

Teil I: Kurzbericht

**WIR!-Bündnis - "Gipsrecycling als Chance für den Südharz"
„Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“**

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03WIR0306A
Projektlaufzeit:	01.02.2021 bis 31.01.2024
Berichtszeitraum:	01.02.2021 bis 31.01.2024

Berichtspflichtiger: Hochschule Nordhausen

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Robert B. Wudtke

Nordhausen, 26.07.2024



Inhalt

1. Aufgabenstellung	1
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	1
3. Ablauf des Vorhabens	2
4. Wesentliche Ergebnisse	2
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen (Forschungseinrichtungen)	2

Teil I: Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Die Maßnahmen zum Klimaschutz in Deutschland sehen den gesteigerten Einsatz von erneuerbaren Energien und die Beendigung der Kohleverstromung vor. Der Kohleausstieg führt zu einem Rückgang der Verfügbarkeit von Nebenprodukten der Stromerzeugung durch Kohle. Hierzu zählt auch industriell hergestellter Gips. Durch den Wegfall von Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips) steht mehr als die Hälfte der in der Gipsindustrie gebrauchten Rohstoffmenge zukünftig nicht mehr zur Verfügung. Das Projekt RueGips „Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“, welches gemeinsam von der Hochschule Nordhausen und dem gipsproduzierenden Unternehmen Saint-Gobain Formular bearbeitet wird, hat sich zum Ziel gesetzt die Rückführungsquote von Gipsabfällen zu steigern und die Verfügbarkeit von Recycling-Gips zu erhöhen. Hierbei liegt der Fokus auf Gipsabfällen, welche bisher nicht oder kaum einem stofflichen Recycling zugeführt und somit dem Wertstoffkreislauf entzogen wurden. Im Projekt wird ebenfalls Baugips, als der massenreichste Gipsabfallstoffstrom, hinsichtlich Bereitstellung und Kreislaufführung optimiert. Mit dem Vorhaben sollen Lösungsansätze entwickelt werden, um zur Reduzierung der wachsenden Gips-Lücke beizutragen.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Recycling von gipshaltigen Stoffströmen ist bisher hauptsächlich auf Gipskartonplatten, einem verhältnismäßig mengenreichen Stoffstrom, beschränkt. 2012 lag das geschätzten Abfallaufkommen an Gipskartonplatten aus Neubau-, Sanierungs- und Rückbau-/Abrissmaßnahmen bei ca. 243.000 Tonnen.¹

Im Jahr 2018 betrug die Produktionsmenge an Recycling-Gips in Deutschland insgesamt ca. 45.000 Tonnen.² Bei einem konstanten Abfallaufkommen von ca. 250.000 Tonnen wurden somit 2018 ca. 200.000 Tonnen Gipskartonplatten nicht dem Recycling zugeführt.

Eine stoffliche Verwertung aller aktuell getrennt gesammelten gipshaltigen Abfälle (Baustoffe auf Gipsbasis; Abfallschlüsselnr. 170802³; 2016: ca. 644.000 Tonnen⁴) erfolgt in Gipsaufbereitungsanlagen sowie z.B. im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen von Schlamm-teichen im europäischen Ausland. Die Rekultivierung repräsentiert eine niedrige Form der Verwertung. Gipshaltige Abfälle werden derzeit noch in größerem Umfang als Abfall auf Deponien entsorgt.

Im Land Berlin besteht seit Sommer 2019 die Möglichkeit, die auf Baustellen anfallenden gipshaltigen Abfälle an einer von insgesamt fünf Annahmestellen abzugeben. Damit soll der Anteil, der bisher zu 100 % deponierten Gipsabfälle, reduziert werden. Die Aufbereitung der gesammelten Gipsabfälle wird in der Recyclinganlage der MUEG in Großpösna durchgeführt.⁵

¹ Buchert, M., Sutter, J., Alwast, H., Schütz, N., & Weimann, K. (April 2017). Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten. (Umweltbundesamt, Hrsg.). online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-04-24_texte_33-2017_gipsrecycling.pdf

² EnBausa. (05. 02 2020). Kohleausstieg sorgt für Knappheit bei Gips. Online: <https://www.enbausa.de/daemmung/aktuelles/artikel/kohleausstieg-sorgt-fuer-knappheit-bei-gips-6848.html>

³ ASN 170802 - sind vor allem Gipsplatten, Gips-Wandbauplatten, Gipsfaserplatten, Gipsmörtel, Gipsputz, gipshaltige Estriche (Trockenestrich oder Fließestrich) und weitere raumauskleidende Produkte aus Gips, z.B. Stuck

⁴ bbs-Zahlenspiegel 2019, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., S. 17, Berlin, 2019.

