

# Recycling von Mauerwerkbruch – Stand und neue Verwertungswege (Teil 1)

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller\*

---

Im ersten Teil dieses Berichtes zur Verwertung von Mauerwerkbruch wird ein Überblick zu Anfallmengen, Verwertungsquoten und Einsatzgebieten gegeben. Die Eigenschaften von zu Recyclingbaustoffen aufbereitetem Mauerwerkbruch, die für die Verwertung ausschlaggebend sind, werden dargestellt. In Teil 1 und Teil 2 werden verschiedene in der Literatur beschriebene Verwertungsvarianten vorgestellt. In Teil 3 werden Verwertungsvarianten beschrieben, die in eigenen Forschungsprojekten entwickelt wurden.

## Einleitung

Spätestens seit der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro im Jahre 1992 ist der Begriff Nachhaltigkeit zum Schlüsselwort für den verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt geworden. Die wenig scharfe Definition, wonach eine nachhaltige Entwicklung „die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht mehr befriedigen können“, bedeutet für den Baustoffsektor unter anderem die konsequente Verwirklichung von Stoffkreisläufen. Unmittelbares Ziel ist die Verminderung des Abfallaufkommens bei gleichzeitiger Schonung der knapper werdenden Ressourcen.

Damit werden gebrauchte Baustoffe zu Ausgangsstoffen für neue Produkte. Das macht neue Betrachtungsweisen und Kenntnisse erforderlich. Diese weichen von den traditionellen Darstellungen ab, welche auf die Herstellung von Baustoffen aus natürlichen Rohstoffen und die Anwendung dieser Baustoffe gerichtet waren.

## Überblick zu Anfallmengen, Verwertungsquoten und Einsatzgebieten

Angaben zum Aufkommen an Bauabfällen können den regelmäßig vorgelegten Monitoringberichten des Bundesverbandes der Deutschen Recycling-Baustoff-Industrie entnommen werden. Der aktuelle Bericht [1] weist aus, dass in Deutschland im Jahre 1998 insgesamt circa 80 Mio. t Bauabfälle anfielen, die zu über 70 % verwertet wurden. Mit dieser hohen Verwertungsquote werden Zielvorgaben der Europäischen Union bereits erfüllt, allerdings bei zum Teil recht niedrigem Verwertungs niveau.

Angaben zum Aufkommen einzelner Stoffgruppen gehen aus den Bilanzen nur für die vergleichsweise homogenen

# Recycling of masonry rubble – Status and new utilization methods (Part 1)

In the first part of this report on the utilization of masonry rubble, an overview is given of the quantities arising, utilization rates and fields of application. The properties of masonry rubble prepared as recycling construction materials, which are decisive for their utilization, are discussed. Part 1 and Part 2 introduce different utilization variants described in the literature. Utilization variants which were developed in own research projects are described in Part 3.

## Introduction

Ever since the UNCED Conference in Rio de Janeiro in 1992, the term “sustainability” has become the key word for responsible dealings with the environment. The not very sharp definition, according to which sustainable development “satisfies the needs of the present, without running the risk that future generations can no longer satisfy their own needs”, means for the building materials sector among other things the systematic realization of material recycling. The immediate target is the reduction of the volume of waste occurring, while at the same time preserving resources that are becoming more and more scarce.

In this way, used building materials become source materials for new products. This calls for new approaches and knowledge. These deviate from the traditional representations which were directed at the manufacture of building materials from natural raw materials and the application of these building materials.

## Overview of quantities arising, utilization rates and fields of application

Details of the occurrence of building waste can be taken from

---

\* 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

Tabelle 1: Aufkommen an Bauabfällen, Mengen der daraus hergestellten Recyclingbaustoffe und Verwertungsquoten für 1999 [2]

Table 1: Occurrence of building waste, quantities of recycling construction materials produced from it, and utilization rates for 1999 [2]

	Aufkommen Occurrence [Mio. t/a mill. t/a]	Verwertung Utilization	
		[Mio. t/a mill. t/a]	[%]
Ausbauasphalt Demolished asphalt	15	15	100
Straßenaufbruch Road break-up material	28	27	96
Bauschutt Building rubble	45	29	64
Baumischabfälle Mixed building waste	12	4	33

Abfälle Ausbauasphalt und (Beton-)Straßenaufbruch hervor (Tabelle 1), für die auch die höchsten Verwertungsquoten erreicht werden.

Ziegelabfälle aus dem Gebäudeabbruch sind zusammen mit anderen Wandbaustoffen und Beton in der Kategorie Bauschutt enthalten, die mit 45 Mio. t die größte Abfallfraktion ist. Der Bauschutt kommt nach den von [2] regelmäßig durchgeführten Umfragen zu Anfall- und Verwertungsmengen zu je einem Drittel aus dem Straßenbau und dem Hochbau, das restliche Drittel aus nicht genau zu identifizierenden Quellen.

Bei den Einsatzgebieten zeigt sich ebenfalls eine Drittelung (Bild 1). Etwa ein Drittel der aus dem Bauschutt hergestellten Recyclingbaustoffe wird in Tragschichten und Frostschutzschichten eingesetzt. Im Erd- und Landschaftsbau kommt ebenfalls ein Drittel zum Einsatz. Sonstige Verwertungen und der Lagerbestand bilden das restliche Drittel.

Die wichtigsten Stoffgruppen im Bauschutt sind Betonbruch und Mauerwerkbruch. Eine direkte Zuordnung dieser beiden Stoffgruppen zu den Einsatzgebieten kann nicht vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der Anwendungsvorschriften des Straßenbaus kann davon ausgegangen werden, dass der Mauerwerkbruch im Erd- und Landschaftsbau einge-

the regularly published monitoring reports of the Federal German Association of the Recycling Construction Materials Industry. The current report [1] states that in 1998 in Germany altogether approx. 80 million tonnes of building waste occurred, of which over 70% were utilized. With this high utilization rate the set targets of the European Union are already fulfilled, albeit with a to some extent fairly low utilization standard.

Detailed information on the occurrence of individual material groups comes from the balance sheets only for the comparatively homogeneous waste materials demolished asphalt and (concrete) road break-up material (Table 1), for which the highest utilization rates are also achieved.

