

Recycling von Mauerwerkbruch – Stand und neue Verwertungswege (Teil 2)

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller*

Im ersten Teil dieses Berichtes zur Verwertung von Mauerwerkbruch wurde ein Überblick zu Anfallmengen, Verwertungsquoten und Einsatzgebieten gegeben. Die Eigenschaften von zu Recyclingbaustoffen aufbereitetem Mauerwerkbruch, die für die Verwertung ausschlaggebend sind, wurden dargestellt. Auch in Teil 2 werden verschiedene in der Literatur beschriebene Verwertungsvarianten vorgestellt. In Teil 3 werden dann Verwertungsvarianten beschrieben, die in eigenen Forschungsprojekten entwickelt wurden.

Verwendung von gebrauchten Dach- und Mauerziegeln

Recycling lässt sich in Produkt- und Materialrecycling einteilen, folgt man sinngemäß den in der VDI-Richtlinie 2243 [32] angegebenen Definitionen und Begriffen.

Produktrecycling bedeutet die Wieder- und Weiterverwendung von Baustoffen und Bauteilen in ihrer ursprünglichen Gestalt und in der Regel für den ursprünglichen Verwendungszweck.

Materialrecycling ist die Verwertung nach einer Aufbereitung, bei welcher die ursprüngliche Gestalt des Bauelements durch eine Zerkleinerung oder andere technologische Schritte aufgelöst wird. Die Verwertung kann anschließend im ursprünglichen Produkt oder in einem anderen Einsatzfeld erfolgen.

Oft genanntes Beispiel für die Wiederverwendung ist das Aufarbeiten des Trümmerschutts nach dem Zweiten Weltkrieg. Die etwa 600 Mio. m³ Trümmerschutt, die überwiegend aus Ziegeln bestanden, wurden für die Gewinnung von Sekundärbaustoffen genutzt. Die unbeschädigten Ziegel wurden aussortiert und gereinigt, um sie wieder als Wandbaustoff einzusetzen. Heute ist die Wiederverwendung besonders für Aufgaben in der Denkmalpflege bedeutsam. So ist der Einsatz gebrauchter Dachziegel inzwischen oft geübte Praxis. Mauerziegel, die beim Rückbau von Gebäuden unbeschädigt anfallen, können ebenfalls direkt wiederverwendet werden. Aktuelle Beispiele für die Bergung historischer Baumaterialien und den Einsatz sind in [33,34] zusammengestellt. Ergänzend soll hier mit zwei Abbildungen ein weiteres Motiv für die Wiederverwendung deutlich gemacht werden. Bei der dargestellten Verlegung hart gebrannter Abbruchziegel zu gepflasterten Fußböden wird ebenso wie bei der Verwendung von halbierten Handschlagziegeln als Fußbodenbelag das attraktive Aussehen alter Ziegel genutzt, siehe Bild 7 [35, 36].

Recycling of masonry rubble – Status and new utilisation methods (Part 2)

In the first part of this report on the utilisation of masonry rubble, an overview was given of the quantities arising, utilisation quotas and fields of application. The properties of masonry rubble prepared as recycling construction materials, which are decisive for their utilisation, were discussed. Also in Part 2 introduce different utilisation variants described in the literature are introduced. Utilisation variants which were developed in own research projects are described in Part 3.

Application of used clay roofing tiles and masonry bricks

Recycling can be divided into product recycling and material recycling, if one follows the sense of the definitions and terms given in the VDI Directive 2243 [32].

Product recycling means the re-use and further use of building materials and building components in their original form and, as a rule, for the original intended purpose.

Material recycling is the utilization after preparation, in which the original form the building element is dissolved by size reduction or other technological steps. Utilisation can then take place in the original product or in another field of application.

