, deklariert. Unterschieden wird zwischen nicht, mäßig oder stark angreifender Umgebung (F0, F1 und F2). (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.3.6)

Die Dauerhaftigkeit im eigentlichen Sinne ist eine sehr wichtige Eigenschaft für die Wiederverwendung, da gebrauchte Mauerziegel nur durch eine hohe Restlebensdauer eine Chance gegenüber neu hergestellten Produkten besitzen. Die Restlebensdauer kann allerdings durch in der Nutzung entstandene Salzbelastungen, Risse oder Schadstoffbefall reduziert worden sein. Um eine weitere Lebensdauer von mindestens 25 Jahren sicherzustellen, sind die Mauerziegel einer gründlichen Materialprüfung zu unterziehen. (vgl. Umweltbundesamt, 2015, S. 63)

### **Wasseraufnahme**

Die Bestimmung der Wasseraufnahme ist nur für U-Ziegel relevant und wird nach DIN EN 772-21 "Bestimmung der Kaltwasseraufnahme von Mauerziegeln und Kalksandsteinen" durchgeführt. Gemäß DIN 20000-401 muss die Wasseraufnahme nur für Klinker deklariert werden. Somit ist diese Eigenschaft auch bei der Wiederverwendung nur für Mauerziegel, die der Witterung ausgesetzt sein werden, zu prüfen.

### **Anfängliche Wasseraufnahme**

Die anfängliche Wasseraufnahme ist ebenfalls nur für U-Ziegel relevant und wird bestimmt anhand des Prüfverfahrens in DIN EN 772-11 "Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Porenbetonsteinen, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln".

Die anfängliche Wasseraufnahme sollte an gebrauchten Mauerziegeln dann getestet werden, wenn der Einsatz als U-Ziegel geplant ist. Sie kann darüber hinaus die Biegezugfestigkeit von Mauerwerk beeinflussen. Eine zu geringe anfängliche Wasseraufnahmefähigkeit verhindert einen guten Verbund zwischen Mauerziegel und Mörtel. Es folgt eine geringe Biegezugfestigkeit. Aber auch zu hohe Werte der anfänglichen Wasseraufnahme führen zu einer geringen Biegezugfestigkeit. Es konnte festgestellt werden, dass die anfängliche Wasseraufnahme eines neuen Mauerziegels mit dem Rückbau abnimmt, was zu einer höheren Biegezugfestigkeit bei der Wiederverwendung als beim ursprünglichen Einbau führen kann. (vgl. Park, 2013, S. 69) Die anfängliche

---

<sup>11</sup> Auf Grundlage der Rohddichte können tabellierte Werte für die Wärmeleitfähigkeit ausgewählt werden.

<sup>12</sup> Im AMz-Bericht "Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk im historischen Wandel" (05/2005) finden sich typische Wärmeleitfähigkeiten von Mauerziegeln ab 1952, zu finden unter diesem [Link](#)

Wasseraufnahme gibt demnach unabhängig vom Verwendungszweck Aufschluss über die Eigenschaften gebrauchter Mauerziegel.

### **Gehalt an aktiven löslichen Salzen**

Aktiv lösliche Salze, deren Gehalt gemäß DIN EN 771-1 bestimmt werden sollte, sind Natrium, Kalium und Magnesium. Auch diese Materialeigenschaft ist nur für U-Ziegel relevant, P-Ziegel haben keine Anforderungen. Die Bestimmung des Salzgehaltes erfolgt nach DIN EN 772-5 "Bestimmung des Gehaltes an aktiven löslichen Salzen von Mauerziegeln". Je nach Salzgehalt werden die Mauerziegel in die Klassen S0, S1 und S2 eingeteilt. Dabei müssen U-Ziegel mindestens die Anforderungen der Klasse S2 erfüllen.

In neu hergestellten Mauerziegeln entsteht ein Salzgehalt durch die verwendeten Rohstoffe (Zusammensetzung des Lehms) und/ oder durch chemische Prozesse im Brennprozess. Typischerweise sind das Sulfate wie Natrium-, Kalium- und Magnesiumsulfat. (vgl. Goretzki, 2016, S. 2) Kommen Mauerziegel während der Nutzungsperiode dauerhaft in Kontakt mit Wasser, kann dies zu Ausblühungen dieser Sulfate an der Ziegeloberfläche kommen, wo die Salze mit anderen Stoffen reagieren können. Dies kann zu Mikroschäden in den Mauerziegeln führen, die bei zunehmender Salzanreicherung auch größere Materialstrukturen schädigen können und damit zu einer verminderten Tragfähigkeit/ Druckfestigkeit führen. Aufgrund dessen ist es wichtig, dass Mauerziegel im Verband die Möglichkeit der Trocknung haben. Falls nicht, kann ein erhöhter Salzgehalt im Mauerziegel zu einem erhöhten Wärmedurchgang, Ausblühungen, Verfärbungen, Fleckenbildungen und schlussendlich Materialverlust und Zerstörung des Materialgefüges führen. Der Gehalt an aktiven löslichen Salzen im Mauerziegel sollte so gering wie möglich sein. (vgl. Wallasch, 1999, S.77 ff.) Bei gebrauchten Mauerziegeln kommt darüber hinaus hinzu, dass beispielsweise durch den Brennprozess mit Holz lösliche Carbonate in den Baustoff eingetragen wurden. Aus der Nutzung des rückgebauten Gebäudes kann sich ebenfalls ein Salzeintrag in das Mauerwerk ergeben haben. So führen Fäkalien, Urin, Gülle und Mist, welche beispielsweise in Ställen vorzufinden sind, zu Stickstoffverbindungen, die Salpetersäure bilden und zur Nitratbildung im Mauerwerk führen können. Mauerziegel aus Ställen oder anderen Gebäuden zur Tierhaltung sollten deswegen nicht wiederverwendet werden. (vgl. Goretzki, 2016, S. 2)

Der Gehalt an löslichen Salzen kann in gebrauchten Mauerziegeln somit wesentlich größer sein als in neuen und ist in jedem Fall vor der Wiederverwendung zu prüfen.

### **Übliche Feuchtedehnung**

Die übliche Feuchtedehnung ist laut DIN EN 771-1 nur für Langlochziegel und nicht für Vollziegel relevant und wird deswegen hier nicht weiter betrachtet.

### **Brandverhalten**

Das Brandverhalten von Mauerziegeln ist gemäß DIN EN 771-1 in Form der Brandverhaltensklasse vom Hersteller anzugeben. Sobald ein Mauerziegel einen Massen- bzw. Volumenanteil von  $\leq 1\%$  an organischen Bestandteilen besitzt, kann dieser der Brandverhaltensklasse A1 (kein Beitrag zum Brand) zugeordnet werden. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.10) Brandnebenerscheinungen sind wie folgt einzuhalten: s1 - geringe Rauchentwicklung, d0 - kein brennendes Abtropfen/ Abfallen innerhalb von 600 Sekunden. (vgl. DIN 20000-401:2017-01, 4.11) Die Prüfung und Einteilung in Brandverhaltensklassen wird nach DIN EN 13501-1 "Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem

Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“ durchgeführt.

Da in diesem Bericht ausschließlich die Wiederverwendung von Vollziegeln betrachtet wird, ist nicht von einem Vorhandensein organischer Bestandteile auszugehen. Die gebrauchten Vollziegel können dementsprechend der Brandverhaltensklasse A1 zugeordnet werden. Brandnebenerscheinungen sollten darüber hinaus geprüft werden.

### **Wasserdampfdurchlässigkeit**

Die Wasserdampfdurchlässigkeit ist in Form des Wasserdampfkoeffizienten für Mauerziegel in Außenbauteilen nach EN 1745 “Mauerwerk und Mauerwerksprodukte - Verfahren zur Bestimmung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften” zu bestimmen und vom Hersteller anzugeben. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.11)

Die Wasserdampfdurchlässigkeit ist Teil der wärmeschutztechnischen Eigenschaften und ist genau wie diese nicht ausschlaggebend für die Eignung der Wiederverwendung. Wenn der Einsatz in Außenbauteilen mit wärmeschutztechnischen Anforderungen geplant ist, ist die Wasserdampfdurchlässigkeit vom Hersteller anhand detaillierter Werte gemäß EN 1745 anzugeben.

### **Verbundfestigkeit**

Die Angabe der Verbundfestigkeit ist relevant für Mauerziegel, die in tragenden Strukturen eingesetzt werden sollen und ist als charakteristische Anfangs-Scherfestigkeit nach DIN EN 1052-3 auf Grundlage von festgelegten Werten oder von Prüfungen vom Hersteller anzugeben. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.12)

Auch für die Wiederverwendung spielt die Verbundfestigkeit der gebrauchten Mauerziegel mit Mörtel eine große Rolle, und die Anfangs-Scherfestigkeit sollte anhand festgelegter Werte oder auf Grundlage von Prüfungen deklariert werden.

### **Gefährliche Stoffe**

DIN EN 771-1 enthält kein konkretes Prüfverfahren für den Gehalt und die Freisetzung von gefährlichen Stoffen. Die Musterbauordnung gibt vor, dass bauliche Anlagen so gestaltet sein müssen, dass “[...] die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.” (§ 3 MBO)

Bei neu hergestellten Mauerziegeln ist in der Regel nicht von einer Schadstoffgefahr aufgrund der enthaltenen Rohstoffe auszugehen. Bei gebrauchten Mauerziegeln ist es dagegen etwas anders. Schadstoffe spielen bei der Wiederverwendung eine große Rolle, da sowohl durch die Nutzung als auch durch damalige Bauweisen Stoffe in die Mauerziegel gelangt sein können, die bei einem Wiedereinbau, der Umwelt oder dem Menschen schaden könnten. Aufgrund dessen sollten gebrauchte Mauerziegel auf mögliche Schadstoffe geprüft werden. Schadstoffe, die an Mauerziegeln auftreten können, und Verfahren zur Prüfung werden im Leitfaden in Kapitel 2.2 “Prüfung auf Schadstoffe” näher erläutert.

### 3.3 Relevante Materialeigenschaften für die Wiederverwendung nach EAD 170005-00-0305 “ Re-Cycled Clay Masonry Units”

Die Materialeigenschaften, die für die Wiederverwendung relevant sind und somit geprüft werden sollen, sind abhängig vom jeweils geplanten Verwendungszweck. Je nach Anwendung sollte die technische Prüfung demnach so umfangreich wie nötig gestaltet werden. Während für den nicht-tragenden Bereich, beispielsweise als Vormauerklinker, häufig optische Eigenschaften wie Format und Farbe ausschlaggebend sind, sollten für den tragenden Bereich weitere Materialeigenschaften, wie beispielsweise die Druckfestigkeit, geprüft werden. Darüber hinaus ist für die Materialprüfung relevant, ob die Mauerziegel in ungeschütztem oder geschütztem Mauerwerk eingesetzt werden sollen, da dort unterschiedliche Ansprüche an die Wasseraufnahmefähigkeit und Frostbeständigkeit von Bedeutung sind. Unabhängig vom Verwendungszweck ist die Schadstofffreiheit der eingesetzten Mauerziegel sicherzustellen.

Eine Grundlage zur Prüfung von gebrauchten Mauerziegeln<sup>13</sup> auf europäischer Ebene bietet **EAD (European Assessment Document) 170005-00-0305 “Re-Cycled Clay Masonry Units”** (dt.: “Einheiten aus recycelten Mauerziegel”). Mithilfe dieser technischen Spezifikation können gebrauchte Mauerziegel eine ETA (Europäische Technische Bewertung bzw. European Technical Assessment) erhalten. Sie stellt damit die Grundlage für eine CE-Kennzeichnung von gebrauchten Mauerziegeln in der EU dar. EAD 170005-00-0305 wurde in Kooperation mit dem dänischen Anbieter für gebrauchte Mauerziegel “Gamle Mursten” herbeigeführt, welcher als erster Anbieter seine Mauerziegel mit CE-Kennzeichnung verkaufte. (vgl. Gamle Mursten, Stand: 2024)

Grundlage für EAD 170005-00-0305 bildet EN 771-1, wobei EAD 170005-00-0305 nur angewendet werden kann auf Mauerziegel, die nicht bereits dieser harmonisierten Norm entsprechen bzw. über diese geregelt werden (z.B. neu hergestellte Mauerziegel). Des Weiteren wird spezifiziert, dass es nur für mechanisch gereinigte Mauerziegel anwendbar ist, die sowohl in geschütztem als auch ungeschütztem Mauerwerk eingesetzt werden können. **Wichtig ist auch, dass die CE-Kennzeichnung auf Basis dieses EADs nur für einen Einsatz für nicht tragende Zwecke gilt.** Nichtsdestotrotz bildet es eine Grundlage dafür. Im EAD 170005-00-0305 wird eine prognostizierte Lebensdauer von weiteren 50 Jahren angesetzt. Die folgenden Materialeigenschaften zur Prüfung werden benannt:

1. Brandverhalten in Form der Brandverhaltensklasse
2. Maße
3. Rohdichte in Form der Brutto-Trockendichte
4. Druckfestigkeit
5. Anfängliche Wasseraufnahme (nur relevant für ungeschütztes Mauerwerk)
6. Biegehaftzugfestigkeit
7. Loch- und Nettovolumen sowie prozentualer Lochanteil
8. Frost-Tau-Widerstand und Gehalt an aktiven löslichen Salzen (vgl. EAD 170005-00-0305, 2.1)

Das zu verwendende Prüfverfahren sowie die Form, in der die Eigenschaft in der Leistungserklärung anzugeben ist (bspw. Klasse, Niveau etc.), werden ebenfalls im EAD

---

<sup>13</sup> In diesem Kontext sind alle Arten von Mauerziegeln gemeint, nicht nur Vollziegel.

170005-00-0305 vorgegeben. Die genannten Prüfverfahren entstammen zum großen Teil bereits existierenden Normen. Die Ausnahme bildet das Verfahren zur Ermittlung des Frost-Tau-Widerstandes, welches in Anhang A von EAD 170005-00-0305 beschrieben wird.

Die Bewertung und Prüfung der Leistungsbeständigkeit der gebrauchten Mauerziegel liegt laut EAD 170005-00-0305 im Aufgabenbereich des Hersteller, der eine werkseigene Produktionskontrolle (WPK) durchzuführen hat. Dabei wird zwischen der kontinuierlichen und der chargenweise Kontrolle unterschieden. Der Hersteller sollte Regelungen treffen, inwiefern die eintreffenden Mauerziegel nach Typ, Herkunft, Farbe, Gewicht etc. in Chargen sortiert werden. Darüber hinaus sind feste Anweisungen zur Reinigung und Sortierung der Mauerziegel zu etablieren. Für die kontinuierliche Kontrolle ist ein stetiges Durchmischen der Chargen (mit gleichen Ausgangseigenschaften) notwendig und je nach Kontroll-Methode (nach Charge oder kontinuierlich) müssen 10 bis 24 Mauerziegel je Materialeigenschaft geprüft werden. Detailliert wird dies in Tabelle 3 von EAD 170005-00-0305 aufgeschlüsselt. Darüber hinaus werden die Aufgaben der notifizierten Stelle für die Fremdüberwachung (FÜ) erläutert.

Will ein Anbieter von gebrauchten Mauerziegeln seine Produkte mit der CE-Kennzeichnung versehen, muss die dazu erforderliche ETA die Vorgaben des EAD 170005-00-0305 enthalten.<sup>14</sup> Sollen CE-gekennzeichnete, gebrauchte Mauerziegel in Deutschland tragend eingesetzt werden, muss geprüft werden, ob die nationalen Anforderungen nach DIN 20000-401 eingehalten werden. EAD 170005-00-0305 stellt mit seinen Vorgaben an die Materialprüfungen, die Anzahl der Prüfkörper und die WPK des Herstellers bereits eine sehr gute Grundlage dar, um den Wiederverwendungsprozess zu vereinheitlichen.

---

<sup>14</sup> Aktuell existieren drei Firmen in Europa, die Ihre Mauerziegel über dieses EAD mit der CE-Kennzeichnung versehen konnten: Gamle Mursten ApS aus Dänemark (seit 2018), Genbruggsten ApS aus Dänemark (seit 2021) und Tegelmöllan AB aus Schweden (seit 2022). (vgl. ETA Database, Stand: 2024)

# 4 Rechtliche Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Mauerziegeln

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Baustoffen, in diesem Fall von Mauerziegeln, setzen sich aus zwei Säulen zusammen - dem öffentlichen Recht und dem privaten Recht. Das private Recht regelt dabei das Rechtsverhältnis der Projektbeteiligten untereinander, z.B. der Bauherrschaft, den Planenden und den ausführenden Firmen. Das öffentliche Recht regelt wiederum, ob das Bauvorhaben überhaupt zulässig ist und stellt sicher, dass eine ordnungsgemäße Errichtung stattfindet. (vg. Neroth/ Vollenschaar, 2011, S. 73)

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die unterschiedlichen Rechtsbereiche, die im Lebenszyklus eines Mauerziegels und bei der Wiederverwendung relevant sind.



Abbildung 5: Rechtsstruktur bei der Wiederverwendung von Bauprodukten mit Vorschlag der 2. Zweckbestimmung (Quelle: Bauindustrie, Stand: 2022)

## 4.1 Öffentliches Recht

### Erste Zweckbestimmung

Auf nationaler Ebene regeln die Bauordnungen der Bundesländer, wann ein Bauprodukt verwendet werden darf. Die Musterbauordnung gibt vor, dass Bauprodukte nur eingesetzt werden dürfen, wenn sie für den vorgesehenen Verwendungszweck (in der Abbildung 5 "Erste Zweckbestimmung" genannt) tauglich sind und die Erfüllung der öffentlich-rechtlichen

Anforderungen nicht gefährden. (vgl. § 16b MBO) Dies wird auch als bauproduktliche Generalklausel bezeichnet. Weiterhin ist in allen Bauordnungen ein Verwendungsverbot unter Erlaubnisvorbehalt festgelegt, wonach ein Bauprodukt nur verwendet werden darf, wenn es einen Verwendbarkeitsnachweis, beispielsweise in Form einer allgemein bauaufsichtlichen Zulassung, ein allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder einer Zustimmung im Einzelfall, besitzt. Ein Verwendbarkeitsnachweis ist nicht erforderlich, wenn das Produkt a) den anerkannten Regeln der Technik entspricht oder b) einer Technischen Baubestimmung entspricht oder c) es für die Erfüllung der Anforderungen der bauordnungsrechtlichen Vorschriften nur eine untergeordnete Bedeutung besitzt. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 25) Mauerziegel, die über die Norm deklariert werden können, benötigen somit keinen separaten Verwendbarkeitsnachweis. Sind Bauprodukte mit einer CE-Kennzeichnung versehen, dürfen sie in Deutschland verwendet werden, wenn die erklärten Leistungen der Leistungsbeschreibung den Leistungsanforderungen für die Verwendung entsprechen. (vgl. § 16c MBO)

### **Verwendbarkeitsnachweis für nicht geregelte Bauprodukte**

Soll ein nicht (durch eine Norm) geregeltes Bauprodukt oder eine nicht geregelte Bauart einen Verwend- bzw. Anwendbarkeitsnachweis erhalten, gibt es folgende Möglichkeiten. Entweder das Bauprodukt selbst erhält eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) in Kombination mit einer allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) für die bestimmte Bauart. Diese Zulassungsarten werden vom DIBt ausgestellt, die Materialprüfung erfolgt durch ein Prüfinstitut. Die zweite Möglichkeit ist die Zulassung für ein ganz konkretes Bauvorhaben. Dafür wird eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) für das Bauprodukt und eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBG) für die Bauart von der zuständigen lokalen Behörde ausgestellt. Dies kann beispielsweise die oberste Bauaufsichtsbehörde sein. (vgl. DIBt, Stand: 2023)

### **Abfalleigenschaft**

Gemäß § 3 Abs. 3 Nr. 2 KrWG wird ein Material als Abfall deklariert, sobald es seine ursprüngliche Zweckbestimmung verliert und keine unmittelbare neue Zweckbestimmung vorhanden ist. "Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss." (§ 3 Abs. 1 KrWG) Diese Abfalleigenschaft endet erst, wenn das gebrauchte Material ein Recycling oder anderes Verwertungsverfahren durchlaufen hat und die folgenden Anforderungen erfüllt sind:

1. Das Material wird üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet und
2. es gibt dafür einen Markt oder eine Nachfrage und
3. es erfüllt alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse und
4. die Verwendung führt insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt. (vgl. § 5 Abs. 1 KrWG)

Somit zeigt sich die Schwierigkeit der Wiederverwendung: Ist ein gebrauchtes Produkt einmal in den Bereich des Abfallrechts gelangt, muss es für eine Wiederverwendung sowohl die Austrittshürden aus dem Abfallrecht als auch die Eintrittshürden in das Produktrecht, wie Güteanforderungen, Schadstofffreiheit etc., überwinden. Für die Deklaration im Produktrecht muss ein Hersteller vorhanden sein, der die Verantwortung für die Leistungserfüllung des gebrauchten Produktes übernimmt. Wiederverwendete Produkte müssen dabei den gleichen

rechtlichen Anforderungen genügen, wie neu hergestellte Produkte. Der Nachweis, dass all diese Anforderungen erfüllt sind, ist allerdings bei gebrauchten Produkten wesentlich schwerer zu erbringen als bei neu hergestellten, genormten Produkten. Dies stellt eine Schwierigkeit bei der Wiederverwendung dar. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 7)

### **Vorschlag der “Zweiten Zweckbestimmung”**

In einer Studie im Auftrag des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e.V. aus dem Jahr 2022 wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen für das Recycling und die Wiederverwendung von Bauprodukten analysiert. Im Zuge dessen ist die vorherige Abbildung 5 entstanden. Über die Analyse hinaus gibt die Studie aber auch Lösungsvorschläge, um die Wiederverwendung zumindest aus rechtlicher Sicht zu vereinfachen.

In der Studie wird beschrieben, dass das Eintreten eines rückgebauten Materials in das Abfallrecht möglichst verhindert werden sollte. Dies sei möglich, indem für das Bauprodukt bereits vor dem Rückbau, also noch vor der Deklaration als Abfall, ein konkreter zweiter Verwendungszweck<sup>15</sup> festgelegt wird. Möglich wäre dies beispielsweise durch eine vertragliche Vereinbarung zwischen dem Eigentümer des Materials und der für die Wiederverwendung verantwortlichen Person, noch bevor das Material ausgebaut wird. In einem Verwendungskonzept für das gesamte Gebäude könnte der neue Einsatzzweck verschiedener rückzubauender Materialien und Produkte festgehalten werden. Aus Sicht der Studie ist dies in den meisten Fällen aber nicht praktikabel. Bisher wäre es ein freiwilliges Vorgehen durch den Eigentümer. Die Studie weist aber darauf hin, dass zumindest die Verpflichtung der Eigentümer zur Erstellung eines Verwendungskonzeptes sinnvoll wäre, um die Wiederverwendung voran zu treiben. Lässt sich die Abfalleigenschaft nicht verhindern, müssen die rückgebauten Materialien entsprechend des Abfallrechts behandelt werden. Gemäß der Abfallhierarchie des KrWG steht die Vorbereitung zur Wiederverwendung an zweiter Stelle nach dem obersten Gebot der Vermeidung an erster Stelle. Ein Vorschlag der Studie für einen verbesserten Prozessablauf der Wiederverwendung ist, dass Hersteller die von ihnen produzierten Produkte nach der ersten Zweckbestimmung freiwillig zurücknehmen. Auf diese Weise würden die gebrauchten Bauprodukte wieder eine Garantie über den Hersteller erhalten, bevor sie ein weiteres Mal eingebaut werden. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 14 ff.)

## **4.2 Privates Recht**

Maßgebend für die privatrechtlichen Belange ist das Bauvertragsrecht. Die wichtigste Fragestellung, die sich dabei stellt, ist, wer die Haftung für ein gebrauchtes und aufbereitetes Produkt übernimmt.

In den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV) der VOB/C heißt es: “Stoffe und Bauteile, die der Auftragnehmer zu liefern und einzubauen hat, [...], müssen ungebraucht sein. Wiederaufbereitete (Recycling-)Stoffe gelten als ungebraucht, wenn sie den Bedingungen gemäß Abschnitt 2.1.3 entsprechen.” (DIN 18299:2019-09, 2.3.1). Abschnitt 2.1.3 besagt, dass die wiederaufbereiteten Baustoffe “für den jeweiligen

---

<sup>15</sup> Die Studie gibt keine Aussage darüber, wie konkret dieser Verwendungszweck benannt werden soll. Auch in der Baubranche scheint es zur Zeit keinen Konsens zu dem Thema zu geben. Eine rechtliche Regelung könnte hier eventuell Abhilfe schaffen.