Brick wastes from building demolition are contained together with other wall building materials and concrete in the category building rubble, which is the largest waste fraction with 45 million tonnes. According to surveys on volume and utilization quantities carried out regularly by [2], one third of the building rubble comes from road construction, one third from building construction and the remaining third from sources which cannot be identified precisely.

In the case of fields of application, these are also divided into three (Fig. 1). About one third of the recycling material produced from building rubble is used in sub-bases and frost-protection courses. Another third is used in earthworks and landscaping. The remaining third goes to miscellaneous applications and into storage.

The most important material groups in the building rubble are demolished concrete and demolished masonry. A direct allocation of these two material groups to the fields of application cannot be made. Taking into consideration the application regulations in road construction, it can be assumed that the masonry rubble is used in earthworks and landscaping, while the concrete rubble is used as sub-base material or for frost-protection courses.

## Processing technologies

Properties of recycling construction materials depend on the respective source material and the processing technology applied. The delivery fees are staggered according to processing expenditure and utilization possibilities. Therefore the delivery of building waste to the recycling plant, differentiated according to demolished concrete and demolished mason-

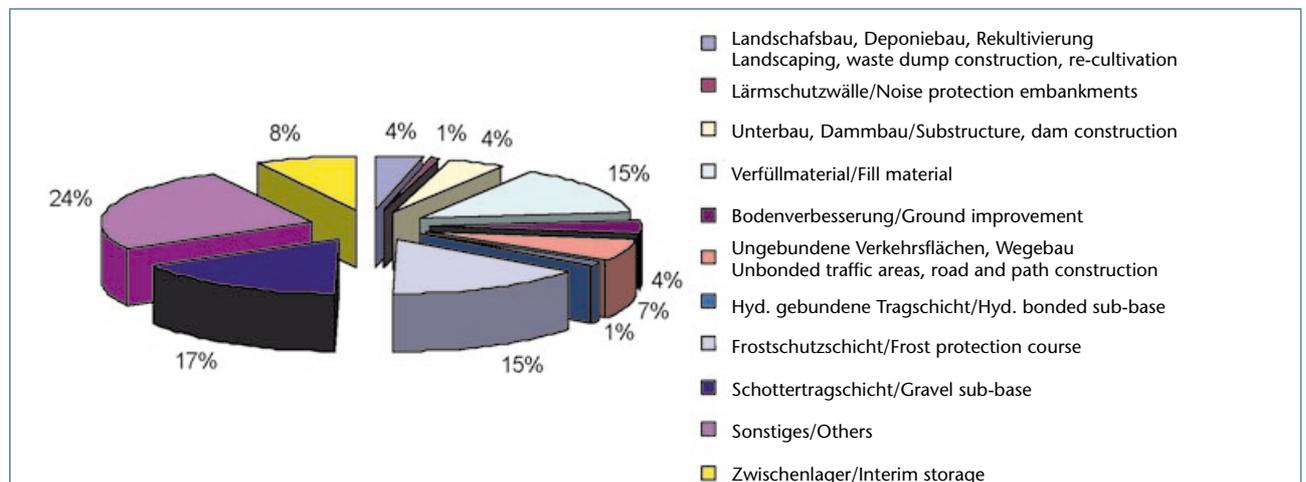


Bild 1: Einsatzgebiete für Bauschutt und deren Anteile an der Verwertung [2]

Fig. 1: Fields of application for building rubble and their shares in the utilization process [2]

setzt wird, während der Betonbruch als Tragschichtmaterial oder für Frostschutzschichten verwendet wird.

### Aufbereitungstechnologien

Eigenschaften von Recyclingbaustoffen hängen von dem jeweiligen Ausgangsmaterial und der eingesetzten Aufbereitungstechnologie ab. Die Anlieferungsgebühren sind nach Aufbereitungsaufwand und Verwertungsmöglichkeiten abgestuft. Deshalb sind die nach Betonbruch und Mauerwerkbruch differenzierte Anlieferung der Bauabfälle an der Recyclinganlage und das weitestgehende Heraushalten von Holzabfällen und anderen Störstoffen bereits Stand der Technik. Im Unterschied zum Betonbruch kann beim Mauerwerkbruch die Palette der möglichen Bestandteile trotzdem außerordentlich groß sein. Folgende Fälle können unterschieden werden:

► **Sortenreiner Ziegelbruch**

Bei Dachumdeckungen anfallendes oder durch Vorsortierung aus Mauerwerkbruch gewonnenes Material sowie produktionsinterne Ziegelabfälle

► **Ziegelreicher Mauerwerkbruch**

Material aus dem Abbruch von reinem Ziegelmauerwerk, als Nebenbestandteile treten nur Mörtel und Putz auf. Der Ziegelgehalt dieses Materials hängt vom jeweiligen Mörtel- und Putzeinsatz ab, der maximale Ziegelgehalt des Materials beträgt etwas 95 Masse-%, der durchschnittliche Gehalt 80 Masse-%

► **Mauerwerkbruch**

In diesem Material sind neben Ziegel, Mörtel und Putz noch weitere Mauerwerkbaustoffe wie Beton- und Leichtbeton, Kalksandstein, Porenbeton usw. vorhanden. Eine Abschätzung des Ziegelgehalts kann nicht vorgenommen werden

Mittels Aufbereitung, in mobilen oder stationären Anlagen, wird aus dem angelieferten Abbruchmaterial ein verwertbares Produkt mit definierten Eigenschaften erzeugt. Die einfachste technologische Variante, die in mobilen Anlagen realisiert wird, ist in Bild 2 dargestellt.

Das Aufgabematerial wird durch Vorabsiebung in zwei Fraktionen getrennt, das Grobgut wird dem Brecher zugeführt und zerkleinert. Ein nach dem Brecher angeordneter Überbandmagnet entfernt die Eisenteile. Als Produkte entstehen bei dieser Aufbereitungstechnologie das so genannte Vorsiebmaterial und der eigentliche Recyclingbaustoff. Mit dieser Variante ist im Wesentlichen nur die Korngröße beeinflussbar. Eine direkte Einflussnahme auf den Stoffbestand ist nicht möglich.