An often cited example for re-use is the re-working of debris after the Second World War. Some 600 million m³ of debris consisting mainly of brick were used to acquire secondary building materials. The undamaged bricks were sorted out and cleaned to be used again as wall construction material. Today re-use is of particular significance for projects relating to the conservation of historical monuments. Meanwhile the application of used clay roofing tiles is a frequently carried out practice. Masonry bricks which remain undamaged after dismantling of buildings can also be re-used directly. Current examples for the recovery of historical building materials and

* Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, D-99421 Weimar

* Bauhaus University of Weimar, Faculty of Construction Engineering, Chair of Preparation of Building Materials and Recycling, D-99421 Weimar

Verwertung von Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch – Ist-Zustand

Verwertung in ungebundenen Systemen

Der überwiegende Anteil der Recyclingbaustoffe aus Mauerwerkbruch wird heute für Verfüllungen, ungebundene Verkehrsflächen und Wege, für den Unter- und Dammbau, zur Bodenverbesserung sowie für Aufgaben im Landschafts- und Deponiebau und zur Rekultivierung eingesetzt. Bei diesen Verwertungen kommt Material mit einer stetigen Korngrößenverteilung und einem Größtkorn von 32 mm oder größer zum Einsatz, wie es beispielsweise bei einem einstufigen Brechvorgang entsteht. Neben diesen technisch wenig anspruchsvollen Einsatzgebieten gibt es weitere Anwendungen in ungebundenen Systemen. Bei diesen werden die Spezifika von ziegelreichen Mauerwerk-Rezyklaten wie Farbe oder Porenstruktur bewusst genutzt. Diese Einsatzgebiete sind in der Regel korngroßen- und stoffspezifisch. Das heißt, sie erfordern eine Trennung des Recyclingbaustoffs in bestimmte Korngruppen und bestimmte stoffliche Zusammensetzungen.

Verwertung im Sport- und Tennisplatzbau

Für den Bau von Sportanlagen werden mineralische Korngemische ohne zusätzliche Bindemittel verwendet, die den Anforderungen der DIN 18035 [37] entsprechen müssen. Ein spezifisches Einsatzgebiet für Ziegelsande sind Tennenbeläge für Tennisplätze. Sie bilden den Abschluss von wasserdurchlässigen, mehrschichtigen Tennenflächen und können aus Bruchmaterial von Ziegelwerken oder aus Gemischen von Bruchmaterial und gebrauchten Dachziegeln hergestellt werden. Eingesetzt werden hauptsächlich die Körnungen 0/1 mm, 0/2 mm und/oder 0/3 mm, die ein- oder mehrschichtig eingebaut werden. Das Material muss bestimmte Anforderungen hinsichtlich Verschleiß, Frostbeständigkeit, Korngrößenverteilung, Durchlässigkeit und Verdichtbarkeit erfüllen. Es soll eine gleichmäßige und beständige Farbe aufweisen. Toxische, treibende und verfestigende Bestandteile dürfen nicht enthalten sein. Der spezifische Bedarf an Ziegelsanden für dieses Einsatzgebiet liegt bei 25 bis 30 t/Platz für den Neubau bzw. 1,5 t/Platz für die jährliche Aufbesserung [17].

Verwertung in vegetationstechnischen Anwendungen

Im Splittkornbereich eignen sich Recyclingbaustoffe, die überwiegend aus Ziegel bestehen, für vegetationstechnische Anwendungen. Die Poren im Ziegel sind in der Lage, Wasser und Nährstoffe zu speichern und sie den Pflanzen über einen langen Zeitraum in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen. Außerdem regulieren sie den Lufthaushalt. Im Einzelnen eignen sich ziegelreiche Recyclingbaustoffe für

