

STUDIE ZUR WIEDERVERWERTUNG VON HOLZSPANBETON

Endbericht

A.Nr.: U8/088/15

Anzahl der
Textseiten : 44
Beilagen : -

Salzburg, 22. Juni 2017/Na/vi



Gemeinnütziger Verein für Bautechnische Versuchs- und Forschungsarbeiten Salzburg
BAUTECHNISCHE
VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT SALZBURG
Abteilung Bauphysik & Hochbau

Auftraggeber:

Verband Österreichischer Beton-
und Fertigteilwerke
Gablenzgasse 3/5
1150 Wien

Inhalt

1. KURZFASSUNG.....	4
2. ABSTRACT	5
3. EINLEITUNG	6
4. PROBLEMSTELLUNG	7
5. FORSCHUNGSZIEL.....	8
6. ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUR BAUWEISE	9
6.1 Überblick über die Außenwandsysteme.....	10
6.2 Zusammensetzung der Außenwandsysteme nach Bestandteilen	10
6.2.1 Volumsanteile.....	12
6.2.2 Massenanteile	13
7. DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN.....	14
7.1 Literaturrecherche und Firmenbefragungen.....	14
7.2 Beschaffung und Auswahl von Probenmaterial.....	14
7.2.1 Haus A.....	15
7.2.2 Haus B.....	16
7.3 Probenahmen	17
7.3.1 Haus A.....	17
7.3.2 Haus B.....	18
7.4 Probenlagerung und Probenbehandlung	18
7.5 Trennversuche.....	19
7.5.1 Recyclinganlage für Abbruchmaterial	19
7.5.2 Sternsieb	19
7.5.3 Windsichter.....	20
7.5.4 Zick- Zack- Sichter.....	21
7.5.5 Rütteltisch/ Trenntisch	23
7.6 Materialuntersuchungen	23
7.6.1 Rohdichte/ Reindichte der Hauptfraktionen.....	23
7.6.2 Fremdstoffe	24
7.7 Chemische Untersuchungen.....	24
7.7.1 Schadstoffe in der Schwerstofffraktion.....	26
7.7.2 Schadstoffe in der Leichtstofffraktion	27



8. ERGEBNISSE	28
8.1 Literaturrecherche und Firmenbefragungen	28
8.2 Materialuntersuchungen	28
8.3 Trennung mittels konventioneller Recyclinganlage gemäß 7.5.1.....	29
8.4 Trennung mittels Sternsieb gemäß 7.5.2	29
8.5 Trennung Windsichter gemäß 7.5.3	30
8.5.1 Untersuchung der Zusammensetzung des Windsichtermaterials.....	31
8.5.2 Fremdstoffe im Windsichtermaterial.....	32
8.6 Trennung mittels Zick- Zack- Sichter gemäß 7.5.4.....	34
8.7 Chemische Untersuchungen.....	37
8.7.1 Schwerstoffe.....	37
8.7.2 Leichtstoffe	38
9. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	39
9.1 Schwerstoffe als Ausgangsprodukt für Recyclingbaustoffe gemäß RBV.....	39
9.2 Leichtstoffe als Ersatzrohstoff für die Produktion von Holzspanbetonbauteilen..	40
9.3 Ausblick	40
10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	41
11. TABELLENVERZEICHNIS	42
12. LITERATURVERZEICHNIS.....	43
13. TABELLENANHANG	45

1. KURZFASSUNG

Im Sinne der ökologischen Effizienz der Bauwirtschaft ist es erforderlich, Abfallmengen zu reduzieren und, um Konkurrenzfähigkeit am Baustoffmarkt zu behaupten, Recyclingpotenziale über den gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen hinaus auszuschöpfen.

Während für das Recycling von monolithischen Bauteilen heute zumindest auf theoretischer Ebene geprüfte und verlässliche Verfahren und Systeme zur Verfügung stehen, ist die Auftrennung von Verbund(bau)stoffen, wie Holzspanbeton in ihre einzelnen Bestandteile ungleich schwieriger. Herkömmliche Baustoff- Recyclinganlagen sind vor allem für den Austrag von magnetischen Metallen und sehr leichten Stoffen, wie Staub, Dämmmaterial und Folienresten, sowie für die Sortierung von Abbruchmaterial nach Korngröße ausgerüstet.

Abbruchmaterial von Gebäuden, die aus Holzspanbeton errichtet wurden, enthält neben den genannten Stoffen noch einen erheblichen Anteil an Holzspänen, die aufgrund ihrer Form sowie physikalischer Eigenschaften nicht mit herkömmlichen Anlagen vom Kernbeton getrennt werden können.

Im Zuge der Forschungsarbeiten zu vorliegendem Bericht werden grundlegende Charakterisierungen der enthaltenen Materialien vorgenommen und unterschiedliche Techniken des Baustoffrecyclings beschrieben. Als Ergebnis der Forschungsarbeiten wird eine Methode zur rein maschinellen Trennung von Holzspanbetonbruch und Kernbetonbruch beschrieben.

Unter Anwendung der beschriebenen Recyclingmethode können aus Holzspanbeton- Abbruchmaterial Recycling- Gesteinskörnungen im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben hergestellt werden. Darüber hinaus werden Anwendungsmöglichkeiten für die, aus dem Abbruchmaterial gewonnenen, Holzspäne beschrieben.

Schlüsselwörter: Holzbeton, Holzspanbeton, Holzbeton- Recycling, Baustoffrecycling, Recycling- Gesteinskörnung, Recyclingholz

2. ABSTRACT

In terms of improvement of ecological efficiency in the construction sector it is necessary to reduce the amount of waste and, for competitive reasons to tap recycling potentials beyond legal limits.

Whereas recycling of monolithic building structures has become a routine task for recycling companies, the separation of composite materials is an unequally more complex challenge. Common recycling plants are basically designed to separate magnetic metals and floating materials like dust and plastic sheets from rubble and to screen rubble according to particle size.

The separation of demolition material from wood-chip concrete structures is more divers compared to demolition material from monolithic structures as cement-bonded wood chips represent an additional component with similar properties compared to monolithic rubble.

In this final report a basic characterization of technical properties of wood-chip concrete as well as different recycling methods are described. As a major result of the research a technique for the separation of rubble from wood-chip concrete to wood chips and concrete is specified.

Based on the application of the outlined separation process legal limits for organic material in recycled concrete can be met. A manner for the recirculation of wood chips in the production process of wood- chip shuttering blocks and panels is also described. Additional possible applications of demolition material from wood-chip concrete structures are discussed.

Keywords: Wood- chip concrete, recycling of wood- chip concrete, wood recycling, concrete recycling

3. EINLEITUNG

Seit den 1960er Jahren wird in Österreich Holzspanbeton (auch „Holzbeton“, „Holzmantelbeton“ beziehungsweise diverse andere Herstellerbezeichnungen) in Form von Platten oder Steinen produziert [4]. Die unterschiedlichen Produkte finden vor allem im Wohnbau Anwendung. Die Holzmantelbetonbauweise kommt je nach Region im Bereich von Einfamilienhäusern und im mehrgeschossigen Wohnbau zum Einsatz.

Im Zuge der Recherchen konnten keine genauen Angaben über den aktuellen Gebäudebestand in Holzspanbetonbauweise gefunden werden. Anhand der verfügbaren Daten unterschiedlicher Quellen wurde eine Schätzung des Gebäudebestandes durchgeführt. Im Jahr 2011 betrug demnach der Bestand an Wohngebäuden gemäß Statistik Austria [19] in Österreich 1.973.979. Davon wurden 66 % (1.302.826 Objekte) zwischen 1961 und 2011 errichtet. Einer Studie aus dem Jahr 1995 [4] zufolge wurden zum damaligen Zeitpunkt ca. 20 % aller Wohnbauten in „Mantelbeton“ errichtet. Unter der Annahme, dass dieser Wert unter Berücksichtigung gewisser Schwankungen einen Mittelwert über die Periode zwischen 1961 und 2011 darstellt, betrug der Bestand an Wohngebäuden in Mantelbetonbauweise im Jahr 2011 ca. 260.000. Die Mantelbetonbauweise umschließt nach der Definition dieser Studie neben Holzspanbeton auch Betonummantelungen aus anderen magnesit- oder zementgebundenen Holzwerkstoffen. Je nach Anteil der Holzspanbetonbauweise am Gesamtvolumen der Mantelbetonbauweise kann österreichweit von ca. 130.000 – 200.000 Bestandsobjekten in Holzspanbetonbauweise ausgegangen werden.