⁵ Gipsrecycling statt Deponierung - Eine Zero-Waste-Initiative, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Berlin, Juni 2019

3. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt RueGips hatte eine Laufzeit von 3 Jahren (01.02.2021 - 31.01.2024). Es war in fünf Arbeitspakete unterteilt, die im Folgenden aufgelistet sind.

1. Stoffstrom- und Bedarfsanalyse sulfathaltiger Abfälle
2. Identifizierung relevanter Stoffströme für die Wertstoffrückführung
3. Vorbereitung Feldstudie
4. Umsetzung Sammel- und Logistikkonzept – modellhaft
5. Auswertung Praxistest

Das Verbundprojekt RueGips „Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“ wurde ursprünglich von drei Verbundpartnern (Hochschule Nordhausen als Koordinator, Saint Gobain Formula GmbH und der Bauunternehmen Henning GmbH) beantragt. Am 27.10.2021 musste die Bauunternehmen Henning GmbH (FKZ 03WIR0306B) Insolvenz anmelden und ist somit als Verbundpartner in diesem Projekt nicht mehr aktiv. Trotz dieser Umstände waren sich die verbleibenden Partner einig, das Projekt erfolgreich weiter führen zu können. Die Arbeitspakete der Bauunternehmen Henning GmbH wurden z.T. von der Hochschule Nordhausen übernommen und durchgeführt. Ein Teil der geplanten Arbeiten wurde in der zweiten Jahreshälfte 2023 im Rahmen eines Unterauftrags durch ein Abriss- und Entsorgungsunternehmen erledigt.

4. Wesentliche Ergebnisse

- Konzeptionierung, Durchführung und Auswertung einer Online-Befragung als Primärdatenanalyse in einer ausgewählten Modellregion
- Durchführung einer Sekundärdatenanalyse
- Hochrechnung der Abfallmengen ausgewählter gipshaltiger Stoffströme der Modellregion auf Deutschland
- Auswahl eines geeigneten Gipsabfallstoffstroms für den Praxistest und Akquise von Praxistestteilnehmern
- Erarbeitung und Test von Aufbereitungskonzepten zur Störstoffentfrachtung von ausgewählten gipshaltigen Abfallströmen, z.B. Sanitär- und Dentalgipsabfälle
- Herstellung abbindefähiger Gipsprodukte aus Abfallstoffen und Charakterisierung der hergestellten Produkte (Partikelgrößenverteilung, Kristallwassergehalt, Abbindeverhalten, u.a.)
- Großversuch zur Aufbereitung von Sanitärgipsabfällen im industriellen Maßstab im Thüringer Innovationszentrum für Wertstoffe (ThiWert) an der Hochschule Nordhausen
- Herstellung von kalziniertem Recycling-Gips beim Projektpartner Saint-Gobain Formula im Produktionsmaßstab (11 Tonnen)
- Durchführung eines Praxistests zur Sammlung von Gipsabfällen aus der Orthopädietechnik in einer Modellregion

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen (Forschungseinrichtungen)

Bei dem Projekt "Rückführung sulfathaltiger Stoffströme" handelt es sich um ein Vorhaben der Hochschule Nordhausen und der Firma Saint-Gobain Formula. Während der Projektlaufzeit ergaben sich Anbahnungen von zukünftig geplanten Zusammenarbeiten mit anderen Forschungs- und forschungsnahen Einrichtungen und Projekten.

Teil II: eingehende Darstellung

**WIR!-Bündnis - "Gipsrecycling als Chance für den Südharz"
„Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“**

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03WIR0306A
Projektlaufzeit:	01.02.2021 bis 31.01.2024
Berichtszeitraum:	01.02.2021 bis 31.01.2024