Anspruchsvollere Technologien für das Aufbereiten von Bau- und Abbruchabfällen werden in stationären Anlagen verwirklicht. Dabei können folgende zusätzliche Aufbereitungsschritte durchlaufen werden:

- Zweistufige Zerkleinerung: Prallbrecher im Anschluss an einen Backenbrecher
- Aussortieren von Störstoffen am Sortierband sowie mittels Windsichtung oder Nasswäsche
- Herstellung von Kornfraktionen mittels Vibrationsiebmaschine

Als Beispiel ist in Bild 3 das Fließschema einer solchen Anlage dargestellt, die mit einer Waschtrommel ausgerüstet ist. Durch die Einbeziehung einer zusätzlichen Sortierung können mit dieser Anlagenkonfiguration leichte Störstoffe abgeschieden werden. Eine Trennung von Mauerwerk in die unterschiedlichen Wandbaustoffe ist bisher nicht möglich. Auch nasse Sortierverfahren, die sich aus traditionellen Verfahren der Rohstoffaufbereitung ableiten, können diese Aufgabe nicht erfüllen. So zeigen Untersuchungen [3] mit einer Setzmaschine an einem Gemisch aus Beton, Ziegel, Holz und Leichtstoff-

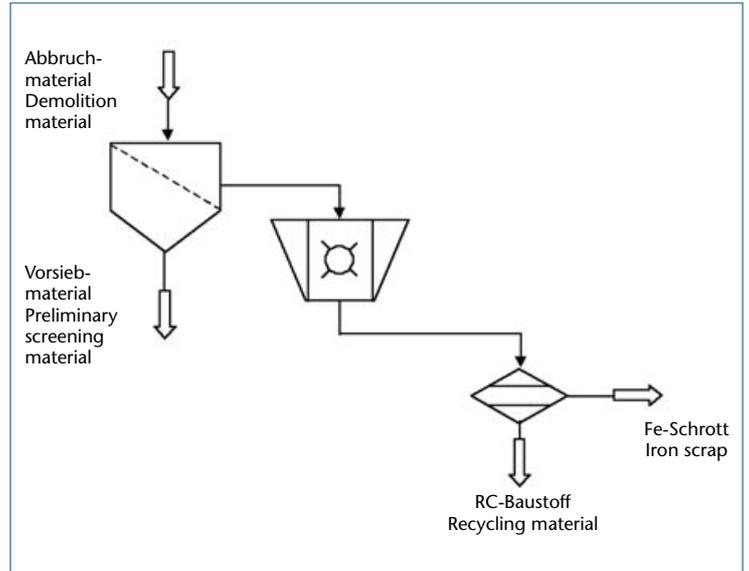


Bild 2: Schema einer mobilen Bauschutttaufbereitungsanlage, bestehend aus Vorsieb, Prallbrecher und Überbandmagnet  
 Fig. 2: Diagram of a mobile building rubble processing plant, consisting of preliminary screen, impact crusher and overhead magnet

ry, and the elimination of wood waste and other unwanted materials as far as possible already represents the state of the art. In contrast to demolished concrete, the range of possible constituents in demolished masonry can nevertheless be extremely large. The following cases can be differentiated:

► **Pure brick scrap**

Material arising from re-covering of roofs or gained by pre-sorting of masonry rubble, as well as production-internal brick scrap

► **Brick-rich masonry rubble**

Material from the demolition of pure brick masonry, only mortar and plaster occur as additional constituents. The brick content of this material depends on the respective use of mortar and plaster; the maximum brick content of the material amounts to about 95% by mass, the average content is 80% by mass

► **Masonry rubble**

In addition to brick, mortar and plaster, other masonry building materials such as concrete and lightweight concrete, sandlime brick, aerated concrete etc. are present in this material. An estimation of the brick content cannot be made

By means of processing in mobile or stationary plants, a utilizable product with defined properties is produced from the delivered demolition material. The simplest technological variant which is realized in mobile plants is shown in Figure 2.

The feed material is divided into two fractions by preliminary screening and the coarse material is supplied to the crusher for size reduction. An overhead magnet installed after the crusher removes the iron particles. The products arising from this processing technology are the so-called preliminary screening material and the actual recycling construction material. Basically, with this variant, only the grain size can be influenced. A direct influence on the material stock is not possible.

More demanding technologies for the processing of building and demolition waste are realized in stationary plants. In this case, the following additional processing steps can be carried out:

- Two-stage size reduction: impact crusher following a jaw crusher

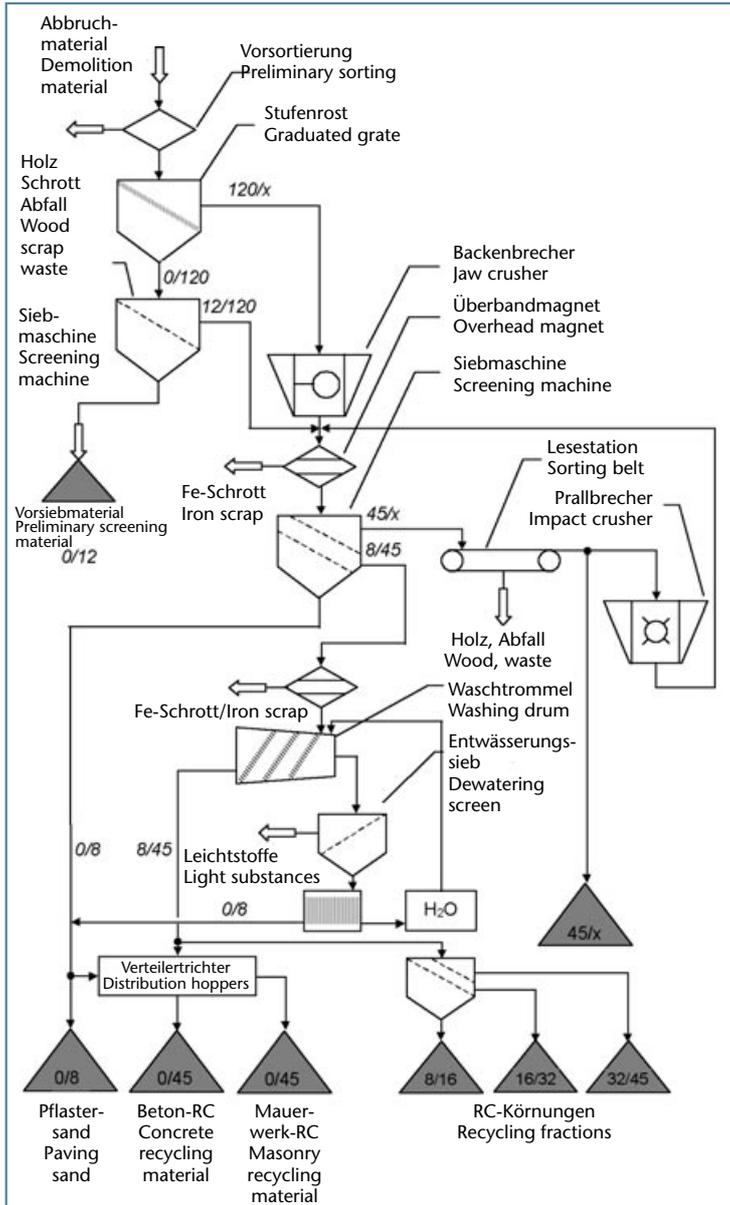


Bild 3: Anlagenkonfiguration einer stationären Bauschutt-Recyclinganlage  
 Fig. 3: Plant configuration of a stationary building rubble recycling plant

fen, dass die Anteile an Leichtstoffen und Holz im Produkt vermindert werden können. Eine Trennung von Beton und Ziegel gelingt nicht.

Das in der Regel heute angebotene Sortiment der Recyclingbaustoffe untergliedert sich in das Vorsiebmaterial und die Baustoffe aus den Brech- und Siebvorgängen. Das Vorsiebmaterial enthält neben den eigentlichen Bauabfällen einen erheblichen Anteil an Bodenaushub, der sich im Korngrößenbereich  $< 1$  mm anreichert. Die Recyclingbaustoffe, die aus den Brech- und Siebschritten bei der Bauschuttaufbereitung hervorgehen, werden zu Mineralstoffgemischen 0/32 mm, 0/45 mm und zum Teil 0/56 mm verarbeitet. Mit Lieferkörnungen beispielsweise 0/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm werden spezielle Anwendungsgebiete bedient. Anhand der stofflichen Zusammensetzung wird zwischen Recyclingbaustoffen unterschieden, deren Hauptbestandteile Beton und natürliche Gesteinskörnungen sind, und solchen, die Ziegel-

- Separation of unwanted materials on the sorting belt as well as by means of air classification or wet washing
- Production of grain fractions by means of vibration screening machine

As an example, Figure 3 shows the flow diagram of such a plant equipped with a washing drum. With an additional sorting process, light contaminating materials can be separated with this plant configuration. Separation of masonry into the different wall building materials is not possible as yet. Even wet sorting processes, which are derived from traditional processes of raw material preparation, are not able to fulfil this task. Tests [3] carried out with a jigging machine on a mixture of concrete, brick, wood and light materials show that the shares of light materials and wood in the product can be reduced. Separation of concrete and brick is not successful. The range of recycling construction materials offered as a rule today is divided into the preliminary screening material and the building materials from the crushing and screening processes. In addition to the actual building waste, the preliminary screening material contains a considerable share of excavated earth which augments the grain size range  $< 1$  mm. The recycling materials arising from the crushing and screening phases in the preparation of building rubble are processed into mineral aggregate mixtures of 0/32 mm, 0/45 mm and in part 0/56 mm. Special fields of application are served for example with supply grading of 0/8 mm, 8/16 mm and 16/32 mm. On the basis of the material composition, a differentiation is made between recycling construction materials (main constituents are concrete and natural stone grains) and those containing brick fractions. According to the classification which is made with the input materials, these are pure brick sands and chippings, recycling construction materials from brick masonry and mixed recycling materials. The regulations for quality supervision of recycling construction materials refer to the structural engineering properties and environmental parameters. A summary of the most important German and – where available – European regulations is contained in [4]. In accordance with the main field of application of recycling materials, road construction engineering regulations are dominant [5, summary in 6]. A further field of application is covered by the directive with the demands on recycled aggregates for concrete production [7] and the standard "Stone grains for concrete and mortar, Part 100: Recycled stone grains" [8]. Less well known are regulations for alternative utilization relating to vegetation, for example the guidelines for green roof planting [9] or gravel-based grassed areas [10], which are published by the Research Society for Landscape Development and Landscape Engineering regd (FLL). A summary of the requirements of the various fields of application is contained in the guideline published by the Federal German Association of the Recycling Construction Materials Industry [11]. The classification made in the regulations varies quite considerably in parts. A suitable classification in regard to brick residual masses and brick-rich recycling materials is contained in DIN 4226 in its two Parts 2 and 100 [8, 12]. Here the material stock and the bulk density are used as classification characteristics (Table 2).

### Properties of recycling construction materials from masonry rubble

In order that recycling materials produced from masonry rubble can be used specifically, the construction materials must be characterized in detail. Since present fields of application

Tabelle 2: Anforderungen an Ziegelkörnungen und rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226  
 Table 2: Requirements for brick aggregates and recycled stone aggregates according to DIN 4226

	DIN 4226-2: Leichtzuschlag Light aggregate	DIN 4226-100: Rezyklierte Gesteinskörnungen/Recycled stone grains			
	Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln Brick chippings from unused bricks	Typ/Type 1	Typ/Type 2	Typ/Type 3	Typ/Type 4
		Betonsplitt/ Beton- brechsand Concrete chipp- ings/crushed concrete sand	Bauwerksplitt/ Bauwerk- brechsand Building chipp- ings/crushed building sand	Mauerwerk- splitt/Mauer- werkbrechsand Masonry chipp- ings/crushed masonry sand	Mischsplitt/ Mischbrech- sand Mixed chipp- ings/crushed mixed sand
Bestandteile/Constituents	X	[Masse-%/% by mass]			
Beton und Gesteinskörnungen Concrete and stone grains according nach/to DIN 4226-1		≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Klinker, nicht porosierter Ziegel Clinker, non-pored bricks		≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Kalksandstein/Sand-lime brick				≤ 5	
Andere mineralische Beimengungen* Other mineral additives*		≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Asphalt/Asphalt		≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Fremdbestandteile* Foreign constituents*		≤ 0.2	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 1
Kornrohichte/Grain bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]			
	≤ 2 000	≥ 2 000	≥ 2 000	≥ 1 800	≥ 1 500