Verwendungszweck geeignet und aufeinander abgestimmt sein“ müssen. (DIN 18299:2019-09, 2.1.3) Bei einem Werkvertrag schuldet der ausführende Unternehmer gemäß § 631 ff. BGB ein mangelfreies Werk und garantiert darüber hinaus die Einhaltung vertraglich fixierter Qualitäten. Wird ein VOB-Vertrag zwischen den Vertragsparteien geschlossen, hat der Ausführende gemäß § 4 Abs. 2 Nr. 1 VOB/B die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik und damit beispielsweise die Einhaltung der Normen zu garantieren, es sei denn, es ist gemäß § 1 Nr. 2 VOB/B beispielsweise in der Leistungsbeschreibung etwas anderes definiert. Wie auch beim Bauen mit neuen Baustoffen haftet der Ausführende für seine Bauleistung, die Verantwortung für die Baustoffe trägt der Hersteller bzw. Händler. Ist kein Hersteller bzw. Händler vorhanden, hat der Ausführende die Qualität des eingebauten, gebrauchten Produktes zu verantworten und muss sicherstellen, dass es den entsprechenden Anforderungen entspricht. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 12 ff.)

Bei der Wiederverwendung von Mauerziegeln, die nicht von einem Hersteller, sondern beispielsweise von einer anderen Baustelle bezogen werden, entsteht dem Ausführenden ein höheres Risiko als bei der Verwendung von neu hergestellten Mauerziegeln. Eine Möglichkeit wäre, dass die Bauherrschaft die Haftung für die gebrauchten Mauerziegel übernimmt und damit den Ausführenden von seiner Haftung vertraglich befreit. In diesem Szenario ist allerdings fraglich, ob eine Versicherung dies versichern bzw. bei einem entstandenen Schaden einspringen würde.<sup>16</sup> Auch die Bauherrschaft ist meist nicht bereit, sich diesem Risiko auszusetzen. Stattdessen sollte es deswegen immer einen Hersteller für die gebrauchten Produkte geben, der die Materialeigenschaften in einer Leistungsbeschreibung deklariert und somit das Produktrisiko trägt, so wie es bei neuen Produkten der Fall ist. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 13 f.)

Planende können ebenfalls dazu beitragen, den rechtlichen Rahmen für die Wiederverwendung in einem Bauprojekt abzusichern. Der Einsatz gebrauchter Mauerziegel sollte im Vorfeld mit der Bauherrschaft abgesprochen werden. Die Planenden haben in diesem Fall eine besondere Aufklärungspflicht, da die Wiederverwendung dazu führen kann, dass die Bauherrschaft eine größere Verantwortung für das eingesetzte Material übernehmen muss (wenn das Material von der Bauherrschaft bezogen wird). Diese Haftungsfragen sollten im Vorfeld eindeutig geklärt und schriftlich festgehalten werden. Eine Berücksichtigung der Wiederverwendung im Architekten-/ Ingenieurvertrag ist ebenfalls sinnvoll für die Planenden, um sich im Haftungsfall abzusichern. Darüber hinaus kann es für die Planenden und auch die Bauherrschaft hilfreich sein, eine zusätzliche Versicherung abzuschließen, die durch gebrauchte Mauerziegel hervorgerufene Schäden abdeckt. Dies ist vor allem sinnvoll, wenn eine große Menge an gebrauchtem Material eingesetzt werden soll oder eine komplizierte Einbausituation vorliegt. Eine solche Versicherung kann allerdings kostspielig und schwer zu finden sein (siehe oben). Über die Haftungsfragen hinaus kann es sinnvoll sein, eine zusätzliche Vergütung der Planenden vertraglich festzulegen. Auf diese Art und Weise würde der Mehraufwand, der durch die Recherche geeigneter Re-Use Bauprodukte, deren technische Beurteilung und die planerische Lösungsfindung entsteht, monetär ausgeglichen werden. (vgl. Häußler et al., 1993, S. 12 f.)

---

<sup>16</sup> Das Unternehmen Concular hat zusammen mit der VHV Versicherung und MOCEDI die “Reclaimed Construction Material Insurance (RCMI)” entwickelt, eine Versicherung für Reuse Material. Die Versicherung gebrauchter Materialien scheint also prinzipiell möglich. (siehe [Link](#))

## 5 Erfahrungen aus der internationalen Praxis

Mauerziegel weisen als Baustoff eine lange Nutzungsgeschichte auf. Gebäude aus Mauerziegeln sind entsprechend weltweit zu finden und stellen lokale Akteure vor ähnliche Fragen zur Wiederverwendbarkeit. Im nachfolgenden Kapitel werden daher drei Beispiele aus Dänemark, Kanada und Deutschland zusammengefasst, um die unterschiedlichen Ansätze für eine Betrachtung der Wiederverwendbarkeit von Mauerziegeln darzustellen.

Bereits im Rahmen der vorangegangenen Literaturrecherche wurde deutlich, dass Veröffentlichungen und Studien zum Umgang mit Mauerwerk häufig auf einen Recyclingansatz beschränkt sind. Im Fokus steht dabei lediglich die Menge und nicht die Qualität des Materials. Somit wird 1 t Ziegelbruch für den Straßenbau mit 1 t wiederverwendeter Dachziegel verglichen, ohne den höheren monetären, energetischen und stofflichen Wert wiederverwendeter Materialien zu berücksichtigen. Im Sinne des Forschungsauftrags wurden die Anwendungsbeispiele so ausgewählt, dass auf Basis international gewonnener Erkenntnisse entsprechende Hinweise für die praktische Wiederverwendung von Mauerziegeln in Deutschland abgeleitet werden können.

### 5.1 Studienbeispiel: Bornholm

Für ihre Studie wählten Christensen et al. (2022) die dänische Insel Bornholm als Grundlage. Aufgrund der klaren geografischen Grenzen und der dadurch beschränkten Zugangsmöglichkeiten eignen sich Inseln besonders, um die Zu- und Abflüsse von Materialien zu verfolgen. Kern der Betrachtung stellen drei verlassene Gebäude mit einer Bruttogeschossfläche von ca. 1.333 m<sup>2</sup> dar. Die Lage der Objekte im ländlichen Raum führte aufgrund der zunehmenden Urbanisierungsdynamik, die in vielen Regionen Europas zu beobachten ist, zur Nutzungsaufgabe und in Folge zum geplanten Abriss.

Im ersten Schritt wurde für jedes Objekt ein Audit durchgeführt, um Ressourcen und Materialien zu identifizieren sowie erste Schadstoff-Untersuchungen in die Wege leiten zu können. Aus dieser ersten Orientierung konnten jedoch noch keine belastbaren Mengen für wiederzuverwendende Bauteile und Materialien gewonnen werden, da die grundsätzliche Wiederverwendbarkeit sowie die jeweilige Qualität erst nach dem Rückbau abschließend beurteilt werden konnte. Von den mit dem Rückbau beauftragten Firmen war keine explizite Erfahrung bezüglich der Gewinnung von wiederverwendbaren Materialien gefordert. Es wurde lediglich der selektive Rückbau als grundsätzliches Vorgehen vorgegeben. Des Weiteren wurden die Unternehmen beauftragt, den zusätzlichen Zeitaufwand je nach Materialart verglichen mit einem konventionellen, nicht selektiven Rückbau zu erfassen.

In der Bewertung betrachteten die Autoren sowohl ökologische als auch ökonomische Faktoren. Während die grundsätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparung für wiederverwendete Mauerziegel im Vergleich zu neu hergestellten Ziegeln unstrittig ist, lässt sich eine umfassende Bewertung nicht ohne weiteres herleiten. Durch die jahrzehntelange Praxis sind auf Mauerziegeln basierende Recyclingmaterialien in verschiedenen Bereichen im Einsatz. Sofern Mauerziegel in erhöhtem Maße wiederverwendet statt recycelt werden, müssen für diese Anwendungsbereiche Ersatzstoffe gefunden oder ggf. separat hergestellt werden, was zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge haben könnte.

Für die ökonomische Bewertung stehen zwei Parameter im Fokus: der Wiederverkaufswert des Materials sowie die zusätzlichen Kosten für die Gewinnung wiederverwendbarer Materialien. Neben üblichen ökonomischen Grundsätzen wie der Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage stellten Christensen et al. fest, dass auch regional stark variierende Wiederverkaufswerte zu erreichen sind. Regional produzierte oder vermehrt vorkommende Materialien haben in der jeweiligen Region einen höheren Wert als anderswo. Die zusätzlichen Kosten für den selektiven Rückbau wurden anhand des von den Rückbau-Unternehmen erfassten zeitlichen Mehraufwands betrachtet und mit den erwartbaren Wiederverkaufserlösen ins Verhältnis gesetzt. Abschließend kommen die Autoren zur Erkenntnis, dass Mauerziegel “[...] das höchste ökologische und ökonomische Potenzial [zur rentablen Wiederverwendung besitzen], auch wenn nur ca. 68 % wiederverwendet werden konnten.” (Christensen et al., 2022, S. 5)

Folgende Erkenntnisse der Autoren können aus dem Anwendungsbeispiel für den Forschungsauftrag gewonnen werden:

1. Mauerziegel sind aufgrund ihrer standardisierten Form und Größe ideal für ökonomisch rentable Geschäftsmodelle in der Wiederverwendung.
2. Selektiver Rückbau ist der wichtigste Schritt zur Wiederverwendung von Baumaterialien.
3. Mauerziegel sind aufgrund der überregionalen und weit verbreiteten Verwendung äußerst geeignet für großmaßstäbliche Wiederverwendung. Verlassene Ziegelhäuser aus ländlichen Gebieten können Material für neu zu errichtende Gebäude in städtischen Gegenden bieten.
4. Lokale Netzwerke und die Verknüpfung der Bau- und Abbruchbranche unterstützen die Errichtung geschlossener Stoffkreisläufe.

## 5.2 Studienbeispiel: Toronto

In ihrer Studie beleuchten Ergun/ Gorgolewski (2015) die Wiederverwendung von Mauerziegeln in der kanadischen Stadt Toronto. Ausgangspunkt für die Beobachtung ist die Tatsache, dass neue Rohstoffe und Materialien in die Stadt importiert werden, während potentiell wiederverwendbare Materialien zur Deponierung über eine Strecke von 200 km transportiert werden. Aufgrund der begrenzten Deponiekapazitäten, die im Jahr 2029 erschöpft sein sollen, ist auch aus abfallwirtschaftlicher Sicht eine Reduzierung der Menge zu deponierender Materialien notwendig.

Aufgrund steigender Grundstückspreise werden im Stadtgebiet von Toronto zunehmend freistehende Einfamilienhäuser abgebrochen und durch Neubauten ersetzt. Der Anteil von Einfamilienhäusern an erteilten Abbruchgenehmigungen liegt bei 86 %. Zur Bewertung der dadurch entstehenden Kapazitäten gebrauchter Mauerziegel untersuchten die Autoren den Bestand und kategorisierten die Einfamilienhäuser. Sie kamen dabei zur Erkenntnis, dass bei vor 1930 errichteten Gebäuden die Menge verbauter Mauerziegel pro Haus am größten ist. Bei den anschließend zwischen 1931 und 1960 errichteten “Wartime”-Gebäuden ist je Haus der Anteil verbauter Ziegel zwar gering. Allerdings entfällt aufgrund der hohen Anzahl entsprechender Gebäude auf diese die stadtweit zweitgrößte Menge verbauter Mauerziegel.

In der weiteren Bewertung kommen Ergun/ Gorgolewski (2015) zum Schluss, dass eine wirtschaftliche Wiederverwendung von Mauerziegeln nur für vor 1960 errichtete Gebäude sinnvoll ist. Begründet wird das mit dem zunehmenden Einsatz von Zementmörteln ab ca. 1950 sowie der Entwicklung und Verwendung von Strangpressziegeln, die sich weniger widerstandsfähig im Aufbereitungsprozess zeigen.

Aufgrund von Beschädigungen beim Rückbau geben die Autoren einen Volumenverlust von etwa 10 bis 50 % bezogen auf die Menge verbauter Mauerziegel je Haus an. Durch Rückbau und Gewinnung gebrauchter Mauerziegel könnte ein Anteil von etwa 20 bis 36 % am für Neubau notwendigen Bedarf der gesamten Stadt erreicht werden. Zusätzlich stünde die 1,5- bis 2,5-fache Menge an nicht wiederverwendbaren Mauerziegeln für Recyclingprozesse zur Verfügung.

### 5.3 Praxisbeispiel: Wiederaufbau des Neuen Museums Berlin

Beim Wiederaufbau des Neuen Museums auf der Berliner Museumsinsel fand eine Wiederverwendung von Mauerziegeln im großen Maßstab statt. Für die unterschiedlichen Anwendungsfälle wurden in Summe ca. 650.000 Stück benötigt. In Zusammenarbeit mit Bauherrschaft, Denkmalpflegern und Prüfsingenieuren konzipierten die verantwortlichen Architekten und Tragwerksplaner vorab ein detailliertes Auswahlverfahren für die Mauerziegel. Dabei spielten neben visuellen Parametern wie Abmessung, Farbe und Oberflächenbeschaffenheit auch physikalische Parameter wie Rohdichte, Druckfestigkeit und Wasseraufnahmefähigkeit der wiederzuverwendenden Mauerziegel eine wesentliche Rolle.

Nach der Identifizierung geeigneter Abbruchobjekte als Ressourcenquelle wurden jeweils 50 Mauerziegel willkürlich ausgewählt und einem umfassenden Prüfverfahren unterzogen. Ein spezialisiertes Prüfinstitut für Mauerwerksprüfung untersuchte diese Mauerziegel hinsichtlich Geometrie, Rohdichte, Wasseraufnahme, Druckfestigkeit, Gehalt an wasserlöslichen Salzen und Frostbeständigkeit. Bei Einhaltung aller vorgegebenen Parameter fand die Entnahme weiterer 30 Mauerziegel statt, aus denen entsprechend DIN 18554-1 (zurückgezogen), unter Verwendung des für neue Bauteile projektspezifisch vorgesehenen Mörtels der Mörtelgruppe IIa (Kalkzementmörtel mit  $5 \text{ MN/m}^2$ ) jeweils 10 Mauerwerkprüfkörper hergestellt wurden, um deren Druckfestigkeit zu bestimmen. Die Ergebnisse konnten anschließend mit zu erwartenden rechnerischen Mauerwerksfestigkeiten in Anlehnung an DIN 1053-2 (zurückgezogen) verglichen werden. Es stellte sich heraus, dass die untersuchten Mauerwerkprüfkörper mindestens die geforderten Festigkeitswerte erreichten oder sogar überschritten.

Die Mauerwerkswände der bereits überprüften und freigegebenen Mauerziegel wurden anschließend vollständig zurückgebaut, die Mauerziegel grob vorgereinigt, auf Paletten gelagert, mit einem Palettenbegleitschein versehen auf die Baustelle des Neuen Museums transportiert und im dort eingerichteten Lager zur Wiederverwendung vorbereitet. Zu den anschließend vor Ort durchgeführten Arbeitsschritten gehörten:

1. Einzelsteinreinigung mit Wasser-Hochdruckgerät,
2. Festlegung des Einsatzortes und Einbauzwecks unter Berücksichtigung der Steinfestigkeitsklasse sowie Ergänzung des Palettenbegleitscheins zur eindeutigen Identifikation im weiteren Bauablauf und
3. Laufende Qualitätsprüfung durch Wiederholungsprüfungen hinsichtlich der Druckfestigkeit in Anlehnung an DIN 105-1 (ersetzt durch DIN EN 771-1) mit erhöhter Prüfdichte auf 3 Stück je 50 m<sup>3</sup>.

Je nach Verwendungszweck mussten beim Wiedereinbau der Mauerziegel zusätzliche Arbeitsschritte in den Prozessablauf integriert werden. Beispielsweise wurden zur Erreichung einer Sichtmauerwerksqualität die entsprechenden Mauerziegel zunächst trocken im Verband ausgelegt. Dies ermöglichte, Toleranzen in den Mauerziegeln vorab zu erkennen und auszugleichen und optisch minderwertige Mauerziegel gedreht einzusetzen oder auszutauschen. Um beim Neubau der tragenden Außenwand des Nord-West-Flügels statischen Anforderungen gerecht zu werden, wurden wiederverwendete und neu hergestellte Mauerziegel kombiniert. Dabei bildeten die wiederverwendeten Mauerziegel die sichtbaren Außenflächen, während der Kern der Wand aus neuen, im gleichen Format hergestellten Mauerziegeln gebaut wurde. (vgl. Eisele/ Seiler, 2012, S. C.17 f.)

## 6 Prozessablauf der Wiederverwendung

Um den Prozessablauf für die Wiederverwendung von Bauteilen zu beschreiben, sind verschiedene Teilaspekte näher zu betrachten, die sich vom allgemeinen Bauteil-Recycling auch auf den konkreten Fall der Wiederverwendung von Mauerziegeln übertragen lassen. Dabei wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich das Ziegelmaterial noch im zurückzubauenden Gebäude befindet, welches als Rohstoffquelle dient.

Schon heute ist es möglich, die gebrauchten Mauerziegel über Bauteilbörsen (eine Auswahl befindet sich im Anhang 2) bereits fertig geprüft zu beziehen und somit die ersten Stufen des jetzt beschriebenen Prozesses der Wiederverwendung zu überspringen.

In den folgenden Ausführungen soll hingegen der gesamte Prozessablauf in Bezug auf die Wiederverwendung von Mauerziegeln betrachtet werden. Zu berücksichtigen sind hierbei (vgl. Holzkamp, 1999, S. 72):

1. der technische und organisatorische Prozess des Gebäuderückbaus,
2. das Umfeld des Prozesses und
3. die am Prozess beteiligten Akteure.

### 6.1 Der technische und organisatorische Prozess des Gebäuderückbaus

Der selektive oder auch bauteilorientierte Rückbau ist Grundlage für die nachfolgend beschriebenen Phasen des Prozessablaufes. Rechtlich verantwortlich für die Beauftragung bzw. Durchführung aller hier nachfolgend genannter Teilleistungen ist die Bauherrschaft. Diese beauftragt entsprechende Fachplanende und Unternehmen zur qualifizierten Umsetzung. Der Prozess kann in die folgenden sieben Phasen unterteilt werden. (vgl. Holzkamp, 1999, S.84 ff. & 94 ff.)

#### **Phase I - Bestandsanalyse und Großaufnahme der Bauteilsubstanz**

Im ersten Schritt muss eine eingehende Analyse der Bausubstanz erfolgen, aus der die zur Wiederverwendung angedachten Mauerziegel entnommen werden sollen. Die detaillierte Gebäudeanalyse umfasst folgende Punkte:

1. Sichtung von vorhandenen Bestandsunterlagen wie Bauzeichnungen, Baubeschreibungen, Ausschreibungsunterlagen, Auftragsabrechnungen o.ä.,
2. Gebäudebegehung zur Ergänzung und dem Nachweis ggfs. unvollständiger Dokumentationsunterlagen,
3. Aufmaß bzw. Mengenermittlung der zur Wiederverwendung potentiell in Frage kommenden Bauteile und Mauerziegel,
4. erste Beprobung von Mauerziegeln bei Schadstoffverdacht.

#### **Phase II - Prüfung der technischen, logistischen und rechtlichen Rahmenbedingungen**

Auf Basis der vorangegangenen Grundlagenanalyse wird eine erste Verwendungsplanung für das zur Wiederverwendung beabsichtigte Ziegelmaterial erstellt. Hier müssen folgende Aspekte geprüft werden:

1. Verfügbarkeit von Verfahren zur zerstörungsfreien Demontage der Mauerziegel sowie der technischen Aufarbeitung des Materials als Grundlage für den Wiedereinbau,
2. Verfügbarkeit der logistischen Infrastruktur für Handel und Vermarktung der rückzubauenden Mauerziegel sowie Absatzmarktanalysen (gilt nur bei Weiterverkauf durch Baustoffhändler/ Bauteilbörsen etc.),
3. Vorhandensein rechtlicher Rahmenbedingungen, die den Handel mit dem Ziegelmaterial ggfs. einschränken oder unterbinden,
4. Prüfung der Annahmebedingungen von Entsorgungseinrichtungen bei Entsorgung von nicht brauchbaren oder schadstoffbelasteten Baustoffanteilen.

### **Phase III - Zustandsbeurteilung**

Im zweiten Schritt wird die tatsächliche Verwendbarkeit des Ziegelmaterials im Detail geprüft. Hierzu zählen:

1. Schadstoffanalysen (siehe Leitfaden Kapitel 2.2 "Prüfung auf Schadstoffe" und
2. Prüfungen der Materialbeschaffenheit und Verwendbarkeit zur Beurteilung der Restnutzungseigenschaften und -dauer der Mauerziegel.

### **Phase IV - Erstellung einer Stückliste**

Nach Prüfung des Verwertungspotentials erfolgt die detaillierte Aufnahme des verwendbaren, aber auch des zu entsorgenden Ziegelmaterials in Stücklisten.

### **Phase V - Kostenkalkulation**

Nach Prüfung der Verwendbarkeit werden alle Kosten des Rückbaus zusammengetragen. Diese setzen sich zusammen aus:

1. Demontagekosten (Lohn- und Maschinenkosten),
2. ggfs. Kosten für den Arbeitsschutz und Emissionsschutzmaßnahmen während des Rückbaus,
3. Kosten für Kennzeichnung und Lagerung,
4. Aufarbeitungskosten,
5. Gemeinkosten (Lagerhilfsmittel, Gebäude, Infrastruktur, Transport),
6. ggf. Erlöse des Materialverkaufs,
7. Verwertungs- und Entsorgungskosten für nicht brauchbare Materialanteile,
8. ggfs. Gutschriften bedingt durch Auftragserteilung für konventionellen Rückbau.

### **Phase VI - Erstellung eines Demontage- und Verwendungskonzeptes**

Auf Grundlage der vorangegangenen qualitativen und wirtschaftlichen Betrachtungen erfolgt die Festlegung des Demontageumfangs und damit einhergehend die differenzierte Ausarbeitung eines, wenn notwendig mehrstufigen, Ablaufplan für den Rückbau, welcher auch die Erstellung von Leistungsverzeichnissen und Ausschreibungsunterlagen beinhaltet. (vgl. Holzkamp, 1999, S.84 ff. & 94 ff.)

Neben der Rückbauplanung ist es sinnvoll, bereits ein konkretes Verwendungskonzept zu erarbeiten, welches durch das Einrichten von Vertragsketten bzw. eines Vertragsnetzwerkes auch ein rechtlich bindendes Dokument darstellen kann. Denn in der Regel sind gebrauchte Produkte immer als Abfall zu deklarieren, sobald diese dem Gebäude oder Bauteil entnommen werden und damit ihrem Verwendungszweck nicht mehr entsprechen. Dies wäre jedoch nicht der Fall, wenn das Bauprodukt, in diesem Fall Mauerziegel, bereits vor

dem Rückbau einer Zweckbestimmung unterworfen würde, das es eindeutig als stoffliche Ressourcenquelle für materialgleiche Folgeprodukte, also ebenfalls Mauerziegelprodukte, ohne etwaiges Downcycling, definiert. Auch wenn es dafür bisher keine rechtliche Grundlage gibt, könnte auf diese Weise bereits vor dem eigentlichen Rückbau sichergestellt werden, dass das ausgebaute und wie zuvor beschriebene, noch verwendbare Material nicht als Abfall deklariert wird, sondern eine Wiederverwendung erhält, welche auch dokumentiert werden muss. In einigen Kreislaufwirtschaftsgesetzen der Länder gibt es bereits entsprechende gesetzliche Grundlagen<sup>17</sup> dafür. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S.16 f.)

### **Phase VII - Selektiver Rückbau**

Anschließend kann der selektive Gebäuderückbau erfolgen. Worauf ausführende Unternehmen dabei achten sollten, wird im Leitfaden in Kapitel 6 "Rückbau und Aufbereitung" näher beschrieben. Dieser stellt die Voraussetzung für eine Wiederverwendung der Mauerziegel dar.