Berichtspflichtiger: Hochschule Nordhausen

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Robert B. Wudtke

Nordhausen, 26.07.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele (Inhalte)	2
1.1	Primärdatenanalyse	3
1.2	Sekundärdatenanalyse und Hochrechnungen	7
1.3	Probenaufbereitung, Analytik und werkstoffliche Untersuchungen	7
1.3.1	Gipsabfälle aus der Sanitärkeramikherstellung	7
1.3.2	Gipsabfälle der Dentalindustrie	16
1.3.3	Gipsabfälle aus der Orthopädie / Orthopädieschuhtechnik	19
1.3.4	Gipsabfälle aus der Orthopädieschuhtechnik	20
1.3.5	Weitere untersuchte gipshaltige Abfallströme	20
1.3.6	Baustoffe auf Gipsbasis	21
1.3.7	Technische Gipse (Synthetische Calciumsulfate)	23
1.3.8	Probenanalytik	24
1.3.9	Chemische Analysen und Asbestgehalt	25
1.3.10	Durchführung von vergleichenden Kalzinierungsuntersuchungen	25
1.3.11	Durchführung von Prüfverfahren für Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel	27
1.4	Entwicklung eines Sammel- und Logistikkonzepts und Durchführung eines Praxistests	28
1.5	Zusammenfassung und Fazit	35
2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	36
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	37
4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	37
5	Darstellung während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	37
6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses nach Nr. 5	37
7	Literaturverzeichnis	I
8	Anhangsverzeichnis	IV

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
AP	Arbeitspaket
EK	Entsorgungskosten
HSN	Hochschule Nordhausen
LK	Landkreis
MA	Mitarbeiter
NIR	Nahinfrarot
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid
REA-Gips	Gips aus der Rauchgasentschwefelung
SGF	Saint-Gobain Formula
ThiWert	Thüringer Innovationszentrum für Wertstoffe
TP	Teilprojekt
TSP	Travelling Salesman Problem

Teil II: eingehende Darstellung

Der Teil II/Gliederungspunkt 1- Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele (Inhalte) der Berichtserstattung beinhaltet die Ergebnisdarstellung beider Verbundpartner, da die Arbeiten eng verzahnt waren.

1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele (Inhalte)

Vorgegebene Ziele:

Die Maßnahmen zum Klimaschutz in Deutschland sehen den gesteigerten Einsatz von erneuerbaren Energien und die Beendigung der Kohleverstromung vor. Der notwendige Kohleausstieg hat allerdings auch den Rückgang und die Verfügbarkeit von Nebenprodukten der Stromerzeugung durch Kohle zur Folge, die auch bei der Verfügbarkeit von industriell hergestelltem Gips sichtbar werden. Durch den Wegfall von Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips) steht mehr als die Hälfte der in der Gipsindustrie zum Einsatz kommenden Rohstoffmenge zukünftig nicht mehr zur Verfügung. Das Projekt RueGips „Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“, welches gemeinsam von der Hochschule Nordhausen (HSN) (TP1) und dem gipsproduzierenden Unternehmen Saint-Gobain Formular (SGF) (TP 2) bearbeitet wird, hat sich zum Ziel gesetzt die Rückführungsquote von Gipsabfällen zu steigern und die Verfügbarkeit von RC-Gips zu erhöhen. Hierbei liegt der Fokus u.a. auf Gipsabfällen, welche bisher nicht bzw. kaum einem stofflichen Recycling zugeführt und somit dem Wertstoffkreislauf entzogen wurden. Bestandteil des Projektes ist es ebenfalls, der Rückführung des massenreichsten Gipsabfallstoffstroms, nämlich den Baugipsen, Rechnung zu tragen und deren Bereitstellung und Kreislaufführung zu optimieren.

Mit dem Vorhaben wurden Lösungsansätze entwickelt, um zur Reduzierung der wachsenden Gips-Lücke beizutragen.

Ziel des Teilvorhabens „Erarbeitung eines Sammel- und Logistikkonzepts auf Basis von Stoffstromanalysen und modellhafte Umsetzung“ (TP 1) war die Erarbeitung eines Sammel- und Logistikkonzepts auf Basis von Stoffstromanalysen und die modellhafte Umsetzung. Dabei war das wissenschaftliche Ziel des Projekts die Identifizierung und Bewertung von bisher nicht erfassten sulfathaltigen Stoffströmen aus anthropogenen Potentialen und Lagern, die einer Aufbereitung und Verwertung zugeführt werden können.

Mit Hilfe von Stoffstromanalysen war der IST-Stand von gipshaltigen Stoffströmen darzustellen. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine Stoffstromanalyse Step 1 erarbeitet - die auf der Grundlage einer professionellen Befragung basierte. Es waren geeignete Erhebungsmethodiken und -kriterien auszuwählen, eine Firmendatenbank zu erstellen, das Untersuchungsgebiet abzugrenzen und die vorhandenen Sekundär- und Primärdaten auszuwerten.

In weiteren Arbeitsschritten war eine 2. Stoffstromanalyse, basierend auf der Eignung der identifizierten Stoffströme aus der Analyse 1, durchzuführen. Schwerpunkte hierbei lag auf den Werkstoffeigenschaften, dem Wertstoffpotential und der Recyclingfähigkeit. Dies erfolgte durch Tests des Rücklaufmaterials sowie weiteren Materialproben mit verschiedensten Aufbereitungstechniken und Analysen.