\* Definitionen für andere mineralische Beimengungen und Fremdbestandteile siehe Bild 4  
 \* Definitions for other mineral additives and foreign constituents, see Fig. 4

anteile aufweisen. Entsprechend der Einteilung, die bei den Eingangsmaterialien vorgenommen wird, sind das sortenreine Ziegelsande und -splitte, Recyclingbaustoffe aus Ziegelmauerwerk und gemischte Recyclingbaustoffe. Die Vorschriften zur Qualitätsüberwachung von Recyclingbaustoffen beziehen sich auf die bautechnischen Eigenschaften

do not require this, this characterization is often left undone. This insufficient knowledge is a disadvantage when new utilization methods are developed or are to be put into practice. In continuation of the investigations presented in [13], a large number of industrially produced recycling materials but also unused bricks of different origins and types were examined

Tabelle 3: Gegenüberstellung der chemischen Zusammensetzung von reinen Ziegelsplitten und industriell hergestellten Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch  
 Table 3: Comparison of the chemical composition of pure brick chippings and industrially produced recycling construction materials from masonry rubble

	Zusammensetzung/Composition [%]										
	Trocken- verlust Drying loss	GV/LOI	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
<b>Reine Ziegel, 22 Proben/Pure brick, 22 samples</b>											
Mittelwert/Average	0.15	0.87	66.80	15.51	6.49	2.63	1.99	3.06	0.75	0.49	0.01
Min.	0	0	55.1	10.58	4.08	0.4	0.5	1.53	0.22	0	0
Max.	0.3	2.6	79.33	19.3	15.3	7.8	4	4.42	2.02	3.4	0.055
Standardabweichung Standard deviation	0.103	0.808	6.576	2.112	2.242	2.284	1.038	0.768	0.435	0.745	0.014
<b>Mauerwerkbruch, 33 Proben/Masonry rubble, 33 samples</b>											
Mittelwert/Average	0.39	5.11	67.99	9.54	3.55	7.98	1.33	2.15	0.71	0.84	0.04
Min.	0	2.5	52	7.2	2.5	3.7	0.8	1.36	0.45	0.1	0.003
Max.	1.1	12.3	74.5	14.7	5.7	15	1.98	3.47	0.89	3.3	0.154
Standardabweichung Standard deviation	0.288	2.030	5.384	1.541	0.708	2.784	0.303	0.548	0.120	0.724	0.025

und umwelttechnische Parameter. Eine Zusammenstellung der wichtigsten deutschen und – so weit verfügbar – europäischen Vorschriften ist in [4] enthalten. Entsprechend dem Haupteinsatzgebiet von Recyclingbaustoffen dominieren straßenbautechnische Vorschriften [5, Zusammenstellung in 6]. Ein weiteres Einsatzgebiet wird von der Richtlinie mit den Anforderungen an rezyklierte Zuschläge für die Betonherstellung [7] und der Norm „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen“ erfasst [8]. Weniger bekannt sind Vorschriften für alternative, vegetationsstechnische Verwertungen, zum Beispiel die Richtlinien für Dachbegrünungen [9] oder Schotterrasen [10], die von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. herausgegeben werden. Eine Zusammenfassung der Anforderungen der verschiedenen Einsatzgebiete ist in der vom Bundesverband der Deutschen Recyclingbaustoff-Industrie herausgegebenen Richtlinie [11] enthalten. Die Klassifizierung, die in den Vorschriften vorgenommen wird, ist teilweise sehr unterschiedlich. Eine in Bezug auf Ziegelrestmassen und ziegelreiche Rezyklate geeignete Klassifizierung enthält die DIN 4226 in ihren beiden Teilen 2 und 100 [8,12]. Hier werden der Stoffbestand und die Rohdichte als Klassifizierungsmerkmal verwendet (Tabelle 2).

## Eigenschaften von Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch

Damit Recyclingbaustoffe, die aus Mauerwerkbruch hergestellt wurden, gezielt eingesetzt werden können, müssen die Baustoffe ausführlich charakterisiert werden. Da gegenwärtige Anwendungsgebiete das nicht erfordern, unterbleibt diese Charakterisierung oft. Diese unzureichenden Kenntnisse sind von Nachteil, wenn neue Verwertungswege entwickelt oder praktisch realisiert werden sollen.

In Fortsetzung der in [13] dargestellten Untersuchungen wurden im Rahmen von Forschungsarbeiten [14–28] eine

*Tabelle 4: Gegenüberstellung der Schüttdichten und Rohdichten von reinen Ziegelsplitt und industriell hergestellten Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch (nur Fraktionen > 2 mm)*

*Table 4: Comparison of apparent densities and bulk densities of pure brick chippings and industrially produced recycling construction materials from masonry rubble (only fractions > 2 mm)*

	Schüttdichte Apparent density [g/cm <sup>3</sup> ]	Kornrohddichte Grain bulk density [g/cm <sup>3</sup> ]
	<b>Ziegelsplitt/Brick chippings</b>	
	<b>31 Proben/samples</b>	<b>35 Proben/samples</b>
Mittelwert/Average	0.887	1.88
Min.	0.69	1.49
Max.	1.04	2.22
Standardabweichung Standard deviation	0.076	0.201
	<b>Mauerwerksbruch/Masonry rubble</b>	
	<b>33 Proben/samples</b>	<b>34 Proben/samples</b>
Mittelwert/Average	0.94	1.89
Min.	0.83	1.73
Max.	1.03	2.1
Standardabweichung Standard deviation	0.048	0.099

within the scope of research studies [14–28] in regard to the chemical composition.

### Chemical composition

The results in Table 3 show that pure brick scrap and recycling materials from masonry rubble deviate, as expected, little from each other in their general composition. Systematic, statistically significant differences occur between the loss on ignition values and the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO contents. It is assumed that the increased loss on ignition values and CaO contents of the recycling materials are caused by the mortar and concrete fractions or by the fractions of other lime-silicate construction materials. The increased Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents in the brick scrap as a material-specific characteristic require no explanation.

### Mineralogical analysis

In conformity with the oxide composition, in the mineralogical analysis of the recycling materials from masonry rubble calcite is detected additionally, apart from the quartz dominating in both material groups, the feldspars and haematite.

