

Sanierung außerhalb der Norm am Beispiel einer zweischaligen Mauerwerkskonstruktion

J. Saxler
Hamburg

Zusammenfassung

Anhand eines Pilotprojektes in Hamburg-Altona wurde 2016 erstmalig die Verwendung von PU-Ortschaum als innovative Sanierungsmethode zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen Dämmung von zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen im Bestand erprobt. Veranlassung war die nicht mehr gegebene Sanierungsfähigkeit der standsicherheitsgefährdeten Verblendschalen mittels gängigen Sanierungsmethoden unter Verwendung von Sanierungsankern. Durch Anwendung dieser innovativen Sanierungsmethode gelang einerseits die Erhaltung der denkmalgeschützten Fassade in situ ohne Rückbaumaßnahmen, andererseits eine simultane energetische Ertüchtigung. Als nichtgeregelte Bauweise außerhalb der Norm erfolgte die erstmalige Anwendung dieser innovativen Sanierungsmethode auf Grundlage von Zulassungen im Einzelfall (ZiE), deren positive Bescheidung durch die Bauaufsicht umfangreiche Materialuntersuchungen im Prüflabor und am Pilotprojekt vorausgegangen sind. Die zwischenzeitlich erfolgten Nachuntersuchungen am Pilotprojekt verweisen durchgängig auf eine ausreichend eingestellte Verbundwirkung des multifunktionalen PU-Ortschaums. Durch instationäre Untersuchungen am Pilotprojekt wird derzeit das Langzeitverhalten des PU-Dämmstoff-Verbundsystems überprüft. Die bisherigen Resultate lassen auf breite Anwendung in der Sanierung hoffen.

1 Einführung

Bei dem Pilotprojekt „Reichardtblock“ handelt es sich um eine denkmalgeschützte Wohnanlage, die für den Altonaer Spar- und Bauverein eG durch den Architekten Hans Meyer in den Jahren 1928-1930 errichtet worden ist. Teilbereiche der Attikageschosse wurden im Jahr 1944 zu Wohnungen ausgebaut; Wiederaufbaumaßnahmen nach Kriegszerstörungen in den Jahren 1946 -1950 durch den Architekten Hans Meyer betrafen Teilbereiche der Anlage. Die Wohnanlage umfasst insgesamt etwa 400 Mietwohnungen zwischen 50-65 qm, ist vollständig unterkellert und bis zu 4-geschossig in Massivbauweise mit Klinker-Sichtfassaden errichtet. Die weniger bewitterten Ostfassaden sind durchgängig aus einschaligem Sichtmauerwerk errichtet, die schlagregen beaufschlagten Westfassaden und Teile der Kopfbauten hingegen aus zweischaligem Verblendmauerwerk. Abweichungen von dieser Systematik sind bei den Wiederaufbauten festzustellen; diese sind, mit wenigen Ausnahmen, durchgängig einschalig errichtet worden.

2013 wurde das Büro Giffey Saxler Architekten und Sachverständige mit der systematischen Erfassung vorliegender Bauschäden am „Reichardtblock“ und der Aufstellung eines entsprechenden Sanierungskonzeptes beauftragt. Im Zuge der qualitativen und quantitativen Bestandserfassung stellten sich u.a. umfangreiche Schäden an den wetterseitigen, zweischaligen Sichtfassaden heraus, die deren Standsicherheit dauerhaft infrage stellten.

2 Bestandserfassung der zweischaligen Sichtfassaden

Das Funktionsprinzip von zweischaligen, nicht gedämmten Außenwandkonstruktionen besteht in der Trennung von schlagregenbeanspruchter Verblendschale und tragender Hintermauerung. Kapillarer Feuchtetransport wird durch die Luftschicht wirksam unterbunden. Die Verankerung der durch Winddruck und –sog belasteten Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung wird in der Regel mit im Zuge der Errichtung eingebrachten Mauerwerksankern bewirkt. Grundsätzliche Angaben zu deren Bemessung bei Neubaumaßnahmen sind in DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996 geregelt.