- ▶ Dach- und Bauwerksbegrünungen
 - ▶ Baumsubstrate insbesondere im Bereich von Stadtstraßen
 - ▶ Schotterrasen in ein- oder zweischichtiger Bauweise für gelegentlich benutzte Parkflächen und Notfahrbereiche
- Bei Dachbegrünungen kommen in Abhängigkeit von der beabsichtigten Begrünungsart und der Dachneigung ein- oder mehrschichtige Bauweisen zum Einsatz. Weiterhin wird unterschieden zwischen
- ▶ Extensivbegrünungen aus flächigen Vegetationsbeständen mit Sukkulenten, Kräutern und Gräsern, die ein- oder zweischichtig aufgebaut sein können. Die Wuchshöhen bleiben unter etwa 50 cm. Die zusätzlichen, auf das Dach aufgebrauchten Lasten betragen rund 50 bis 150 kg/m²
 - ▶ Intensivbegrünungen mit Stauden und Gehölzen, im Einzelfall auch Bäumen mit Wuchshöhen bis zu 10 m, die



Bild 7: Recycling-Pflasterbelag mit gebrauchten Klinkern und Ziegeln (links) sowie Recycling-Fußbodenbelag aus geschnittenen und geschliffenen Handschlagziegeln (rechts) [35, 36]
 Fig. 7: Recycling pavement surface with used clinker pavers and bricks (left) and recycling floor covering from cut and ground hand-struck bricks (right) [35, 36]

their use are summarized in [33, 34]. In addition, a further motive for re-use is indicated here with two illustrations. The attractive appearance of old bricks is used to advantage when hard fired demolition bricks are laid as paved floors, or when halved hand-struck bricks are used as floor covering, see Fig. 7 [35, 36].

Utilization of recycling materials from masonry rubble – actual status

Utilization in unbonded systems

The main portion of recycling materials from masonry rubble is used today for filling works, unbonded traffic areas and paths, for substructure and dam construction, ground improvement as well as for functions in landscaping, waste dump construction and re-cultivation. Material with a constant grain size distribution and a maximum grain of 32 mm or larger is used in these applications, such as occurs for example in single-stage crushing process. Apart from these technically less demanding fields of application, there are other applications in unbonded systems. Here the special features of brick-rich masonry recycling materials, such as colour or pore structure, are used intentionally. As a rule, these fields of application are related specifically to grain size and material. That means, they require a separation of the recycling material into certain grain groups and certain material compositions.

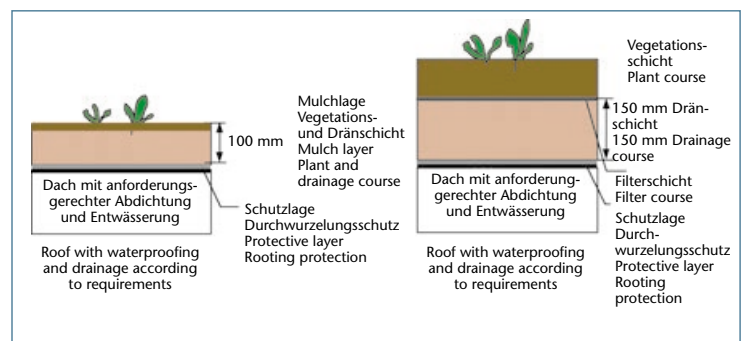


Bild 8: Schichtenfolge für extensive Begrünungen in Ein- und Mehrschichtbauweise
 Fig. 8: Sequence of layers for extensive green planting in single and multi-layer construction method

einen mehrschichtigen Aufbau benötigen und Lasten $> 150 \text{ kg/m}^2$ verursachen

Die verschiedenen Bauweisen für eine extensive Begrünung sind in Anlehnung an die Richtlinie der Gesellschaft für Landschaftsentwicklung Landschaftsbau [9] im Bild 8 dargestellt. Bei der einschichtigen Bauweise wird eine kombinierte Vegetations- und Dränschicht auf das abgedichtete Dach aufgebracht. Bei der zweischichtigen Bauweise sind Dränschicht und Vegetationsschicht getrennt. Die Baustoffe für beide Schichten können unter Verwendung von Recyclingbaustoffen hergestellt werden. Für die Dränschicht kann ziegelreicher Mauerwerkspalt ohne Feinkornanteil, beispielsweise die Fraktion 4/16 mm, verwendet werden. Durch das Absieben des Feinkornanteils wird die notwendige hohe Wasserdurchlässigkeit erreicht. Für die Vegetationsschicht eignen sich Mischungen aus Kompost als Nährstofflieferant und zerkleinertem Ziegelbruch als Gerüstbaustoff. Die Anforderungen an das Dränmaterial und den Gerüstbaustoff des Substrats, wie sie in der FLL-Richtlinie beschrieben sind, können eingehalten werden.