Da die ersten Objekte in dieser Bauweise- sofern sie noch nicht abgebrochen wurden- aktuell über 50 Jahre alt sind, ist in den nächsten Jahren mit einem vermehrten Aufkommen an Abbruchmaterial aus Holzspanbeton zu rechnen.

4. PROBLEMSTELLUNG

Seit Inkrafttreten der Recycling- Baustoff- Verordnung [13] am 01. Jänner 2016 gilt Holzspanbeton als Verunreinigung für Recycling- Baustoffe gemäß Verordnung und ist im Sinne der Trennpflicht der Verordnung beziehungsweise nach ÖNORM B 3151 [8] als Hauptbestandteil von den anderen Hauptbestandteilen vor Ort oder in einer genehmigten Behandlungsanlage zu trennen.

Weitere Anforderungen zur Auftrennung von Abbruchmaterial aus mit Holzspanbeton errichteten Gebäuden ergeben sich aus der EU Bauproduktenverordnung [3], welche die „nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ vorsieht.

Von Herstellerseite ist in den letzten Jahren ein vermehrter Anstieg an Nachfragen über die Möglichkeiten des Recyclings von Abbruchmaterial aus Holzspanbetonsteinen zu verzeichnen.

5. FORSCHUNGSZIEL

Ziel der Forschungsarbeiten ist die Untersuchung von maschinellen Trennverfahren beziehungsweise die Entwicklung von neuen, maschinellen Trennverfahren, mit denen das anfallende Abbruchmaterial aus Holzspanbeton in Fraktionen entsprechend seiner Hauptbestandteile Holzspäne, Beton und gegebenenfalls Dämmstoff getrennt werden kann. Aufgrund der Anzahl an unterschiedlichen eingesetzten Dämmstoffen und der geringen Anzahl an verfügbaren Abbruchobjekten liegt der Fokus in diesem Projekt auf der Trennung von Kernbetonbruch (Schwerstoffe) und Holzbetonbruch (Leichtstoffe).

Als Qualitätsanforderung für den Betonbruch gelten deshalb die Grenzwerte der Recycling-Baustoff-Verordnung [13] zur Herstellung von Recycling-Gesteinskörnung. Für die Qualität der Holzspäne gelten die Anforderungen der Recyclingholz-Verordnung [16] an Recyclingholz.

Da die Recyclingholzverordnung nur für das Recycling von Holz in der Holzwerkstoffindustrie gilt, wurden die darin enthaltenen Grenzwerte in Ermangelung besserer Beurteilungskriterien herangezogen. Prinzipiell ist es im Gegensatz zum Kernbeton den Herstellern von Holzspanbetonsteinen möglich, sortenreines und schadstofffreies Holzbetonabbruchmaterial als Recyclingfraktion der Produktion zuzuführen. Analog dazu werden bereits jetzt Baustellenabfälle und Verschnitt von den Herstellern zurückgenommen und der Produktion von neuen Bauteilen zugeführt.

6. ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZUR BAUWEISE

Das Material wird wie Beton hergestellt, bei dem die Gesteinskörnungen durch Holzspäne ersetzt werden. Auf der Baustelle werden die Steine oder Platten als nicht-tragende, verlorene Schalung verbaut und mit Beton ausgefüllt. Die Systeme der unterschiedlichen Hersteller sind derart gestaltet, dass je nach statischen Anforderungen Bewehrungsstähle eingearbeitet werden können. Je nach Ausführungstyp können innerhalb der Außenschalen verschiedene Dämmstoffe enthalten sein. Da die Bauweise im Vergleich zu traditionellen Baustoffen jung ist und demnach entsprechend wenig Abbruchmaterial anfällt, wurde dem Recycling von Holzspanbeton bisher kaum Beachtung geschenkt. In der Regel wurde das Material bis dato als Baurestmasse entsorgt.

Holzspanbeton wird in Stein- und Plattenform hergestellt. Produkte für erhöhten Wärmeschutz können zwischen den Schalen Dämmstoffe enthalten. Bei Bedarf können aus den einzelnen Bauelementen im Herstellwerk auch vorgefertigte Wandelemente in Geschoßhöhe hergestellt werden.



Abbildung 1: Holzspanbetonsteine (Quelle: isospan)



Abbildung 2: Holzspanbetonsteine mit integrierter Wärmedämmung (Quelle: Durisol)

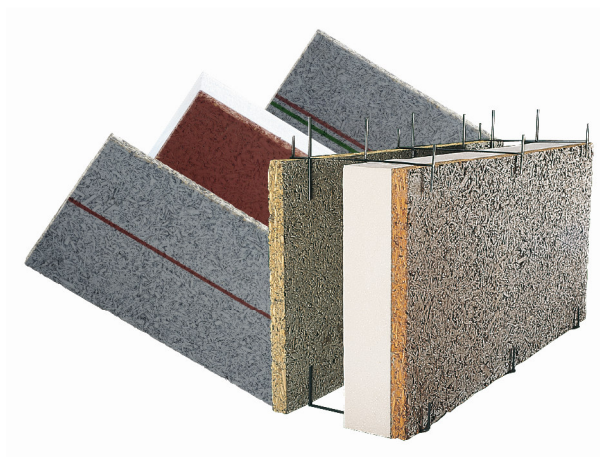


Abbildung 3: Platten aus Holzspanbeton (Quelle: Velox)

Im Rahmen der beschriebenen Untersuchungen wurden aufgrund der Verfügbarkeit von Abbruchmaterial nur Systeme mit integrierter Wärmedämmung aus EPS berücksichtigt.

6.1 Überblick über die Außenwandsysteme

Je nach Hersteller und Produkt lassen sich die Außenwandsysteme folgendermaßen grob charakterisieren:

Tabelle 1: Gängige Dickenangaben für Bauteilschichten

Min- Max/ Mittelwert; Angaben in mm			
Außenschale	Dämmung	Kernbeton	Innenschale
25- 75/ 38	0- 194/ -	90- 210/ 148	30- 40

6.2 Zusammensetzung der Außenwandsysteme nach Bestandteilen

Zur Charakterisierung der Zusammensetzung der gängigen Wandsysteme wurden die einzelnen Produkte der Mitglieder des „AK Holzbeton“ per Stand von Oktober 2015 erfasst und hinsichtlich der Abmessungen einer Mittelwertbildung unterworfen. Anhand der gewonnenen Daten können die Außenwandsysteme wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 2: Bestandteile von Holzbeton- Wandsystemen

Gruppe	Bestandteile	Volumsanteile	Massenanteile
gedämmte Wandsysteme	Holzbeton	37 %	30 %
	Kernbeton	42 %	69 %
	Dämmstoff	21 %	1 %
ungedämmte Wandsysteme	Holzbeton	46 %	30 %
	Kernbeton	54 %	70 %

Eine graphische Darstellung dieser Ergebnisse ist unter 0 und 0 abgebildet.

6.2.1 Volumsanteile

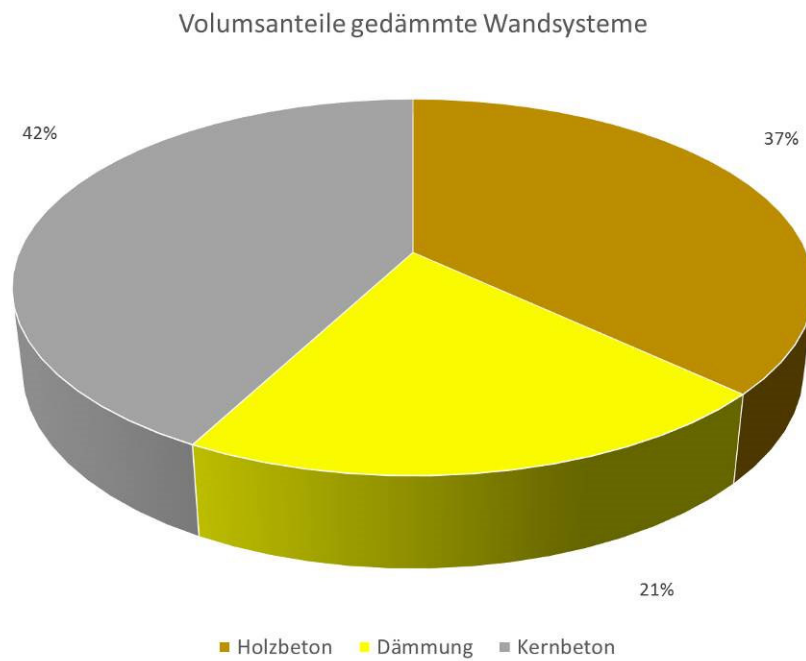


Abbildung 4: Zusammensetzung gedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)