Beim „Reichardtblock“ wurden die schlagregenbelasteten Westfassaden zweischalig mit tragender Hintermauerung aus Mischmauerwerk (Ziegel und Kalksandstein) und Verblendschale aus Klinker mit einer ca. 90 mm dicken Luftschicht erstellt. Die Verankerung von Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung erfolgte durch Drahtanker. Der Querschnitt stellt sich prinzipiell wie folgt dar:

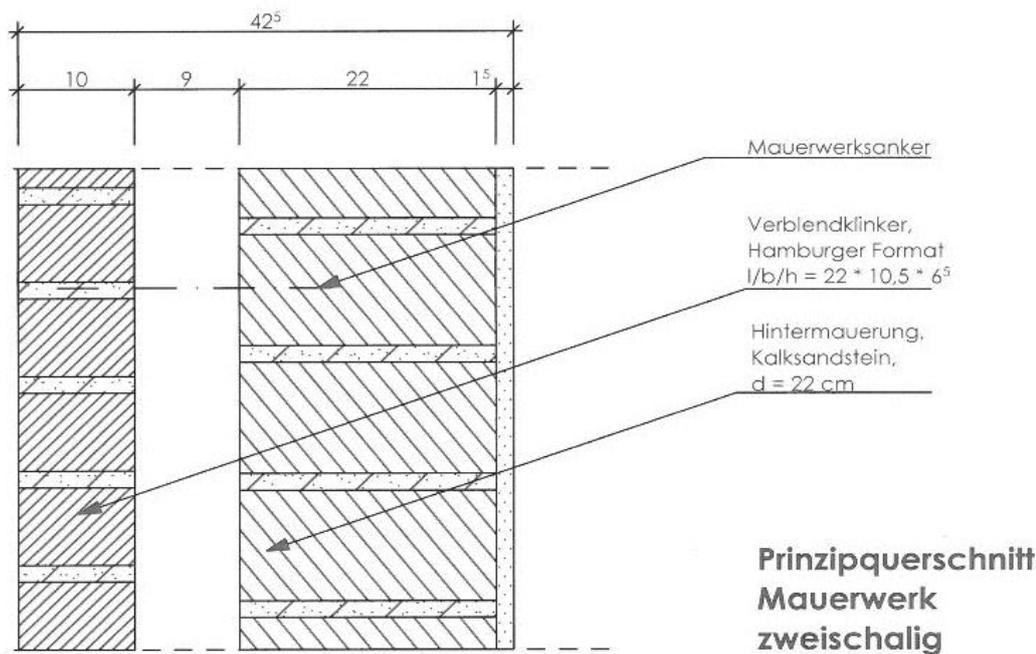


Bild 1: Aufbau zweischalige Sichtfassaden, Quelle: Giffey + Saxler Architekten

Bei den Bauteilöffnungen im Zuge der Bestandsaufnahmen 2013/14 wurde festgestellt, dass einerseits, wie bei Objekten dieser Baualtersklasse häufig vorgefunden, die bauzeitlichen Drahtanker stellenweise korrodiert und somit eine wirksame Verankerung der Verblendschale mit der Hintermauerung nicht mehr vorhanden war. Andererseits wurde festgestellt, dass der Mauermörtel der Verblendschale aufgrund hohem Bindemittelverlust weitgehend abgängig war, so dass eine ausreichende Einlage und Haftung der Drahtanker im Mörtelbett faktisch nicht mehr gegeben war. Vor diesem Hintergrund war die Standsicherheit der zweischaligen Sichtfassaden als nicht mehr dauerhaft gegeben einzuschätzen.

3 Sanierungskonzeption

Zur statischen Stabilisierung der zweischaligen Sichtfassaden standen folgende drei prinzipiell denkbare Sanierungsmethoden zur Diskussion, deren Eignung und praktische Umsetzbarkeit anhand eingehender Voruntersuchungen im Prüflabor und Beprobungen am Projekt untersucht wurden; dabei stand neben dem Primat der weitest gehenden Erhaltung der denkmalgeschützten Substanz auch die Frage nach der praktikablen und kostentechnisch vertretbaren Umsetzung zur Disposition.