Ausführliche Untersuchungen an insgesamt 34 Schüttstoffen mit offener Porosität wie Bims, Lava, Blähton, Blähschiefer, Schaumglas, Ziegelsplitt, Schlacken und Porenbetonbruch, die für die Dachbegrünung verwendet werden, bestätigen die Eignung von Ziegelbruch [38]. Innerhalb der betrachteten Materialarten bildet Ziegelsplitt zusammen mit Schmelzkammergranulat und Lava eine Gruppe mit vergleichsweise hohen Schüttdichten um $1,0 \text{ g/cm}^3$. Das hat geringere, aber ausreichende Wasserkapazitäten und Luftgehalte zur Folge. Langzeituntersuchungen zum Pflanzenwuchs [39] bestätigen die gute Eignung von mit Kompost gemischtem Recyclingmaterial. Mörtelanteile, die in Recyclingbaustoffen aus Ziegelmauerwerk auftreten und deutliche Carbonatgehalte verursachen, bewirken nach den in [39] beschriebenen Untersuchungen keine Versinterung der Entwässerungseinrichtungen. Nach der FLL-Richtlinie von 2002 [9] stellen Carbonate in Drän- oder Vegetationsschichten keine Beurteilungskriterien dar, sodass neben reinen Ziegelkörnungen auch ziegelreicher Mauerwerkbruch eingesetzt werden kann.

Im Vergleich zu konventionellen Flachdächern haben begrünte Dächer ästhetische und ökologische Vorteile. Bei einer Kosten-Nutzen-Analyse [40] stehen sich Mehraufwendungen für die Tragkonstruktion sowie die Herstellung und Kostenreduzierungen infolge der längeren Haltbarkeit sowie der ggf. geringeren Abwassergebühren gegenüber. Insbesondere die Lebensdauer der Dachabdichtung wird durch eine Dachbegrünung verlängert, was durch Untersuchungsergebnisse an einem Gründach aus den 1970er-Jahren belegt wird.

Verwertung in gebundenen Systemen

Die Aufgabenstellung aus Ziegel- oder Mauerwerkskörnungen wieder Steine für den Mauerwerksbau zu erzeugen, wurde mehrfach untersucht. Die entwickelten Technologien beruhen zum einen auf einer Verfestigung eines Gemisches aus Mauerwerkbruch, Ziegelschutt sowie Braunkohlenflugasche und bis zu 10 % Ton als Korrekturstoff bei Temperaturen von 1 120 bis 1 140 °C [41]. Zum anderen basierten sie auf der hydrothermalen Erhärtung von Mischungen aus Ziegelsanden und Kalk [42,43]. Obwohl akzeptable technische Ergebnisse erzielt wurden, konnten sich diese Entwicklungen in Konkurrenz zu herkömmlichen Wandbaustoffen nicht behaupten.

In einer neuen, niederländischen Arbeit [44] wurde untersucht, ob sich Sande aus Mauerwerkbruch bzw. reine Ziegelsande als Rohstoff für die Ziegelherstellung eignen. Es wurden Mischungen aus Ton und bis zu 90 % Recyclingmaterial

Utilization in sports grounds and tennis court construction

For the construction of sports facilities, mineral grain mixtures without additional binders are used which must correspond to the requirements of DIN 18035 [37]. A specific field of application for brick sands are tamped surfaces for tennis courts. They form the finish of water-permeable, multi-course tamped areas and can be produced from scrap material from brickworks or from mixtures of scrap material and used clay roofing tiles.