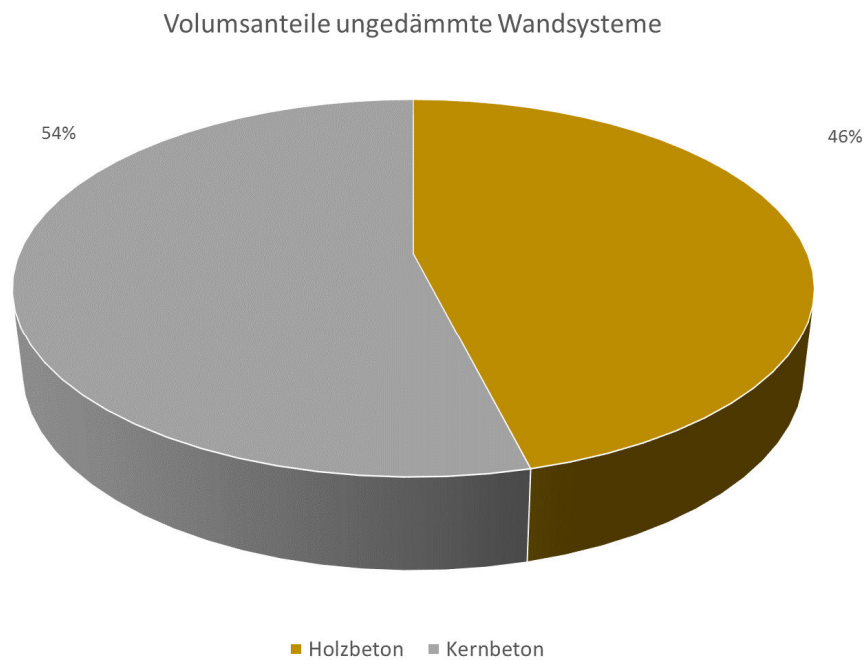


Abbildung 5: Zusammensetzung ungedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)

6.2.2 Massenanteile

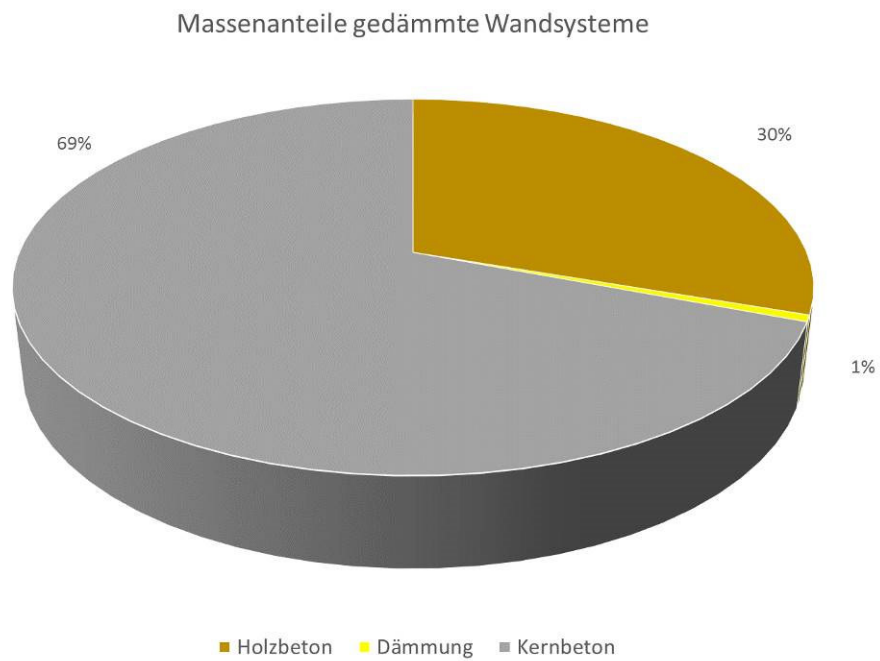


Abbildung 6: Zusammensetzung gedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)

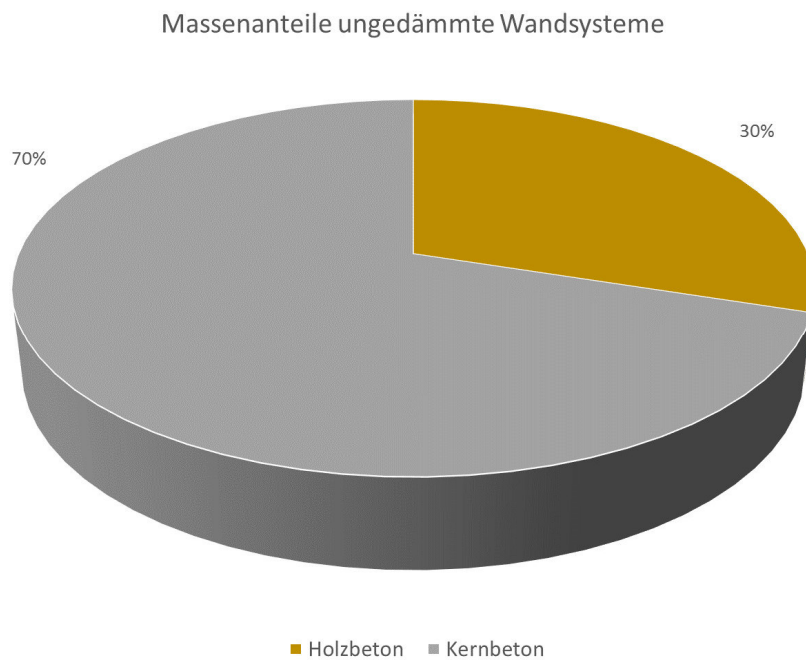


Abbildung 7: Zusammensetzung der Wandsysteme (Mittelwerte)

7. DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN

7.1 Literaturrecherche und Firmenbefragungen

Zu Beginn der Forschungsarbeiten erfolgte eine Sondierung und Recherche der verfügbaren Literatur zum Forschungsthema. Ziel der Literaturrecherche ist die Abgrenzung des Fachgebiets sowie die Erfassung aller relevanter gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie die Abstimmung der Forschungsarbeit mit dem Stand der Wissenschaft.

Im nächsten Schritt wurde eine Befragung von 54 Recyclingfirmen und 41 Abbruchfirmen aus ganz Österreich per email durchgeführt. Dabei wurden folgende Informationen abgefragt:

- Hat Ihr Unternehmen Erfahrung mit dem Abbruch von Holzspanbetonbauteilen oder -bauwerken?
- Hat Ihr Unternehmen Erfahrung mit Recycling/Wiederaufbereitung von Holzspanbeton?
- Hat Ihr Unternehmen Erfahrung mit der Deponierung von Holzspanbeton?
- Hatte Ihr Unternehmen schon Anfragen zum Thema Abbruch von Holzspanbetonbauteilen?
- Ist Abbruch und Recycling von Holzspanbeton für Ihr Unternehmen interessant? Und warum bzw. warum nicht?

[1]

-

7.2 Beschaffung und Auswahl von Probenmaterial

Für die Gewinnung einiger grundlegender Materialkennndaten wurden von einem Hersteller aus der laufenden Produktion jeweils 3 Steine ohne Kerndämmung und 3 Steine mit Kerndämmung entnommen. Diese wurden zur Bestimmung der Rohdichte von Holzbeton und EPS- Dämmstoff in Anlehnung an ÖNORM EN 772-13 [9] sowie zur Bestimmung der Reindichte mittels Unterwasserwägung herangezogen.

Zur Beschaffung von geeignetem Abbruchmaterial für die Durchführung der geplanten Untersuchungen ist es zielführend einen tatsächlich durchgeführten Abbruch von Beginn an zu begleiten. Dadurch kann sichergestellt werden, dass das Abbruchobjekt sachgemäß für einen Rückbau gemäß ÖNORM B 3151 [8] beziehungsweise ÖNORM EN ISO 16000-32 [12] vorbereitet wird und somit keine unerwünschten Stör- oder Schadstoffe im Probenmaterial enthalten sind.

Schließlich wurden zwei, zum Abbruch freigegebene Gebäude ausgewählt, aus deren Abbruchmaterial die Proben für die weiteren Untersuchungen entnommen werden sollten. Die beiden Gebäude wurden „Haus A“ und „Haus B“ genannt.