Variante A: Verdübelung mit Sanierungsankern

Variante B: Abbruch der Vormauerschale und denkmalgerechter Wiederaufbau

Variante C: PU-Verschäumung der Luftschicht und Verklebung der Schalen

Variante A: Verdübelung mit Sanierungsankern

Die in der Praxis bewährte Sanierungsmethode zur Stabilisierung von zweischaligen Verblendmauerwerk mit Sanierungsankern setzt deren zugfeste Verankerung im tragenden Hintermauerwerk sowie deren ausreichende Einlage und Haftung im Lagerfugenmörtel der Verblendschale voraus. Entsprechend den Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen üblicher Sanierungsanker sind hierzu Mörteldruckfestigkeiten erforderlich, die nach DIN EN 1996-2/NA einem Normalmauermörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa entsprechen (Mindestdruckfestigkeit 5 MN/m²). Die Anzahl und Bemessung der Sanierungsanker ist in Anlehnung an DIN 1053-1 bzw. DIN EN 1996 in der aktuell gültigen Fassung, je nach vorliegender Windzone und Gebäudehöhe, vorzunehmen.

Aufgrund des hohen Bindemittelverlustes des Mauermörtels war im vorliegenden Sanierungsfall einerseits keine Haftung und Verankerung der bauzeitlichen Drahtanker mehr gegeben, wie nachstehendes Bild des sich kaskadenhaft einstellenden Abgangs des Mauermörtels nach probehalben Öffnen eines Verblendsteines deutlich vermittelt. Die im Zuge der Bestandserfassung 2013/14 vorgenommenen Laboruntersuchungen bestätigten im Ergebnis hohe Bindemittelverluste und Mindestdruckfestigkeiten des Mauermörtels deutlich unterhalb von 5 MN/m².



Bild 2:

Probeöffnung: Kaskadenhaft abgängiger Mauermörtel der Verblendschale,
Quelle: Giffey + Saxler Architekten

Andererseits war aufgrund des weitestgehend abgängigen Mauermörtels und fehlender Haftung und Verankerung das Einbringen üblicher Sanierungsanker nicht möglich; die abschnittsweise Aufnahme des abgängigen Mauermörtels und das Einbringen von Injektionsmörtel wurde zwar in Erwägung gezogen, aufgrund der sich dabei einstellenden Instabilität im Zwischenbauzustand und dem damit einhergehenden Risikos einer Einsturzgefahr jedoch als nicht durchführbar eingeschätzt und daher als möglicher Sanierungsansatz verworfen.

Variante B: Abbruch der Verblendschale und denkmalgerechter Wiederaufbau

Aufgrund des konstruktiven Einbaus sämtlicher Fenster in der äußeren Verblendschale hätte deren vollständiger Rückbau und denkmalgerechter Wiederaufbau die temporäre Evakuierung der betroffenen Wohnungen im „Reichardtblock“ bedeutet und wäre miettechnisch schlicht nicht möglich gewesen. Zudem standen dieser Sanierungsoption denkmalpflegerische Belange einer weitest gehenden Erhaltung der Sichtfassaden entgegen, so dass diese Sanierungsvariante sich lediglich auf gesonderte Fassadenbereiche in Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde beschränkte.

Variante C: PUR-Verschäumung der Luftschicht und Verklebung der Schalen

Aufgrund des durchgängig hohen Bindemittelverlustes wurde nach alternativen Sanierungsansätzen gesucht, die einerseits eine ausreichende Stabilisierung der Verblendschale in situ bewirken, bevor die Fugensanierung und der Austausch des abgängigen Verblendschalen-Mauermörtel erfolgt, andererseits eine simultane Dämmung des zweischaligen Fassadenaufbaus erzielen. Infrage kommen Materialien, die nachträglich in die Luftschicht des zweischaligen Sichtmauerwerks eingebracht werden und dabei eine Klebe-Verbundwirkung der außenseitigen Verblendschale mit der tragenden Hintermauerung herstellen. Dabei müssen folgende Kriterien erfüllt werden:

- Hohe und dauerhafte Haftzugfestigkeit der Verbundwirkung,
- Beim Eintrag der Verbundmaterialien darf kein hydrostatischer Druck auf die Verblendschale ausgeübt werden.