The grain sizes 0/1 mm, 0/2 mm and/or 0/3 mm are used mainly, and are installed in single or multiple layers. The material must fulfil certain requirements in regard to wear, frost resistance, grain size distribution, permeability and compressibility. It should have a uniform and permanent colour. Toxic, expanding and strengthening constituents are not allowed in the content. The specific requirement of brick sands for this field of application lies in the region of 25 to 30 t/court for new construction or 1.5 t/court for annual improvement [17].

Utilization in vegetation applications

In the grit grain size range, recycling materials consisting mainly of brick are suitable for vegetation applications. The pores in the brick material are able to store water and nutrients and make these available to the plants in sufficient quantity over a long period of time. In addition they regulate the air balance. In particular brick-rich recycling construction materials are suitable for:

- ▶ Green roof planting and planting of building surfaces
- ▶ Tree substrates especially in town roads
- ▶ Gravel-based grassed areas in single or two-course construction method for occasionally used parking areas and emergency access routes

For green roof planting, single or multiple course construction methods are used depending on the intended type of greenery and the roof pitch. Furthermore a differentiation is made between:






- ▶ Extensive green planting of large-area plant stocks with succulents, herbaceous plants and grasses, which can be built up in one or two layers. The growing heights remain below 50 cm. The additional loads applied to the roof amount to around $50 \text{ to } 150 \text{ kg/m}^2$
- ▶ Intensive green planting with shrubs and woody plants, in individual cases also trees with growing heights up to 10 m, which require a multiple-layer structure and cause loads of $> 150 \text{ kg/m}^2$

The various construction methods for extensive green planting are shown in Figure 8 in accordance with the guideline of the Society for Landscape Development and Landscape Engineering (FLL) [9]. With the single layer method, a combined plant and drainage course is applied onto the waterproofed roof. With the two-layer method, the drainage course and plant course are separate. The materials for both courses can be produced using recycling construction materials. For the drainage course, brick-rich masonry chippings without fine grains, for example the fraction 4/16 mm, can be used. By screening the fine grain share, the necessary high water permeability is achieved. Mixtures of compost as nutrient supplier and crushed brick scrap as skeleton material are suitable for the plant course. The requirements on the drainage material and the skeleton material of the substrate, as described in the FLL guideline, can be adhered to.

Tabelle 6: Anwendungsbeispiele für Betonwaren bzw. -elemente aus Ziegelsplitt

Schornstein-Mantelstein mit Ziegelsplitt als Zuschlag [52]	
Speicherziegel aus 70 % Ziegelsplitt und 10 % Blähton und 7 % Kies, 13 % Zement mit folgenden Merkmalen [53] <ul style="list-style-type: none"> ▶ hoher Schallschutz ▶ hohe speicherwirksame Masse ▶ geringere Dämmeigenschaften ▶ geringer Primärenergieeinsatz ▶ leichte Bearbeitbarkeit für Installationen 	
Geschosshohe Wände aus Ziegelsplitt-beton [54] <ul style="list-style-type: none"> ▶ Ziegelsplitt-Leichtbeton der Festigkeitsklasse LB 225/SI ▶ Zuschlagstoff: korngestufter Ziegelsplitt, geringer Anteil von Natursand ▶ Bewehrung: BST550 	
Bausteine aus mineralischen Baurestmassen [55] <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mischung entsprechender Fraktionen aus Beton- und Ziegelbruch ▶ Zwischenwandstein, Kellerwandstein, Fertigelementdecke ▶ Ö-Norm geprüft 	
Transportbeton mit hohem Anteil an rezyklierten mineralischen Baurestmassen <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mischung entsprechender Fraktionen aus Beton- und Ziegelbruch ▶ für Deckenbeton oder Deckenaufbeton Ö-Norm-geprüft ▶ verbesserte Dämmeigenschaften 	
Baustoff ebenfalls erprobt für Massivbetonwände, mehrschalige Fertiggewerkelwände und Estriche.	