### Material composition

The material composition was determined in 27 recycling materials from altogether 10 recycling plants [28]. Figure 4 indicates the portions and ranges of the given constituents, allocated to the five material classes defined according to DIN 4226-100. In the recycling materials from masonry rubble, brick is the main constituent with an average of 50% by mass. In addition, further mineral constituents such as concrete, natural stone grains, mortar and plaster are contained, the sum of which corresponds approximately to the brick fraction. The share of foreign constituents amounts on average to 0.83% by mass. Asphalt is not present. On the basis of the average composition shown, the construction materials, when applying the classification according to DIN 4226-100, could be graded as delivery type 4 “Mixed chippings/mixed manufactured sand”.

### Bulk density or porosity

The bulk density or porosity represents the main variable for a large number of physical properties of solids and is used in DIN 4226-100 as a classification characteristic. Here the summary of measured data [14–28] for brick chippings and recycled materials resulted in practically corresponding average bulk densities of 1.9 g/cm<sup>3</sup> (Table 4). In this case, only measured data were taken into account which were determined on material > 2 mm. The range and the standard deviation for the brick chippings is twice as high as for the masonry recycling materials. The causes are demonstrated partly in Figure 5. The wide distribution density calculated for the brick chippings shows three maximums. These can be attributed to the different sorts of bricks – vertical coring bricks, masonry bricks and clinker – which were used in the investigations. The narrower distribution for the recycling materials is caused partly by the lack of measured values in the lower bulk density range. Possibly, during the large-scale technical processing, less resistant grains with low bulk density passed on into the < 2 mm fraction which was not recorded.

### Grain strength and frost resistance

Own investigations on grain strength and frost resistance were conducted, which are evaluated later. The measured values shown in Table 5 for pure brick grains can be taken from [29]. According to this, the grain strengths are low as expected, the frost resistances on the other hand surprisingly good

große Anzahl industriell hergestellter Recyclingbaustoffe, aber auch ungebrauchte Ziegel unterschiedlicher Herkunft und Sorte, im Hinblick auf die chemische Zusammensetzung untersucht.

### Chemische Zusammensetzung

Die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, dass reiner Ziegelbruch und Recyclingbaustoffe aus Mauerwerkbruch in ihrer generellen Zusammensetzung erwartungsgemäß wenig voneinander abweichen. Systematische, statistisch signifikante Unterschiede treten zwischen den Glühverlusten sowie den  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und den CaO-Gehalten auf. Es wird vermutet, dass die erhöhten Glühverluste und CaO-Gehalte der Recyclingbaustoffe ihre Ursache in den Mörtel- und Betonanteilen oder in den Anteilen anderer kalksilikatischer Baustoffe haben. Die erhöhten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte im Ziegelbruch bedürfen als materialspezifisches Merkmal keiner Erklärung.

### Mineralogische Analyse

In Übereinstimmung mit der Oxidzusammensetzung wird bei der mineralogischen Analyse der Recyclingbaustoffe aus Mauerwerkbruch zusätzlich Calcit nachgewiesen, neben dem in beiden Materialgruppen dominierenden Quarz, den Feldspäten und Hämatit.

### Stoffbestand

Die stoffliche Zusammensetzung wurde an 27 Recyclingbaustoffen von insgesamt 10 Recyclinganlagen ermittelt [28]. Bild 4 stellt die Anteile und Spannweiten der angegebenen Bestandteile dar, zugeordnet in die nach DIN 4226-100 definierten 5 Stoffklassen. In den Rezyklaten aus Mauerwerkbruch ist der Ziegel mit im Mittel 50 Masse-% der Hauptbestandteil. Daneben sind weitere mineralische Bestandteile wie Beton, natürliche Gesteinskörnungen, Mörtel und Putz enthalten, deren Summe etwa dem Ziegelanteil entspricht. Der Anteil an Fremdbestandteilen beträgt im Mittel 0,83 Masse-%. Asphalt ist nicht enthalten. Anhand der dargestellten mittleren Zusammensetzung könnten die Baustoffe bei Anwendung der Klassifikation entsprechend der DIN 4226-100 als Liefertyp 4 „Mischsplitt/Mischbrechsand“ eingestuft werden.

### Rohdichte bzw. Porosität

Die Rohdichte bzw. die Porosität stellt die Leitgröße für eine Vielzahl physikalischer Eigenschaften von Feststoffen dar und wird in DIN 4226-100 als Klassifizierungsmerkmal verwendet. Hier ergab die Zusammenfassung der Messdaten [14–28] für Ziegelsplitt und Rezyklate praktisch übereinstimmende mittlere Rohdichten von  $1,9 \text{ g/cm}^3$  (Tabelle 4). Dabei wurden nur Messdaten berücksichtigt, die an Material  $> 2 \text{ mm}$  ermittelt wurden. Spannweite und Standardabweichung sind bei den Ziegelsplitten doppelt so hoch wie bei den Mauerwerk-Rezyklaten. Die Ursachen werden teilweise in Bild 5 aufgezeigt: Die für die Ziegelsplitt berechnete breite Verteilungsdichte zeigt drei Maxima. Diese sind auf die unterschiedlichen Ziegelsorten Hochlochziegel, Mauerziegel und Klinker zurückzuführen, die in den Untersuchungen verwendet wurden. Die schmalere Verteilung für die Rezyklate wird zum Teil durch das Fehlen von Messwerten im unteren Rohdichtebereich verursacht. Möglicherweise sind weniger feste Körner mit geringer Rohdichte bei der großtechnischen Aufbereitung in die Fraktion  $< 2 \text{ mm}$  übergegangen, die nicht erfasst wurde.

### Kornfestigkeit und Frostwiderstand

Zur Kornfestigkeit und zum Frostwiderstand wurden eigene Untersuchungen angestellt, die später ausgewertet werden.