7.2.1 Haus A

Haus A hatte eine Grundfläche von ca. 9 x 10 m. Das zweigeschossige Gebäude mit Satteldach wurde in den 1970er Jahren in Hanglage errichtet. Der bergseitige Hauseingang und die Wohnräume lagen im Obergeschoß. Das Untergeschoß lag bergseitig unter Außenniveau und talseitig frei (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Haus A in der Vorbereitungsphase des Abbruchs

Eine umfassende Schad- und Störstofferkundung gemäß der, zum damaligen Zeitpunkt gültigen ONR 192130 [6] beziehungsweise ÖNORM EN ISO 16000-32 [12] war zum Zeitpunkt der ersten Begehung vor Ort nicht mehr möglich, da die Schad- und Störstoffentfrachtung als Vorbereitungsmaßnahme für den maschinellen Rückbau bereits abgeschlossen war.

In nachfolgender Tabelle sind die verwendeten Baustoffe der einzelnen Bauteile angeführt:

Tabelle 3: Baustoffe und Probenauswahl Haus A

Geschoß	Bauteil	Baustoff(e)	Probenmaterial
Untergeschoß	Außenwände	Schalungssteine aus Beton	Nein
Untergeschoß	Innenwände	Schalungssteine aus Beton	Nein
Untergeschoß	Decke	Betonrippendecke	Nein
Obergeschoß	Außenwände	Holzspanbeton	Ja
Obergeschoß	Innenwände tragend	roter Ziegel	Nein
Obergeschoß	Innenwände nicht tragend	Schalungssteine aus Beton	Nein
Obergeschoß	Decke	Betonrippendecke	Nein
Dachgeschoß	Giebelwände	Holzspanbeton Mantelbetonstein roter Ziegel	Nein
Dachgeschoß	Kniestockwände	Holzspanbeton roter Ziegel	Nein
Dachgeschoß	Dachstuhl	Holz	Nein

7.2.2 Haus B

Informationen über den Abbruch des Hauses B wurden erst bekannt, als die maschinellen Abbrucharbeiten bereits in Gange waren. Ein Teil des Gebäudes war bereits komplett abgetragen worden. Zum Zeitpunkt der Erstbegehung waren vom „restlichen Gebäude“ bereits die Außenschalen der Holzspanbeton-Steine zusammen mit der Kerndämmung maschinell entfernt. In Abbildung 9 ist der Zustand des Gebäudes zum Zeitpunkt der Erstbegehung sichtbar. Zwischen den dunklen Innenstegen sind in „grau“ der Kernbeton und in „weiß“ Reste der Kerndämmung zu erkennen.



Abbildung 9: Haus B zum Zeitpunkt der Erstbegehung

7.3 Probenahmen

7.3.1 Haus A

Bei Haus A wurde die Probenahme im Rahmen des maschinellen Rückbaus durchgeführt. Dazu wurde ein Teil der abgegriffenen Bruchstücke der Außenwände mit einem eigens bereitgestellten LKW in ein Zwischenlager gebracht. In Abbildung 10 ist das Abgreifen eines Bruchstücks der Außenwand aus Holzspanbeton abgebildet.



Abbildung 10: Abgreifen der Holzspanbeton- Außenwand

7.3.2 Haus B

Der maschinelle Rückbau von Haus B wurde ohne Begleitung des Projektteams durchgeführt. Es waren nur kleine Mengen an Abbruchmaterial aus diesem Objekt als Probe verfügbar. Das Material wurde von einem Hersteller abgeholt und ebenfalls in das Zwischenlager geliefert.

7.4 Probenlagerung und Probenbehandlung

Um die weitere Behandlung des Abbruchmaterials aus den beiden Objekten möglichst praxisnahe auszuführen, wurde das Probenmaterial im Zwischenlager gemeinsam gelagert und in weiterer Folge als „eine“ Probe behandelt.

Als Vorbereitung für die Trennversuche mittels Windsichter und Zick- Zack- Sichter wurde ein Teil des Probenmaterials vorab in einem Prallbrecher zerkleinert.

7.5 Trennversuche

7.5.1 Recyclinganlage für Abbruchmaterial

Der erste Trennversuch wurde in einer Recyclinganlage mit Backenbrecher, Magnetabscheider, Rüttelsieben und Leichtstoffabscheider (Gebälse) durchgeführt. Zur Durchführung dieses Versuchs wurde das Material vorab nicht behandelt. In der Recyclinganlage wurde das Material gebrochen, magnetische Metalle wurden mit dem Magnetabscheider entfernt. Anschließend wurde das Material in mehreren Stufen in folgende Fraktionen gesiebt:

- > 32 mm
- 16/32 mm
- 8/16 mm
- < 8 mm
- Leichtstoffe

Schwebstoffe wurden mittels Gebälse abgesaugt. Diese wurden durch den Betreiber der Recyclinganlage entsorgt.

7.5.2 Sternsieb

Für den Trennversuch mittels Sternsieb wurde das Probenmaterial im Vorfeld mit einem Prallbrecher zerkleinert. Der Trennschnitt am Sternschnitt liegt bei 8 mm und kann variabel über die Rotationsgeschwindigkeit der Siebrollen (siehe Abbildung 11) angepasst werden.



Abbildung 11: Siebrollen eines Sternsiebs

7.5.3 Windsichter

Für die Trennversuche mittels Windsichter wurde ebenfalls vorgebrochenes Probenmaterial angeliefert. Der Versuch wurde im Technikum eines Herstellers für Windsichteranlagen durchgeführt. Aufgrund der großen Entfernung zum Technikum war bei diesem Versuch kein Mitarbeiter des Projektteams anwesend. Die Durchführung des Versuchs wurde durch Mitarbeiter des Herstellers mittels Video- und Fotoaufnahmen dokumentiert.

Aus den Trennversuchen mittels Windsichter (siehe 7.5.3) wurde Probenmaterial folgender sechs Fraktionen zurück in das Labor der bvfs geliefert:

Tabelle 4: Einteilung des Windsichtermaterials

Fraktion	Korngruppe
Leichtstoffe	3-12
	12-45
	3-45
Schwerstoffe	3-12
	12-45
	3-45

Für diese Fraktionen wurde die Schüttdichte bestimmt, da diese für die Wahl der Trennmethode entscheidend sein kann.

Es wurde jeweils eine Probe der Korngruppe 3-12 mm von jeder Fraktion einer Laboranalyse auf Schadstoffe zugeführt. Die Leichtstoffe wurden auf Schadstoffe gemäß Recycling-Holz-Verordnung, die Schwerstoffe auf Schadstoffe gemäß Recycling- Baustoff- Verordnung untersucht.

7.5.4 Zick- Zack- Sichter

Der Trennversuch mit dem Zick- Zack- Sichter wurde im Technikum eines Herstellers für Recyclinganlagen durchgeführt. Beim Zick- Zack- Sichter wird das Abbruchmaterial durch einen Trichter in die Anlage eingebracht. Danach gelangt das Material in einen Kanal mit Zick-Zack-Form, in dem es mehrmals an die Wände prallt. Im Kanal trifft das Material auf einen aufwärts gerichteten, starken Luftstrom. Die Leichtstoffe werden durch den Luftstrom nach oben befördert. Die Schwerstoffe wandern durch den Luftstrom nach unten. Der Luftstrom ist in seiner Stärke variabel einstellbar.

Durch das mehrmalige seitliche anprallen der Schwerstoffe an den Kanalwänden können Anhaftungen an den Schwerstoffen abgeschlagen werden.

Das Abbruchmaterial wurde vor dem Trennversuch im Zick-Zack-Sichter in zwei Korngruppen gesiebt: 0-10 mm und 10-20 mm. Diese beiden Korngruppen wurden einem Trennversuch unterzogen. Als Resultat des Trennversuchs mittels Zick- Zack- Sichter wurden vier Proben gewonnen:

Tabelle 5: Probenmaterial aus Trennversuch laut 7.5.4

Fraktion	Korngruppe
Leichtstoffe	0-10
	10-20
Schwerstoffe	0-10
	10-20

Die „Schwerstoffe 10-20“ wurden auf Schadstoffe gemäß Recycling- Baustoff- Verordnung untersucht. Die Leichtstoffe wurden keiner chemischen Untersuchung unterzogen.



Abbildung 12: Zick- Zack- Sichter

7.5.5 Rütteltisch/ Trenntisch

Beim Trennverfahren mittels Rütteltisch oder Trenntisch (siehe Abbildung 3) gelangt das Material über den Einlauf in die Anlage. Dort trifft es auf ein schiefes Sieb, durch das von unten Luft strömt (1) und die Leichtstoffe „verflüssigt“. Das Sieb wird von einem Exzenterantrieb in rüttelnde Bewegung gesetzt. Die Schwerstoffe wandern durch die Bewegungen des Siebes nach oben (2). Die „verflüssigten“ Leichtstoffe wandern nach unten (3). Sowohl die Rüttelfrequenz des Siebes als auch dessen Neigung und der Luftstrom können verstellt werden. Gemeinsam mit der Abluft können Folienreste und Dämmstoffe abgesaugt werden (1).