Im Ergebnis dieser Stoffstromanalysen war ein Sammel- und Logistikkonzept für einen, als besonders geeignet bewerteten Stoffstrom zu erarbeiten.

Nachfolgende Grafik gibt einen groben Überblick über Ablauf und Ziel des Forschungsprojektes.

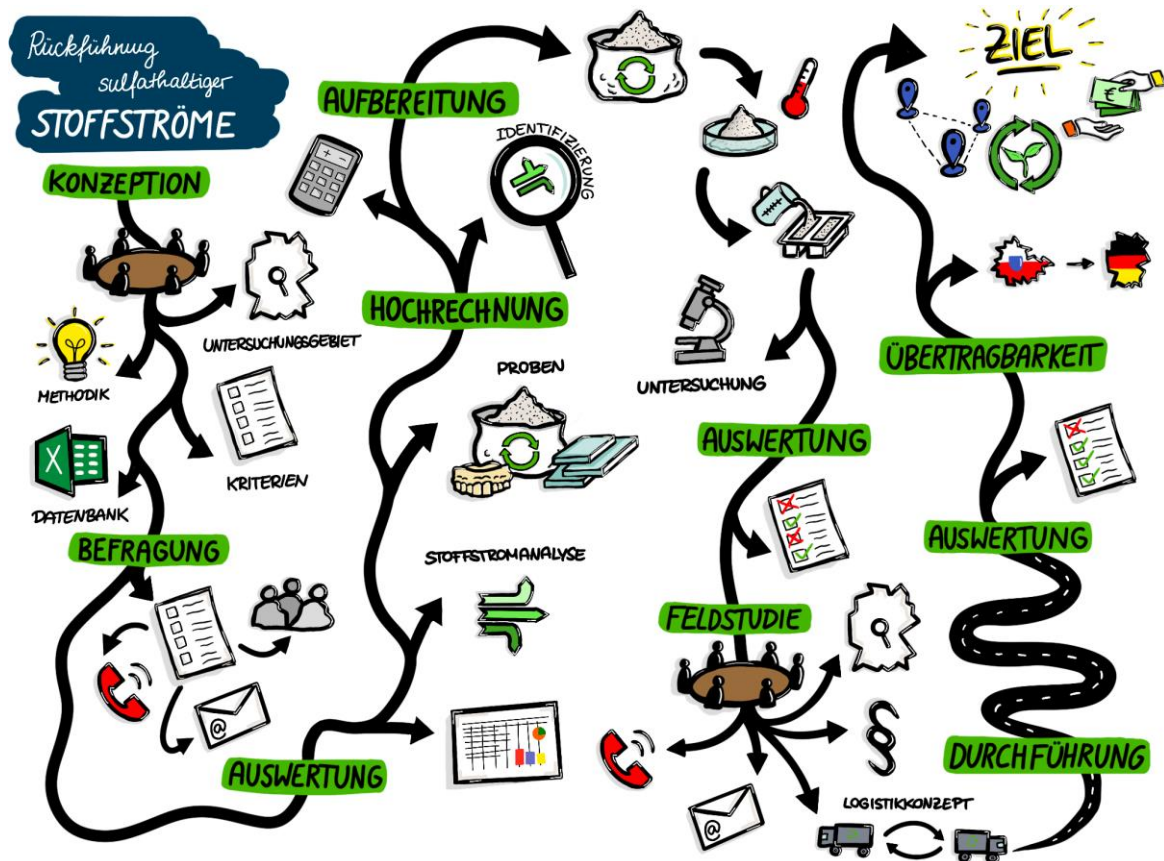


Abbildung 1: Projekttablaufschema

Die Bearbeitung des AP 1 erfolgte im Rahmen der Masterarbeit von Frau Rebecca Riemann welche ihr Studium an der Technischen Universität Dresden, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, absolviert. Ziel der Arbeit war es, ein Konzept zu entwickeln, mit dem die Stoffstromanalyse im Projekt RueGips durchgeführt werden kann. Frau Riemann war im Zeitraum der Erstellung der Masterarbeit im Projekt RueGips an der Hochschule Nordhausen angestellt. Die nachfolgenden Beschreibungen (Abschnitt 1.1: Primärdatenanalyse) enthalten in weiten Teilen Auszüge der Masterarbeit von Frau Riemann.