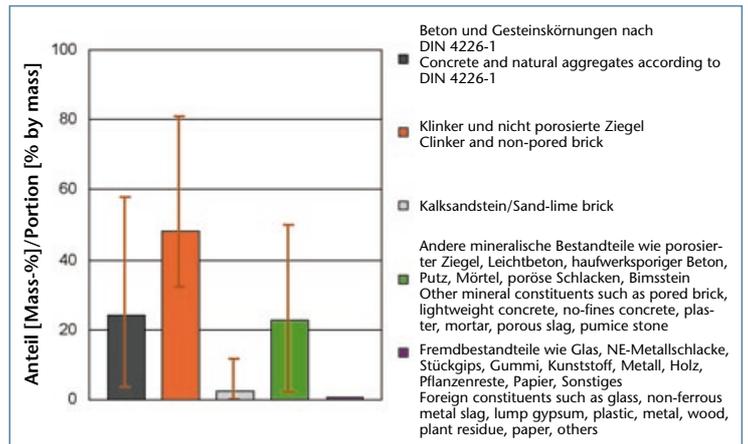


Bild 4: Stoffbestand von Recyclingbaustoffen aus Mauerwerkbruch: Anteile und Spannweiten

Fig. 4: Material stock of recycling building materials from masonry rubble: portions and ranges

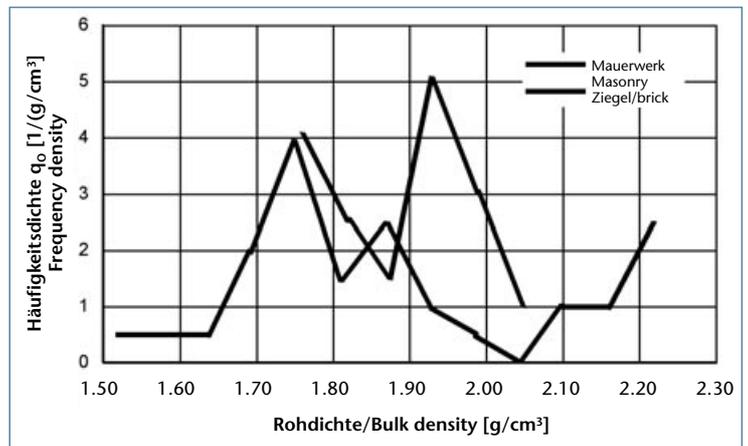


Bild 5: Aus Dichtemesswerten berechnete Häufigkeitsverteilungen für Ziegelsplitt und industriell hergestellte Recyclingbaustoffe aus Mauerwerkbruch

Fig. 5: Frequency distributions calculated from density measurement values for brick chippings and industrially produced recycling construction materials from masonry rubble

to very good in comparison with concrete recycling materials, which in the same test series resulted in weathering of 4.2 and 5.7% by mass (process P) or 5.9 and 7.7% by mass (process N). An explanation for this could be that total porosity and pore size distributions must be regarded in context. The high total porosities of the material result in a low mechanical strength. However they do not have a negative effect on the frost resistance, because the pores are large enough and function as compensating areas for the volume increase of the water during freezing. A comparison of pore size distributions of various sorts of brick and a concrete illustrates the differences in the pore sizes (Fig. 6).

The good frost resistance is also confirmed by investigations in the road construction sector [31]. In the case of a mixed recycling material, splintering of 7.4% on average was measured after freeze-thaw cycles. Brick fragments sorted out from the mixture showed splintering of 1.2% by mass, while the concrete fragments lost 11% by mass by splintering.

### Literature

See German text.



Tabelle 5: Eigenschaften von Ziegelkörnungen [29]  
 Table 5: Properties of crushed bricks [29]

Ausgangsmaterial Starting material	Korngruppe Fraction [mm]	Schüttdichte Apparent density [g/cm <sup>3</sup> ]	Kornrohddichte Grain bulk density [g/cm <sup>3</sup> ]	Kornfestigkeit (Druckwert) Grain strength (pressure value) [kN]	Abwitterung <sup>1)</sup> [M.-%] Weathering <sup>1)</sup> [%-by mass]	
					Verfahren Process P	Verfahren Process N
Hlz 12-0,9 Vert. coring brick	4/8	0.926	1.910	30.0	2.3	2.2
	8/16	0.921	1.893	19.5	2.1	2.6
	16/32	0.957	1.872	16.7		
Hlz 8-0,7 Vert. coring brick	4/8	0.774	1.650	28.7	1.4	0.9
	8/16	0.752	1.600	18.2	0.7	2.4
	16/32	0.680	1.563	7.3		

1) Frostprüfung nach DIN 4226-3:  
 Verfahren P – mäßige Durchfeuchtung, max. Abwitterung von 4 %  
 Verfahren N – starke Durchfeuchtung, max. Abwitterung von 4 %  
 1) Frost test according to DIN 4226-3:  
 Process P – moderate moisture penetration, max. weathering of 4%  
 Process N – strong moisture penetration, max. weathering of 4%

Aus [29] können für reine Ziegelkörnungen die in Tabelle 5 dargestellten Messwerte entnommen werden. Danach sind die Kornfestigkeiten erwartungsgemäß gering, die Frostbeständigkeiten dagegen überraschenderweise gut bis sehr gut – verglichen mit Beton-Rezyklaten, die in der gleichen Versuchsserie Abwitterungen von 4,2 und 5,7 Masse-% (Verfahren P) bzw. 5,9 und 7,7 Masse-% (Verfahren N) ergaben. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass Gesamtporosität und Porengrößenverteilungen im Zusammenhang betrachtet werden müssen. Die hohen Gesamtporositäten des Materials haben eine geringe mechanische Festigkeit zur Folge. Sie wirken sich aber nicht negativ auf den Frostwiderstand aus, weil die Poren groß genug sind und als Ausgleichsräume für die Volumenzunahme des Wassers während des Einfrierens fungieren. Eine Gegenüberstellung von Porengrößenverteilungen verschiedener Ziegelsorten und eines Betons verdeutlicht die Unterschiede in den Porengrößen (Bild 6).

Die gute Frostbeständigkeit wird auch durch Untersuchungen aus dem Straßenbau bestätigt [31]. So wurden an einem gemischten Recyclingbaustoff nach Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen Absplitterungen von im Mittel 7,4 % gemessen. Aus dem Gemisch aussortierte Ziegelbruchstücke wiesen Absplitterungen von 1,2 Masse-% auf, während die Betonbruchstücke 11 Masse-% durch Absplitterung verloren.