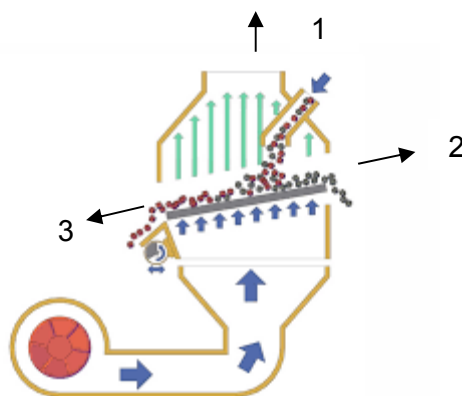


Abbildung 13: Funktionsprinzip eines Rütteltisches

Rütteltische werden unter anderem für die Trennung von organischen und mineralischen Materialien eingesetzt. Aufgrund der großen Differenz der Schüttdichte zwischen Schwer- und Leichtstoffen (vgl. Tabelle 10) ist dieser Trennmethode eine gute Eignung als Trennmethode für die Trennung von Holzbetonabbruchmaterial zuzutrauen.

7.6 Materialuntersuchungen

7.6.1 Rohdichte/ Reindichte der Hauptfraktionen

Zur Abschätzung der Anwendbarkeit von physikalischen Trennmethode der Hauptfraktionen (Kernbeton, Holzbeton, Dämmstoff) wurde die Dichte der einzelnen Fraktionen bestimmt.

Die Rohdichte von EPS- Dämmstoff sowie die Reindichte des Holzbetons wurde repräsentativ an einem Stein der Type „S 25/6 WDV“ der Firma Thermospan mittels Wägung und

Volumenbestimmung ermittelt. Produktionsbedingte Schwankungen, beziehungsweise unterschiedliche Rezepturen der Hersteller konnten daher nicht berücksichtigt werden. Das Volumen eines Steins zur Berechnung der Reindichte wurde mittels Unterwasserwägung ermittelt.

7.6.2 Fremdstoffe

Für die Beurteilung der Verwendbarkeit von Abbruchmaterial hat der Anteil Fremdstoffe eine wesentliche Bedeutung. Anhand der Fremdstoffe können Rückschlüsse einerseits auf die Qualität von Vorbereitungsmaßnahmen für den Rückbau und andererseits auf die Qualität der Rückbauarbeiten selbst gezogen werden. Ein hoher Anteil an Fremdstoffen wie Glas, Gipsbauplatten, Holzwolle und anderen „Störstoffen“ gemäß Recycling- Baustoffverordnung (RBV) bedeutet insgesamt geringe Verwendungsmöglichkeiten gemäß den Vorgaben aus der RBV.

7.7 Chemische Untersuchungen

Um eine Beurteilung der Qualität des getrennten Materials und dessen Verwendbarkeit beziehungsweise Verwertbarkeit zu ermöglichen, wurden die Schwer- sowie die Leichtstoffe aus den Trennversuchen mittels Windsichter und mittels Zick- Zack- Sichter (nur Schwerstoffe) chemischen Analysen gemäß RBV (Schwerstoffe) sowie RecyclingholzV (Leichtstoffe) unterzogen. Das Untersuchungsprogramm ist in folgender Tabelle beschrieben.

Tabelle 6: Untersuchungsprogramm Schwerstoffe

Probe Nr.	Trennmethode	sortiert	gewaschen
1	Windsichter	Nein	Nein
2		Ja	Ja
3		Ja	Nein
4	Zick- Zack- Sichter	Nein	Ja
5		Nein	Nein

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abbildung 22 abgebildet. Aufgrund der negativen Ergebnisse von Probe Nr. 1 (siehe Abbildung 22 und Tabelle 16) wurde eine manuelle Nachsortierung durchgeführt. Im Zuge dieser Nachsortierung wurden die Proben Nr.

2 und 3 (Tabelle 6) hergestellt. Zusätzlich zur manuellen Sortierung wurde die Probe Nr. 2 gewaschen, um den Einfluss an auswaschbaren Stoffen abzubilden.

7.7.1 Schadstoffe in der Schwerstofffraktion

Die Schwerstoffe aus dem Trennversuch mittels Windsichter und Zick-Zack-Sichter wurden durch ein externes chemisches Labor auf folgende Parameter untersucht und mit den entsprechenden Grenzwerten für die Recycling- Klasse U-A verglichen:

Tabelle 7: Untersuchungsparameter für Schwerstoffe

Parameter	Untersuchungsmethode	Grenzwert U-A
Eluatuntersuchungen		
pH- Wert	EN ISO 10523	7,5- 12,5
el Leitfähigkeit	EN 27888	150 mS/m
Chrom gesamt als Cr	EN ISO 11885	0,6 mg/ kg TM
Kupfer als Cu	EN ISO 11885	1,0 mg/ kg TM
Nickel als Ni	EN ISO 11885	0,4 mg/ kg TM
Ammonium als N	EN ISO 11732	4,0 mg/ kg TM
Chlorid	EN ISO 10304-1	800 mg/ kg TM
Nitrit als N	ÖN EN 26777	2,0 mg/ kg TM
Sulfat	EN ISO 10304-1	2500 mg/ kg TM
TOC	EN 1484	100 mg/ kg TM
Gesamtgehalte		
Blei als Pb	EN ISO 11885	150 mg/ kg TM
Chrom gesamt als Cr	EN ISO 11885	90/300 mg/ kg TM
Kupfer als Cu	EN ISO 11885	90/300 mg/ kg TM
Nickel als Ni	EN ISO 11885	60/100 mg/ kg TM
Quecksilber als Hg	EN ISO 12846	0,7 mg/ kg TM
Zink als Zn	EN ISO 11885	450 mg/ kg TM
KW-Index	EN 14039	150 mg/ kg TM
KW- Index C ₁₀ - C ₁₇	(i.A. EN 14039)	75 mg/ kg TM
PAK 16-EPA	ÖN L 1200	12,0 mg/ kg TM

Da alle Trennversuche mit demselben Probenmaterial durchgeführt wurden, wurde der Untersuchungsumfang für weitere Untersuchungen entsprechend den Ergebnissen angepasst.

7.7.2 Schadstoffe in der Leichtstofffraktion

Die Leichtstoffe aus dem Trennversuch mittels Windsichter wurden durch ein externes chemisches Labor auf folgende Parameter untersucht und mit den entsprechenden Grenzwerten gem. Recyclingholz-Verordnung:

Tabelle 8: Untersuchungsparameter für Leichtstoffe

Parameter	Untersuchungsmethode	Grenzwert (Median)
As	DIN EN ISO 17294-2	1,2 mg/ kg TM
Pb	DIN EN ISO 17294-2	10 mg/ kg TM
Cd	DIN EN ISO 17294-2	0,8 mg/ kg TM
Cr	DIN EN ISO 17294-2	10 mg/ kg TM
Hg	DIN EN ISO 17294-2	0,05 mg/ kg TM
Zn	DIN EN ISO 17294-2	140 mg/ kg TM
Cl	DIN 51727	250 mg/ kg TM
F	DIN 51727	15 mg/ kg TM
Summe PAK (16-EPA)	DIN ISO 18287	2 mg/ kg TM

8. ERGEBNISSE

8.1 Literaturrecherche und Firmenbefragungen

Die gesammelte Literatur ist unter Punkt 12 im Literaturverzeichnis dokumentiert. Zusätzlich zu den, im Literaturverzeichnis angeführten Unterlagen wurde eine Diplomarbeit zum entsprechenden Thema gefunden:

Sonntag, F., Diplomarbeit: Wandbauarten mit Schalungssteinen aus Holzspanbeton, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig, 2003.

Von den befragten 54 in Österreich ansässigen Recyclingunternehmen kamen 5 Rückmeldungen. Zwei Firmen gaben an, dass sie kein Abbruchmaterial aus Holzspanbeton annehmen und drei Firmen gaben an, dass sie aufgrund der niedrigen Menge anfallenden Materials noch keinen beziehungsweise nur wenig Kontakt mit dem Material Holzspanbeton hatten.

Von 41 befragten Abbruchfirmen gab es keine Rückmeldung.