Table 6: Application examples for concrete products or concrete elements from brick chippings

Chimney mantle block with brick chippings as aggregate [52]	
Storage block made from 70% brick chippings and 10% expanded clay and 7% gravel, 13% cement with the following characteristics [53] <ul style="list-style-type: none"> ▶ high sound protection ▶ high storage-effective mass ▶ lower insulating properties ▶ low primary energy input ▶ easy handling for installations 	
Storey-high walls from chipping concrete [54] <ul style="list-style-type: none"> ▶ Lightweight brick chipping concrete of strength class LB 225/SI ▶ Aggregate: grain-graded brick chippings, low share of natural sand ▶ Reinforcement: BST550 	
Structural blocks of mineral building residue masses [55] <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mixture of corresponding fractions of concrete debris and brick scrap ▶ Intermediate wall block, basement wall block, prefab element floor ▶ Tested according to Austrian Standards 	
Transport concrete with high share of recycled mineral building residue masses <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mixture of corresponding fractions of concrete debris and brick scrap ▶ Tested according to Austrian Standards for floor concrete or floor topping concrete ▶ Improved insulating properties 	
Building material also tested for massive concrete walls, multi-leaf prefabricated basement walls and screeds.	

untersucht, wobei das in den Niederlanden bevorzugte Streichverfahren zur Anwendung kam. Die Ergebnisse belegen die Machbarkeit. Bei zu geringen Anteilen an Recycling-sanden war die Herstellung einer homogenen Mischung aus Ton und Recyclingmaterial schwierig. Zu hohe Anteile führten zu Problemen bei der Formgebung. Optimal für die Homogenisierung und die Formgebung waren Mischungen mit etwa gleichen Anteilen an Recyclingsand und Ton, die auch eine ausreichende Grünstandsfestigkeit aufwiesen. Die Rohlinge, die in einem gasbeheizten Kammerofen bei 1100 °C gebrannt wurden, ergaben Ziegel mit Rohdichten zwischen 1,50 und 1,95 g/cm³. Festigkeiten wurden nicht angegeben.

Eine weitere Möglichkeit der „gebundenen“ Verwertung stellt die Herstellung von Beton dar. Sie kann für reinen Ziegelsplitt, der einen genormten Leichtzuschlag nach DIN 4226-2 darstellt, genutzt werden. Zur Gebrauchstüchtigkeit solcher Betone, die wichtiges Baumaterial der Nachkriegszeit waren, liegen konträre Aussagen vor. So wird in [45] über Schadensfälle an Ziegelsplitt-Schüttbetonen bis hin zum Einsturz eines 8-geschossigen Gebäudes berichtet, die durch Fehler in der Verarbeitung verursacht wurden. Dagegen werden in [46] Gebäu-

Detailed investigations on altogether 34 bulk materials with open porosity such as pumice, lava, expanded clay, expanded shale, foam glass, brick chippings, slag and aerated concrete scrap, which are used for green roof planting, confirm the suitability of brick scrap [38]. Among the types of material considered, brick chippings together with melting chamber granules and lava form a group with comparatively high bulk densities around 1.0 g/cm³. This results in lower but sufficient water capacities and air contents. Long-term tests on plant growth [39] confirm the good suitability of recycling material mixed with compost.

According to the tests described in [39], mortar fractions which occur in recycling materials from brick masonry and cause significant carbonate contents, do not effect any fusion of the dewatering installations. According to the FLL guideline dated 2002 [9], carbonates in drainage or plant courses do not represent any assessment criteria, so that in addition to pure brick grains, brick-rich masonry scrap can also be used. In comparison to conventional flat roofs, green planted roofs have aesthetic and ecological advantages. In a cost-benefit analysis [40], additional expenditures for the bearing structure

de aus der Nachkriegszeit vorgestellt, die heute noch ohne Einschränkung genutzt werden. Aktuelle Beispiele zu Ziegelsplitt-Betonen, die durch eine Internet-Recherche ermittelt wurden und keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit erheben, enthält Tabelle 6.