## **6.2 Das Umfeld des Wiederverwendungsprozesses**

Die Wiederverwendung von Mauerziegeln unterliegt bestimmten Rahmenbedingungen, welche die Durchführung der Maßnahme beeinflussen. Diese umfassen:

1. das ökonomisches Umfeld,
2. das technologische Umfeld,
3. das sozio-kulturelles Umfeld,
4. das rechtliche Umfeld. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 110 ff.)

### **Ökonomisches Umfeld**

Das ökonomische Umfeld bestimmt die marktwirtschaftliche Situation der Wiederverwendung von Mauerziegeln. Baustoffhändler sollten aufgrund dessen bestehende Absatzmärkte recherchieren und analysieren, die Möglichkeiten des Marktzuganges überprüfen und die Entwicklungschancen und die Wettbewerbssituation, auch in Bezug auf die Preissituation und das Angebot von neu hergestellten Mauerziegeln, abschätzen. Auch die Bauherrschaft, die eine Verwendung von gebrauchten Mauerziegel wünscht, ist gezwungen, sich mit dem ökonomischen Umfeld zu befassen. Dazu gehören Preisvergleiche unterschiedlicher Anbieter von gebrauchtem Baumaterial oder auch neu hergestellter Mauerziegel.

### **Technologisches Umfeld**

Den technischen Rahmen einer Wiederverwendung bilden die allgemein anerkannten Regeln der Technik, sowie den Stand der Technik, welche auf die heute verfügbaren Technologien zur sekundären Ziegelverwendung, vor allem in Bezug auf die Demontage und die Aufbereitung, verweisen. Auch das zu erwartende Potential von Verfahrens- und Produktinnovationen muss hier mit betrachtet werden.

---

<sup>17</sup> Verpflichtung des Bauherren zur Erstellung eines Abfallverwertungs-/ Entsorgungskonzeptes, siehe Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz von Baden-Württemberg (§ 3 Abs. 4 LKreiWiG BW von 2020) und NRW (§ 2a Abs. 3 LKrWG NRW von 2020)

### **Sozio-Kulturelles Umfeld**

Die Akzeptanz und damit der Erfolg der Wiederverwendung von Mauerziegeln als Baumaterial ist auch abhängig vom gesellschaftlichen Umfeld, in dem dieser Prozess stattfindet. Vorherrschende Einstellungen und Wertemuster bestimmen das Nachfrage- und Konsumverhalten der beteiligten Akteure. Die Bereitschaft, neue ökologische Wege zu gehen, den Ressourcenverbrauch zu minimieren und einen Beitrag zur Abfallvermeidung zu leisten, ist Grundlage für die Etablierung der Wiederverwendung als Praxis in der Baubranche. Damit einhergehend müssen Anwendungsgewohnheiten sowie Nutzungs- und Qualitätsansprüche angepasst und allgemein akzeptiert werden. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 110 ff.)

### **Rechtliches Umfeld**

Einen wesentlichen Anteil zur Umsetzung der Wiederverwendung von gebrauchten Mauerziegeln tragen die öffentlich- und privatrechtlichen Rahmenbedingungen bei. Hierauf wurde im [Kapitel 4 "Rechtliche Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Mauerziegeln"](#) bereits näher eingegangen.

## **6.3 Akteure des Wiederverwendungsprozesses**

Am gesamten Prozess der Wiederverwendung von Mauerziegeln sind verschiedene Akteure beteiligt. Diese können ökonomische oder gesellschaftliche Interessen vertreten und besitzen verschiedene Motive, sich am Prozess zu beteiligen. Der Nutzen kann dabei materieller oder immaterieller Art sein. So spielt beispielsweise der ökonomische Gewinn eine Rolle, der durch die Bereitstellung von wiederverwendbaren Mauerziegeln erzielt werden kann. Während dagegen aber auch die rein ökologische und soziale Verantwortung der Akteure oder die Identifikation mit den Werten und Idealen eines Projektes ausschlaggebend für eine Beteiligung sein können, gibt es auch Situationen, in denen eine Teilnahme durch juristischen oder moralischen Druck oder auch Wettbewerbsvorgaben seitens der Konkurrenz herbeigeführt werden kann. (vgl. nachfolgend Holzkamp, 1999, S. 122 ff.)

### **Rückbauunternehmen**

Rückbauunternehmen sind die zentralen Akteure in Bezug auf die Demontearbeiten an einem Gebäude. Die konventionellen Techniken wie Einschlagen, Eindrücken oder Sprengen unter Verwendung von schwerem Gerät wie Bagger oder Abrissbirne kommen beim Rückbau zur Wiederverwendung von bruchempfindlichen Baustoffen wie dem Mauerziegel allerdings nicht in Betracht. Stattdessen ist ein behutsamer Rückbau unter Erhalt der Materialsubstanz für die Wiederverwendung erforderlich. Im Moment erscheint die selektive Demontage für Rückbauunternehmen häufig wenig lukrativ, da die erhöhte Lohnstundenzahl, welche im Vergleich zum konventionellen Abbruch (z.B. Handarbeit statt Maschineneinsatz) beim Abbruchunternehmen entsteht, die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme oft nicht abbildet. Auch der Transport des Abbruchmaterials zu Wiederaufbereitungsanlagen oder Entsorgungseinrichtungen gehört üblicherweise in den Aufgabenbereich der Rückbauunternehmen.

Zukünftig könnten Rückbauunternehmen ökonomische Vorteile erhalten, wenn eine Spezialisierung auf den selektiven und zerstörungsfreien Rückbau zur Wiederverwendung

erfolgt. Darüber hinaus verfügt diese Akteursgruppe oft über ein hohes Fachwissen hinsichtlich Schadstoffbelastungen, was ebenfalls für die Wiederverwendung von Vorteil ist.

### **Bauhandwerk**

Das Bauhandwerk, vor allem das Maurerhandwerk, nimmt eine zentrale Rolle bei der Wiederverwendung von Mauerziegeln ein. Diese Akteursgruppe bringt ein hohes bauteilspezifisches Fachwissen für den fachgerechten Einbau von Mauerziegeln in Sanierungsmaßnahmen oder Neubauten mit. Auch Aufbereitungsmaßnahmen zur sofortigen Wiederverwendung können je nach Umfang von den ausführenden Unternehmen direkt auf der Baustelle durchgeführt werden und somit sogar zu einer Kostenreduktion beitragen.

### **Architekten und Fachplanende**

Vor allem bei umfangreichen Rückbaumaßnahmen werden Architekten und Fachplanende verschiedener Fachrichtungen in den Prozess eingebunden. Neben der initiativen Informationsbeschaffung und im weiteren Verlauf der Planung des Rückbaus, welche detaillierte Ausführungspläne und Leistungsbeschreibungen umfasst, werden von Ihnen auch Konzepte zur Wieder- bzw. Weiterverwertung oder Entsorgung des Baustoffes entwickelt. Bei der Planung von Sanierungsprojekten oder Neubauten können Planende einen maßgeblichen Einfluss auf die Materialwahl nehmen und damit gebrauchte Baumaterialien favorisieren. Darüber hinaus haben sie eine große Verantwortung, da sie die rechtlichen, technischen, ökonomischen und materialspezifischen Rahmenbedingungen im Blick haben und die Bauherrschaft darüber aufklären müssen, um eine Wiederverwendung zu ermöglichen.

### **Bauherrschaft (private und öffentliche Auftraggeber)**

Die Bauherrschaft kann zwei Rollen im Prozess der Wiederverwendung übernehmen. Als Eigentümer einer abzubrechenden Immobilie steht sie als Auftraggeber und Initiator an erster Stelle des Rückbauprozesses und ist verantwortlich für die Durchführung der Planungsphase vor der eigentlichen Umsetzung des selektiven Rückbaus. Darüber hinaus bestimmt die Bauherrschaft final die einzusetzenden Materialien bei Sanierung und Neubau und kann sich somit für gebrauchte anstelle von neu hergestellten Materialien entscheiden.

Die Bauherrschaft ist in den überwiegenden Fällen privater Natur und führt die Maßnahmen teilweise auch im Selbstbau, ohne die Beteiligung von Planenden oder ausführenden Unternehmen aus. Zunehmend rücken aber auch öffentliche Auftraggeber in den Fokus, da sie aufgrund von umweltpolitischen Vorgaben verpflichtet sind, sich an klima- und ressourcenschonenden Programmen zu beteiligen. Allerdings ist anzumerken, dass zwar die Notwendigkeit und der politische Wille vorgegeben sind, die Umsetzung allerdings aufgrund von wirtschaftlichen Hemmnissen und fehlender fachlicher Expertise der Entscheidungsträger teilweise nicht gegeben ist.

### **Ziegelhersteller**

Betrachtet man Bestandsgebäude als Rohstoffquelle für die Wiederverwendung von Mauerziegeln, so spielen die Hersteller von neuen Mauerziegeln keine Rolle für die Wiederverwendung. Allerdings haben Ziegelhersteller die Möglichkeit, Mauerziegel gezielt für die Mehrfachnutzung zu produzieren. Durch Innovationen in Verbindungstechniken und die Möglichkeit der Aufarbeitung von alten Mauerziegeln, aber auch den Fokus auf Verlängerung der Lebensdauer und Demontierbarkeit, verfügen Ziegelhersteller über größtmögliches Potential, die Wiederverwendung von Mauerziegeln voranzutreiben. In

Kapitel 7 "Wiedereinbau und Design for Re-Use" des Leitfadens werden anhand von Beispielen die aktuellen Entwicklungen des Designs für die Wiederverwendung dargestellt.

### **Baustoffhändler**

Die Verbreitung von Bauteilbörsen ist ein wichtiger Schritt für die Wiederverwendung von Baustoffen, wie auch von Mauerziegeln. Sie übernehmen die Vermittlungsfunktion von Angebot und Nachfrage, bieten im Idealfall sogar die Möglichkeit einer Zwischenlagerung der Baustoffe und können so die zeitliche und örtliche Lücke zwischen Rück- und Wiedereinbau schließen. Darüber hinaus spielen sie eine wichtige Rolle im Marketing und für die Akzeptanz des Wiederverwendungsprozesses.

In den letzten Jahren haben sich unterschiedliche Bauteilbörsen gegründet. Einige Portale setzen den Schwerpunkt auf Baustoffe von privaten Verkäufern. Andere Plattformen oder Unternehmen kaufen Waren an, prüfen diese auf Verwendbarkeit und veräußern die Produkte mit einer eigenen Gewährleistung. Auf diese Weise haben Sie Einfluss auf die Definition der Kriterien, die bei der Wiederverwendung von Bedeutung sind und fördern somit die Einführung von genormten Materialprüfungen (z.B. CE-Kennzeichnungen) für gebrauchte Baustoffe ([siehe auch Kapitel 3.3](#)). (vgl. Holzkamp, 1999, S. 122 ff.)

Einer der zurzeit drei führenden Anbieter für gebrauchte und aufbereitete Mauerziegel in Europa ist das dänische Unternehmen Gamle Mursten, welches seine Mauerziegel mit CE-Kennzeichnung verkauft und durch ein unabhängiges Prüfinstitut (Dancert) zertifizieren lässt. Das Unternehmen übernimmt nicht nur den Ausbau der Mauerziegel vor Ort, sondern bereitet sie auf und führt alle erforderlichen Prüfungen durch, um Mauerziegel mit hoher Qualität und Gewährleistung anbieten zu können. (vgl. Gamle Mursten, Stand: 2024)

Bauteilbörsen können in Zukunft die Kernfunktionen von anderen beteiligten Akteuren übernehmen, indem sie neben dem Handel auch den Rückbau und die Aufarbeitung anbieten oder sogar als Generalunternehmer fungieren, die auch die dazugehörigen Planungsleistungen anbieten. Alternativ zu Bauteilbörsen existieren auch Unternehmen, Handwerksbetriebe oder Ziegeleien mit eigenem Materiallager, die vor allem für lokale Projekte von Bedeutung sein können. Eine Auswahl aktueller Bauteilbörsen und Händler für gebrauchte Mauerziegel befindet sich im Anhang 2.

### **Kommunale und staatliche Behörden**

Kommunale oder staatliche Behörden können als überwachende und genehmigende Instanz sowie als öffentlicher Auftraggeber (siehe auch Abschnitt "Bauherrschaft") fungieren.

In ihrer Funktion als Entscheidungsträger in Genehmigungsverfahren verhält es sich ähnlich wie in ihrer Position als Bauherrschaft. Noch immer fehlt es an Informations- und Weiterbildungsangeboten für das Personal, welches die umweltpolitischen Anforderungen umsetzen soll. Dadurch werden Genehmigungsprozesse teilweise verkompliziert, zusätzliche Kosten verursacht und Verfahren verlängert, was das Interesse für die Wiederverwendung von Baustoffen seitens der Bauherrschaft nicht selten im Keim erstickt. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 122 ff.) Seit 1999 ist dieser Zustand quasi unverändert.

## 6.4 Optimierung der Prozessstrukturen

### Optimierung der Logistik

Um der Wiederverwendung von Mauerziegeln eine flächendeckende Akzeptanz auf Seiten aller beteiligten Akteure zu verleihen und deren Wirtschaftlichkeit nachzuweisen, sind hohe Anforderungen an die Ausgestaltung des logistischen Systems zu stellen. Der Anspruch an Baumaterialien aller Art umfasst heute schnelle und überregionale Verfügbarkeit, eine große Vielfalt und Auswahl, kurze Lieferzeiten und hervorragende Lieferqualitäten. Gebrauchte Mauerziegel können diesen Ansprüchen vor allem im wirtschaftlichen Sinne nur genügen, wenn folgende Parameter von Händlern eingehalten werden:

1. Quantitativ: Festlegung einer Mindestmenge von verfügbaren Mauerziegeln zur Wiederverwendung,
2. Zeitlich: Stetiger Mindestdurchsatz,
3. Logistischer Servicegrad: Hohe Verfügbarkeit, kurze Lieferzeiten,
4. Puffer- und Ausgleichspotentiale zur Überbrückung des örtlichen und zeitlichen Abstandes zwischen Demontage und Wiederverwendung,
5. Verfügbarkeit der Baustoffdokumentationen und -analysen für alle Akteure (vgl. Holzkamp, 1999, S. 106)

### Qualitätssicherung

Ein weiterer Faktor, der zur Optimierung des Prozesses und damit der Akzeptanz beitragen kann, ist die Sicherung der Qualität gebrauchter Mauerziegel und deren Kennzeichnung. In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, in welchen Teilprozessen des Prozessablaufes Qualitätssicherungsmaßnahmen erfolgen müssen.



Abbildung 6: Elemente der Qualitätssicherung innerhalb des Prozessablaufes für die Wiederverwendung von Mauerziegeln (nach Holzkamp, 1999, S.117)

In bisherigen Abläufen ist jeder einzelne Akteur in der Verantwortung, qualitätssichernde Maßnahmen in seinem Teilbereich umzusetzen. Um die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit

zu optimieren, ist jedoch anzustreben, alle Teilprozesse in einem übergreifenden Qualitätssicherungssystem zu erfassen. Dies wäre beispielsweise möglich durch:

1. Gründung einer Gütegemeinschaft aller beteiligter Akteure und damit Wirkung als Innovationsinitiatoren,
2. Einführung von allgemein gültigen Güte- und Prüfbestimmungen für gebrauchte Mauerziegel und damit die Möglichkeit der Normung in Bezug auf Verbindungstechniken oder Verwendungspflichten anhand fester Qualitätsanforderungen
3. Vergabe von Gütezeichen für das zur Wiederverwendung vorgesehene Material als vertrauensbildende Maßnahme und dadurch Schaffung verbindlicher, einheitlicher und reproduzierbarer Qualitätsstandards und Förderung der Akzeptanz,
4. Auditierung von Rückbauunternehmen, Aufbereitungsbetrieben, Baustoffhändlern oder Bauteilbörsen zur Erlangung von Mitgliedschaften in der Gütegemeinschaft,
5. Freiwillige Fremdüberwachung durch Sachverständige. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 117 f.)

### **Bildung von Kooperationen**

Wie in [Kapitel 6.3 "Akteure des Wiederverwendungsprozesses"](#) bereits erläutert wurde, sind unterschiedliche Akteure in den Prozess der Wiederverwendung von Mauerziegeln eingebunden. Um die allgemeine Akzeptanz des Prozesses voranzutreiben, ist die kooperative Beteiligung aller Akteure unabdingbar. Neben der Anerkennung der Wiederverwendung von Mauerziegeln als sinnvolle Maßnahme und Beitrag zum Umweltschutz müssen dafür die jeweils entsprechenden Handlungs- und Interessensspielräume für jeden beteiligten Akteur gegeben sein. Beispielsweise steht ein bisher auf Gewinnmaximierung ausgelegtes Marktverständnis im Widerspruch zur Lebensdauererlängerung von Baustoffen. Die Akzeptanz seitens der Ziegelhersteller oder Baustoffhändler kann daher nur erreicht werden, wenn sich neue Absatzmöglichkeiten für sekundär genutzte Baustoffe, wie dem Mauerziegel, etablieren, aus denen ebenfalls ökonomische Gewinne erzielt werden können. Die Bauteilbörse als zentraler Partner, der auch logistische und informative Dienstleistungen erbringt, kann den Kooperations- und Kommunikationsprozess zwischen allen Akteuren vereinfachen, indem er die Interessen von verschiedenen Akteuren bedient und koordiniert. (vgl. Holzkamp, 1999, S. 162 ff.)

### **Planung zur Wiederverwendung**

Schon im Planungs- und Ausschreibungsprozess sollte die Verwendung von sekundären, gebrauchten Baustoffen bzw. der Einsatz von Baustoffen, die sich zur Wiederverwendung eignen, aufgenommen werden. So kann beispielsweise ein Zuschlagskriterium eine nachgewiesene Wiederverwendungsrate beim Neubau und/ oder Abbruch des Gebäudes sein. Möglich wäre auch die Vorgabe konkreter Bauteilkataloge mit gebrauchtem Material, mit denen Entwürfe oder Projekte realisiert werden müssen.<sup>18</sup>

Auch die Formulierung und Herausgabe von Mustervertragstexten seitens der Länder oder des Bundes, welche die Risikoverteilung aller am Prozess beteiligten Akteure regeln, wäre wünschenswert. (vgl. Häußler et al., 1993, S. 38 f.)

---

<sup>18</sup> Die Stadt Zürich schreibt ihre Projekte vermehrt mithilfe von Bauteilkatalogen aus. (siehe [Link](#))

# 7 Schlussbetrachtung

## 7.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde ein Leitfaden zur Wiederverwendung von gebrauchten Mauerziegeln erarbeitet. Als Grundlage dafür dienten unterschiedliche Literaturquellen, technische und rechtliche Rahmenbedingungen sowie Erfahrungen aus bereits realisierten Projekten und Studien zu dem Thema. Die Wiederverwendung ist dabei als die erneute Nutzung eines Baustoffes in der gleichen oder ähnlichen Funktion definiert, ohne dass ein Qualitätsverlust stattfindet. Sie stellt die Voraussetzung zur Schließung eines Stoffkreislaufes in der Baubranche dar. Mauerziegel eignen sich besonders für die Wiederverwendung, da sie langlebige und robuste Baustoffe darstellen, deren Wiedereinbau durch festgelegte Formate und annähernd homogene Materialeigenschaften vereinfacht wird. Sie können sowohl in tragenden als auch nicht tragenden Konstruktionen wiederverwendet werden, beispielsweise als vorgehängte-hinterlüftete Fassadenbekleidung, für gemauerte Innen- und Außenwände, als Bodenbelag oder dekorative Bauteile. Sie lassen sich sowohl im Neubau als auch in der Sanierung einsetzen.

Einführend in das Thema wird in Kapitel 2 die geschichtliche Entwicklung der Komponenten Mauerziegel und Mörtel dargestellt. Die Ausgangsstoffe, Formate und Herstellungsverfahren entwickelten sich im Laufe der Jahre immer in Anlehnungen an die technischen Entwicklungen und Möglichkeiten. Mauerziegel, vor allem Vollziegel, sind in Gebäuden bis Mitte des 20. Jh. als vorherrschendes Baumaterial zu finden. Die Zusammensetzung des verwendeten Mörtels beeinflusst dabei maßgeblich die heutigen Möglichkeiten der Wiederverwendung der verbauten Mauerziegel. Mörtel mit Zementanteilen, welche ab ca. 1950 vermehrt genutzt wurden, lassen sich sehr schwer bis gar nicht von Mauerziegeln trennen und machen damit eine Wiederverwendung so gut wie unmöglich. Die Wiederverwendung von Baustoffen aus ökonomischen Gründen hat eine lange Tradition. Mit der industriellen Revolution im 19. Jh. gewann allerdings die Massenfertigung industriell hergestellter Baustoffe immer mehr an Bedeutung. Die Entsorgung und der Neukauf lösten die Wiederverwendung immer mehr ab. Erst in den letzten Jahren mit verstärktem Bewusstsein über Klimakrise und Ressourcenknappheit in der Gesellschaft gewann das Prinzip der Wiederverwendung wieder an Aufmerksamkeit.

Kapitel 3 befasst sich mit den Materialeigenschaften von Mauerziegeln. Die optischen und technisch prüfbareren Materialeigenschaften, anhand derer neue Mauerziegel nach geltenden Normen geprüft werden können, werden erläutert. Darauf aufbauend findet eine Einschätzung der Relevanz der jeweiligen Eigenschaften für die Wiederverwendung statt. Es kann festgestellt werden, dass die zu prüfenden Materialeigenschaften vor allem abhängig vom geplanten Verwendungszweck sind. Abschließend wird das EAD 170005-00-0305 "Re-Cycled Clay Masonry" vorgestellt. Anhand dieses europäischen Bewertungsdokumentes können gebrauchte Mauerziegel geprüft werden, um eine CE-Kennzeichnung zu erhalten.

Im Kapitel 4 findet eine Einordnung der Wiederverwendung in die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland statt. Dabei wird unterschieden zwischen dem öffentlichen sowie dem privaten Recht. Innerhalb der öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen wurde herausgearbeitet, dass Mauerziegel noch vor dem Rückbau

einen zweiten Verwendungszweck erhalten sollten, um nicht als Abfall deklariert zu werden. Ein Verwendungskonzept könnte dabei Abhilfe schaffen. Im Privatrecht ergeben sich die Hürden der Wiederverwendung vor allem in der Haftungsfrage. Daher sollten die Mauerziegel im Idealfall über einen Hersteller bzw. Händler bezogen werden, der die Verantwortung für die Qualität der Mauerziegel übernimmt.

In Kapitel 5 wird das Thema der Wiederverwendbarkeit von Mauerziegeln anhand von drei Beispielen aus Dänemark, Kanada und Deutschland untersucht. In einer Studie von der Insel Bornholm, Dänemark, wird der Gebäuderückbau mit Blick auf ökologische und ökonomische Faktoren betrachtet. Die Studie stellt den Mauerziegel als sehr gut geeigneten Baustoff für die Wiederverwendung heraus und betont dabei die Notwendigkeit von selektiven Rückbauverfahren und lokalen Netzwerken. Die Studie aus Toronto, Kanada, konzentriert sich auf die Wiederverwendung von Mauerziegeln in Einfamilienhäusern, wobei festgestellt wurde, dass vor 1960 errichtete Gebäude besonders geeignet sind. Das Beispiel des Neuen Museums in Berlin macht die notwendigen Planungs- und Ausführungsschritte zur Wiederverwendung von Mauerziegeln mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen deutlich.

In Kapitel 6 werden der Wiederverwendungsprozess und seine Rahmenbedingungen, die beteiligten Akteure sowie möglich Verbesserungspotentiale erläutert. Es wird herausgearbeitet, dass dem Gebäuderückbau zur Wiederverwendung eine besondere Bedeutung zukommen muss. Da ein selektiver, zerstörungsfreier Rückbau notwendig ist, muss dieser sorgfältig im Vorfeld geplant werden. Darüber hinaus wird erläutert, dass die Schaffung von Netzwerken unter den beteiligten Akteure notwendig ist, um den Prozess zu optimieren.