Vor diesem Hintergrund sind folgende Materialien zur Disposition gestellt und deren Anwendbarkeit für den vorliegenden Sanierungsfall überprüft worden:

- Mineralischer Injektionsmörtel
- Konstruktionsleichtmörtel / Schaummörtel
- PU-Ortschaum.

Aufgrund der nicht oder sich nur untergeordnet einstellenden Verbundwirkung von mineralischer Injektionsmörtel bzw. Konstruktionsleichtmörtel und dem vergleichsweise hohem hydrostatischen Druck des Flüssigmörtels im Zuge des Einbringens in den Schalenzwischenraum wurde deren Verwendung verworfen und die Verwendbar-

keit von PU-Ortschaum als multifunktionales Dämmstoffverbundsystem zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen Dämmung der zweischaligen Sichtfassade eingehender untersucht.

4 Voruntersuchungen zur Sanierungsmethode mit PUR – Ortschaum

Vor dem Hintergrund langjähriger Erfahrungen und vorliegender bauaufsichtlicher Zulassungen zur Verwendung von PU-Ortschaum als Kerndämmung und bewährtes Material zur energetischen Hohlraumverfüllung von zweischaligem Außenmauerwerk sowie einschlägiger Erfahrungen der Industrie mit PU-Hartschaum als Verbundbaustoff bei Sandwichfassaden, wurde das PUR-Hartschaumsystem „LAMOLTAN“ als Alternativlösung in Erwägung gezogen zur Stabilisierung der denkmalgeschützten Verblendschale des „Reichardtblocks“ ohne Verwendung von üblichen Sanierungsankern. Hierfür sprach auch der Umstand, dass aufgrund der geringen Rohdichte des Hartschaums das Einbringen im flüssigen Zustand ohne Beeinträchtigung der Standsicherheit der Verblendschale möglich erschien. Die Voruntersuchungen und erste Beprobungen der Verfahrensweise am Objekt fanden in enger Abstimmung mit dem in der Ausführung von nachträglichen Dämmmaßnahmen im Bestand spezialisierten Unternehmen Everisol statt.

Zur Beurteilung der sich einstellenden Haftklebewirkung bei Verwendung des PU-Hartschaumsystem „LAMOLTAN“ zwischen Verblendschale und Hintermauerung wurden orientierende Haftzugsversuche unter Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung von einer staatlich anerkannten Materialprüfanstalt sowie simulierende Zeitstand-Versuche vorgenommen. Die dabei gemessenen Haftzugfestigkeiten wurden mit den Soll-Vorgaben DIN 1053-1 für die Bemessung der Mindestanzahl und Auszugslast von Mauerwerksanker verglichen (DIN EN 1996-2 in aktuell gültiger Fassung enthält hierzu keine Angaben mehr). Im Ergebnis wurde eine Haftzugfestigkeit ermittelt, welche die nach DIN 1053-1 geforderte Auszugsfestigkeit der Anker bei weitem übertraf. Auch die 100-maligen Frost-Tauwechsel gemäß den Prüfvorschriften DIN 52 252-3 und DIN EN 772-21 wurden bestanden. Zur Einschätzung der Dauerstandfestigkeit erfolgten Zeitstandversuche unter dauerhafter Einwirkung einer reduzierten Last bis Eintreten der Bruchlast. Aus diesen Ergebnissen konnte durch logarithmische Extrapolation und Annahme einer Standardabweichung ein Design-Bemessungswert für die Haftzugfestigkeit von 0,009 N/mm² ermittelt werden. Die Untersuchungen im Prüflabor erfolgten am Bauprodukt „LAMOLTAN®-POLYURETHAN-Hartschaumsystem B2-G22-49-2,6“; der Baustoff ist bauaufsichtlich als Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk für Außenwände zugelassen (Zulassung Nr. Z-23.12-1794 vom 23.05.2013 des DIBt).

Unabhängig von den Untersuchungen im Prüflabor wurden das Verfahren und die konkrete Umsetzung am Objekt selbst erprobt. Hierzu wurde in einer Kleinfläche der Scha-

lenzzwischenraum der zweischaligen Sichtfassade mit dem PU-Ortschaum „LAMOLTAN®“ verfüllt und die vollständige Verschäumung des Schalenzwischenraums endoskopisch kontrolliert.