Erzielte Ergebnisse:

1.1 Primärdatenanalyse

Die Gipslagerstätten im Südharzer Zechsteingürtel, erstrecken sich auf fast 100 km Länge zwischen Osterode (Niedersachsen) an Nordhausen (Thüringen) entlang bis nach Sangerhausen (Sachsen-Anhalt).¹ Diese Lagerstätten sind Ausgangspunkt für die Definition der betrachteten Region. Neben der begrifflichen Belegung des Südharzes und den Gipslagerstätten wurden für die Definition der Südharz-Region zwei weitere relevante Faktoren berücksichtigt: die Einbeziehung relevanter Branchen in der Umgebung sowie die logistische Anbindungsmöglichkeit der Standorte, gegeben durch die vorhandene Verkehrsinfrastruktur.

Begrifflich ist der Südharz mehrfach belegt: touristisch erstreckt sich das Gebiet von Neustadt im Harz (Norden) nach Bad Frankenhausen/ Sangerhausen (Süden) und von Bad Sachsa (Westen) bis nach Sangerhausen und Allstedt im Osten. Der Karstwanderweg im Südharz wird nordwestlich durch Osterode am Harz, südlich durch Bad Frankenhausen und östlich wiederum durch

¹ (vgl. Reinhardt, 2020)

Sangerhausen und Allstedt begrenzt. Die Gemeinde Südharz und der angrenzende Naturpark Südharz liegen inmitten der bereits aufgeführten Ost-West-Ausdehnungen und erweitern die nördliche Ausdehnung bis nach Breitenstein bzw. Sophienhof.

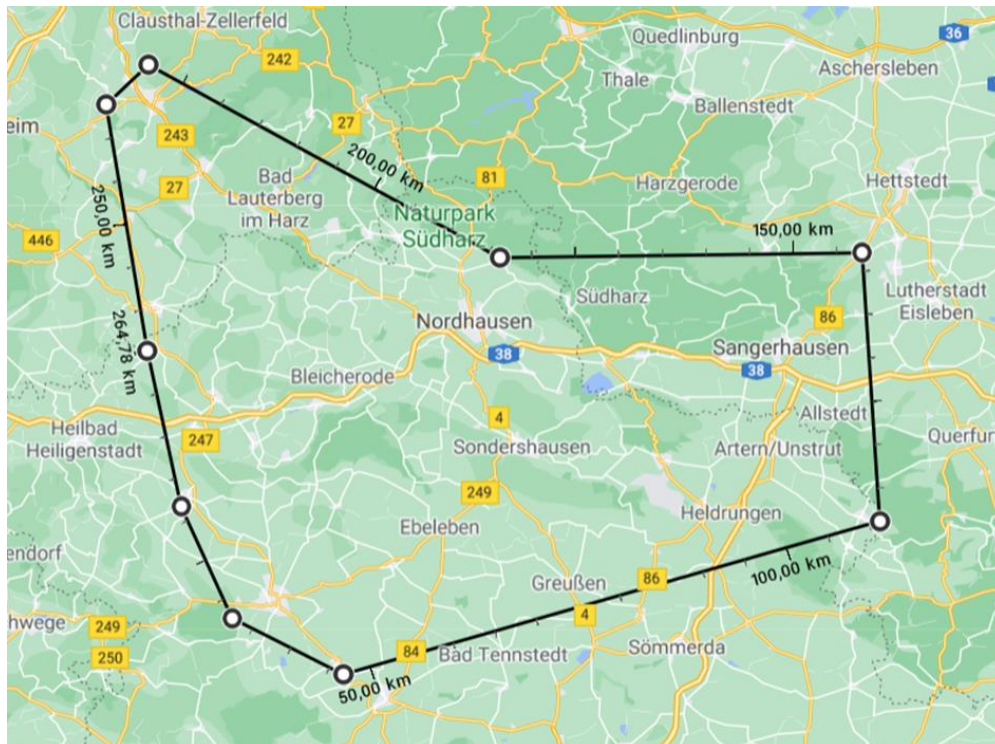


Abbildung 2: Betrachtungsregion der Stoffstromanalyse, entnommen aus: Hochschule Nordhausen, 2021

Um möglichst viele Tätigkeitsfelder einzubeziehen, wird die zu untersuchende Region weiter nach Süden bis nach Mühlhausen (Thüringen) ausgedehnt und entlang der A38, der ost-westlichen Hauptverkehrsachse der Region orientiert. Daraus ergibt sich die in dargestellte Betrachtungsregion die drei Bundesländer einbezieht.

Die Südharz-Region umfasst ca. 403.000 Einwohner und eine Fläche von ca. 3.770 km². Die Nord-Süd-Ausdehnung erstreckt sich auf knapp 70 km, die Ost-West-Ausdehnung auf ca. 83 km.