Die Eignung von Rezyklaten aus Mauerwerkbruch zur Betonherstellung wurde mehrfach untersucht [14, 16, 47–51]. Bei Substitution der Sandfraktion durch Natursand und der Verwendung von Fließmitteln können brauchbare Betone hergestellt werden. Im technischen Maßstab werden solche Rezyklate bisher kaum für die Betonherstellung genutzt. Gründe sind die Heterogenität dieser Rezyklate und nicht völlig auszu-schließende Anteile an betonschädigenden Inhaltsstoffen.

Literatur

- [32] VDI-Richtlinie „Recyclingorientierte Produktentwicklung“. Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2243, Juli 2002
- [33] Schrader, M.: Bergung historischer Baumaterialien zur Wiederverwendung. anderweit Verlag GmbH. Suderburg-Hösseringen 1996
- [34] Schrader, M.: Auf der Suche nach historischen Baumaterialien. anderweit Verlag GmbH. Suderburg-Hösseringen 1999
- [35] Landschaftsbau. Ziegel und Klinker im Stoffkreislauf/Recycling. Seite 3. http://www.fh-weihenstephan.de/la/06_skripten/bauko/bauko/ks/downloads/ks-6landschaftsbau.PDF
- [36] Abbruch-Ziegel als Designer-Werkstoff. Beitrag Bauen und Gestalten, Zi 12/95, S. 979–981
- [37] DIN 18 035 Teil 5, Sportplätze. DIN-Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth-Verlag, Berlin 1987
- [38] Roth-Kleyer, S.: Vegetationstechnische Eigenschaften mineralischer Substratkomponenten zur Herstellung von Vegetationstrag- und Drän-schichten für Bodenferne Begrünungen. Fachbeitrag in Dach + Grün 1/2001 veröffentlicht. <http://www.alpavert.ch/lavamix/lavamix60d.htm>
- [39] Kolb, W.; Eppel, J.; Trunk, R.: Recyclingbaustoffe zur Dachbegrünung. Teil 1: Extensivbegrünung. <http://www.stmlf.bayern.de/lwg/landespflege/info/recyc-ex.html>
- [40] Giesel, D.: Teuer, dafür aber schön. Langfristige Kosten-Nutzen-Analyse spricht für die Dachbegrünung. Deutsches Ingenieur Blatt, 2001, S. 24–29
- [41] Kwasny-Echterhagen, R.; Koslowski, T.: Vom ziegelreichen Bauschutt zum Qualitätsbaustoff. Vortrag zur 6. Weimarer Fachtagung über Abfall- und Sekundärrohstoffwirtschaft, Bauhaus-Universität Weimar. Schriftenreihe der Bauhaus-Universität Weimar, 1998, S. 5-01–5-13
- [42] Hansen, H.: A method for total reutilization of masonry by crushing, burning, shaping and autoclaving. Demolition and Reuse of Concrete. RILEM 1994, S. 407–414
- [43] Hard AG: Abbruchmauerwerk fließt wieder in Stoffkreislauf. Schweizer Baublatt Nr. 7, 25. Januar 1994, Recycling + Entsorgung Nr. 1, S. 32–34
- [44] Van Dijk, K.; Fraaij, A. L. A.; Hendriks, Ch. F.; Mulder, E.; van der Zwan, J.: Recycling of Masonry Debris as a Raw Material in the Ceramic Industry. Sustainable Concrete Construction. Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK, September 2002, S. 291–304
- [45] Plank, A.; Weber, D.: Ziegelsplitt-Schüttbeton-Untersuchung eines Schadenfalles. Bautechnik 5/1986. S. 156–163
- [46] Plank, A.; Weber, D.: Ziegelsplitt-Schüttbeton-Untersuchung eines Schadenfalles. Bautechnik 5/1986. S. 156–163
- [47] Worni, F.: Beton aus Recyclingmaterial. Baustoff Recycling + Deponietechnik 8/1992, S. 18–19
- [48] Crescionini, M.: Beton aus Beton- und Mischabbruchgranulat, Teil I. Baustoff Recycling + Deponietechnik 5/1995, S. 64–66
- [49] Crescionini, M.: Beton aus Beton- und Mischabbruchgranulat, Teil II. Baustoff Recycling + Deponietechnik 5/1995, S. 91–95
- [50] Olbrecht, H.; Leemann, A.: Beton aus Mischabbruch. Baustoff Recycling + Deponietechnik 6/1999, S. 50–52
- [51] MPA Dresden, FuE-Vorhaben „Baustoffkreislauf im Massivbau“, Thema C/01: Einflüsse der Aufbereitung von Bauschutt für eine Verwendung als Betonzuschlag. Themenverantwortlicher: Prof. Reichel, MPA Dresden. <http://www.b-i-m.de/Berichte/C01/C01z0198.doc>
- [52] Schornstein-Mantelstein, <http://www.poroton.org/tipsinfo/oekol/44261.htm>
- [53] Buhl-Speicherziegel, http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/10_1.php
- [54] Geschosswände Ziegelit, <http://www.maba.at/maba.htm>
- [55] Recyclingbeton Firma Schönberger; Betonsteine Firma Viertel <http://abfallwirtschaft.stmk.gv.at/aktuell/HBM2002/recycling.pdf>