Zur Simulation des bauphysikalischen Verhaltens der zweischaligen Sichtfassaden nach Einbringen des multifunktionalen PU-Dämmstoff-Verbundsystems wurde eine bauphysikalische Simulation hinsichtlich Tauwasseranfall, Dampfdiffusionsverhalten sowie Wasseraufnahmeverhalten in Auftrag geben. Im Ergebnis wurde nachgewiesen, dass die Verwendung des PU-Hartschaumsystems zu keiner schädlichen Tauwasseranreicherung gemäß DIN 4108-3 im Fassadenquerschnitt führt.

Auf Grundlage der umfangreichen Untersuchungen im Prüflabor und in situ am Objekt erfolgte im November 2014 durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde die Bescheidung der Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) für die Verwendung des PU-Ortschaums zur Stabilisierung des zweischaligen Sichtmauerwerks und simultanen energetischen Aufwertung, aus Gründen der Belegenheit jeweils separat ausgestellt für die einzelnen Gebäude des „Reichardtblocks“.

5 Durchführung der Sanierung mit PU-Ortschaum

Vorbereitend für das Einbringen des multifunktionalen Dämmstoff-Verbundsystems wurden jeweils oberhalb des monolithischen Sockelmauerwerks Sichtklinker aufgenommen und der Schalenzwischenraum vollständig von Mörtelresten u.dgl. ausgeräumt. Anschließend wurde im Raster von ca. 1,0 x 1,0 m ein Borraster angelegt und der Hohlraum wurde mit Druckluft ausgeblasen. Die Staubreste wurden entfernt und der aufgenommenen Verblendsteine wieder an originaler Stelle eingesetzt. Zur Leckage-Ortung wurde der Hohlraum anschließend vernebelt und Fehlstellen an den Fassaden wurden verschlossen. Durch die Borraster wurde anschließend mit der Mischpistole der PU-Ortschaum lagenweise eingebracht. Die Vermischung des reaktiven, zweikomponentigen Dämmstoff-Verbundsystems erfolgt im dreiläufigen Mischpistolenkopf; bei Arbeitsunterbrechungen wird durch die separate Zufuhr von Druckluft eine Aushärtung des reaktiven Gemischs im Mischpistolenkopf unterbunden.

Die Verfüllung des Schalenzwischenraums mit dem zum Zeitpunkt des Einbringens flüssig-viskosen PU-Ortschaums erfolgte lagenweise jeweils von unten nach oben, damit die infolge der chemischen Reaktion (Polyaddition) des zweikomponentigen Dämmstoff-Verbundsystems stattfindende, auftreibende Wirkung keinen destabilisierenden Druck auf die Verblendschale ausübt. Die Höhenlagen wurden dabei derart abgestimmt, dass vorhandene Leckagen wie in den Schalenzwischenraum eingreifende Balkenaufleger u.dgl. nicht durch den flüssig-viskosen Dämmstoff erreicht und penetriert werden und der Ortschaum unkontrolliert auftreiben kann. Die hohlraumfreie Einbringung erfolgte unter ständiger Sichtkontrolle mit dem Endoskop, damit eine möglichst vollflächige Verbundwirkung und Dämmung des Schalenzwischenraums unterstellt werden kann.



Bild 3: Einbringen des multifunktionalen Dämmstoff-Verbundsystems, Quelle: Giffey Saxler Architekten

Insgesamt wurden im Zuge der Durchführung der Sanierungsmaßnahme ab Juli/August 2016 bis Dezember 2016 etwa 10.000 qm zweischaliges Sichtmauerwerk am „Reichardtblock“ durch Einbringen des PU-Ortschaums „LAMOLTAN®“ stabilisiert und energetisch ertüchtigt.