Zur Erhebung der Gipsstoffströme ist es essenziell, einen möglichst vollständigen Überblick über die Güter und deren Transformationsprozesse zu erlangen. Mit Prozessen werden in diesem Zusammenhang alle Herstellungs-, Verarbeitungs- und Abfallmanagementprozesse angesprochen, die in direkter Verbindung zu gipshaltigen Gütern stehen, d. h. bei deren Input- und Outputströmen gipshaltige Stoffe bzw. Güter enthalten sind.

Die gipshaltigen Güter und Abfälle müssen einen wesentlichen Anteil an Gips aufweisen. Wird Gips einem Gut als Additiv zugefügt – zumeist fungiert der Gips in diesem Fall als Abbinderegler, ist der Gipsanteil so gering, dass das Gut bzw. dessen Abfall nicht als wesentlich betrachtet wird.

Der Bundesverband der Gipsindustrie e.V. deklariert fünf Industriegruppen von Gipsprodukten: Gipsplatten und Gipsfaserplatten, Gips-Wandbauplatten, Baugipse (Gips-Trockenmörtel), Calciumsulfat-Fließestriche sowie Form- und Spezialgipse. Güter, die einer dieser Gruppen zugeordnet werden können, sind wesentlich für die Erfassung der Stoffströme. Als Basis für die Befragung wurden Tätigkeitsfelder identifiziert, in denen regional Marktakteure tätig sein können. Diese sind als Übersicht in Tabelle 1 zusammengefasst und bilden den Ausgangspunkt für die Marktanalyse.

Tabelle 1: Relevante Gipsbranchen und ihre Tätigkeitsfelder, in Anlehnung an: Schmidt & Riemann, 2021: 7f.

	Baugipse	Formgipse	Industriegipse	Gipsabfälle
Tätigkeitsfelder	Bau	Zahnmedizin	Rauchgasreinigung	Deponien
	Modernisierung	Medizin	Chemische Industrie	Entsorgungsbetriebe
	Abriss	Orthopädie	Kalibergbau	Aufbereitungsanlagen
		Keramikindustrie		
		Kulissenbau		
		Architektur		
		Reifenherstellung		
		Metallgießerei		
		Archäologie		

Das Untersuchungsziel liegt darin, die Quantität sowie stoffliche Qualität der gipshaltigen Stoffströme in der Untersuchungsregion Südharz zu bestimmen. Dazu sind alle relevanten, d. h. mit Gips als Rohstoff sowie Nebenprodukt oder mit Gipsprodukten und deren Abfällen in direkter Verbindung stehenden, Marktakteure zu bestimmen und die dort vorliegenden Mengen zu erfassen. Die Marktanalyse ist ein aufwendiger Rechercheprozess, bei dem es das Ziel ist, die regional ansässigen Marktakteure möglichst vollständig aufzunehmen und in einer Datenbank zusammenzustellen.

Die Firmendatenbank umfasst über 200 Marktakteure verschiedener Interessengruppen (z.B. Bau- und Abrissunternehmen, Dentallabore / Kieferorthopäden, Entsorgungsunternehmen) mit direktem Bezug zu Gipsstoffströmen.

Im Rahmen des AP 1 war ein Kriterienkatalog zu erstellen, der eine Sammlung von Kriterien, die der Bewertung der Marktakteure und zugehörigen Stoffströme hinsichtlich ihrer Relevanz für die Errichtung eines regionalen Stoffkreislaufs dienen, enthält. Für diese Bewertung werden mittels Nutzwertanalyse gewichtete Kriterien erarbeitet, die explizit auf den Kontext der Gipsstoffströme ausgerichtet sind. Der Prozess der Ermittlung der Kriterien erfolgte anhand folgender Schritte:

- Schritt 1: Organisation des Arbeitsumfelds
- Schritt 2: Benennung des Entscheidungsproblems
- Schritt 3: Auswahl der Entscheidungsalternativen
- Schritt 4: Sammlung von Entscheidungskriterien
- Schritt 5: Gewichtung der Entscheidungskriterien
- Schritt 6: Bewertung der Entscheidungskriterien
- Schritt 7: Nutzwertberechnung

Die folgende Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Bewertungskriterien die als relevant identifiziert wurden mit ihrer Gewichtung. Das Kriterium mit dem höchsten Gewicht von insgesamt 4,375 ist die Kooperationsbereitschaft. Sie wird von der HSN und der SGF als wesentlicher Faktor eingestuft.