Aufbauend auf den vorangegangenen Kapiteln wird im Anhang der eigentliche Leitfadens vorgestellt. Der Aufbau des Leitfadens orientiert sich dabei an der tatsächlichen Prozessstruktur der Wiederverwendung, von der ersten Voruntersuchung, über den Rückbau und die Aufbereitung bis zum Wiedereinbau. Der Leitfaden gibt allen am Prozess Beteiligten einen Überblick über die notwendigen Maßnahmen und Rahmenbedingungen der Wiederverwendung und formuliert konkrete Handlungsanweisungen. Als erster notwendiger Schritt vor einer Wiederverwendung wird die Voruntersuchung des Gebäudes und der Materialien genannt. Diese sollte eine Einschätzung des Wiederverwendungspotentials anhand erster bautechnischer Untersuchungen sowie eine grobe Kalkulation der zu erwartenden Mengen beinhalten. Besonderer Fokus ist auf die Schadstoffuntersuchung zu legen, bei der auch die Sanierungsgeschichte des Gebäudes herangezogen werden muss. Anschließend wird die Prüfung der Verwendbarkeit der Mauerziegel beschrieben. Diese gibt aufbauend auf den Voruntersuchungen Auskunft über die konkreten Materialeigenschaften und das Wiederverwendungspotenzial. Dafür werden stichprobenartig bereits rückgebaute Mauerziegel untersucht und deren Materialeigenschaften je nach zukünftigem Verwendungszweck deklariert. Als Hilfestellung dafür dient eine Übersicht der zu prüfenden Eigenschaften. Es wird herausgearbeitet, dass Vollziegel, die in den Anwendungsbereich der DIN 771-1 fallen, auch nach dieser deklariert werden können. Mauerziegel, auf die dies nicht zutrifft, benötigen entweder einen europäischen Verwendbarkeitsnachweis in Form einer CE-Kennzeichnung oder einen nationalen Verwendbarkeits-/Anwendbarkeitsnachweis in Form einer abZ/aBG oder ZiE/vBG, um in Konstruktionen mit bauordnungsrechtlichen Anforderungen verwendet

werden zu können. Es wird darüber hinaus darauf hingewiesen, dass die Materialstreuung der gebrauchten Mauerziegel durch eine Erhöhung der Prüfkörperanzahl oder eine angepasste statistische Auswertung nach WTA Merkblatt 7-4 berücksichtigt werden sollte. Aufbauend darauf wird im nächsten Kapitel des Leitfadens die Berechnung der Mauerwerksdruckfestigkeit des neuen Mauerwerkes aus gebrauchten Mauerziegeln und neuem Mörtel beschrieben. Der Ausgleich der Materialstreuung kann im Rahmen der Bemessung über einen erhöhten Teilsicherheitsbeiwert stattfinden, welcher allerdings nicht konkret benannt werden konnte.

Im darauffolgenden Kapitel des Leitfadens wird die Relevanz einer Rückbauplanung erläutert. Genau wie die Errichtung eines Gebäudes muss auch der Rückbau detailliert geplant werden, vor allem, wenn daraus wiederzuverwendende Baustoffe hervorgehen sollen. Die Ausschreibung der Arbeiten sollte bereits Anforderungen an den selektiven Rückbau enthalten. In diesem Stadium ist auch das Einbeziehen von Baustoffhändlern oder Bauteilbörsen sinnvoll. Der anschließend beschriebene Rückbau inklusive Aufbereitungsprozess muss möglichst zerstörungsfrei stattfinden, um eine Wiederverwendung zu gewährleisten. Dem Rückbauunternehmen sollten dafür konkrete Handlungsanweisungen übergeben werden. Die Mauerziegel können bereits auf der Baustelle sortiert bzw. aussortiert und für den Transport gelagert werden. Anschließend werden verschiedene Reinigungs- und Aufbereitungsmethoden für gebrauchte Mauerziegel beschrieben. Dabei wird unterschieden zwischen trockenen und nassen Verfahren. Es konnte festgestellt werden, dass das händische Reinigen der Mauerziegel zwar das zeitaufwendigste Verfahren ist, dafür aber das beste Ergebnis mit sich bringt. Darüber hinaus wird angemerkt, dass bereits maschinelle Verfahren entwickelt wurden, die ähnliche Ergebnisse liefern können, dabei aber ökonomischer sind. Aufbereitungsverfahren mit großem Energieaufwand sollten vermieden werden, da sonst die Ressourcen- und Energieeinsparung gegenüber neu hergestellten Mauerziegeln minimal ist.

Abschließend werden die Wiederverwendungsmöglichkeiten gebrauchter Mauerziegel und deren Besonderheiten erläutert. Die konventionelle Bauweise mit Mörtel ist die gängigste. Dabei ist zu beachten, dass ein Wiedereinbau mit weichem Kalkmörtel die Variante mit dem größten Wiederverwendungspotential darstellt. Die Verwendung von Zementmörtel führt dazu, dass die Mauerziegel voraussichtlich kein weiteres Mal wiederverwendet werden können. Generell sollte auf eine möglichst demontagefreundliche Bauweise geachtet werden. Darüber hinaus werden verschiedene Bauweisen beschrieben, die ein "Design for Re-Use" versprechen. Nach einer Auswertung dieser muss allerdings festgestellt werden, dass sie keinen signifikanten Beitrag zur Wiederverwendung von Mauerziegel leisten können. Die Entwicklungen in diesem Bereich müssen daher weiter beobachtet werden.

Insgesamt bietet die Wiederverwendung von Mauerziegeln bei Sanierung und Neubau ein großes Potenzial zur Reduzierung von Abfallmengen, Einsparung von Ressourcen und Senkung von Umweltauswirkungen in der Baubranche. Durch kontinuierliche Forschung, den politischen Willen, technologische Innovationen und eine ganzheitliche Herangehensweise können die Akteure der Branche im Rahmen der rechtlichen Voraussetzungen die Wiederverwendung von Mauerziegeln weiter vorantreiben und somit einen wichtigen Beitrag zur Schaffung einer nachhaltigeren gebauten Umwelt leisten.

## 7.2 Ausblick

Das Forschungsprojekt lieferte wichtige Erkenntnisse zum aktuellen Stand der Wiederverwendung von Mauerziegeln. Der entwickelte Leitfaden soll dabei helfen, die Wiederverwendung als gängige Praxis in der Baubranche zu etablieren. Nichtsdestotrotz stehen die Akteure noch vor einigen Herausforderungen, die es in zukünftigen Entwicklungen und Forschungsvorhaben zu adressieren gilt.

### **Umdenken der Branche**

Um die Wiederverwendung von Baustoffen in der Baubranche zu etablieren, muss ein Umdenken der Akteure in Planungs- und Ausführungsprozessen stattfinden. Der Hauptzweck des Umgangs mit gebrauchten Baustoffen darf nicht nur die Energieerzeugung oder die Gefahrenabwehr für Mensch und Umwelt sein. Stattdessen sollten Gebäude und deren Baumaterialien als stoffliche Ressourcenquelle angesehen und genutzt werden. Im Planungsprozess müssen dafür demontagefreundliche Bauweisen entwickelt bzw. gewählt werden. Die Baustoffauswahl kann nicht ausschließlich auf neu hergestellte Materialien ausgerichtet sein. Stattdessen müssen sich Entwürfe und Planungen an den vorhandenen Baustoffen, beispielsweise aus einem vorherigen Gebäuderückbau, orientieren. Das Wissen über kreislauffähiges Bauen ist durch die historischen Bauweisen bereits vorhanden. Nun liegt es an den Planenden, dieses Wissen anzuwenden. Dies ist eine wichtige Grundlage für kreislauf- und klimagerechtes Bauen.

### **Technologische Innovationen und nachhaltige Bauweisen**

Die kontinuierliche Entwicklung neuer Technologien in der Baubranche bietet Möglichkeiten zur Optimierung der Wiederverwendung von Mauerziegeln. Innovative Reinigungs- und Aufbereitungsverfahren könnten dazu beitragen, den Prozess effizienter, ökonomischer und nachhaltiger zu gestalten. Auch die Integration von Robotik und Automatisierungstechnik stellt eine Möglichkeit dar, den Rückbau und die Sortierung von Mauerziegeln zu erleichtern und wirtschaftlicher zu gestalten. Darüber hinaus kann die Entwicklung beispielsweise neuer, demontagefreundlicher Mörtelarten oder "Design-for-Reuse"-Bauweisen dazu beitragen, Gebäude so zu gestalten, dass ihr Rückbau und die Wiederverwendung von Baustoffen erleichtert werden. Auf diese Weise würden auch heutige Neubauten als Rohstoffquelle der Zukunft für die Wiederverwendung dienen.

### **Interdisziplinäre Zusammenarbeit und Netzwerke**

Die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren, einschließlich Forschenden, Planenden, Bauherrschaft, Ausführenden, Baustoffhändlern und Politikern, ist entscheidend für die Förderung der Wiederverwendung von Mauerziegeln und anderen Baustoffen. Die Bildung von interdisziplinären Netzwerken und Kooperationen kann dazu beitragen, Ressourcen zu bündeln, Best Practices auszutauschen, Hemmnisse zu identifizieren und gemeinsame Strategien zur Förderung der Kreislaufwirtschaft in der Baubranche zu entwickeln.

Die Notwendigkeit der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft führt darüber hinaus zur Entwicklung neuer Berufszweige, wie beispielsweise dem des Beraters für Kreislaufwirtschaft. Kreislaufberater führen Bestandsaufnahmen durch, vermitteln Sekundärmaterialien an Baustoffbörsen oder direkt an Sanierungs- oder Neubauprojekte und führen in Zusammenarbeit mit Herstellern neue Garantien für rückgebaute Bauteile herbei. Diese Aufgaben gehen in der Regel über die eigentlichen Aufgaben der Planenden

hinaus, weswegen die Spezialisierung in Form eines eigenen Berufszweiges sinnvoll erscheint. Diese Berater sollten in die Netzwerke der Wiederverwendung einbezogen werden und wirken als "Mittelsperson" zwischen Abbruch- und Neubauprojekten.<sup>19</sup>

### **Zertifizierungen, Gütezeichen, Materialpässe**

Darüber hinaus kann die Entwicklung von Standards, Gütezeichen und Zertifizierungsverfahren für kreislaufgerechte Bauarten und -projekte Anreize für die vermehrte Nutzung gebrauchter Materialien schaffen. Hilfreich ist auch die Erstellung von Materialpässen für neu errichtete Gebäude, in denen detailliert vermerkt wird, welche Baustoffe in welchen Mengen verbaut wurden. Dies reduziert den Prüfungsaufwand für Bestandsmaterial, da die Materialeigenschaften besser abgeschätzt werden und sogar die jeweiligen Hersteller ausfindig gemacht werden können.

### **Politische und rechtliche Rahmenbedingungen**

Die Schaffung politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen ist unerlässlich für die erfolgreiche Umsetzung von Wiederverwendungsprojekten in der Baubranche. Die Entwicklung von Anreizsystemen, Förderprogrammen und steuerlichen Vergünstigungen kann Investitionen in die Wiederverwendung von Mauerziegeln attraktiver machen und den Übergang zu einer nachhaltigeren Baubranche unterstützen. Darüber hinaus darf nicht eine Vielzahl an Verordnungen, Vorschriften und Produktanforderungen dazu führen, dass die Akteure der Baubranche überfordert sind und die Wiederverwendung dadurch verkompliziert wird. Stattdessen sollten klare rechtliche Rahmenbedingungen die Wiederverwendung vereinfachen.

Darüber hinaus ist in der Baubranche die Einführung einer Umbauordnung als Ersatz für die Musterbauordnung im Gespräch. Diese würde die Bestandserhaltung gegenüber dem Neubau bevorzugen und die Schaffung einer Kreislaufwirtschaft in der Baubranche unterstützen. Sie könnte beispielsweise beinhalten, dass unabhängig von der Gebäudeklasse eine Rückbaugenehmigung einzuholen ist, welche nur unter dem Vorhandensein eines Rückbau- und Verwertungskonzeptes erteilt wird. Auf diese Weise wäre der Verwendungszweck jedes verbauten Materials bereits vor dem Rückbau festgelegt. (vgl. Franßen & Nusser, 2022, S. 20)

Auf die Kreislaufwirtschaft ausgerichtete rechtliche Rahmenbedingungen könnten ebenfalls dazu führen, dass das Abschließen von Versicherungen und Finanzierungen für Projekte mit wiederverwendeten Materialien erleichtert wird und somit Haftungsfragen eindeutig geklärt wären.

### **Weitere notwendige Forschungen**

In diesem Forschungsvorhaben wurden nur historische Vollziegel betrachtet. In weiteren Forschungsprojekten könnte parallel dazu das Vorgehen für andere Arten von Mauerziegeln oder für Mauerziegel, die nach ca. 1950 im Vorhandensein einer Norm hergestellt wurden, erläutert werden. Auch für weitere Baustoffe ist die Erstellung von Leitfäden denkbar.

---

<sup>19</sup> Ein Beispiel dafür ist die Arbeit der Firma "Concular".

# Literaturverzeichnis

## Printmedien (alphabetisch geordnet)

<b>Autor, Jahr</b>	<b>Vollständiger Quellennachweis</b>
Campbell/ Pryce, 2003	James W.P.Campbell, William Pryce: Backstein - Eine Architekturgeschichte von den Anfängen bis zur Gegenwart, Deutsche Erstausgabe, Knesebeck GmbH & Co. Verlags KG, München, 2003
Christensen et al., 2022	Thomas Budde Christensen, Mathilde Rosenberg Johansen, Martin Visby Buchard, Cecilie Nadine Glarborg: Closing the material loops for construction and demolition waste: The circular economy on the island Bornholm, Denmark; Resources, Conservation & Recycling Advances, Volume 15, Roskilde, 2022
Eisele/Seiler, 2012	Gerhard Eisele, Josef Seiler: Wiederaufbau des Neuen Museums in Berlin, in Schneider/Sahner/Rast (Hrsg.), Mauerwerksbau aktuell 2012, Beuth Verlag GmbH, 15. Jahrgang, Berlin, 2012
Ergun/ Gorgolewski, 2015	Deniz Ergun, Mark Gorgolewski: Inventorying Toronto's single detached housing stocks to examine the availability of clay brick for urban mining; Waste Management, 45, Seiten 180–185, 2015
Franßen & Nusser, 2022	Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH (Hrsg.): Studie Regelwerke des Normungs- und technischen Zulassungswesens anhand des Themenkomplexes Recyclingverfahren und Weiter-/Wiederverwendung von Bauprodukten und Baustoffen, im Auftrag des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e.V., Düsseldorf, 2022
Goretzki, 2016	Dr. Lothar Goretzki: Praxis Ratgeber zur Denkmalpflege - Salze, Gips und Feuchte im Mauerwerk, in Informationsschriften der Deutschen Burgenvereinigung e.V, Deutsche Burgenvereinigung e.V. (DBV), Marksburg, 2016
Häußler et al., 1993	M. Häußler, O. Rentmeister, A. Tomm: Planungshilfe Umweltschutz im Bauwesen - Wiederverwendung und Recycling im Hochbau, Hessisches Ministerium der Finanzen, Wiesbaden, 1993
Henkel, 2022	Johnny Henkel: Das WTA-Merkblatt 7-4 »Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatischen Steinen« in "BAUSUBSTANZ - Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerks- erhaltung und Denkmalpflege", Hrsg.: Wissenschaftlich- Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., Heft 2, Fraunhofer IRB Verlag, 2022

- Hillebrandt/ Seggewies, 2018 Anette Hillebrandt, Johanna-Katharina Seggewies: Recyclingpotenziale von Baustoffen, in ATLAS RECYCLING, Hrsg.: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen, Johanna-Katharina Seggewies, erste Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München, 2018
- Holzcamp, 1999 Dipl.-Ing. Jochen Holzcamp: Dissertation: Stoffstrommanagement "Bauen und Wohnen" dargestellt am Beispiel der Wiederverwendung von Bauteilen. D82 - Diss. RWTH Aachen, 1999
- Maier, 2012 Josef Maier: Handbuch Historisches Mauerwerk - Untersuchungs- methoden und Instandsetzungsverfahren, 2. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 2012
- Meyer/ Gierga, 2012 Udo Meyer, Michael Gierga: Bauen im Bestand - Materialkennwerte von historischem Ziegelmauerwerk, erschienen in: Mauerwerk - Zeitschrift für Technik und Architektur, Heft 4, Ernst & Sohn, Berlin, 2012
- Neroth/ Vollenschaar, 2011 Günter Neroth, Dieter Vollenschaar (Hrsg.): Wendehorst Baustoffkunde - Grundlagen - Baustoffe - Oberflächenschutz, Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 27. Auflage, Wiesbaden, 2011
- Nordby et al., 2009 Anne Sigrid Nordby, Bjørn Berge, Finn Hakonsen, Anne Grete Hestnes: Criteria for salvageability: the reuse of bricks, in: Building Research & Information, Taylor & Francis, 2009
- Park, 2013 Mary S. Park: Reusing Brick: Properties of Brick to Mortar Bond Strength, Graduate School of Architecture, Planning and Preservation, Columbia University, 2013
- Rosen, 2018 Anja Rosen: Sind Kreislaufpotenziale messbar? Eine Analyse am Beispiel von Fassaden- und Dachbekleidungen; in ATLAS RECYCLING, Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen, Johanna-Katharina Seggewies, 1. Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München, 2018
- Rotor vzw/asbl, 2021 Rotor vzw/asbl: Reuse Toolkit - solid clay brick, Interreg FCRBE, 2021
- Schrader, 1997 Mila Schrader: Mauerziegel als historisches Baumaterial - Ein Materialleitfaden und Ratgeber, Edition: anderweit Verlag GmbH, Suderburg-Hösseringen, 1997
- Umweltbundesamt, 2015 Umweltbundesamt (Hrsg.): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen, Dessau-Roßlau, 2015
- Wallasch, 1999 Seven Wallasch: Instandsetzung von Ziegelmauerwerk, Deutsche Verlagsanstalt GmbH, Stuttgart, 1999

Weber et al., 2017	Prof. Dr.-Ing. Silvia Weber, Prof. Dr.-Ing. Hermann Schäffler, Prof. Dr.-Ing. Erhard Bruy: Baustoffkunde - Aufbau und Technologie, Arten und Eigenschaften, Anwendung und Verarbeitung, Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg, 2017
WTA, 2021	WTA-Merkblatt 7-4 "Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatischen Steinen", Hrsg.: WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2021

### **Normen, Regelwerke, Richtlinien (alphabetisch geordnet)**

<b>Abkürzung</b>	<b>Titel</b>
BGB	"Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch Artikel 34 Absatz 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 411) geändert worden ist"
DIN 105-1:1989-08	Mauerziegel - Vollziegel und Hochlochziegel (zurückgezogen)
DIN 1053-2:1996-11	Mauerwerk - Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen (zurückgezogen)
DIN 18299:2019-09	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art
DIN 18554-1:1985-12	Prüfung von Mauerwerk; Ermittlung der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls
DIN 20000-401:2017-01	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1:2015-11
DIN EN 1052-3:2007-06	Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)
DIN EN 13501-1:2019-05	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
DIN EN 1745:2020-10	Mauerwerk und Mauerwerksprodukte - Verfahren zur Bestimmung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften
DIN EN 1996-1-1:2013-02	Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
DIN EN 771-1:2015-11	Festlegungen für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel
DIN EN 772-1:2016-05	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit
DIN EN 772-5:2018-12	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 5: Bestimmung des Gehalts an aktiven löslichen Salzen von Mauerziegeln
DIN EN 772-11:2011-07	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 11: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Porenbetonsteinen, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln
DIN EN 772-13:2000	Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohdichte von Mauersteinen (außer Natursteinen)
DIN EN 772-16:2011-07	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 16: Bestimmung der Maße
DIN EN 772-21:2011-07	Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 21: Bestimmung der Kaltwasseraufnahme von Mauerziegeln und Kalksandsteinen
EAD 170005-00- 0305	EAD (European Assessment Document) 170005-00-0305 "Re-Cycled Clay Masonry Units", EOTA, 2017
KrWG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), Stand: 09.10.2020
MBO	Musterbauordnung, Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 22./23.09.2022
VOB/B	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, Fassung 2016

### Internet (alphabetisch geordnet)

<b>Abkürzung</b>	<b>URL, Datum des Zugriffs</b>
AK Bauwerksdiagnostik	Johnny Henkel und Dominik Müller: "Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk nach WTA-Merkblatt 7-4", URL: <a href="https://ak-bauwerksdiagnostik.de/wp-content/uploads/20220407_Ermittlung_der_Druckfestigkeit_von_Bestandsmauerwerk_nach_WTA-Merkblatt_Darmstadt.pdf">https://ak-bauwerksdiagnostik.de/wp-content/uploads/20220407_Ermittlung_der_Druckfestigkeit_von_Bestandsmauerwerk_nach_WTA-Merkblatt_Darmstadt.pdf</a> , Stand: 2023-11-03

Bauindustrie	Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.: “Roadmap Wiederverwendung von Bauprodukten”, URL: <a href="https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Media/Veroeffentlichungen/Wiederverwendung_Bauprodukte_Roadmap.pdf">https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Media/Veroeffentlichungen/Wiederverwendung_Bauprodukte_Roadmap.pdf</a> , Stand: 2022-11-15
DIBt	DIBt: “Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)/ Allgemeine Bauartgenehmigung (aBG)”, URL: <a href="https://www.dibt.de/de/wir-bieten/zulassungen-etas-und-mehr/abz-abg">https://www.dibt.de/de/wir-bieten/zulassungen-etas-und-mehr/abz-abg</a> , Stand: 2023-12-12
EEA	European Environment Agency (EEA): “Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy”, URL: <a href="https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges">https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges</a> , Stand: 2020-01-16
ETA Database	ETA Database, URL: <a href="https://www.eota.eu/etassessments?filter1=9&amp;filter1_search=170005-00-0305&amp;filter2=1&amp;filter2_search=&amp;filter3=1&amp;filter3_search=#etas-results">https://www.eota.eu/etassessments?filter1=9&amp;filter1_search=170005-00-0305&amp;filter2=1&amp;filter2_search=&amp;filter3=1&amp;filter3_search=#etas-results</a> , Stand: 2024-01-31
Gamle Mursten	Gamle Mursten: “CE-Kennzeichnung von alten Ziegeln”, URL: <a href="https://gamlemurstentech.dk/de/urban-mining-3/ce-kennzeichnung-von-alten-ziegeln/">https://gamlemurstentech.dk/de/urban-mining-3/ce-kennzeichnung-von-alten-ziegeln/</a> , Stand: 2024-01-31
Statistisches Bundesamt	Statistisches Bundesamt (Destatis): “Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre Abfallsorten”, URL: <a href="https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/_tabellen-innen-abfallentsorgung.html">https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/_tabellen-innen-abfallentsorgung.html</a> , Stand: 2023-07-24

# Anhang 1 - Leitfaden zur Wiederverwendung von Mauerziegeln

## Einleitung

Eine grundlegende Herausforderung bei der wirtschaftlichen Gestaltung der Wiederverwendung gebrauchter Mauerziegel ist die Vielzahl der Beteiligten an der Wertschöpfungskette Bau. Während die gesellschaftliche Zielvorgabe einer zirkulären und nachhaltigen Bauwirtschaft als übereinstimmender Rahmen besteht, unterscheiden sich individuelle Ziele und daraus resultierende Maßnahmen der einzelnen Beteiligten. Dies führt in Summe dazu, dass bisher trotz grundlegender Machbarkeit kein Stoff- und Energiekreislauf für Mauerziegel entsteht.

Die größte technische Herausforderung sind fehlende effektive Prozesse zur Gewinnung wiederverwendbarer Mauerziegel. Zusätzlich bestehen rechtliche sowie regulatorische Unsicherheiten. In Folge führt das auch zu verhaltensorientierten Blockaden, weil zum Beispiel durch fehlende Erfahrungen und Regelwerke auf konventionelle und bekannte Verfahren gesetzt wird, die nicht den notwendigen Ansprüchen an Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit entsprechen.

Im nachfolgenden Leitfaden werden daher Planungs- und Ausführungshinweise zusammengetragen, um den notwendigen Rahmen für die Etablierung wirksam nachhaltiger Wiederverwendungsprozesse im Mauerwerksbau zu definieren. Der Aufbau des Leitfadens richtet sich dabei nach dem tatsächlichen Prozessablauf der Wiederverwendung von gebrauchten Mauerziegeln.