#### Literatur

- [1] Kohler, G.; Pahl, G.: Deutschland: Status des Baustoffrecyclings. Baustoff Recycling + Deponietechnik Heft 1–2, 2002, S. 20–24
- [2] Krass, K.; Jungfeld, I.; Trogisch, H.: Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 1999 – Teil 1: Recycling-Baustoffe. Straße und Autobahn, Heft 1, 2002, S. 22–30
- [3] Mesters, K.; Kurkowski, H.: Dichtesortierung von Recycling-Baustoffen mit Hilfe der Setzmaschinentechnik. Aufbereitungstechnik 38 (1997), Nr. 1, S. 536–542
- [4] Jückstock, I.: Qualitätsparameter von Bauschutt und deren Prüfmethoden. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 2001
- [5] Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau – TL Min-StB 2000. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau, Köln 2000
- [6] Kohler, G.; Kurkowski, H.: Recycling-Produkte und neue Einsatzgebiete. Straßen- und Tiefbau, Heft 7–8, 2001, S. 2–9
- [7] DAfStb-Baustoffkreislauf-Richtlinie, Teil 1 und 2, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 1998
- [8] DIN 4226-100, Gesteinskörnungen von Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen, DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin 2002
- [9] Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2002
- [10] Empfehlungen für Bau und Pflege von Flächen aus Schotterrasen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2000
- [11] BRB-Richtlinien Recycling-Baustoffe 2001: Richtlinie für die Verwendbarkeit von rezyklierten mineralischen Bauprodukten. Bundesverband der Deutschen Recycling-Baustoff-Industrie e.V., Duisburg 2001
- [12] DIN 4226-2, Gesteinskörnungen von Beton und Mörtel, Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen (Leichtzuschläge), DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin 2002

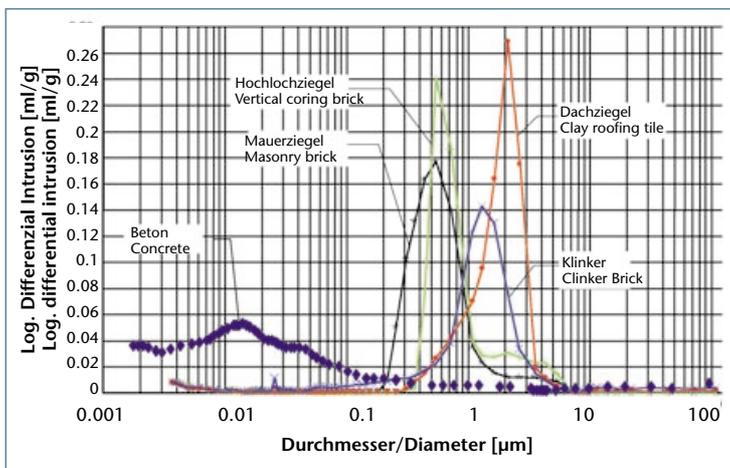


Bild 6: Verteilungsdichtekennlinien für die Poren in verschiedenen Ziegelarten und in Beton [14, 30]  
 Fig. 6: Characteristic curves of distribution density for the pores in different brick types and in concrete [14, 30]

- [13] Müller, A.: Recycling von Ziegelrestmassen. Zi-Jahrbuch. Jahrbuch für die Ziegel-, Baukeramik- und Steinzeugröhren-Industrie. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1997, S. 31–49
- [14] Engelhardt, K.: Untersuchungen zur Verwendung von Ziegelrestmassen zur Herstellung von Mörtel und Beton. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1993
- [15] Winkler, A.: Mörtelherstellung aus Ziegelrestmassen. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2. Studienarbeit, Weimar 1994
- [16] Winkler, A.: Eigenschaften von Mörteln und Betonen aus Ziegelrestmassen. Fakultät Bauingenieurwesen, Schriften der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar 101, Diplomarbeit, Weimar 1995
- [17] Jelen, T.: Verwertungsmöglichkeiten von verschiedenen Dachbedeckungsmaterialien. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1996
- [18] Hechler, N.: Ermittlung der Produkteigenschaften von Baurestmassen nach der Zerkleinerung in unterschiedlichen Brechertypen. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2. Studienarbeit, Weimar 1995
- [19] Hechler, N.: Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten für RC-Sande aus Mauerwerks- und Betonschutt. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1997
- [20] Latocha, M.: Ermittlung der Produkteigenschaften von Baurestmassen nach der Zerkleinerung in unterschiedlichen Brechertypen. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, 2. Studienarbeit, Weimar 1998
- [21] Schroedter, T.: Vergleichende Untersuchungen zur Mahlbarkeit ausgewählter, selektierter Baureststoffe. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1998
- [22] Arnold, T.: Vergleichende Untersuchung zum Einfluss der Aufbereitung auf die Puzzolanität von Hochziegelmehlen, Klinkermauerziegelmehlen und Steinkohlenflugasche. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1998
- [23] Latocha, M.: Verwertungsmöglichkeiten der Feinfraktionen aufbereiteten Abbruchmaterials als Betonzusatzstoff. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Projektarbeit, Weimar 1999
- [24] Neugebauer, S.: Herstellung von Mörtel mit Zuschlägen aus Recyclingsand. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1999
- [25] Tischer, M.: Vergleichende Messungen zum Schmelzverhalten. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1999
- [26] Schröder, M.: Herstellung von Zierkies in der Kugelmühle. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Studienarbeit, Weimar 2001
- [27] Harrlandt, T.: Selektive Zerkleinerung von Mauerwerksabbruch mit Kornformbeeinflussung – Herstellung von Zierkies. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Studienarbeit, Weimar 2002
- [28] Winkler, A.: Herstellung von Baustoffen aus Baurestmassen. Forschungsbericht, Bauhaus-Universität Weimar, Shaker-Verlag, Aachen 2001
- [29] Müller, C.: Beton als kreislaufgerechter Baustoff. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 513, Berlin 2001
- [30] Hutterer, J.: Anforderungen und Verwertung von Baustellenabfällen nach der Sortierung. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Diplomarbeit, Weimar 1998
- [31] Toussaint, A.: Zur Verwitterungsbeständigkeit von RC-Baustoffen. Mineralstoffe im Straßenbau. Vorträge zur FGSV-Tagung am 10. und 11. April 1997 in Celle. Kirschbaum-Verlag Bonn 1998