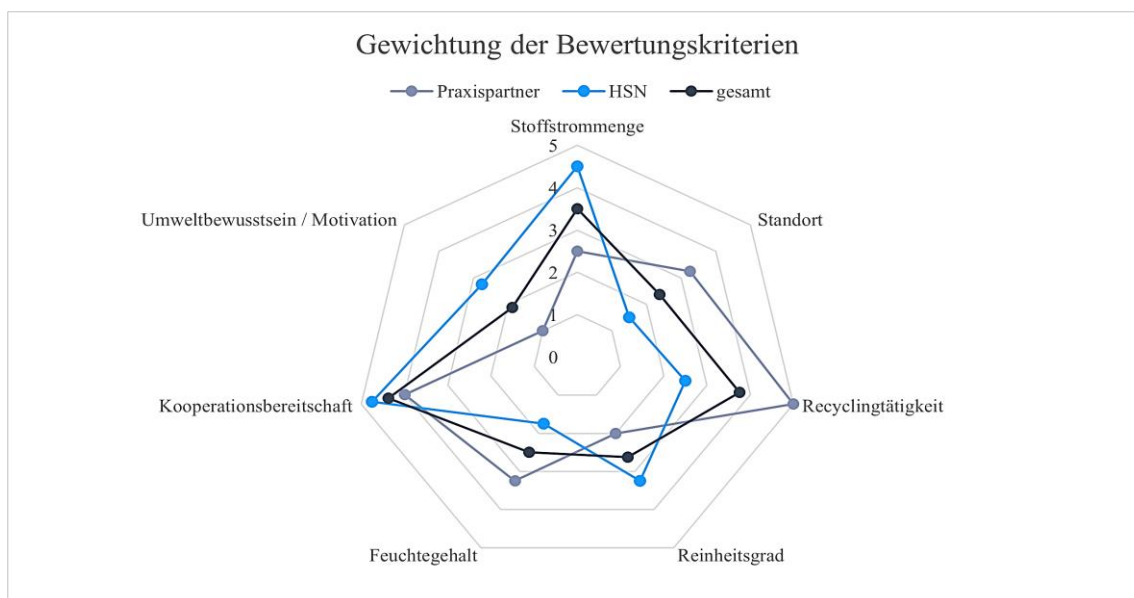


Abbildung 3: Gewichtung der Bewertungskriterien

Wahl der Datenerhebungsmethodik

Zur Erhebung von Primärdaten gibt es verschiedene Arten der quantitativen Datenerhebung. Zu ihnen zählen beispielsweise die Befragung, die quantitative Beobachtung sowie Mischformen der beiden Methoden. Die Stärken (+) und Schwächen (-) verschiedener Befragungsformen sind nach KUSS² in nachfolgender Tabelle zusammengetragen.

Tabelle 2: Stärken (+) und Schwächen (-) verschiedener Befragungsformen (entnommen aus: Kuß et al., 2018: 137)

	Mündliche Befragung	Schriftliche Befragung	Telefonische Befragung	Online- Befragung
Repräsentanz	+	-	+	-
Qualität der Daten	+	0	0	+
Aufwand	-	+	0	+
Untersuchungsdauer	-	-	+	+

Die Wahl ist in Abstimmung mit dem Projektteam auf die Online-Befragung gefallen, die mittels der Software *Sosci Survey* umgesetzt wurde. Es wurde ein vollstandardisierter Fragebogen erstellt. Die Auswahl und Formulierung der Fragen orientierte sich an den definierten Bewertungskriterien. In hochschulinternen Tests mit Mitarbeitenden des ThiWert wurde der Fragebogen verfeinert, bevor anschließend ein Pretest durchgeführt wurde. Der Pretest wurde mit vier Unternehmen aus den Tätigkeitsfeldern Bau/Modernisierung/Abriss, Dentalmedizin, Archäologie und Containerdienst durchgeführt. Damit wurden sehr verschiedene Branchen aus der Zielgruppe des Fragebogens einbezogen.

Der finale Fragebogen sowie der schematische Ablauf des Fragebogens sind dem Anhang 1 und Anhang 2 zu entnehmen. Der Fragebogen enthält 16 Seiten sowie zum Abschluss eine Benachrichtigung über die Beendigung des Fragebogens. Die Fragen sind in vier thematische Themenblöcke gegliedert. Die Online-Befragung erfolgt im Juli und August 2021.