## Anwendungsbereich

Dieser Leitfaden gilt für historische Vollziegel, die bis ca. 1950 ohne Vorhandensein einer Mauerziegel-Norm hergestellt wurden.

Der Begriff des Mauerziegels wird gemäß DIN EN 771-1:2015-11 Abs. 3.2 wie folgt definiert: "Mauerstein, der aus Ton oder anderen tonhaltigen Stoffen mit oder ohne Sand, Brennstoffen oder anderen Zusätzen hergestellt ist und bei einer ausreichend hohen Temperatur gebrannt wird, um einen keramischen Verbund zu erzielen". In der Literatur sind Synonyme wie Backstein, Mauerstein, Ziegelstein etc. zu finden, in diesem Leitfaden wird zur Vereinfachung ausschließlich der Begriff "Mauerziegel" verwendet. Darüber hinaus werden lediglich **Vollziegel** betrachtet, die die DIN 20000-401:2017-01 in Abs. 3.1 wie folgt definiert: "Mauerziegel, dessen Querschnitt durch Lochung senkrecht zur Lagerfläche bis 15 % gemindert sein darf oder Mulden aufweist, deren Anteil höchstens 20 % bezogen auf das Volumen der Ziegel betragen darf". Darüber hinaus werden in diesem Forschungsprojekt nur **historische Mauerziegel** betrachtet, die bis ca. 1950 (vor Einführung der ersten Mauerwerksnorm) hergestellt wurden. Die Festlegungen werden damit begründet, dass ein Großteil der vor 1950 verwendeten Mauerziegel Vollziegel sind, die sich durch die Verbindung mit Kalkmörtel besonders für die Wiederverwendung eignen.

Wird in diesem Forschungsbericht von "Wiederverwendung" gesprochen, ist dabei die erneute Verwendung eines Produktes entsprechend seines ursprünglichen Zweckes in seiner originären Produktgestalt gemeint. Darüber hinaus bleibt die ursprüngliche

Zusammensetzung erhalten und das Produkt wird entweder direkt oder nach einer Vorbehandlung (Säuberung oder Reparatur) wieder eingebaut.

Der Fokus der Wiederverwendung sollte auf Gebäuden mit einer größeren Menge an potentiell wiederverwendbarem Ziegelmaterial liegen. Vor allem Bestandsgebäude, die vor 1950 errichtet und offensichtlich nicht oder nur partiell saniert wurden, sind prädestiniert für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen wie Mauerziegeln. Sie enthalten oft noch wertvolle, handwerklich gefertigte Baustoffe und wenig Verbundwerkstoffe oder Klebeverbindungen. Gebäude, in denen eine bestimmte Bauweise den Rückbau begünstigt, z.B. Ziegelausfachungen im Stahlfachwerk alter Hallen, können ebenso als gute Basis für einen Rückbau zur Wiederverwendung angesehen werden.

Gebrauchte Mauerziegel können sowohl in tragenden als auch nicht tragenden Konstruktionen wiederverwendet werden, beispielsweise als vorgehängte-hinterlüftete Fassadenbekleidung, für gemauerte Innen- und Außenwände, als Bodenbelag oder dekorative Bauteile. Sie können sowohl im Neubau als auch in der Sanierung Anwendung finden.

In diesem Forschungsbericht wird aufgrund der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum genutzt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass damit Menschen aller Geschlechter gemeint sind und niemand dadurch benachteiligt oder ausgeschlossen werden soll.

## **Inhaltsverzeichnis**

1 Prozessablauf.....	3
2 Voruntersuchung.....	3
2.1 Bestandsaufnahme.....	3
2.2 Prüfung auf Schadstoffe.....	5
3 Prüfung auf Verwendbarkeit.....	8
4 Druckfestigkeit des Mauerwerkes.....	14
5 Planung des Rückbaus.....	16
6 Rückbau und Aufbereitung.....	17
6.1 Rückbau.....	17
6.2 Reinigung und Aufbereitung.....	20
6.2.1 Trockene Verfahren.....	21
6.2.2 Nasse Verfahren.....	23
7 Wiedereinbau und Design for Re-Use.....	23
7.1 Konventioneller Wiedereinbau.....	25
7.2 Design for Re-Use.....	26
Literaturverzeichnis.....	28

# 1 Prozessablauf

Der Prozessablauf bei der Wiederverwendung von Mauerziegeln kann wie folgt aussehen:

1. Voruntersuchung  
inkl. Bestandsanalyse und Großaufnahme der Bauteilsubstanz, Prüfung der technischen, logistischen und rechtlichen Rahmenbedingungen, Zustandsbeurteilung, Prüfung auf Schadstoffe
2. Prüfung auf Verwendbarkeit  
inkl. Materialprüfungen & Deklaration
3. Bemessung des Mauerwerkes  
inkl. Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit
4. Planung des Rückbaus  
inkl. Erstellung einer Stückliste, Kostenkalkulation, Erstellung eines Demontage- und Verwendungskonzeptes, Ausschreibung & Vergabe
5. Selektiver Rückbau
6. Reinigung und Aufbereitung
7. Wiedereinbau

## 2 Voruntersuchung

### 2.1 Bestandsaufnahme

Um Mauerziegel ohne Bedenken und gefahrungsfrei wiederverwenden zu können, ist eine vollständige und gründliche Bestandsaufnahme Voraussetzung. Den vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) sowie dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) herausgegebenen "Baufachlichen Richtlinien Recycling" können Handlungsempfehlungen in Form von Checklisten, Übersichtstabellen und Arbeitsblättern für diese Bestandsaufnahme entnommen werden. Für die Wiederverwendung von Mauerziegeln sind dabei besonders die folgenden Anhänge relevant:

1. A-2.1 Checklisten/ Arbeitsblätter zur Bestandsaufnahme und Erstbewertung baulicher Anlagen
2. A-2.2 Handlungs- und Planungshilfen zur Untersuchung der Bausubstanz baulicher Anlagen
3. A-3 Schadstoffe in der Bausubstanz

Neben der Sichtung aller Planunterlagen ist die technische Untersuchung des rückzubauenden Gebäudes relevant, um Abfall- und Materialmengen abschätzen und ggfs. auch Schadstoffe identifizieren zu können.

### **Erfassung des Bestandes**

Zur Bestandserfassung gehört neben der Sichtung von Archivmaterial wie, Bauplänen, Statik, vorhandenen Gutachten, Genehmigungen und sonstigen Dokumenten der Wartungs- und Nutzungsdokumentation vor allem die eingehende Begutachtung des Gebäudes und der zur Wiederverwendung vorgesehenen Baustoffe im eingebauten Zustand vor Ort. Diese erfolgt in der Regel durch ein von der Bauherrschaft beauftragtes Rückbauunternehmen. Das Ziel der Bestandserfassung ist die Ermittlung und Nachvollziehbarkeit der ursprünglichen Bauweise, der im Laufe der Jahre erfolgten Sanierungsarbeiten sowie der allgemeinen Historie des Bauwerkes. Diese lässt Rückschlüsse auf die verwendeten Baustoffe und Verbindungsmaterialien, auch hinsichtlich ihrer Schadstoffhaltigkeit, zu. [1] Im Fall der Wiederverwendung von Mauerziegeln spielt auch die Einbindung in das statische Gefüge eine Rolle und kann bereits erste Hinweise auf die statische Funktionsfähigkeit bzw. Belastbarkeit des Ziegelmaterials geben. Für die Bestandsaufnahme ist es sinnvoll, Musteraufnahmebögen zu erstellen, in denen die wiederzuverwendenden Materialien nach Eigenschaften, Alter, Schadstoffbelastung etc. klassifiziert und aufgelistet werden. Bauteilbörsen und Baustoffhändler könnten zukünftig eine größere Rolle in diesem Prozess spielen und die Durchführung der Maßnahme mit dem Abbruchunternehmer abstimmen sowie deren Einhaltung überwachen und kontrollieren. [1]

### **Verantwortlichkeiten und Baurecht**

Verantwortlich für die Einleitung des Rückbauprozesses ist der jeweilige Eigentümer der für den Rückbau vorgesehenen Immobilie bzw. die Bauherrschaft. Abhängig von den Landesbauordnungen und der Art und des Umfangs der anvisierten Maßnahmen unterliegt der Rückbau oder auch Teilrückbau eines Gebäudes meist keiner Genehmigungspflicht. Oft besteht gerade für die Gebäudeklassen 1 bis 3 lediglich eine Anzeigepflicht.

Ist eine Rückbaugenehmigung notwendig, kann ein formelles Verfahren zur Einholung einer Rückbaugenehmigung (bspw. bei einem denkmalgeschützten Gebäude) mehrere Wochen bis Monate in Anspruch nehmen und hohe Gebühren für Antragstellung und Prüfung mit sich bringen. Durch die Bauherrschaft müssen in diesem Zuge Entwurfsverfasser, Unternehmer und Bauleitung der Maßnahme benannt werden. Die gesamte Planungs-, Überwachungs- und Entsorgungsverantwortung liegt ebenfalls bei der Bauherrschaft bzw. dem Eigentümer.

### **Verfahren bautechnischer Untersuchungen**

Um den Zustand einer Mauerwerkswand beurteilen zu können, muss mehr als eine optische Bewertung des Bauteils erfolgen. Eingehende Analysen auch vom "Kern" der Wand sind sinnvoll, um beurteilen zu können, ob sich die Mauerziegel zur Wiederverwendung eignen und die Rückbaumaßnahmen entsprechend angepasst werden müssen. Hierzu können folgende Methoden der Tabelle 1 angewandt werden:

Trockene und zerstörungsfreie Verfahren		Bauchemische Untersuchungen			
Wandaufbau, Hohlräume, Risse etc.	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt		Salzgehalt	
		Baustelle	Labor	Baustelle	Labor
Radar	Rückprallhammer	Feuchtemessgerät	Darrmethode	Schnelltests mit Teststreifen (Sulfat-, Nitrat-, Chlorid-Test mit Indikatorstäbchen)	Ionenchromatografie (IC)
Ultraschall		Karsten Röhren (Absorptionsmessung)	Neutronenstabsonde		Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
Infrarotthermografie					Röntgendiffraktometrie
Endoskopie					

Tabelle 1: Methoden zur Mauerwerksuntersuchung (nach [2] und [3])

Mit den trockenen und zerstörungsfreien Verfahren können Vormauerungen, mehrschalige Wandaufbauten, Hohlräume aber auch Verfüllungen und Risse nachgewiesen werden. Auch Schäden, die sich durch die Nutzung ergeben haben, zum Beispiel Verformungen durch besondere Lasteinwirkungen, können auf diese Weise untersucht werden.

Bauphysikalische Eigenschaften wie Feuchte- und Salzgehalte der Mauerziegel müssen nach Probenahme der Mauerziegelsubstanz mittels chemischer Untersuchungsmethoden analysiert werden. Die Durchführung der Analysen wird von Mineralogen, Kristallographen, Geologen und Chemikern in darauf spezialisierten Instituten vorgenommen. [2]

Bei der Auswahl der Eignung von Mauerziegeln zur Wiederverwendung ist die Beachtung von Materialkennwerten wie Porosität und Druckfestigkeit von großer Bedeutung. Dies gilt vor allem beim Einfügen von gebrauchten Mauerziegeln in bestehende Mauerwerksverbände, bspw. zur Ergänzung von Bauteilen. Dabei sollten die Kennwerte des Ziegelmaterials und des zu verwendenden bzw. des bestehenden Putzmörtels bekannt sein bzw. sollten diese kompatibel sein, damit eine dauerhafte Verträglichkeit der Baustoffe gewährleistet ist. [2] Die Prüfung auf Verwendbarkeit wird in [Kapitel 3](#) näher beschrieben.

## 2.2 Prüfung auf Schadstoffe

Im Zuge der Bestandsaufnahme für eine Wiederverwendung von Baustoffen müssen Gebäude, insbesondere bei optischen Auffälligkeiten (z.B. Verfärbungen, Verschmutzungen etc.) und bei Auffälligkeiten in dem gesichteten Dokumentationsmaterial (z.B. dokumentierte Brände, Hochwasser, Nutzung des Gebäudes als Lagerstätte, Stall, Produktionsstätte, Tankstelle, ehemalige militärische Anlagen etc.), auf Schadstoffe untersucht werden. Aufgrund dessen soll im Folgenden auf konkrete potentielle Schadstoffe in gebrauchten Mauerziegeln und deren Herkunft eingegangen werden.

Die Baufachliche Richtlinie Recycling unterteilt Schadstoffe in gebrauchten Bauteilen wie folgt:

1. Baustoffimmanent: Schadstoffe, die durch die Herstellung des Produktes und seiner Bestandteile sowie Zuschlagstoffe entstehen.
2. Nutzungsbedingt: Schadstoffe, die durch die objektspezifische Nutzung in das Bauteil gelangen. Dies ist beispielsweise in Tankstellen oder Werkstätten der Fall.
3. Umweltbedingt: Schadstoffe, die durch die Luft in das Bauteil gelangen, oder baubiologische Schädigungen wie Pilze oder Hausschwamm.
4. Sonderfälle: Schadstoffe, die durch Extremereignisse wie Brände oder Hochwasser in das Bauteil gelangen. (vgl. Baufachliche Richtlinie Recycling, 2018, S. 44)

Eine umfangreiche Übersicht über mögliche Schadstoffe in Bauteilen und deren Wirkung gibt der Anhang A-3.2 der Baufachlichen Richtlinie Recycling. Im Folgenden werden die wichtigsten Schadstoffe in gebrauchten Mauerziegeln fokussiert.

**Baustoffimmanente Schadstoffe** in den Ausgangsstoffen Ton oder Lehm waren in Mauerziegeln nicht üblich. Vielmehr können Mauerziegel **nutzungsbedingt** belastet worden sein. Typische nutzungsbedingte Schadstoffe sind leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), welche in Löse- und Entfettungsmitteln enthalten sind, oder Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW). Letztere sind vor allem in Werkstätten zu erwarten, wo Benzin, Schmieröl oder Heizöl in die Bausubstanz eindringen konnte. Sichtbar sind diese Art von Schadstoffen an Mauerziegeln beispielsweise durch dunkle Verfärbungen, Ölgeruch, starke Staubanhaftungen oder abperlendes Wasser. Mauerziegel, die diese Schadstoffe enthalten, sollten nicht wiederverwendet werden, da sie bei erneuter Nutzung weiterhin Schadstoffe ausdünsten können. Auch durch Maßnahmen im Gebäudebetrieb wie Reinigung oder Schädlingsbekämpfung können Schadstoffe in das Mauerwerk gelangt sein. [4]

Ein Schadstoff, der **umweltbedingt** und über andere Materialien an gebrauchte Mauerziegel gelangen kann, ist Asbest. Dieser wurde bis zum Verwendungsverbot 1992 in einer Vielzahl von Bauteilen eingesetzt, wie beispielsweise in Spritzmassen oder Isolierputzen für den Brandschutz. Auch über Mörtel oder Materialien zur Wärmeisolation, wie Fugen und Verfüllungen, können Mauerziegel mit Asbest in Kontakt gekommen sein. [4] Es ist allerdings davon auszugehen, dass Bauteile aus Gebäuden, die mit Asbest kontaminiert waren, gar nicht erst für die Wiederverwendung in Frage kommen, da dort erhöhte Sicherheitsmaßnahmen beim Rückbau eingehalten werden müssen. So sollten auch Mauerziegel in der Regel nicht aus kontaminierten Gebäuden entnommen worden sein. Eine gezielte Prüfung der Mauerziegel auf Asbest ist deswegen nicht zwingend notwendig.

Auch Schadstoffe aus Holzschutzmitteln können an gebrauchten Mauerziegeln auftreten. Durch die Nähe zu mit Holzschutzmitteln behandelten Bauteilen wie Fachwerk, Fenstern oder Dachstühlen können Schadstoffe wie Lindan, PCP (Pentachlorphenol) oder PCB (Polychlorierte Biphenyle) in das Mauerwerk eindringen. PCB wurde beispielsweise auch in Fugenmassen verwendet. Durch das Verdampfen des PCB über die Jahre konnte es sich in der Luft anreichern und anschließend Oberflächen wie unverputzte Ziegelwände belasten. Der Schadstoff PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) ist beispielsweise in Bitumenanstrichen verwendet worden. Dieser sogenannte Schwarzanstrich musste oft verdünnt vorgestrichen werden, sodass das PAK tief in das Mauerwerk eindringen konnte. [4]

Biologisch bedingte Schadstoffe treten häufig in Gebäuden auf, die über längere Zeit leer standen. Oftmals wurden diese Gebäude von Tauben oder anderen Tieren bewohnt, welche Erreger und Parasiten über den Kot mit in die Bausubstanz bringen konnten. Auch Schimmelpilze sind biologisch bedingte Schadstoffe, die im Mauerwerk und an den anliegenden Bauteilen auftreten können. Eine besonders aggressive Form ist der Hausschwamm, ein in Holzbauteilen auftretender Pilz, der das von ihm befallene Holz vollständig zerstören kann und damit die statische Tragfähigkeit von Holzbauteilen beeinträchtigt. Da der Hausschwamm auch anorganisches Material wie Mauerziegel über- oder durchwachsen kann sind alle betroffenen Bauteile umfassend, großflächig und unter speziellen Sicherheitsvorkehrungen<sup>1</sup> zurückzubauen. In einigen Bundesländern besteht zudem eine Meldepflicht beim zuständigen Gesundheitsamt. Daher sind nicht nur die unmittelbar vom Hausschwamm befallenen Mauerziegel von einer Wiederverwendung ausgeschlossen, sondern auch augenscheinlich intakte Mauerziegel angrenzender Bauteile. [5]

Auch Mauerziegel, die aus Viehställen stammen, können befallen sein mit biologischen Schadstoffen aus Urin und Kot der Tiere. Die Wiederverwendung von mit Schimmel befallenen Mauerziegeln oder Mauerziegeln, die aus Viehställen kommen, sollte demnach möglichst vermieden werden. Das Einatmen der Schimmelpilzsporen kann bereits bei der Probenahme oder dem Rückbau der Mauerziegel ein Gesundheitsrisiko darstellen und beim Menschen zu Krankheiten und Allergien führen. [4]

Auch die Geschichte eines Gebäudes kann Aufschluss über mögliche Schadstoffe im Mauerwerk geben. Kam es beispielsweise zu **außergewöhnlichen Ereignissen** wie Hochwasser oder Bränden, ist ein besonderes Augenmerk auf die Schadstoff Erprobung zu legen. Durch Hochwasser können nicht nur Feuchtigkeit, sondern auch Schadstoffe, Heizöl, Fäkalien oder Schimmelpilze in das Mauerwerk gelangt sein. Wo Feuchtigkeit eindringen konnte, ist mit einer Salzbelastung im Mauerziegel zu rechnen, die strukturschwächend wirken kann. [6] Heizöl kann ebenfalls tief in das Mauerwerk eingedrungen sein und durch die kapillare Saugkraft der Mauerziegel auch oberhalb des Wasserstandspiegels auftreten. An Mauerziegeln ist das Heizöl meist durch dunkle Flecken oder einen öligen Geruch erkennbar. Auch Fäkalkeime können durch Hochwasser in die Mauerziegel eingedrungen sein. Sollten die befallenen Mauerziegel nicht bereits direkt nach dem Hochwasserschaden beseitigt worden sein, sind sie spätestens beim Rückbau auf mögliche Einlagerungen zu prüfen. [7]

Schadstoffe, die durch Brände entstehen, sind beispielsweise Kohlenmonoxid (CO), Ruß, Salzsäure (HCl) und Blausäure (HCN), je nach den am Brand beteiligten Materialien. Diese Schadstoffe können sich im Mauerwerk absetzen und somit in gebrauchten Mauerziegeln auftreten. Darüber hinaus bringt Löschwasser eine große Menge an Feuchtigkeit in das Gebäude, was zur Auslaugung von Schadstoffen und zu Salzbelastung im Mauerwerk führen kann. (vgl. Baufachliche Richtlinie Recycling, 2018, S. 48) Im besten Fall werden diese Brandschäden bereits kurzfristig nach dem Ereignis behoben. Ist bekannt, dass es in der Geschichte eines rückgebauten Gebäudes einen Brandfall gab, sollten die

---

<sup>1</sup> Maßgebend sind die DIN 68800-1, DIN 68800-4 & WTA-Merkblatt 1-2 „Der Echte Hausschwamm“, Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB – Teil B) und die Vorschriften der Bauordnungen der Bundesländer [5]

entnommenen Baustoffe vor der Wiederverwendung auf mögliche Schadstoffe untersucht werden.

Die Beprobung muss durch einen ausgebildeten Schadstoffgutachter stichprobenartig an allen vermutlich belasteten Bauteilen durchgeführt werden, auch wenn diese zur Entsorgung und nicht zur Wiederverwendung vorgesehen sind. Die Ergebnisse werden in das Demontage- und Entsorgungskonzept aufgenommen. Ist an kritischen oder unübersichtlichen Stellen eine zerstörungsfreie Probenentnahme nicht möglich, sollten Konstruktionen geöffnet werden. Je nach vermutetem Schadstoff werden die Proben durch:

- Abklopfen, Abschlagen, Abstemmen (Mauerziegel),
- Auskratzen (Fugen, Putz),
- Abwischen (Ruß, Taubenkot, Feinstaub) oder
- Raumluftproben (Sporen, Keime, luftgetragene Fasern)

entnommen. Während der Entnahme und ggfs. weiteren Untersuchungen vor Ort ist auf die Einhaltung des Arbeitsschutzes zu achten. Die Untersuchung verdächtigen Materials sollte, wie die Beprobung auf Feuchte- oder Salzgehalte auch, im Labor stattfinden, was z.B. in Umweltlaboren, beim TÜV - oder in Hygieneinstituten erfolgen kann.

Zu beachten ist: Auch wenn umfangreiche Probenentnahmen stattgefunden haben, kann niemals eine vollständig gesicherte Aussage über die vorhandenen Schadstoffe und Mengen getroffen werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass unzugängliche Bereiche nicht beprobt werden können oder schriftliche Dokumentationen (z.B. über vorherige Nutzungen) lückenhaft sind. (vgl. Baufachliche Richtlinie Recycling, 2018, S. 44 ff.) Die Ergebnisse der Schadstoffanalysen sind Teil der Beurteilung zur Verwendbarkeit des Rückbaumaterials.

### 3 Prüfung auf Verwendbarkeit

#### **Rechtlicher Hintergrund**

Die Prüfung der Verwendbarkeit von gebrauchten Mauerziegeln ist von Relevanz, wenn die Erfüllung bauordnungsrechtlicher Anforderungen abgesichert sein muss. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Mauerziegel in tragenden Konstruktionen eingesetzt werden sollen. Spielt der gebrauchte Mauerziegel nur eine untergeordnete Rolle für bauordnungsrechtliche Anforderungen, wird er beispielsweise nur dekorativ als Bodenbelag oder in nicht tragenden Wänden ohne weitere Anforderungen genutzt, ist die Prüfung auf Verwendbarkeit nicht zwingend notwendig. [8] Eine Prüfung auf gefährliche Stoffe sollte allerdings in jedem Fall stattfinden.

Dieser Leitfaden fokussiert sich auf die Wiederverwendung von Vollziegeln. Gebrauchte Vollziegel, die in den Anwendungsbereich der DIN EN 771-1 fallen, können auch anhand dieser deklariert werden. Die Prüfung der Mauerziegel erfolgt anhand der Prüfverfahren, auf die in der Norm verwiesen wird. Auf eventuelle Anpassungen hinsichtlich der Prüfkörper wird im weiteren Verlauf eingegangen.

Für gebrauchte Mauerziegel, die nicht in einer harmonisierten Norm geregelt werden, ist ein Verwendbarkeitsnachweis notwendig. Dafür gibt es verschiedene Optionen. Auf europäischer Ebene für den EU-weiten Vertrieb der Mauerziegel kann eine ETA

(“Europäisch Technische Bewertung” bzw. “European Technical Assessment”) durchgeführt werden, die die Grundlage für eine CE-Kennzeichnung darstellt. Für gebrauchte Mauerziegel ist dabei das EAD (“European Assessment Document”) 170005-00-0305 “Re-Cycled Clay Masonry Units” maßgebend, welches auf der Produktdeklaration nach EN 771-1 und den dazugehörigen Prüfverfahren basiert. Erhalten gebrauchte Mauerziegel nach EAD 170005-00-0305 eine CE-Kennzeichnung, müssen für die Verwendung in tragenden Konstruktionen in Deutschland die Werte der Leistungsbeschreibung der Mauerziegel mit den Anforderungen aus DIN 20000-401 abgeglichen werden. Ist eine Übereinstimmung gegeben, können die Mauerziegel in Deutschland auch in tragenden Konstruktionen verwendet werden.