Erhebungen des Projektteams sowie bvfs- interne, persönliche Gespräche mit Personen, die mit Tätigkeiten in Recyclinganlagen befasst sind, haben ergeben, dass in den meisten Recyclinganlagen Holzspanbeton- Abbruchmaterial zumindest in geringer Menge anzutreffen ist.

8.2 Materialuntersuchungen

Im Zuge der Materialuntersuchungen wurden für die entnommenen Proben folgende Werte ermittelt:

Tabelle 9: Materialkenndaten

Fraktion/ Material	Netto- Trockenrohddichte (ρ)	Reindichte (ρ_0)
Holzbeton fabriksneu	648 kg/ m ³	1118 kg/ m ³
EPS fabriksneu	40 kg/ ³	n.b.*

Zusätzlich wurde die Porosität mittels folgender Formel berechnet:

Formel 1: Formel zur Berechnung der Porosität

$$\phi = \frac{\rho}{\rho_0} \quad \blacktriangleright \quad \frac{648}{1118} = 0,58$$

Es gilt:

ρ ...*Rohdichte*

ρ_0 ...*Reindichte*

Da die Reindichte als Mittelwert von zwei Einzelwerten errechnet wurde, ist der angegebene Wert für die Porosität zwar statistisch als nicht abgesichert zu betrachten, kann jedoch als Richtwert herangezogen werden.

8.3 Trennung mittels konventioneller Recyclinganlage gemäß 7.5.1

Beim Trennversuch in der Anlage zur Herstellung von Recyclingmaterial gemäß Recycling-Baustoffverordnung (Gesteinskörnungen) wurden durch den Leichtstoffabscheider keine relevanten Mengen an Leichtstoffen gewonnen. Lediglich Staub, Holzfasern und Kunststofffolien beziehungsweise Kerndämmung aus EPS wurden durch den Leichtstoffabscheider (Ventilator) ausgetragen.

Der verwendete Ventilator scheint geeignet für Aussortierung von Dämmstoffen aus dem Abbruchmaterial. Dieser Aspekt wurde jedoch nicht weiter verfolgt, weil der Fokus der gegenständlichen Forschungsarbeit auf der Trennung von Kernbetonabbruch und Holzbetonabbruch liegt (siehe Punkt 5).

Eine Trennung von Holzbeton und Kernbeton ist mit dieser Anlage nicht möglich. Die beiden Fraktionen wurden durch die unterschiedlichen Siebe der Anlage lediglich der Größe nach gemeinsam sortiert.

8.4 Trennung mittels Sternsieb gemäß 7.5.2

In diesem Versuch wurde dasselbe Material wie zuvor in der Recyclinganlage verwendet. Fremdstoffe wie Folien und Dämmstoffe waren daher nicht mehr enthalten.

Der Trennversuch mit dem Sternsieb zeigte hinsichtlich der Trennung von Schwer- und

Leichtstoffen ähnliche Ergebnisse, wie jener aus der konventionellen Recyclinganlage.

8.5 Trennung Windsichter gemäß 7.5.3

Die Fraktionen Leichtstoffe und Schwerstoffe konnten im Windsichter deutlich voneinander getrennt werden. Zur Untersuchung auf die genannten Parameter wurde im Anschluss an den Trennversuch je eine Probe der Korngruppe 3- 12 mm aus den beiden Fraktionen Leichtstoffe und Schwerstoffe zur chemischen Untersuchung in ein externes Labor gesandt.



Abbildung 14: Leichtstoffe 3- 12 mm aus Windsichter



Abbildung 15: Schwerstoffe 3-12 mm aus Windsichter

Weiters wurden die einzelnen Fraktionen im Labor der bvfs durch manuelles Aussortieren auf Fremdstoffe untersucht. Die gesammelten Ergebnisse sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Materialkenndaten des Windsichtermaterials

Mittelwerte; Angaben in mm	
Fraktion/ Material	Schüttdichte
Schwerstoffe *	1244,15 kg/ m ³
Abbruchmaterial gemischt	998,30 kg/ m ³
Leichtstoffe **	597 kg/ m ³

* inkl. 3 M- % Fremdstoffe

** inkl. 25 M- % Fremdstoffe

8.5.1 Untersuchung der Zusammensetzung des Windsichtermaterials

Aufgrund der negativen Ergebnisse der chemischen Untersuchung der Probe 1 (siehe Tabelle 16) wurde, wie bereits unter Punkt 7.5.3 beschrieben, eine manuelle Sortierung sowohl der Schwerstoffe als auch der Leichtstoffe durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser manuellen Nachsortierung wurden ebenfalls ausgewertet und dokumentiert. Diese Ergebnisse sind unter 8.5.1.1 und 8.5.1.2 zusammengefasst.

8.5.1.1 Schwerstoffe

Tabelle 11: Zusammensetzung der Schwerstoffe nach dem Windsichter

Bestandteile	Massenanteile
Gestein	97,0%
Holzbeton	2,7%
Sonstiges	0,3%
Sortierrückstände	0,0%

8.5.1.2 Leichtstoffe

Tabelle 12: Zusammensetzung der Leichtstoffe nach dem Windsichter

Bestandteile	Massenanteile
Holzbeton	74,8%
Steine	20,1%
Hackschnitzel	3,2%
Fremdstoffe	1,0%
Holzwohle	0,4%
EPS	0,1%
Sortierrückstände	0,3%

8.5.2 Fremdstoffe im Windsichtermaterial

Abbildung 16 zeigt eine Auswahl an Fremdstoffen in den Schwerstoffen des Windsichtermaterials. Darin enthalten sind Holzbeton, Ziegelbruch, Schüttmaterial, Fliesen, Glas, Putz, Hackschnitzel. Über die in der Abbildung sichtbaren Fremdstoffe hinausgehend wurden

noch Eisenteile und Kartonreste gefunden.



Abbildung 16: Auswahl an Fremdstoffen in Schwerstoffen aus dem Windsichter

Abbildung 17 zeigt eine Auswahl an Fremdstoffen, die bei der manuellen Sortierung in den Leichtstoffen vorgefunden wurden. Unten abgebildet sind: Ziegelbruch, Fliesen, Holz, Stein, EPS, Glas, Holzwolle, Putz, Dämmstoff.



Abbildung 17: Fremdstoffe in der Leichtstofffraktion aus dem Windsichter

Darüber hinaus wurden Kunststoffreste (Folien, Putzgitter, etc.). Fugensilikon, Metalle und Leichtmetalle identifiziert. Fremdstoffe sind generell kein Spezifikum von Abbruchmaterial aus Holzspanbeton, sondern vielmehr eine Thematik aller Recyclingbaustoffe.

8.6 Trennung mittels Zick- Zack- Sichter gemäß 7.5.4

Für die gewonnenen Fraktionen Leichtstoffe und Schwerstoffe aus dem Zick- Zack- Sichter wurden ebenfalls Materialkenndaten durch Laboruntersuchungen ermittelt. Chemische Untersuchungen wurden entsprechend dem Untersuchungsprogramm (siehe Tabelle 6) nur für Schwerstoffe durchgeführt. Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind unter Punkt 8.7 dokumentiert. In Tabelle 13 ist die Schüttdichte der einzelnen Fraktionen aufgelistet.

Tabelle 13: Materialkenndaten des Materials aus dem Zick- Zack- Sichter

Mittelwerte; Angaben in mm	
Fraktion/ Material	Schüttdichte
Schwerstoffe 0- 10 mm	1271 kg /m ³
Leichtstoffe 0- 10 mm	1063 kg /m ³
Schwerstoffe 10- 20 mm	1171 kg /m ³
Leichtstoffe 10- 20 mm	366 kg /m ³

In den Abbildung 18 bis Abbildung 21 sind die gewonnenen Fraktionen aus dem Zick- Zack- Sichter fotografisch dokumentiert.