and production are set against cost reductions as a result of the longer durability and possibly lower fees for waste water. In particular the service life of the roof waterproofing is extended by green roof planting, which is verified by test results on a green planted roof dating from the 1970s.

Utilization in bonded systems

The problem definition of producing bricks again for masonry construction from brick or masonry grains was examined in several cases. On the one hand the developed technologies were based on a consolidation of a mixture of masonry scrap, brick rubble and brown coal fly ash and up to 10% clay as correction material at temperatures from 1120 to 1140° C [41]. On the other hand they were based on the hydrothermal hardening of mixtures of brick sands and lime [42, 43]. Although acceptable technical results were achieved, these developments could not establish themselves in competition with conventional wall construction materials.

In a new study in the Netherlands [44] investigations were carried out as to whether sands from masonry rubble or pure bricks sands are suitable as raw materials for brick production. Mixtures with up to 90% recycling material were examined, whereby the hand-struck method preferred in the Netherlands was used. The results verify the feasibility. In cases where the shares of recycling sands were too low, the production of a homogeneous mixture of clay and recycling material was difficult. Too high shares led to problems in shaping. The optimum for homogenization and shaping were mixtures with approximately equal shares of recycling sand and clay, which also had sufficient green strength. The shaped products, which were fired in a gas-heated chamber kiln at 1100° C, produced bricks with bulk densities between 1.50 and 1.95 g/cm³. Strengths were not given.

A further possibility for “bonded” utilization is the production of concrete. It can be used for pure brick chippings, which represent a standardized lightweight aggregate according to DIN 4226-2. There are contrary statements on the performance capability of such concretes, which were an important construction material in the post-war period. For example reports are given in [45] on cases of damage in crushed brick concretes to the extent of the collapse of an eight-storey building, which were caused by faults in the processing. On the other hand buildings dating from the post-war period are presented in [46], which are still used today without any restriction. Current examples referring to crushed brick concretes, which were determined through research in the Internet and by no means claim to be complete, are contained in Table 6.

The suitability of recycling materials from masonry rubble for concrete production has been investigated in several cases [14, 16, 47–51]. With substitution of the sand fraction by natural sand and with the use of flow agents, serviceable concretes can be produced. On a technical scale such recycling materials are hardly used so far for concrete production. The reasons for this are the heterogeneity of these recycling materials and possible, not fully eliminable fractions of material contents which are detrimental to the concrete.

Literature

See German text.