Die Alternative dazu ist der nationale Verwendbarkeits- bzw. Anwendbarkeitsnachweis in Form einer allgemeinen bauaufsichtliche Zulassung (abZ) mit werkseigener Produktionskontrolle (WPK) und Fremdüberwachung (FÜ) in Kombination mit einer allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) oder im Falle eines konkreten Bauvorhabens eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) in Kombination mit einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (vBG).

### **Materialprüfung**

Die Materialprüfung ist zentraler Bestandteil der Prüfung auf Verwendbarkeit. Für Vollziegel nach DIN EN 771-1 sind die notwendigen Materialprüfungen festgelegt. Wird eine ETA durchgeführt, sind die Prüfkriterien in EAD 170005-00-0305 auf Grundlage der EN 771-1 beschrieben. Für eine Zulassung in Deutschland (in Form von ZiE, abZ usw.) erfolgt die Prüfung in der Regel mit Hilfe eines Prüfplans in Anlehnung an DIN EN 771-1, wobei nicht alle Materialeigenschaften aus der Norm relevant für die Wiederverwendung sein müssen. Darüber hinaus spielt der geplante Verwendungszweck, zum Beispiel der Einsatz in einem geschützten<sup>2</sup> oder ungeschützten<sup>3</sup> Mauerwerk, eine entscheidende Rolle für die Auswahl der zu prüfenden Eigenschaften. Mauerziegel in ungeschütztem Mauerwerk sind der Witterung ausgesetzt und müssen daher erhöhte Anforderungen an Wasseraufnahmefähigkeit und Frostwiderstand erfüllen. Da zur Zeit noch keine einheitlichen Regelungen für die Prüfung von gebrauchten, nicht der Norm entsprechenden Mauerziegeln existieren, werden die Prüfpläne für jedes Bauvorhaben (z.B. im Falle der ZiE von den jeweiligen Prüfinstituten) neu bzw. individuell erstellt. Zur Vereinheitlichung des Verfahrens und damit der Vereinfachung der Wiederverwendung wurde in diesem Leitfaden ein Versuch unternommen, die wichtigsten Eigenschaften für die Materialprüfung zusammenzustellen.

Aufbauend auf DIN EN 771-1 und EAD 170005-00-0305 “Re-Cycled Clay Masonry Units” sind in Tabelle 2 die folgenden Eigenschaften zur Prüfung an gebrauchten Mauerziegeln für die Wiederverwendung identifiziert worden.

---

<sup>2</sup> laut DIN EN 771-1:2015:11, 3.3: Mauerwerk, das gegen eindringendes Wasser geschützt ist und keinen Kontakt zum Boden oder zum Grundwasser hat.

<sup>3</sup> laut DIN EN 771-1:2015:11, 3.4: Mauerwerk, das Regen, Frost oder Tau ausgesetzt sein kann und/oder sich ohne einen geeigneten Schutz in Kontakt mit Boden oder Grundwasser befinden kann.

Eigenschaft bzw. Kennwert	Prüfnorm bzw. -vorschrift	Relevant bei Einsatz in ... Mauerwerk		Mindest Prüfkörper Anzahl
		geschützte m (P-Ziegel)	un-geschützte m (U-Ziegel)	
Maße	DIN EN 772-16 Messverfahren a) oder b) (abhängig von Maßen)	x	x	10
Rohdichte in Form der Brutto-Trockendichte	DIN EN 772-13	x	x	10
Druckfestigkeit in Form der mittleren Steindruckfestigkeit	DIN EN 772-1 mit Konditionierung gemäß 7.3.2 b) (Statistische Auswertung möglichst gemäß WTA Merkblatt 7-4)	x	x	20
Frostwiderstand	Anhang A EAD 170005-00-0305 "Re-Cycled Clay Masonry Units"		x	10
Anfängliche Wasseraufnahme	DIN EN 772-11		x	10
Gehalt an aktiven löslichen Salzen	DIN EN 772-5 Methode 5.2 (Instrumentelles Verfahren Atomabsorptions- spektrometrie (AAS) und Flammenphotometrie)		x	10
Brandverhalten	DIN EN 13501-1 (nur relevant, wenn Mauerziegel in Bauteilen mit Brandschutzanforderungen eingebaut werden sollen)	(x)	(x)	10
Verbundfestigkeit in Form der charakteristischen Anfangs-Scherfestigkeit	DIN EN 1052-3	x	x	20
Loch- und Nettovolumen sowie prozentualer Lochanteil	DIN EN 772-9 (für die Deklaration als Vollziegel gilt, dass ein Lochanteil von maximal 15% vorliegen darf)	x	x	10
Gefährliche Stoffe	Je nach Schadstoffverdacht, siehe <a href="#">Kapitel 2.2 "Prüfung auf Schadstoffe"</a>	x	x	10

Tabelle 2: Eigenschaften zur Deklaration gebrauchter Mauerziegeln

Je nachdem, in welchem Rahmen die Materialprüfung durchgeführt wird, können die zu prüfenden Eigenschaften variieren. Lässt beispielsweise ein Baustoffhändler seine Mauerziegel für eine Deklaration nach DIN EN 771-1 prüfen, ist die zukünftige konkrete Nutzung noch nicht bekannt. Es wäre also von Vorteil für ihn, ein möglichst breites Spektrum an Eigenschaften zu prüfen, damit seine Ziegel für unterschiedlichste Anwendungen in Frage kommen. Eine zusätzliche Unterscheidung in Mauerziegel für geschütztes und ungeschütztes Mauerwerk zum Verkauf erscheint sinnvoll.

Wenn die Materialprüfung für ein bestimmtes Projekt stattfindet und beispielsweise zu einer Zustimmung im Einzelfall führen soll, kann ebenfalls anhand der Rahmenbedingungen des Projektes abgeschätzt werden, welche Materialeigenschaften von Relevanz für die spätere Nutzung sein werden. Die hier erstellte Tabelle 2 kann dafür als Grundlage dienen.

### **Anzahl der Prüfkörper**

Die Probenahme für die Materialprüfung kann nach den Vorgaben aus Anhang A von DIN EN 771-1 erfolgen. So sind beispielsweise die Mauerziegel zur Prüfung einer Charge aus nicht mehr als 20 m<sup>3</sup> zurückgebautem Material zu entnehmen. Eine Charge sollte dabei Mauerziegel vergleichbarer Eigenschaften wie Herkunft, Format, Farbe beinhalten. Gebrauchte Mauerziegel weisen allerdings mit großer Wahrscheinlichkeit größere Materialstreuungen auf, weswegen die Anzahl der Prüfkörper möglichst groß (bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit) sein sollte.

Die Mindestanzahl der Prüfkörper nach DIN EN 771-1 kann der Tabelle A.1 entnommen werden. Eine bessere Berücksichtigung der Materialeigenschaften von gebrauchten Mauerziegeln bietet allerdings das EAD 170005-00-0305. Dort ist festgelegt, dass mindestens 10 Mauerziegel für jede Eigenschaft, für die Verbundfestigkeit und die Druckfestigkeit mindestens 20 Mauerziegel, einer Charge zu prüfen sind. Die Verbundfestigkeit und die Druckfestigkeit sind von besonderer Bedeutung bei der Wiederverwendung für tragende Konstruktionen. Da die Eigenschaften der gebrauchten Mauerziegel stark variieren können, wird durch die Erhöhung von 10 auf 20 Prüfkörper ein verlässlicheres Ergebnis erzielt. Es wird deswegen empfohlen auch bei Vollziegeln, die nach DIN EN 771-1 deklariert werden können, eine höhere Prüfkörperanzahl für die Druckfestigkeit und die Verbundfestigkeit zu wählen. 20 bis 30 Prüfkörper scheinen je nach erwartbarer Streuung eine ökonomisch vertretbare Richtzahl zu sein. Auf diese Weise erhalten Händler bzw. Hersteller gebrauchter Mauerziegel eine größere Sicherheit über die Materialeigenschaften, für die sie Verantwortung übernehmen.

Soll im Rahmen einer werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) eine kontinuierliche Prüfung erfolgen, sollten zusätzlich 24 Stück alle 20.000 Mauerziegel geprüft werden. Auf das Vorgehen der WPK wird hier nicht weiter eingegangen. Dieses ist im EAD 170005-00-0305 ausführlich beschrieben. Die Anforderungen an WPK und FÜ einer abZ sollten sich ebenfalls an den Vorgaben von EAD 170005-00-0305 orientieren.

### **Statistische Auswertung der Ergebnisse für die Steindruckfestigkeit**

Die Druckfestigkeit von Mauerziegeln wirkt sich maßgebend auf die Tragfähigkeit einer Mauerwerkswand aus und ist damit eine wichtige Eigenschaft für den Einsatz in tragenden Konstruktionen. Die Prüfung der Druckfestigkeit kann zwar, wie soeben beschrieben, nach dem Prüfverfahren gemäß DIN EN 772-1 erfolgen, allerdings sollte der größeren Streuung

der Materialeigenschaften Rechnung getragen werden, beispielsweise durch die Erhöhung der Prüfkörperanzahl oder die Anpassung der statistischen Auswertung der Prüfergebnisse.

Einen Ansatz für eine alternative statistische Auswertung bietet das WTA Merkblatt 7-4 "Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen".<sup>4</sup> Um die mittlere Steindruckfestigkeit von neuen Mauerziegeln zu berechnen, wird laut Norm das arithmetische Mittel aus allen Einzelwerten der Druckfestigkeit gebildet. Die Einzelwerte der Druckfestigkeiten der Mauerziegel dürfen gemäß DIN EN 771-1 nicht weniger als 80 % vom Mittelwert betragen. Kommt es zu Streuungen, wie sie bei gebrauchten Mauerziegeln zu erwarten sind, ist dieses Vorgehen aber weniger sinnvoll. Deswegen wird im Merkblatt 7-4 ein alternatives Vorgehen beschrieben. Um die Steindruckfestigkeit mithilfe des Merkblattes zu ermitteln, müssen die dort beschriebenen Vorgaben an die Mindest-Prüfkörperanzahl und den Prüfvorgang befolgt werden. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 772-1. Entgegen der im WTA-Merkblatt genannten Mindest-Prüfkörperanzahl von 6 Stück, sollten für eine Deklaration nach DIN EN 771-1 aber mindestens 10, für eine CE-Kennzeichnung nach EAD 170005-00-0305 mindestens 20 Prüfkörper, getestet werden.

Für die Berechnung der mittleren Steindruckfestigkeit wird laut WTA-Merkblatt bei ganzen Vollziegeln der Formfaktor  $f$  gemäß DIN 20000-401 Gl. 9, für alle anderen Vollziegel der Formfaktor gemäß Tabelle 4 aus DIN EN 772-1 genutzt. Aus den Einzelwerten kann dann das arithmetische Mittel der Prüferie und der Variationskoeffizient berechnet werden. Auffällig hohe oder niedrige Prüfergebnisse sollten anhand der Bruchbilder oder durch statistische Ausreißertest<sup>5</sup> überprüft werden. [9] Realistischerweise würden bei der Prüfung von gebrauchten Mauerziegeln aus Kostengründen diejenigen mit auffällig niedrigen Druckfestigkeiten aussortiert werden, ohne weitere Test zu unternehmen.

Die Vorgehensweise für die anschließende statistische Auswertung der Ergebnisse basiert auf der Berechnung des 5%-Quantils  $f_{st,5\%}$  nach DIN EN 1990 Anhang D. Diese findet in Abhängigkeit des Varianzkoeffizientens und der Anzahl der Prüfkörper statt und kann im Merkblatt detailliert nachvollzogen werden. Das 5%-Quantil  $f_{st,5\%}$  der Druckfestigkeit wird dabei als kleinster Einzelwert interpretiert und darf somit nicht weniger als 80 % der mittleren Steindruckfestigkeit  $f_{st}$  betragen. (vgl. DIN EN 771-1:2015-11, 5.2.4) Die mittlere<sup>6</sup> Steindruckfestigkeit  $f_{st}$  wird im Anschluss als kleinster Wert aus dem berechneten 5%-Quantil  $f_{st,5\%}$  durch 0,8 und dem arithmetischen Mittel der Einzelwerte ermittelt. Dies zeigt die folgende Gleichung anschaulich:

---

<sup>4</sup> Das Merkblatt kann angewendet werden für kleinformatige künstliche Steine, vor allem Ziegeln mit höchstens 15 % Lochanteil, wie Dünformat (DF), Normalformat (NF) und zweifaches Dünformat (2DF), Klosterformat, andere historische Formate sowie Kalksandsteinen und Leichtbetonsteinen (Bims) vergleichbarer Geometrie. Die dort beschriebene indirekte Methode zur Ermittlung der Steindruckfestigkeit ist gleichzusetzen mit der Prüfung an gebrauchten Mauerziegeln und kann somit für die Wiederverwendung angewendet werden. Über die Ermittlung der Druckfestigkeit hinaus gibt das Merkblatt eine Anleitung für die statistische Auswertung der Ergebnisse.

<sup>5</sup> zum Beispiel Ausreißertest nach Grubbs, vgl. DIN EN 13791:2020-02, 7.2

<sup>6</sup> Der Begriff der "mittleren" Steindruckfestigkeit kann hier zu Verwirrungen führen. Es ist der durch die Norm gegebene Begriff, der ebenfalls für die anschließende Bemessung von Mauerwerk verwendet wird. Im Falle der Berechnung über das 5%-Quantil ist die mittlere Steindruckfestigkeit aber nicht zwangsläufig gleichzusetzen mit dem arithmetischen Mittel.

$$f_{st} = \min \left\{ \frac{f_{st,5\%}}{0,8}; f_{st,m} \right\}$$

vgl. z. B. DIN EN 771-1: Einzelwerte dürfen 80% von  $f_{st}$  nicht unterschreiten

arithmetisches Mittel der Prüfergebnisse (nur bei kleiner Streuung relevant)

Abbildung 1: Berechnung der mittleren Steindruckfestigkeit gemäß WTA-Merkblatt 7-4 (Quelle: [10])

Die mittlere Steindruckfestigkeit  $f_{st}$  kann abweichend davon auch auf dem konventionellen Weg nach DIN EN 772-1 berechnet werden. Dann entspricht sie dem arithmetischen Mittel (oder auch 50%-Quantil) der Einzelwerte. Dies sollte allerdings nur bei Varianzen  $\leq 0,1$  angewendet werden. [9] Die Ermittlung der Steindruckfestigkeit nach EAD 170005-00-0305 erfolgt ebenfalls nach DIN EN 772-1, allerdings mit einer größeren Mindest-Prüfkörperanzahl. Gemäß EAD 170005-00-0305 soll die Steindruckfestigkeit ebenfalls als arithmetisches Mittel<sup>7</sup> der Einzelwerte angegeben werden. Der Hersteller gibt sowohl mit der CE-Kennzeichnung als auch mit der Deklaration nach DIN EN 771-1 die Garantie, dass die Einzelwerte der Druckfestigkeit mindestens 80% der mittleren Steindruckfestigkeit entsprechen.

Eine Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten der statistischen Auswertung gibt die folgende Tabelle.

Statistische Auswertung der Ergebnisse nach...	Bedingungen	Berechnung der mittleren Steindruckfestigkeit $f_{st}$
DIN EN 772-1	bei kleinen Varianzen $\leq 0,1$	Arithmetisches Mittel der Einzelwerte
WTA-Merkblatt 7-4	bei großen Varianzen ( $> 0,1$ )	5%-Quantil (in Abhängigkeit von Varianz und Prüfkörperanzahl) durch 0,8

Tabelle 3: Möglichkeiten der statistischen Auswertung der Einzelergebnisse bei der Berechnung der mittleren Steindruckfestigkeit  $f_{st}$

Bei einem nationalen Anwendbarkeits- bzw. Verwendbarkeitsnachweis, welcher für nicht genormte Mauerziegel in Deutschland notwendig ist, ist das Prüfverfahren durch das jeweilige Prüfinstitut festzulegen. Eine Ermittlung der Steindruckfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 772-1 (im Rahmen des Anwendungsbereiches) ist auch hier denkbar. Eine Berücksichtigung der Materialstreuung kann durch Erhöhung der Prüfkörperanzahl und/oder statistischer Auswertung nach WTA Merkblatt 7-4 stattfinden.

<sup>7</sup> bei einem 95% Vertrauensniveau, dies entspricht den Vorgaben aus DIN EN 771-1 für Mauerziegel der Kategorie I

## 4 Druckfestigkeit des Mauerwerkes

Für die Bemessung einer tragenden Mauerwerkswand aus gebrauchten Mauerziegeln wird die Druckfestigkeit des Mauerwerkes benötigt, welche sich aus der Mörteldruckfestigkeit und der Steindruckfestigkeit ableitet. Da die gebrauchten Mauerziegel in neuem Mauerwerk eingesetzt werden sollen, gehen wir hier davon aus, dass die Mörteldruckfestigkeit nach aktuellen Normen ermittelt bzw. deklariert wird.

Die Bemessung einer Mauerwerkswand bedarf umfangreicher Berechnungen. Der Einfachheit halber wird in den nächsten Absätzen nur auf die Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit eingegangen, da damit die Standsicherheit der Mauerwerkswand nachgewiesen wird.

Je nachdem, woher die gebrauchten Mauerziegel bezogen werden, ist die gewählte Methode zur Berechnung der deklarierten Steindruckfestigkeit bekannt oder nicht. Werden im Projektverlauf die Mauerziegel direkt aus einem rückgebauten Gebäude entnommen und im Rahmen des Projektes beispielsweise für eine ZiE geprüft, kann auf die Methode der Berechnung Einfluss genommen werden. In diesem Fall ist die Prüfung gemäß WTA-Merkblatt 7-4 zu empfehlen. Werden die Mauerziegel aber von einem Baustoffhändler erworben, hat dieser die Mauerziegel in der Regel auf die konventionelle Weise nach Norm geprüft und deklariert. Dann kann nicht automatisch von einer Berücksichtigung möglicher Materialstreuungen ausgegangen werden<sup>8</sup>. In diesem Fall kann im Rahmen der Bemessung der Mauerwerkswand gegengesteuert werden. Es wird deswegen im Weiteren unterschieden zwischen der Deklaration nach Norm, nach EAD 170005-00-0305 und für einen nationalen Anwendbarkeits-/Verwendbarkeitsnachweis. Einen Überblick über mögliche Vorgehensweisen bietet Abbildung 2.

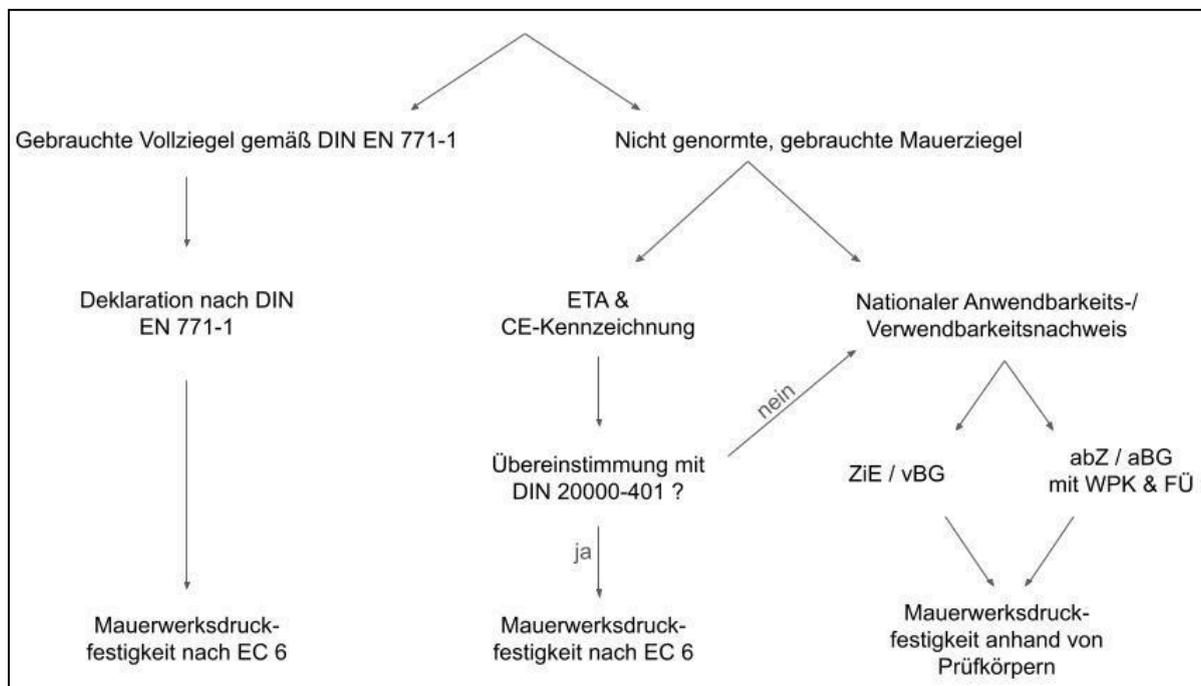


Abbildung 2: Mögliche Vorgehensweisen bei der Deklaration gebrauchter Mauerziegel

<sup>8</sup> Obwohl das für den Hersteller nur von Vorteil wäre. Er haftet für die Richtigkeit der in der Leistungserklärung deklarierten Werte.

### Mit Deklaration nach DIN EN 771-1 und Prüfung nach DIN EN 772-1

Wurde die mittlere Steindruckfestigkeit nach DIN EN 772-1 ermittelt, kann der Eurocode 6 zur Berechnung der charakteristischen Mauerwerk- Druckfestigkeit genutzt werden.

Für die Berechnung der charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit  $f_k$  nach DIN EN 1996-1-1:2013-02 (Eurocode 6) wird die Formel 3.1 herangezogen:

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

mit:

$f_k$	charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk in N/mm <sup>2</sup>
K, $\alpha$ , $\beta$	Konstanten nach Tabelle NA.6 oder NA.8 <sup>9</sup> aus DIN EN 1996-1-1:2013-02
$f_b$	normierte Mauersteindruckfestigkeit <sup>10</sup> in Lastrichtung N/mm <sup>2</sup>
$f_m$	Druckfestigkeit des Mauermörtels in N/mm <sup>2</sup>

Um anschließend den Bemessungswert der Mauerwerks-Druckfestigkeit  $f_d$  zu erhalten, ist die charakteristische Mauerwerks-Druckfestigkeit  $f_k$  mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  von 1,5 zu dividieren<sup>11</sup>. Darauf aufbauend kann das Mauerwerk für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Eurocode 6 bemessen werden.

Werden die gebrauchten Mauerziegel von einem Baustoffhändler, einer Baustoffbörse oder ähnlichem bezogen, ist die mittlere Steindruckfestigkeit vom Händler bzw. Hersteller in der Regel auf Grundlage von DIN EN 771-1 deklariert. Im besten Fall sollte der Händler mit angeben, inwiefern dabei eine Berücksichtigung der Materialstreuung beispielsweise durch Erhöhung der Prüfkörperanzahl stattgefunden hat. Ist dies nicht der Fall, kann dies in der Regel beim Händler abgefragt werden.

Wenn die Berechnung der mittleren Steindruckfestigkeit nicht nachvollzogen werden kann oder der Ausschluss einer großen Materialstreuung nicht möglich ist, bietet die Bemessung des Mauerwerks die Möglichkeit, eine Sicherheit einzubauen. Dies ist zum Beispiel möglich, indem der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  erhöht wird. Aktuell liegen allerdings noch keine wissenschaftlich begründeten Studien vor, die einen Vorschlag für einen Teilsicherheitsbeiwert für die Wiederverwendung vornehmen.<sup>12</sup> Aufgrund dessen ist der erhöhte Teilsicherheitsbeiwert vom Tragwerksplaner mithilfe von Erfahrungswerten abzuschätzen und in die Bemessung zu integrieren.

---

<sup>9</sup> Nur diese beiden Tabellen sind für Vollziegel geeignet.