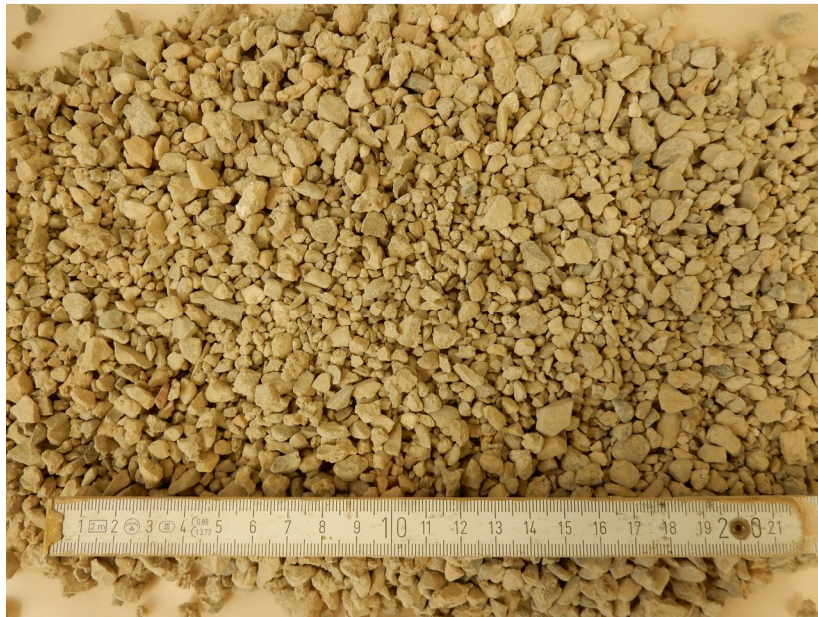


Abbildung 18: Schwerstoffe 0- 10 mm aus Zick- Zack- Sichter



Abbildung 19: Leichtstoffe 0- 10 mm aus Zick- Zack- Sichter



Abbildung 20: Schwerstoffe 10- 20 mm aus Zick- Zack- Sichter



Abbildung 21: Leichtstoffe 10- 20 mm aus Zick- Zack- Sichter

8.7 Chemische Untersuchungen

8.7.1 Schwerstoffe

Wie unter 0 beschrieben, wurden die Schwerstoffe chemischen Untersuchungen unterzogen. Entsprechend der Tabelle 6 stammen die Proben- Nummern 1-3 aus den Windsichter- Trennversuchen, wobei die Proben 2 und 3 nachsortiert wurden. Die Proben mit den Nummern 4 (gewaschen) und 5 (ungewaschen) stammen aus den Versuchen mit dem Zick- Zack- Sichter.

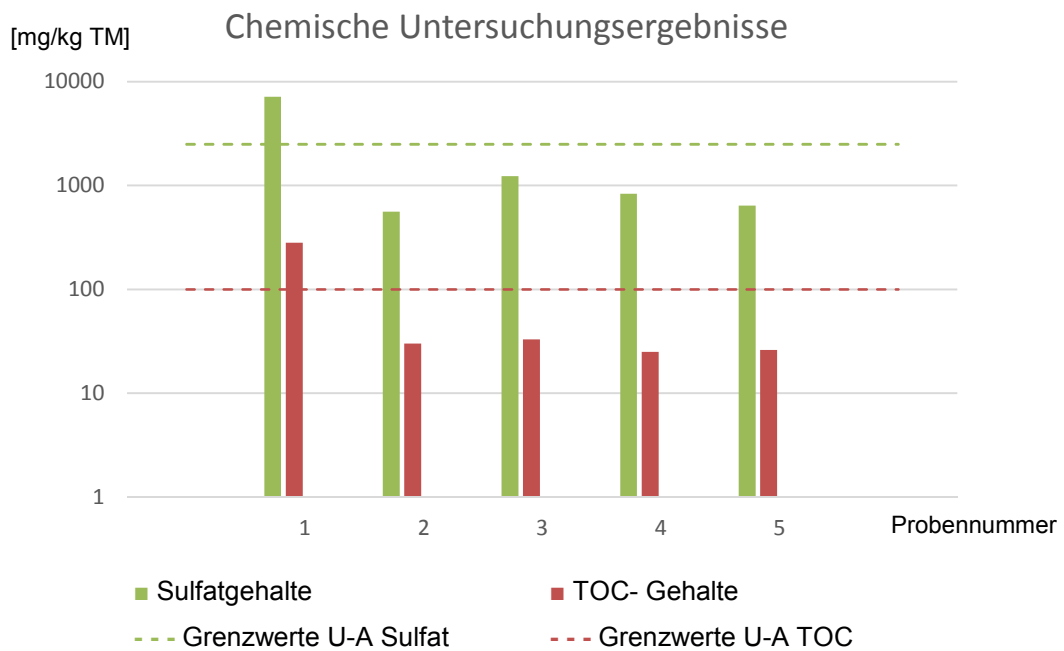


Abbildung 22: Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

8.7.2 Leichtstoffe

Ergebnisse der chemischen Untersuchung der Leichtstoffe:

Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse Leichtstoffe/ Windsichter

Parameter	Untersuchungsergebnisse in mg/kg TM	Grenzwert (Median)*)
As	3,4	1,2 mg/ kg TM
Pb	24	10 mg/ kg TM
Cd	< 0,30	0,8 mg/ kg TM
Cr	27	10 mg/ kg TM
Hg	< 0,050	0,05 mg/ kg TM
Zn	90	140 mg/ kg TM
Cl	100	250 mg/ kg TM
F	2	15 mg/ kg TM
Summe PAK (16-EPA)	0,49	2 mg/ kg TM

*) für Recyclingholz bei Verwendung in der Holzwerkstoffindustrie

9. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

9.1 Schwerstoffe als Ausgangsprodukt für Recyclingbaustoffe gemäß RBV

Sinn und Zweck der Trennung von gemischtem Abbruchmaterial ist die Eröffnung der Möglichkeit, die einzelnen Bestandteile möglichst sortenrein und gesondert je nach Materialeigenschaften einer Wiederverwendung zuzuführen. Der Erfolg, beziehungsweise die Eignung einer Trennmethode ist daher abhängig von der Fähigkeit der Methode, die unterschiedlichen Bestandteile des Abbruchmaterials mit ausreichender Genauigkeit und Effizienz voneinander zu trennen. Der Nachweis der Verwendbarkeit der einzelnen Bestandteile für einen bestimmten Verwendungszweck kann unter Einhaltung der Grenzwerte für die festgelegten Inhaltsstoffe geführt werden. Unterschreiten die Analyseergebnisse die geforderten Grenzwerte, kann das Ergebnis des Trennversuchs beziehungsweise die Trennmethode als positiv bewertet werden. Es kann für die abgetrennten Schwerstoffe (Ergebnisse der chemischen Untersuchungen aus Tabelle 6) folgende Beurteilung vorgenommen werden:

Tabelle 15: Beurteilung der chemischen Untersuchungen bzw. Trennmethoden der Schwerstoffe

Methode	Trennmethode	sortiert	gewaschen	Bewertung
1	Windsichter	Nein	Nein	negativ
2		Ja	Ja	positiv
3		Ja	Nein	positiv
4	Zick- Zack- Sichter	Nein	Ja	positiv
5		Nein	Nein	positiv

Gemäß der, in Tabelle 15 angeführten Untersuchungsergebnisse, können vier der fünf Methoden als „geeignet zu Herstellung von Recyclingbaustoffen im Sinne der RBV“ beurteilt werden. Da für die Methoden 2 und 3 eine händische Nachsortierung erforderlich ist, muss davon ausgegangen werden, dass diese Methoden in der Praxis keine Anwendung finden werden.

Mittels Zick- Zack- Sichtung ist es möglich, ohne zusätzlicher Nachbehandlung (manuelle Nachsortierung, Wäsche) Recycling- Baustoffe der höchsten Qualitätsklasse U-A herzustellen. Eine Deponierung ist aus technischer Sicht nicht erforderlich.

9.2 Leichtstoffe als Ersatzrohstoff für die Produktion von Holzspanbetonbauteilen

Im Sinne der Abfallvermeidung ist es erstrebenswert, zusätzlich zu den Schwerstoffen auch die Leichtstoffe einer geeigneten Wiederverwendung zuzuführen. Dafür bietet sich das Recycling des Holzbetonabbruchs im Holzbeton- Herstellwerk an. Da die Recyclingholz- Verordnung [16] keine Regelungen für das Recycling von Holzbetonabbruch in den vorhandenen Herstellwerken beinhaltet, bietet sich die sinngemäße Anwendung der Regelungen der Verordnung unter Nutzung eines entsprechenden Recyclingfaktors (siehe [16], Anhang 2), übertragen auf die Herstellungsprozesse in Holzbeton- Herstellwerken, an.

Für einen konkreten Anwendungsfall bedeutet das, dass die beprobten Leichtstoffe je nach Analyseergebnis unter Berücksichtigung eines entsprechenden Recyclingfaktors als Recyclinganteil in die Produktion von neuen Steinen und Platten aus Holzspanbeton einfließen können. Eine Deponierung ist aus technischer Sicht nicht erforderlich.

9.3 Ausblick

Die Eignung von Rütteltischen für die Trennung von Holzspanbetonabbruch wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeiten nicht untersucht. Hier ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden.