6 Qualitätssicherung der Sanierungsmaßnahme

Zur instationären Aufzeichnung des sich im Schalenzwischenraum konkret einstellenden Mikroklimas wurden im Zuge des Einbringens des PU-Ortschaums an zwei exemplarischen Stellen im Schalenzwischenraum jeweils Datenlogger installiert, die kontinuierlich den Verlauf der Oberflächentemperaturen in allen Grenzschichten und die dazugehörigen Materialfeuchten des zweischaligen Außenwandquerschnitts aufzeichnen, jeweils für den bauzeitlichen Zustand mit Luftschicht sowie nach Einbringen des PU-Ortschaums. Hintergrund ist die Fragestellung, ob Auffeuchtungen in der Grenzschicht zwischen Verblendschale und Dämmschicht insbesondere bei Frost-Tauwechsel etwaig negative Auswirkungen auf die Verbundwirkung haben und dies insofern die dauerhafte Standsicherheit des Klebeverfahrens in Frage stellt.

Parallel zu den Laboruntersuchungen erfolgten ab 2016/17 umfangreiche Haftzugversuche in situ im Bereich der sanierten Fassaden. Im Ergebnis der bisherigen Haftzugversuche wurden Haftauszugswerte von i.M. über $0,2 \text{ N/mm}^2$ ermittelt, die den in der ZiE geforderten Design-Bemessungswert für die Haftzugfestigkeit von $0,009 \text{ N/mm}^2$ deutlich übersteigen. Insofern kann eine ausreichend sich eingestellte Verbundwirkung

durch den eingebrachten multifunktionalen „LAMOLTAN®“-PU-Ortschaum unterstellt werden und im Ergebnis eine erfolgreiche Stabilisierung des zweischaligen Sichtfassade.



Bild 4: Haftzugsversuch, Quelle: Giffey Saxler Architekten

Zur nachträglichen Qualitätssicherung wurde im Nachgang anhand von umfassenden Wärmebildaufnahmen untersucht, ob eine vollständige Verschäumung des Schalenzwischenraums mit dem PU-Ortschaum erfolgt ist. Die Einbringung erfolgte aufgrund der Standsicherheitsgefährdung der Fassaden innerhalb von ca. 4,5 Monaten auf ca. 10.000 m² Fassadenflächen inkl. Auf- und Abrüstung. Im Ergebnis der thermografischen Untersuchungen sind insbesondere im Bereich der Bestandsfenster verbliebene Wärmebrücken durch Überbinder zu lokalisieren.



Bild 5: Bahrenfelder Chaussee 16, Wärmebildaufnahme, nach energetischer Ertüchtigung, Quelle: Giffey Saxler Architekten

7 Bewertung der Sanierungsmaßnahme

Im Ergebnis der Durchführung am Objekt und bisheriger Untersuchungen kann die Verwendung des PU-Ortschaums „LAMOLTAN®“ als alternative Sanierungsmethode zur nachträglichen Stabilisierung und simultanen energetischen Ertüchtigung von zweischaligen Mauerwerkskonstruktionen im Bestand als zielführend eingeschätzt werden.

Das Verfahren wurde zwischenzeitlich beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldet und die Patentansprüche registriert. Exemplarische Untersuchungen durch das Büro Giffey Saxler im Rahmen von gutachterlichen Tätigkeiten legen die Vermutung nahe, dass ähnliche Problematiken bei der Standsicherheit von Verblendschalen der Baualtersklassen 1920er bis 1970er Jahre sowie bei vorgehängten Beton-Fertigteilfassaden (Ende 1960er bis Anfang 1980er Jahre) in Norddeutschland vorliegen. Insoweit ergibt sich eine breite Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens. Die bisherigen Anwendungen am „Reichardtblock“ sind vielversprechend.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1996-1-1, Ausgabe 2013-02, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- [2] DIN EN 1996-1-1/NA, Ausgabe 2012-05, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Nationaler Anhang
- [3] DIN EN 1996-2, Ausgabe 2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk
- [4] DIN 1053-1, Ausgabe 1996-11, Teil 1: Berechnung und Ausführung von Mauerwerk
- [5] Zimmermann, Günther, Schadenfreies Bauen, Band 13, Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk, Fraunhofer IBR Verlag, 2. Auflage 2004
- [6] Altaha, Nasser, Konstruktion und Ausführung von zweischaligem Mauerwerk, in Mauerwerkskalender 2009, S. 291-317, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, hrsg. Wolfram Jäger
- [7] Gigla, Birger, Zweischaliges Verblendmauerwerk, in Mauerwerkskalender 2015, S. 263-291, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, hrsg. Wolfram Jäger