<sup>10</sup> Berechnung nach DIN EN 772-1, Anhang A

<sup>11</sup> 1,5 gilt gemäß DIN EN 1996-1-1/NA Tabelle NA.1 für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation für unbewehrtes Mauerwerk aus Mauerziegeln der Kategorie I und Mörtel nach Eignungsprüfung oder Rezeptmörtel.

<sup>12</sup> Der Forschungsbericht "Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Mauerwerkswände im Bestand" (2021) gibt erste Ansätze dazu, allerdings wird dort von einer geringeren Ziel-Zuverlässigkeit als normalerweise ausgegangen, da dies bei Bestandsmauerwerk zulässig ist. [11] Da es in diesem Leitfaden aber um die Bemessung von neuem Mauerwerk aus gebrauchten Mauerziegeln geht, ist das dort beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte nicht übertragbar.

### **Mit CE-Kennzeichnung nach EAD 170005-00-0305**

Besitzen die gebrauchten Mauerziegel eine CE-Kennzeichnung, muss geprüft werden, ob die deklarierten Leistungsmerkmale mit den Anforderungen der DIN 20000-401 übereinstimmen. Wenn ja, können sie nach EC 6 (wie oben beschrieben) bemessen und in tragenden Konstruktionen eingesetzt werden. Die im Gegensatz zur DIN EN 771-1 höhere Anzahl der geforderten Prüfkörper (20 Stück) führt außerdem dazu, dass Materialstreuungen bereits an dieser Stelle berücksichtigt wurden. Die Bemessung mit einem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert ist nichtsdestotrotz denkbar und vom Tragwerksplaner abzuschätzen.

### **Für nationale Anwendbarkeits-/Verwendbarkeitsnachweis**

Handelt es sich um Mauerziegel, die nicht nach DIN EN 771-1 deklariert werden können, oder Mauerziegel mit CE-Kennzeichnung, die die nationalen Anforderungen nicht erfüllen, muss ein nationaler Anwendbarkeits- bzw. Verwendbarkeitsnachweis herbeigeführt werden. Da diese Mauerziegel weder nach DIN EN 771-1 deklariert werden können, noch den Anforderungen der DIN 20000-401 entsprechen, kann der EC 6 nicht zur Bemessung des Mauerwerkes genutzt werden. Eine Alternative zur Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit stellt die Prüfung an Mauerwerksprüfkörpern nach DIN EN 1052-1 dar. Dabei werden Prüfkörper aus gebrauchten Mauerziegeln und dem geplanten Mörtel hergestellt und auf Ihre Druckfestigkeit geprüft. Die Vorgehensweise zur Berechnung der charakteristischen Druckfestigkeit aus den Einzelwerten der Druckfestigkeit ist in der Norm beschrieben. In Anlehnung an EC 6 sollte bei der Bemessung die Berechnung mit erhöhten Teilsicherheitsbeiwerten in Betracht gezogen werden.

## **5 Planung des Rückbaus**

Der Rückbau eines Gebäudes, welches als sekundäre Rohstoffquelle verschiedener Materialien genutzt werden soll, muss selektiv bzw. bauteilorientiert vorgenommen werden, richtet sich aber im Wesentlichen nach den Vorgängen, die auch beim konventionellen Abbruch erfolgen. Die Verantwortung hierfür trägt die Bauherrschaft.

Zur Planung des Rückbaus gehören:

1. Beauftragung eines geeigneten (Fach-)Planers, der ein Entsorgungs- sowie Schutzkonzept erstellt, welches die Erarbeitung eines Arbeits-, Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes umfasst,
2. Einholung einer Abbruch-/ Rückbaugenehmigung bzw. Übermittlung einer Abbruchanzeige (Regelung der Erforderlichkeit je nach Landesbauordnung) bei der örtlichen Bauaufsichtsbehörde,
3. Ausschreibung und Vergabe der erforderlichen Rückbauleistungen an einen qualifizierten Unternehmer,
4. Benennung eines Bauleiters, der die Demontagearbeiten überwacht.

Der planungstechnische Aufwand beim selektiven Rückbau ist im Gegensatz zum umfassenden Gebäudeabbruch höher, da neben speziellen Sicherungsmaßnahmen (z.B. beim Rückbau von tragenden Bauteilen), ggfs. auch eine partielle Schadstoffentsorgung mit besonderen Schutzmaßnahmen für die verbleibende Gebäudesubstanz vorgenommen werden muss. Auch das Laden und der Transport des aus dem Rückbau gewonnenen Ziegelmaterials, unterliegt einer intensiven Planung.

Bei allen Demontagearbeiten zur Wiederverwendung muss der Fokus, neben der Sicherheit aller am Rückbau Beteiligten, auf der Erhaltung der Form- und Funktionstüchtigkeit der Mauerziegel liegen. [1] Daher ist bereits die Ausschreibung und Vergabe des Rückbaus von zentraler Bedeutung für die spätere Wiederverwendung eines Mauerziegels. In den Vergabekriterien sollten vorgenannte Aspekte explizit aufgenommen und Rückbauleistungen nur an geschulte Fachunternehmen vergeben werden. Weitere Informationen können den ATV Abbruch- und Rückbauarbeiten (DIN 18459) entnommen werden. (vgl. Baufachliche Richtlinie Recycling, 2018, S. 48)

Schon zu Beginn der Rückbauplanung kann es sinnvoll sein, Bauteilbörsen zu integrieren oder die Vermittlung der Mauerziegel an Endabnehmer in die Wege zu leiten. So können nicht nur unnötige Transporte oder Zwischenlagerungen vermieden, sondern auch der logistische Prozess optimiert werden. Einige Bauteilbörsen oder Baustoffhändler holen das Rückbaumaterial direkt von der Baustelle ab. Andere besitzen Kooperationen mit Abbruchunternehmen, die die Baustoffe direkt an die jeweilige Bauteilbörse liefern. Der Vorteil beim Kauf von Material von Bauteilbörsen oder Baustoffhändlern besteht darin, dass das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) gilt. Erwirbt ein Wiederverwender die Mauerziegel von einem Wiederverkäufer, besteht für den Kunden ein 14-tägiges Rückgaberecht bei fehlerhaften Produkten. [1]

## 6 Rückbau und Aufbereitung

### 6.1 Rückbau

#### **Demontage**

Um Mauerziegel von hoher Qualität für die Wiederverwendung zu gewinnen, sind behutsame und möglichst zerstörungsfreie Maßnahmen beim Rückbau vorzunehmen. Vor dem Ausbau sollten alle Bekleidungen, Anstriche o.ä. entfernt werden. Dabei ist unbedingt zu beachten: Ziegel mit Altanstrichen können Schadstoffbelastungen aufweisen (siehe [Kapitel 2.2 "Prüfung auf Schadstoffe"](#)).

Die Demontage sollte wenn möglich in Handarbeit erfolgen, um das Brechen der Mauerziegel zu verhindern. Dabei ist die Art des Bestandsmörtels von großer Bedeutung. Während sich Kalk- oder Lehmörtel ohne eine Beschädigung des Mauerziegels einfach lösen lassen, sind Kalkzementmörtel üblicherweise so stark mit dem Mauerziegel verbunden, dass eine zerstörungsfreie Entnahme der Steine aus dem Bauteil kaum möglich ist. Bei größeren Mengen lässt sich aus wirtschaftlicher Sicht der Einsatz eines Greifkranes zur Demontage oft nicht umgehen, wobei dann ein prozentualer Anteil an Ziegelbruch einzukalkulieren ist. Halbe oder Drittel Mauerziegel können teilweise ebenfalls wiederverwendet werden, wenn die Bruchkante gerade ist. Die Demontage und anschließende Lagerung sollte chargenweise (bspw. nach Wänden getrennt) auf Paletten erfolgen. [3] Rückbau- unternehmen sind dafür zu sensibilisieren, dass nicht mit Maschinen über am Boden liegende Mauerziegel gefahren werden darf. Auch dürfen keine üblicherweise verwendeten Schuttrutschen zum Einsatz kommen, um die Mauerziegel aus dem Abbruchgebäude zu befördern.

## **Materialtrennung**

Generell ist darauf zu achten, dass das Material sortenrein getrennt wird. Die unterschiedlichen Materialien sollten in getrennten Schuttcontainern gesammelt und zur Wiederverwendung geeignete Mauerziegel auf Paletten oder in Containern gestapelt werden. Verbundwerkstoffe können in der Regel nicht getrennt werden und sind daher zwangsläufig als Abfall zu entsorgen. [12]

## **Sortierung**

Nach der Demontage sind die Mauerziegel und/ oder Paletten eindeutig zu beschriften, um die spätere Zuordnung zu gewährleisten. Auch sollte eine Vorsortierung des verschiedenen Ziegelmaterials direkt auf der Baustelle erfolgen. [12] Um eine spätere Materialprüfung der Mauerziegel zu erleichtern, kann an dieser Stelle bereits nach verschiedenen Qualitätsstufen sortiert werden. Auch eine Sortierung nach Steingrößen, Farbnuancen oder Formaten ist sinnvoll. Erste Prüfungen vor Ort können dabei auch ohne technisch aufwändige Verfahren visuell, olfaktorisch oder akustisch erfolgen. Darüber hinaus sollte bereits ein Aussortieren ungeeigneter Mauerziegel vor Ort stattfinden. So können beispielsweise im Geruch auffällige Steine (Fäulnis, Chemisch etc.) aussortiert werden. Auch offensichtlich beschädigte Mauerziegel sollten aussortiert werden, da sie zu Veränderungen der Materialeigenschaften führen können oder später in einem Neubau optisch sichtbare Mängel darstellen. Die Mauerziegel sollten keine Farbreste oder Ruß aufweisen, da dies nicht nur optisch nicht ansprechend ist, sondern auch Hinweis auf eine mögliche Schadstoffbelastung sein kann.

Mit Hilfe eines Gegenstandes oder Werkzeuges kann durch Klopfen auf die Mauerziegel abgeschätzt werden, ob diese noch intakt, sprich fest und porenfrei, sind. Dabei weist ein eher "dumpfes" Geräusch auf inneren Bruch hin. Ein "klares" Geräusch dagegen bedeutet, dass der Mauerziegel in seiner ursprünglichen Verfassung ist. Hierzu sollte ggfs. Unterstützung durch fachliche Experten eingeholt werden. Auch eine mechanische Prüfung vor Ort durch Reiben auf der Oberfläche kann Rückschlüsse auf die Festigkeit und Qualität der Mauerziegel liefern. Löst sich die Oberfläche, ist dies ein Hinweis auf eine sehr starke Porosität des Mauerziegels. [3]

## **Lagerung**

Die abgetragenen Mauerziegel sollten sauber auf Paletten gestapelt werden. Dabei ist das Gewicht der Ziegel wichtig für die Auswahl der richtigen Palette. Europaletten im Format 120 cm x 80 cm haben ein zulässiges Gesamtgewicht von 1500 kg. Je nach Ziegelformat können bspw. 300 bis 500 Hintermauerziegel (Gewicht bis ca. 3,5 kg/ Stück) oder 500 bis 800 Verblender (Gewicht bis ca. 1,8 kg/ Stück) auf einer Palette flach liegend oder auf der hohen Kante gestapelt werden. Um ein Verrutschen der Mauerziegel beim späteren Transport zu vermeiden, ist das Einbinden der Paletten mit Kunststoff- oder Eisenbändern oder das Einwickeln der gesamten Palette mit Kunststoffolie ein gängiges Mittel. Obwohl das Einwickeln der Ziegelstapel die schnellste Methode ist, weil die Mauerziegel nicht so exakt gestapelt werden müssen, birgt dies auch diverse Nachteile gegenüber einer Bindung. Eine Folie ist zwar schlagregendicht, allerdings können die Mauerziegel bei längerer Lagerung auch Kondenswasser unter der Folie "ausschwitzten". Dies kann im Laufe der Zeit zu Grünalgenbildung auf der Steinoberfläche führen. Abgesehen vom umweltkritischen Effekt beim großflächigen Einsatz jeglicher Kunststoffolien, erschweren die Schichten der Kunststoffolie, die genaue Farbe oder den Zustand der Mauerziegel für den Wiedereinbau zu identifizieren, ohne die Folie zu beschädigen oder zu entfernen. Das Einbinden mit

Kunststoffbändern ist daher nicht nur die umweltverträgliche Wahl, sondern ermöglicht neben der Sichtbarkeit der Mauerziegel auch ein schnelles Abtrocknen nach Regen oder Schnee. Das Einbinden mit Eisenbändern sollte eher vermieden werden, da diese sehr schnell Rost ansetzen, was zu Spuren auf dem Ziegelmaterial führen kann.

Beim Stapeln von mehreren Ziegelpaletten übereinander sind die Härtegrade der Mauerziegel zu beachten. Gerade bei den unebenen Oberflächen der historischen Mauerziegel ist ein exaktes Stapeln oft schwierig, was die Bruchrate der Steine erhöht. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, stets gleiche Palettengrößen zu verwenden. Bei hart gebrannten Mauerziegeln ist eine Stapelung von bis zu fünf Paletten möglich. Bei weich gebrannten Mauerziegeln wird das Stapeln von mehreren Paletten übereinander nicht empfohlen. [13] Generell sollten Paletten mit Mauerziegeln trocken und frostfrei gelagert werden, eine zusätzliche Abdeckung mit Planen ist aus vorgenannten Gründen nur zum Schutz vor Schlagregen oder Schnee und nur unter zeitlich begrenztem Einsatz empfehlenswert. Neben Paletten eignen sich auch Baustoffcontainer, um die Mauerziegel darin behutsam zu stapeln.

Für das effiziente Stapeln und Verpacken von vorsortierten Mauerziegeln existieren bereits Maschinen, wie beispielhaft auf der nachfolgenden Abbildung zu sehen.



Abbildung 3: Maschinelles Sortieren und Verpacken von gebrauchten Mauerziegel beim dänischen Baustoffhändler Gamle Mursten (Quelle: [3])

### **Transport**

Die Paletten mit dem Ziegelmaterial können mit Hilfe von Gabelstaplern innerhalb der Baustelle transportiert bzw. auf LKWs verladen werden. Diese müssen jedoch wegen der hohen Lasten besonders ausgestattet sein. Für größere Mengen kann es deshalb notwendig sein, im Zuge der Planung einen Transportplan zu erstellen, in dem Details wie Transportmittel, Zeitplan, Kosten, Transportroute, Verpackung und Versicherung etc. im Vorfeld festgelegt werden.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Demontage von Mauerziegeln ökonomisch betrachtet besonders dann sinnvoll ist, je höher die

Entsorgungskosten und je höher die prognostizierten Verwertungserlöse sind. Da sich im Moment ein Markt für hochwertige gebrauchte Mauerziegel (vor allem Vormauerklinker) zur Wiederverwendung etabliert, werden die höheren Lohnkosten für die teils aufwendige Baustoffentnahme insbesondere dann in Kauf genommen, wenn Entsorgungskosten gespart und hohe Verkaufserlöse absehbar sind. [14]

## 6.2 Reinigung und Aufbereitung

Die einem Gebäude oder Bauteil entnommenen Mauerziegel müssen üblicherweise für den Wiedereinbau aufbereitet bzw. gereinigt werden. Neben verbliebenen Mörtelresten am Mauerziegel, sind es auch Verschmutzungen, die entfernt werden sollten. Letztere können zudem ein Indikator für Schadstoffbelastungen sein und sollten deswegen genauestens betrachtet werden. Beispiel für Verschmutzungen sind:

- Ablagerungen staubförmiger Partikel (unbedenklich),
- Ablagerungen von fettigen, öligen oder rußigen Partikeln z.B. als Produkt von Verbrennungsrückständen,
- Krusten als Reaktionsprodukt von Baustoffkomponenten und eingetragenen Umweltstoffen, vorwiegend Gipskrusten,
- Kalkauswaschungen,
- Farbige Korrosionsprodukte von Metallen (unbedenklich).

Bei der Reinigung sind darüber hinaus die Materialeigenschaften der Mauerziegel zu beachten. So weisen Normalziegel oft nur eine mikroskopisch nachweisbare Brennhaut<sup>13</sup> auf. Diese Beschichtung regelt wie eine Membran die feuchtetechnischen Eigenschaften von Mauerziegeln und beeinflusst maßgeblich die Schlagregenbeanspruchung einer Fassade. Wird die Brennhaut bei der Reinigung beschädigt, nimmt der Mauerziegel später zu viel Wasser auf, was zu Frostsprengungen oder ähnlichen Beschädigungen bis hin zur Unbrauchbarkeit führen kann. Besonders bei Mauerziegeln in Gebäuden der letzten 150 Jahre sind die Oberflächen sehr glatt und die Brennhaut ist sehr dünn. Bei älteren Bauten kann der Ziegel hingegen durch physikalische Verwitterungsprozesse schon angegriffen worden sein. Oft ist es ohne chemische Prüfung des Ziegelmaterials und entsprechendes Fachwissen nicht möglich, zu beurteilen, ob und in welchem Grad Verschmutzungen materialschädigend einzustufen sind. Eine qualifizierte Wahl geeigneter Reinigungsverfahren und -techniken ist nur durch entsprechende Gutachten sicherzustellen. Ohne diese Grundlage führen Reinigungsarbeiten nicht selten zu größeren Verlusten des Materials bzw. dessen Oberfläche und damit auch zur negativen Beeinflussung oder Veränderung der Baustoffeigenschaften<sup>14</sup>.

Vor dem Beginn der Reinigungsarbeiten ist es ratsam, Musterflächen anzulegen, um die Wirksamkeit der gewählten Methode zu prüfen. Im Allgemeinen wird zwischen trockenen (mechanischen) und nassen Reinigungsverfahren (Einsatz von Tensiden oder Wasser) unterschieden, auf die nachfolgend näher eingegangen werden soll. [2]

---

<sup>13</sup> Gefügeverdichtung der Ziegeloberfläche gegenüber des Kerns des Ziegels

<sup>14</sup> Bei Anzeichen einer Salzbelastung wäre beispielsweise der Einsatz eines Nassverfahrens völlig ungeeignet, da das Wasser die Salzausblühungen erst aktivieren würde.

## 6.2.1 Trockene Verfahren

### **Reinigung von Hand**

Die klassische, aber wohl auch aufwendigste, arbeitsintensivste und ökonomisch unwirtschaftlichste Methode ist die Reinigung der Mauerziegel durch einfaches Abklopfen mit Hämmern in Handarbeit. Geeignet sind Maurerhammer (600 bis 750 g) mit einer scharfen Schneide und einem Schneidewinkel von 60° am Kopf sowie einem festen, ergonomischen Stiel. Bei der Reinigung darf die Hammerschneide nicht rechtwinklig auf den Mauerziegel treffen, sondern muss in einer schabenden Bewegung mit flachem Winkel nach unten ausgeführt werden, damit der Mauerziegel bei der Arbeit nicht beschädigt wird. Zementmörtelreste lassen sich mit einem Winkelschneider gitterförmig anschneiden, bevor sie mit Hammer und Meißel entfernt werden können. Allerdings sollte diese Methode nur bei sehr hart gebrannten Mauerziegeln ausgeführt werden, da sonst der Stein Schaden nehmen würde. Als Arbeitsfläche für die händische Reinigung haben sich Fußabstreiferroste bewährt, unter denen eine Bauwanne steht, in der der Mörtel gleich sauber zur Entsorgung aufgefangen wird. [13]

Der Vorteil dieser Reinigungsmethode liegt darin, dass jeder Mauerziegel einer optischen Qualitätsprobe durch den Verarbeiter unterzogen wird. Wenn die Reinigungsarbeiten zudem direkt im Zuge der Demontage auf der Baustelle erfolgen, können Mörtel und offensichtlich unbrauchbare Mauerziegel direkt sortenrein getrennt und die zur Wiederverwendung für tauglich befundenen Mauerziegel transportfähig gestapelt werden.

### **Vibrationsverfahren nach Gamle Mursten**

Das dänische Cleantech<sup>15</sup>-Unternehmen Gamle Mursten hat ein patentiertes Trockenreinigungsverfahren entwickelt, bei dem die Mauerziegel nach der konventionellen Demontage eines Gebäudes (unter Einsatz von Baggern etc.) in eine Aufbereitungsanlage transportiert werden. Dort werden sie zuerst in einem Abscheider von anderen Materialien (Holz, Draht etc.) getrennt und anschließend mittels eines speziellen Vibrationsverfahrens gereinigt. Auf diese Weise kann auch eine Trennung von Mörtel und untereinander verbundenen Mauerziegeln erfolgen. Das Verfahren funktioniert jedoch nur für Mauerziegel, die mit Kalkmörtel und nicht mit Zementmörtel verbaut wurden. Nach der Reinigung werden die Mauerziegel beim Unternehmen einer Prüfung nach EAD 170005-00-0305 "Re-Cycled Clay Masonry Units" unterzogen und mit dem CE-Kennzeichen zum Wiederverkauf versehen.

Diese Methode ist besonders umweltfreundlich, da sie rein mechanischer Natur ist - es wird nur elektrische Energie zum Betrieb der Vibrationsmaschinen verwendet. Dabei kommen weder Wasser noch Chemikalien zur Aufbereitung und Reinigung zum Einsatz. Der Gewinn von gebrauchtem Ziegelmaterial liegt bei dieser Methode bei ca. 50 % und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 45 % gegenüber der Verwendung neuer Mauerziegel. [16]

### **Thermische Trennung**

Für die Reinigung der Mauerziegel von dem sehr festen Zementmörtel eignet sich das thermische Verfahren. Hierbei werden die aus dem Rückbau gewonnenen Mauerziegel in einem Gasbrennofen für 3 Stunden auf 540°C erhitzt. Durch die unterschiedlichen Aus-

---

<sup>15</sup> CleanTech = „Clean technologies“ (dt.: „saubere Technologien“), beschreibt Produkte und Dienstleistungen, die Umweltverschmutzungen und -belastungen reduzieren oder verhindern [15]

dehnungseigenschaften von Zement und Mauerziegel lösen sich die Materialien aus ihrem Verbund. Dieses Verfahren ist jedoch ausschließlich für Zementmörtel geeignet, da der weiche Kalkmörtel der Ausdehnung der Mauerziegel folgen würde. Neben der relativ geringen Wiederverwendungsquote der Mauerziegel von 40 %, wird hier sehr viel Energie (0,068 kg-CO<sub>2</sub>/kg-Input) benötigt, sodass dieses Verfahren insgesamt nur ein geringes Einsparpotential von 9 % CO<sub>2</sub> im Vergleich zur Verwendung neuer Mauerziegel aufweist. Es ist deswegen nicht zu empfehlen. [16]

### **Ausschneiden von Tafeln**

Neben der Verwendung einzelner, separater Mauerziegel kommen zur Wiederverwendung auch zusammenhängende Wandstücke in Betracht. Diese Variante eignet sich vor allem für Mauerwerk, welches mit Zementmörtel verbunden ist, bei dem es sehr aufwändig wäre, die einzelnen Mauerziegel zu separieren. Hierbei werden ca. 1 m<sup>2</sup> große Wandpaneele mit einer Kreissäge aus dem Mauerwerksverband herausgetrennt und direkt auf Europaletten gestapelt. Diese Methode funktioniert nur, wenn das Mauerwerk noch in einem guten Zustand ist. Für Mauerwerksverbände mit Kalkmörtel sollte dieses Verfahren nicht angewendet werden, da es durch die Vibrationen beim Schneidvorgang zu Rissbildungen im Kalkmörtel kommen kann und so die Elemente instabil werden würden. Der Grad der Wiederverwendung ist hier auf 90 % zu schätzen. [16] Die Möglichkeiten der Materialprüfung an einzelnen Mauerziegeln sind bei dieser Art der Reinigung allerdings eingeschränkt.

### **Säge- und Stanzverfahren**

In einem britischen Forschungsprojekt zu Techniken der Wiederverwendung von Mauerziegeln aus dem Jahr 2020 finden sich Experimente zu einem Säge- und Stanzverfahren. Dabei werden mit Zementmörtel verbundene Mauerwerksblöcke auf der Arbeitsplatte einer Tischkreissäge eingespannt und dann so nah wie möglich an der Steinoberfläche zerschnitten. Die so separierten Mauerziegel wiesen in den üblicherweise angewandten Berechnungs- und Nachweisverfahren eine vergleichbare Leistungsfähigkeit auf, wie neue Mauerziegel. Auch Rissbildungen oder Beschädigungen, die Einfluss auf die Baustoffeigenschaften haben könnten, wurden nicht nachgewiesen. Mit dieser Technik könnten 95 % der Mauerziegel rückgewonnen werden. Die erforderliche Aufwendung an CO<sub>2</sub> beträgt weniger als 1 % im Vergleich zur Verwendung von neuen Mauerziegeln. [17] Da das Verfahren noch recht neu ist und es noch keine für den größeren Maßstab entwickelten Arbeitsgeräte gibt, kann noch nicht beurteilt werden, ob sich dieses Verfahren auch durchsetzen kann.