Neben der Trennung von „gemischtem“ Abbruchmaterial in seine Bestandteile und der Zuführung des Materials zu einer entsprechenden Recyclingmethode beziehungsweise der Verwendung als geregelttem Recyclingmaterial ist es zweckmäßig, weitere Wiederverwertungsmöglichkeiten zu finden und zu beforschen.

Als Beispiel ist die Verwendung von gemischtem, schadstofffreiem Abbruchmaterial als technisches Schüttmaterial in Gebäuden zu nennen.

Salzburg, 22. Juni 2017

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Stefan Nagl (Berichtverfasser) / Fachbereich Holz
Dipl.-Ing. Robert Preininger / Abteilungsleitung Bauphysik & Hochbau

10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Holzspanbetonsteine (Quelle: isospan)	9
Abbildung 2: Holzspanbetonsteine mit integrierter Wärmedämmung (Quelle: Durisol)	9
Abbildung 3: Platten aus Holzspanbeton (Quelle: Velox)	10
Abbildung 4: Zusammensetzung gedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)	12
Abbildung 5: Zusammensetzung ungedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)	12
Abbildung 6: Zusammensetzung gedämmter Wandsysteme (Mittelwerte)	13
Abbildung 7: Zusammensetzung der Wandsysteme (Mittelwerte)	13
Abbildung 8: Haus A in der Vorbereitungsphase des Abbruchs	15
Abbildung 9: Haus B zum Zeitpunkt der Erstbegehung	17
Abbildung 10: Abgreifen der Holzspanbeton- Außenwand	18
Abbildung 11: Siebrollen eines Sternsiebs	20
Abbildung 12: Zick- Zack- Sichter	22
Abbildung 13: Funktionsprinzip eines Rütteltisches	23
Abbildung 14: Leichtstoffe 3- 12 mm aus Windsichter	30
Abbildung 15: Schwerstoffe 3-12 mm aus Windsichter	31
Abbildung 16: Auswahl an Fremdstoffen in Schwerstoffen aus dem Windsichter	33
Abbildung 17: Fremdstoffe in der Leichtstofffraktion aus dem Windsichter	33
Abbildung 18: Schwerstoffe 0- 10 mm aus Zick- Zack- Sichter	35
Abbildung 19: Leichtstoffe 0- 10 mm aus Zick- Zack- Sichter	35
Abbildung 20: Schwerstoffe 10- 20 mm aus Zick- Zack- Sichter	36
Abbildung 21: Leichtstoffe 10- 20 mm aus Zick- Zack- Sichter	36
Abbildung 22: Ergebnisse der chemischen Untersuchungen	37

11. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gängige Dickenangaben für Bauteilschichten	10
Tabelle 2: Bestandteile von Holzbeton- Wandsystemen	11
Tabelle 3: Baustoffe und Probenauswahl Haus A	16
Tabelle 4: Einteilung des Windsichtermaterials	21
Tabelle 5: Probenmaterial aus Trennversuch laut 7.5.4	22
Tabelle 6: Untersuchungsprogramm Schwerstoffe.....	24
Tabelle 7: Untersuchungsparameter für Schwerstoffe.....	26
Tabelle 8: Untersuchungsparameter für Leichtstoffe	27
Tabelle 9: Materialkenndaten.....	28
Tabelle 10: Materialkenndaten des Windsichtermaterials	31
Tabelle 11: Zusammensetzung der Schwerstoffe nach dem Windsichter.....	32
Tabelle 12: Zusammensetzung der Leichtstoffe nach dem Windsichter	32
Tabelle 13: Materialkenndaten des Materials aus dem Zick- Zack- Sichter	34
Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse Leichtstoffe/ Windsichter	38
Tabelle 15: Beurteilung der chemischen Untersuchungen bzw. Trennmethoden der Schwerstoffe.....	39
Tabelle 16: Gesamtergebnis der chemischen Untersuchung von Windsichteer/Schwerstoffe/unsortiert/ ungewaschen	45

12. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2011): Bundes-Abfallwirtschaftsplan. Wien.
- [2] Cresnik, Guido (2007): Die Substituierung mineralischer Rohstoffe durch Baurestmassen - Kurzfassung. Graz.
- [3] Europäische Union: Bauproduktenverordnung. Regulation (EU) Nr. 305/2011, Straßburg
- [4] Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (Hg.) (1995): Recycling von Mantelbetonabbruch. Wien.
- [5] Mohn, Joachim; Figi, R.; Jäckle, H. W.; Zennegg, M. (2000): Emissionen und Stoffflüsse von (Rest-) Holzfeuerung. EMPA Dübendorf. Dübendorf.
- [6] ON-Regel 192130, 01.05.2006: Schadstofferkundung von Bauwerken vor Abbrucharbeiten.
- [7] ÖNORM B 2251, 01.08.2006: Abbrucharbeiten- Werkvertragsnorm.
- [8] ÖNORM B 3151, 01.12.2014: Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode.
- [9] ÖNORM EN 772-13: 01.10.2000: Prüfverfahren für Mauersteine- Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto- Trockenrohichte von Mauersteinen (außer Natursteinen)
- [10] ÖNORM EN 772-16: 15.06.2011: Mauersteine aus Beton: Bestimmung der Maße
- [11] ÖNORM EN 15498, 01.10.2008: Betonfertigteile- Holzspanbeton- Schalungssteine.
- [12] ÖNORM EN ISO 16000-32, 01.10.2014: Innenraumluftverunreinigungen Teil 32: Untersuchung von Gebäuden auf Schadstoffe.
- [13] Republik Österreich: Recycling-Baustoff-Verordnung. BGBl II 190/2016, zuletzt geprüft am 05.04.2017.
- [14] Republik Österreich: Abfallwirtschaftsgesetz. BGBl. I Nr. 102/2002.
- [15] Republik Österreich: Deponieverordnung. BGBl I Nr. 2/2008, vom 31.01.2011.
- [16] Republik Österreich: Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV). BGBl II Nr. 160/2012.
- [17] Riedel, Heinz; Schmoeckel, Gerhard; Marb, Clemens (2014): Schwermetall- und Chlorgehalte in Altholzsortimenten. In: Holztechnologie 55 (5), S. 31–38, Dresden.
- [18] Scheibengraf, Martin; Reisinger, Hubert (2005): Abfallvermeidung und -Verwertung: Baurestmassen. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

- [19] STATISTIK AUSTRIA, Gebäude- und Wohnungszählungen 1971 bis 2001, Registerzählung 2011. Erstellt am 04.12.2013, Wien.

13. TABELLENANHANG

Tabelle 16: Gesamtergebnis der chemischen Untersuchung von Windsichteer/Schwerstoffe/unsortiert/ ungewaschen

Parameter	Untersuchungsergebnisse im mg/ kg TM	Grenzwerte	
		U-A	U-B
Eluatuntersuchungen			
pH- Wert	10,9	7,5- 12,5	
el Leitfähigkeit	59,2	150 mS/m	150
Chrom gesamt als Cr	< 0,74	0,6 mg/ kg TM	1,0 mg/ kg TM
Kupfer als Cu	< 0,2	1,0 mg/ kg TM	2,0 mg/ kg TM
Nickel als Ni	< 0,45	0,4 mg/ kg TM	0,60 mg/ kg TM
Ammonium als N	< 7,2	4,0 mg/ kg TM	8,0 mg/ kg TM
Chlorid	161	800 mg/ kg TM	1000 mg/ kg TM
Nitrit als N	1,6	2,0 mg/ kg TM	2,0 mg/ kg TM
Sulfat	7180	2500 mg/ kg TM	6000 mg/ kg TM
TOC	281	100 mg/ kg TM	200 mg/ kg TM
Gesamtgehalte			
Blei als Pb	6	150 mg/ kg TM	150/ 500 mg/ kg TM
Chrom gesamt als Cr	12	90/300 mg/ kg TM	90/ 700 mg/ kg TM
Kupfer als Cu	13	90/300 mg/ kg TM	90/ 500 mg/ kg TM
Nickel als Ni	10	60/100 mg/ kg TM	60 mg/ kg TM
Quecksilber als Hg	< 0,05	0,7 mg/ kg TM	0,7 mg/ kg TM
Zink als Zn	33	450 mg/ kg TM	450 mg/ kg TM
KW-Index	< 20	150 mg/ kg TM	200 mg/ kg TM
KW- Index C ₁₀ - C ₁₇	---	75 mg/ kg TM	100 mg/ kg TM
PAK 16-EPA	< 0,5	12,0 mg/ kg TM	20 mg/ kg TM