### **Injektor- Rotationsstrahlverfahren**

Eine besonders schonende Methode der Oberflächenreinigung ist das Injektor-Rotationsstrahlverfahren. Dieses Verfahren kann an zur Wiederverwendung vorgesehenen Mauerwerkswänden angewendet werden, bevor der eigentliche Rückbau einzelner Mauerziegel erfolgt. Bei diesem Trockenstrahlverfahren wird das Strahlmittel durch eine spezielle Konstruktion der Strahldüse in Rotation versetzt. Dadurch trifft es nicht direkt auf die zu bearbeitende Fläche, sondern erzeugt einen schonenden Radiereffekt, der anhaftende Verschmutzungen entfernt. Die sorgfältige Auswahl des Strahlmittels gewährleistet, dass die Mauerwerkswand während des Prozesses unversehrt bleibt. Ein Nachteil besteht jedoch in der begrenzten Flächenleistung und der erhöhten Staubeentwicklung, was typisch für alle Trockenstrahlverfahren ist. [18]

## 6.2.2 Nasse Verfahren

### **Hochdruckverfahren**

Die Ziegelreinigung mit Wasser ohne chemische Zusätze kann auf den ersten Blick als materialschonendste Methode betrachtet werden. Auch hier ist jedoch die Art der Anwendung von Bedeutung. Eine Hochdruckdampfreinigung kann bei stark porösen Ziegeloberflächen zu Beschädigungen führen. Hochdruckkaltwasser- oder Hochdruckheißwasserreinigungen sind ebenso anwendbar, wenngleich nicht ganz so effektiv. [2]

### **Druckloses Verfahren**

Auch dieses Verfahren wird vor dem eigentlichen Rückbau der Mauerziegel am Bauteil selbst vorgenommen. Beim drucklosen Kaltwasserflutverfahren werden Verschmutzungen durch an der Fassade über mehrere Stunden herunterlaufendes Wasser abgelöst. Dies ist jedoch nicht nur mit hohem technischen und energetischen Aufwand verbunden, es birgt auch ein großes Risiko für Schäden an den Mauerziegeln. Besonders schwach gebrannte Mauerziegel können durch ihre starke kapillare Wasseraufnahmefähigkeit viel Feuchtigkeit ziehen, aufquellen oder bei Salzablagerungen die Kristallisation aktivieren, was zu tiefgreifenden Materialschäden führt. Weniger problematisch ist dieses Verfahren bei hart gebrannten Klinker Oberflächen, da der Wasseraufnahmekoeffizient von Klinkern weitaus kleiner ist. [2]

### **Niederdruck- Rotationswirbelstrahlverfahren**

Ebenfalls vor dem eigentlichen Rückbau der Mauerziegel erfolgt dieses Verfahren am noch vollständigen Bauteil. Das Niederdruck- Rotationswirbelstrahlverfahren funktioniert ähnlich wie das Injektor- Rotationsstrahlverfahren, ist aber im Gegensatz dazu ein Nassverfahren und arbeitet mit reduziertem Druck ab 0,1 bar. Bei diesem Verfahren wird das Strahlmittel, hier ein Gemisch aus Wasser und Granulat (Glas- oder Steinpudermehl) durch eine Strahldüse geleitet, die sich durch ihre Rotation auszeichnet. Gleichzeitig wird dem Strahlmittel Luft zugeführt, um einen Wirbeleffekt zu erzeugen. Dadurch entsteht eine Mischung aus Luft und Strahlmittel, die mit niedrigem Druck auf die zu bearbeitende Oberfläche trifft. Diese Methode ermöglicht eine gleichmäßige Verteilung des Strahlmittels und eine schonende Reinigung oder Bearbeitung der Oberfläche. [19]

### **Einsatz von Chemikalien**

Der Einsatz von Chemikalien, Säuren oder Laugen für die Reinigung von Ziegeloberflächen ist prinzipiell zwar möglich, aber zu vermeiden, da Wechselwirkungen mit den im Stein vorhandenen Eisen- und Karbonat-/ Dolomitverbindungen nicht auszuschließen sind. [2]

## 7 Wiedereinbau und Design for Re-Use

Die Möglichkeiten der Wiederverwendung von Mauerziegeln sind vielfältig. Jedoch können nur Mauerziegel verwendet werden, bei denen die für den entsprechenden Verwendungszweck erforderlichen Eigenschaften in einer entsprechenden Prüfung nachgewiesen wurden.

Mögliche Einsatzmöglichkeiten für gebrauchte Mauerziegel sind:

- Einsatz als Verblend- Mauerwerk bzw. Vorsatzschalen,
- Verwendung zur Herstellung tragender Wandkonstruktionen,
- Einsatz als Hintermauerziegel,
- Restaurierung/ Ergänzung bestehender Mauerwerksverbände,
- Dekorative Zwecke, wie Sichtmauerwerk als Innenwandverkleidung oder nichttragende Innenwände in Sichtmauerwerk Optik,
- Ziegel-Böden,
- Gartenmauern, Beeteinfassungen.

Die Wiederverwendung sollte generell den Einsatz in der gleichen Funktion zum Ziel haben. Die dekorative Verwendung ist zwar möglich, sollte aber nur in Betracht gezogen werden, wenn kein anderer Verwendungszweck in Frage kommt.

Um zukünftigen Generationen die Wiederverwendung von Baustoffen wie Mauerziegeln zu erleichtern bzw. generell zu ermöglichen, sollte bereits bei der Neubauplanung eines Gebäudes aus primären und/ oder sekundäre Baustoffen, der späteren Rückbau bedacht werden. Für das sogenannte zirkuläre Bauen oder auch "Cradle-to-Cradle-Prinzip"<sup>16</sup>, bei dem alle Rohstoffe im Kreislauf bleiben und kein kostenintensiver Abfall entsteht, sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

1. Verwendung möglichst weniger Materialien, was die sortenreine Trennung erleichtert,
2. Bauteilbauten mit trennbaren Schichten/ Ebenen,
3. Einsatz flexibler bzw. lösbarer Verbindungen.

Die Verbindungen zwischen den Funktionsschichten von Bauteilen lassen sich anhand verschiedener Aspekte einteilen. Üblich ist hierbei die Unterteilung nach dem physikalischen Wirkprinzip. Man unterscheidet:

### **Formschlussverbindungen**

... funktionieren über das Ineinandergreifen der Form von mindestens zwei Verbindungspartnern. Beispiele für Formschlussverbindungen sind Nieten, Klettverschlüsse, Stehfalz-Verbindungen oder Stopfen.

### **Kraft- bzw. Reibschlussverbindungen**

... sind Verbindungen durch Einwirkung einer Normalkraft und daraus resultierender Haftreibung, z. B. bei Schrauben, Nägeln, Bolzen, Stiften, Klemmen oder Keilen.

### **Stoffschlussverbindungen**

... funktionieren durch das Zusammenhalten der Verbindungspartner durch atomare oder molekulare Kräfte, z. B. Kleben, Schweißen, Löten, Adhäsion

Während Kraft- und Formschlussverbindungen (das Nieten ausgenommen) im Wesentlichen lösbar sind, handelt es sich bei Stoffschlussverbindungen in der Regel um unlösbare Verbindungen, die beim Wiedereinbau möglichst vermieden werden sollten. [20]

---

<sup>16</sup> englisch für "von der Wiege zur Wiege"

## 7.1 Konventioneller Wiedereinbau

In der Regel werden gebrauchte Mauerziegel in konventioneller Handarbeit "Stein auf Stein" vermörtelt. Genau wie bei neuem Ziegelmaterial muss hierzu vorher eine Bemessung des Mauerwerks stattfinden. Durch die teilweise unregelmäßigen Oberflächen der gebrauchten Mauerziegel ist es sinnvoll, diese im "wilden Verband" bzw. unregelmäßig zu verlegen. Dies kann jedoch Einfluss auf das Erscheinungsbild des Mauerwerks haben und muss besonders dann berücksichtigt werden, wenn nur Teilflächen in bereits bestehenden Gefügen ergänzt werden (bei Restaurierung) oder bei An- und Umbauten an bestehende Gebäude. In diesem Zusammenhang ist auch die Wahl des passenden, ggfs. bauzeitlichen Steinformates zu erwähnen. Zudem sollten alle verwendeten Mauerziegel aus der gleichen Charge (gleiche Herkunft, Format, Farbe usw.) stammen, um ein optisch einheitliches Bild, als auch die Einhaltung der geprüften Materialeigenschaften sicherzustellen. [3] Die gängigste Anwendung finden einzeln im Verband gesetzte Mauerziegel zur Wiederverwendung beim Einsatz als hinterlüftetes Verblendmauerwerk. Beispielhaft ist dies in dem folgenden Foto dargestellt.



Abbildung 4: Hinterlüftetes Verblendmauerwerk aus wiederverwendeten Mauerziegeln (Foto: Spreeplan Projekt UG)

Als Mörtel sollten, wenn möglich, Reinkalk (Luftkalk- oder hydraulische Kalke) ohne Zementzusätze verwendet werden. Dies hat zwei Gründe: Zum einen lassen sich Reparaturen oder Schäden im Mauerwerksverband relativ einfach durchführen, da einzelne Mauerziegel einer mit Kalkmörtel gemauerten Wand leicht wieder entnehmbar sind. Zum anderen besteht so die Möglichkeit, die Mauerziegel weitere Male zurückzubauen und wiederzuverwenden, so wie es in vielen historischen Gebäuden der Fall ist. Darüber hinaus ist Zementmörtel nicht in der Lage, die in das Mauerwerk eingetretene Feuchtigkeit so schnell wieder abzugeben wie der Mauerziegel. Dies kann bei Frosteinwirkung zu Schäden am Mauerwerk führen. Generell ist zu beachten, dass die Festigkeit des Mörtels stets etwas geringer als die Festigkeit des Mauerziegels sein sollte. Die Verwendung von Mörteln mit Zementzusätzen ist daher, wenn überhaupt, nur bei hartgebrannten Mauerziegeln zu empfehlen. [13] Die notwendige Druckfestigkeit des Mörtels ist allerdings abhängig von den zu erwartenden Belastungen des Mauerwerkes. Nicht für jeden Verwendungszweck bieten

sich die im Vergleich weichen Luftkalk- oder hydraulischen Kalkmörtel (ohne Zementzusätze) an. Der geeignete Mörtel ist durch den zuständigen Tragwerksplaner auszuwählen und festzulegen auf Grundlage der DIN EN 998-2 "Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 2: Mauermörtel". Nichtsdestotrotz sollte im Rahmen der Möglichkeiten der Kalkmörtel aus den vorher beschriebenen Gründen favorisiert werden.

Auch die Fugenfarbe ist beim Wiedereinbau maßgeblich zu berücksichtigen, da sie je nach Verbandtechnik bis zu 20 % der Wandfläche ausmacht. Die Farbe ist abhängig von der Zusammensetzung des Mörtels, des beigemengten Sandes und ggfs. zugesetzter Zuschlagstoffe und kann farblich stark variieren. Aufgrund dessen ist die Erstellung von Musterflächen vor dem Einbau sinnvoll.

## 7.2 Design for Re-Use

Neben der konventionellen Möglichkeit des Einbaus der Mauerziegel im "Stein auf Stein"-Verfahren mit frischem Mörtel, ist der Einbau mithilfe des "Design for Re-Use" (deutsch: "Gestaltung zur Wiederverwendung") möglich. Dieser Begriff umfasst Einbaumethoden, die für die mehrfache Wiederverwendung der Materialien entwickelt wurden. Leider sind hier derzeit noch keine maßgeblichen Entwicklungen zu verzeichnen. Der Vollständigkeit halber sind aber nachfolgende Systeme zu erwähnen:

### **Trockenstapelsystem**

Die Firma Wienerberger hat mit "ClickBrick" ein System mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) entwickelt, bei dem das Zusammenfügen von Mauerziegeln ohne den Einsatz von Mörtel funktioniert. Lediglich die unterste Schicht der Mauerwerkswand (die sogenannte Kimmschicht) muss vermörtelt werden. Die kraftschlüssige Verbindung übernehmen hier in den Mauerziegel eingesetzte Edelstahlbleche, die die Ziegel untereinander zusammenhalten. Die Hinterlüftung wird durch Luftschichtdübelanker realisiert, die als Abstandshalter ebenfalls in die Bleche eingesetzt werden können. An den Ecken kommen verdeckte Eckprofile zum Einsatz. [20] Das System ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Ähnliche Verbindungssysteme bieten die Trockenstapelsysteme [Facadeclick](#), [Fixbrick](#) oder [Drystack](#).

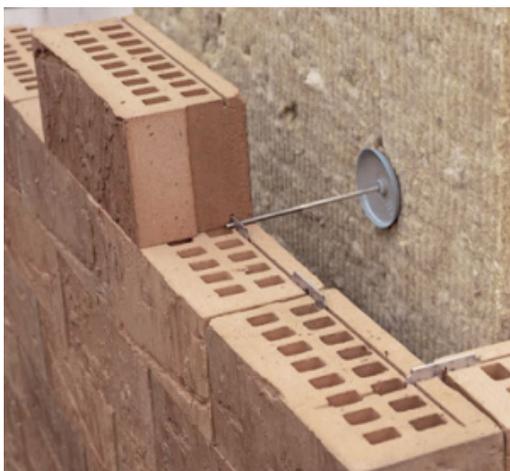


Abbildung 5: Trockenstapelsystem "ClickBrick" (Quelle: [20])

Trockenstapelsysteme sind sehr effizient im Rückbau. Dennoch sind mörtellose Verbindungen wie diese in ihrer Gesamtbilanz eher kritisch zu betrachten. Zum einen steht

die zusätzlich benötigte Energie für die Herstellung der Verbindungsmittel (Edelstahl oder Kunststoff) in keinem Verhältnis zum ersparten Aufwand für die Reinigung von Mörtel. Zum anderen nutzen alle Hersteller eigens produzierte Ziegel mit speziellen Formen, was die Nutzung von bestehendem Ziegelmateriale zur Wiederverwendung nicht möglich macht. Darüber hinaus ist fraglich, wie lange diese Systeme produziert werden, um eine Wiederverwendung am Ende der Nutzungsdauer überhaupt zu gewährleisten. Im schlimmsten Fall können auch diese Ziegel zukünftig nur als Bauschutt verwertet bzw. recycelt werden.

### **Tafel-Bauweise**

Bei der Tafel-Bauweise werden 1 m x 1 m große Wandelemente aus einer bestehenden Mauerwerkswand herausgeschnitten (siehe auch [Kapitel 6.2.1 "Trockene Verfahren"](#)), in eine 100 mm dicke Betonschicht eingebettet und als Ziegel-Beton-Verbund-Tafeln neu verbaut. Diese Technik wurde beispielsweise in einem [Projekt der Lendager Group](#) in einem Gebäude in Kopenhagen eingesetzt. Allerdings lassen sich bei dieser Methode aufgrund des so immensen Einsatzes von Beton gerade einmal 8 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur Herstellung neuer Mauerziegel einsparen, so dass diese Technik eher als architektonisch gestalterisches Highlight eines Einzelobjektes, und nicht als echte Alternative zur Wiederverwendung von ganzen Mauerziegeln angesehen werden kann. Anstelle des Betons als Trägermaterial könnten Stahlrahmen verwendet werden. Aber auch bei dieser noch nicht erprobten Technik sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen mit nur 17 % eher gering anzusehen, wemngleich sie zumindest eine spätere, sortenreine Materialtrennung und eine einfache Demontage zur Wiederverwendung ermöglichen könnte. [16]

## Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt (Hrsg.): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen, Dessau-Roßlau, 2015
- [2] Seven Wallasch: Instandsetzung von Ziegelmauerwerk, Deutsche Verlagsanstalt GmbH, Stuttgart, 1999
- [3] Rotor vzw/asbl: Reuse Toolkit - solid clay brick, Interreg FCRBE, 2021
- [4] Matthias Heinzl: Arbeitshilfe kontrollierter Rückbau, Kontaminierte Bausubstanz, Erkundung, Bewertung, Entsorgung; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Augsburg, 2003
- [5] Gabriele Behling: Der Echte Hausschwamm - Vorkommen, Risiken, Schäden und Bekämpfungsmaßnahmen, FLUGS Fachinformationsdienst, Marburg, 2004
- [6] UBA: "Kann ich vom Hochwasser durchnässte Materialien retten?", URL: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/kann-ich-vom-hochwasser-durchnaesste-materialien>, Stand: 2013-09-04
- [7] Stefan Tewinkel: "Alles muss raus? - Umgang mit Heizölkontamination nach Hochwasser", URL: <https://www.db-bauzeitung.de/bauen-im-bestand/schwachstellen-aus-bauschaeden-lernen/heizoelkontamination-nach-hochwasser/>, Stand: 2019-09-09
- [8] Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH (Hrsg.): Studie Regelwerke des Normungs- und technischen Zulassungswesens anhand des Themenkomplexes Recyclingverfahren und Weiter-/Wiederverwendung von Bauprodukten und Baustoffen, im Auftrag des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e.V., Düsseldorf, 2022
- [9] WTA-Merkblatt 7-4 "Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatischen Steinen", Hrsg.: WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2021
- [10] Johnny Henkel und Dominik Müller: "Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk nach WTA-Merkblatt 7-4", URL: [https://ak-bauwerksdiagnostik.de/wp-content/uploads/20220407\\_Ermittlung\\_der\\_Druckfestigkeit\\_von\\_Bestandsmauerwerk\\_nach\\_WTA-Merkblatt\\_Darmstadt.pdf](https://ak-bauwerksdiagnostik.de/wp-content/uploads/20220407_Ermittlung_der_Druckfestigkeit_von_Bestandsmauerwerk_nach_WTA-Merkblatt_Darmstadt.pdf), Stand: 2023-11-03
- [11] Dominik Müller, Tilo Proske, Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner: Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Mauerwerkswände im Bestand, Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, 2021
- [12] M. Häußler, O. Rentmeister, A. Tomm: Planungshilfe Umweltschutz im Bauwesen - Wiederverwendung und Recycling im Hochbau, Hessisches Ministerium der Finanzen, Wiesbaden, 1993
- [13] Mila Schrader: Mauerziegel als historisches Baumaterial - Ein Materialeitfaden und Ratgeber, Edition: anderweit Verlag GmbH, Suderburg-Hösseringen, 1997

- [14] Anja Rosen: Sind Kreislaufpotenziale messbar? Eine Analyse am Beispiel von Fassaden- und Dachbekleidungen; in ATLAS RECYCLING, Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen, Johanna-Katharina Seggewies, 1. Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München, 2018
- [15] Existenzgründer-Initiative Deutschland startet, Begriffsdefinition "CleanTech", <https://www.deutschland-startet.de/cleantech>, Stand: 2024-02-22
- [16] Merijin Braam: The Re-Use of Brick from dutch post-war housing (1945-1970) in the circular environment, Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology, Delft, 2021
- [17] Kan Zhou, Han-Mei Chen, Yong Wang, Dennis Lam, Atta Ajayebi, Peter Hopkinson: Developing advanced techniques to reclaim existing end of service life (EoSL) bricks – An assessment of reuse technical viability, Developments in the Built Environment, 2020
- [18] BSB - Bautenschutz Berlin: Rotationsstrahlverfahren, URL: <http://www.b-s-b.com/html/rotationsstrahlen.html>, Stand: 2024-02-22
- [19] WiTro Tech: "Schonende Reinigung-Restaurierung-Sanierung mit Niederdruck Wirbelstrahl", URL: <https://www.witrotech.de/Niederdruck-Wirbelstrahl>, Stand: 2016-11-01
- [20] Petra Riegler-Floors, Annette Hillebrandt: Lösbare Verbindungen und Konstruktionen, in ATLAS RECYCLING, Hrsg.: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen, Johanna-Katharina Seggewies, erste Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München, 2018

## **Normen, Regelwerke, Richtlinien**

Baufachliche Richtlinie Recycling (2018)	Baufachliche Richtlinie Recycling - Arbeitshilfen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling-Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Berlin und Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), Bonn, 2018
DIN 18459:2016-09	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Abbruch- und Rückbauarbeiten
DIN 20000-401:2017-01	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1:2015-11
DIN 68800-1:2019-06	Holzschutz - Teil 1: Allgemeines
DIN 68800-4:2020-12	Holzschutz - Teil 4: Bekämpfungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten und Sanierungsmaßnahmen
DIN EN 1052-1:1998-12	Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit

DIN EN 1052-3:2007-06	Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)
DIN EN 13501-1:2019-05	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
DIN EN 13791:2020-02	Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen
DIN EN 1990:2021-10	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
DIN EN 1996-1-1:2013-02	Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
DIN EN 1996-1-1/ NA:2019-12	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
DIN EN 771-1:2015-11	Festlegungen für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel
DIN EN 772-1:2016-05	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit
DIN EN 772-5:2018-12	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 5: Bestimmung des Gehalts an aktiven löslichen Salzen von Mauerziegeln
DIN EN 772-9:2005-05	Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 9: Bestimmung des Loch- und Nettovolumens sowie des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln und Kalksandsteinen mittels Sandfüllung
DIN EN 772-11:2011-07	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 11: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Porenbetonsteinen, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln
DIN EN 772-13:2000	Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohichte von Mauersteinen (außer Natursteinen)
DIN EN 772-16:2011-07	Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 16: Bestimmung der Maße
DIN EN 998-2:2017-02	Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 2: Mauermörtel
EAD 170005-00-0305	EAD 170005-00-0305 "Re-Cycled Clay Masonry Units", EOTA, 2017
ProdHaftG	Produkthaftungsgesetz vom 15. Dezember 1989, zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 17. Juli 2017

## Anhang 2 - Linkliste

### Auswahl von Händlern für gebrauchte Ziegel

Name	URL
<b>Deutschland</b>	
Klinker Historika	<a href="https://klinker-historika.de/">https://klinker-historika.de/</a>
UHB - Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V.	<a href="https://www.historische-baustoffe.de/">https://www.historische-baustoffe.de/</a>
DeFries Ziegelsteine	<a href="https://www.defries.com/ziegelsteine/">https://www.defries.com/ziegelsteine/</a>
<b>Dänemark</b>	
Gamle Mursten	<a href="http://gamlemursten.dk/">http://gamlemursten.dk/</a>
Genbrugssten	<a href="https://genbrugssten.dk/">https://genbrugssten.dk/</a>
<b>Schweden</b>	
Brukspecialisten	<a href="https://brukspecialisten.se/">https://brukspecialisten.se/</a>

### Auswahl allgemeiner Bauteilbörsen/ Bauteilhändler

Name	URL
<b>Deutschland</b>	
Bauteilnetz Deutschland	<a href="http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/stdws_adresse/bauteilboersen.html">http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/stdws_adresse/bauteilboersen.html</a>
Concular	<a href="https://shop.concular.de/">https://shop.concular.de/</a>
Materialrest24	<a href="http://www.materialrest24.de">www.materialrest24.de</a>
Restado	<a href="https://restado.de/">https://restado.de/</a>
UHB - Unternehmerverband Historische Baustoffe e.V.	<a href="https://www.historische-baustoffe.de/">https://www.historische-baustoffe.de/</a>
<b>Niederlande</b>	
Oogstkaart	<a href="https://www.oogstkaart.nl/">https://www.oogstkaart.nl/</a>
<b>Österreich</b>	
re:store	<a href="https://www.restore.or.at/store/">https://www.restore.or.at/store/</a>
Materialnomaden	<a href="https://www.materialnomaden.at/about/">https://www.materialnomaden.at/about/</a>

<b>Schweiz</b>	
Salza	<a href="https://salza.ch/">https://salza.ch/</a>
Materium	<a href="http://www.materium.ch">www.materium.ch</a>
useagain	<a href="http://www.useagain.ch">www.useagain.ch</a>
<b>Länderübergreifend</b>	
OPALIS	<a href="http://www.opalis.eu">www.opalis.eu</a>