Zur Erfassung der Mengen technischer Gipse in Deutschland wurde im Rahmen der Primärdatenanalyse eine Recherche zu Anfallstellen und Halden in Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt sowie (je nach Stoffstrom) in weiteren Bundesländern durchgeführt. Die betreffenden Akteure wurden per Mail sowie telefonisch kontaktiert.

² (vgl. Kuß, Wildner, & Kreis, 2017)

1.2 Sekundärdatenanalyse und Hochrechnungen

Im Bereich der Formgipse und medizinischen Gipse gibt es in Deutschland bisher keine koordinierten Sammel- und Rückführungskonzepte. Aktuell erfolgt die Entsorgung insbesondere von Kleinmengen, die in Dentallaboren, bei Kieferorthopäden und in Arztpraxen anfallen, über den Restmüll. Dabei sind speziell diese Gipsabfälle von besonders hoher Qualität, da sie keine/wenige Störstoffe enthalten. Die Auswertung der Online-Befragungen von Dentallaboren ergab eine Gipsabfallmenge von ca. 430 kg/ Jahr je Dentallabor. Hochgerechnet auf die betrachtete Region Südharz (ca. 60 Dentallabore, ca. 391.720 Einwohner) entspricht dies einer Menge von fast 26 Tonnen Dentalgipsen pro Jahr, die dem Stoffkreislauf durch fehlende Rückführung entzogen werden. Bezogen auf die Gesamtbevölkerung in Deutschland mit 84,12 Mio. Einwohnern fallen somit knapp 5.500 Tonnen Gipsabfälle allein bei Dentallaboren in Deutschland an. Hinzu kommen Gipsabfälle aus kieferorthopädischen Praxen. Zwischen Dentallaboren, Zahnärzten und Kieferorthopäden besteht bereits ein enges Logistiknetz. Die Sammlung von Gipsabfällen erfolgt jedoch nicht. Erste Ansätze zur bundesweiten Rückführung von Gipsen aus der Dentaltechnik werden von der Fa. Klasse 4 Dental GmbH verfolgt³. Seit dem 15.03.24 gibt es mit „GipsCycle“ eine neues System zur Sammlung von Dentalgips.⁴

In Thüringen produzieren acht Unternehmen Feinkeramikprodukte / Haushaltporzellan. Für die Herstellung von u.a. Porzellanbechern kommen Gipsformen (Drehformen), die firmenintern produziert werden, zum Einsatz. Nach der Nutzungsphase (ca. 100 Abformungen) sind die Gipsformen verschlissen und müssen ausgetauscht werden. Jährlich fallen so bei einem befragten Unternehmen ca. 100 Tonnen Gipsformen an, die kostenpflichtig entsorgt werden. Aufgrund der hohen Reinheit (wenige Störstoffe, nur geringe Anhaftungen von Porzellan) ist eine Verwertung dieser hochwertigen Gipsabfälle anzustreben.

Deutschlandweit gab es im Jahr 2018 1.434 Unternehmen aus der Orthopädietechnik und 1.914 Orthopädieschuhtechniker. Fünf Unternehmen liegen davon in der Modellregion (Primärdatenanalyse). Von vier angeschriebenen Unternehmen haben zwei Unternehmen den Fragebogen beantwortet. Ein weiteres Unternehmen wurde telefonisch befragt. Es ergibt sich für die drei Unternehmen eine durchschnittliche Gipsmenge von 0,6 t pro Jahr. Für die o.g. Anzahl an Unternehmen aus dem Bereich der Orthopädietechnik und Orthopädieschuhtechnik ergibt sich somit ein Potential von 2.000 Tonnen Gipsabfälle pro Jahr (Datengrundlage für Hochrechnung siehe Anhang 3). Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl ist die Hochrechnung jedoch nur als grober Anhaltswerts zu betrachten.

1.3 Probenaufbereitung, Analytik und werkstoffliche Untersuchungen

1.3.1 Gipsabfälle aus der Sanitärkeramikherstellung

Bei der Herstellung von Badkeramik unterscheidet man grundsätzlich zwei Verfahren, das Gießverfahren und das Druckgussverfahren. Bei ersterem erfolgt das Gießen des „Gießschlickers“ – eine Masse aus Ton, Kaolin, Feldspat, Quarz und Wasser - in Negativformen aus Gips. Gips hat die positive Eigenschaft, dass er Wasser aufzunehmen und so zu einer sofortigen Verfestigung des Gießschlickers an der Gipswandung führt. Der Gips kann der Gießmasse dabei bis zu 40 % des enthaltenen Wassers entziehen⁵. Nach einer definierten Zeit bzw. wenn die Keramikschicht an der Gipswandung, der Scherben, die gewünschte Stärke erreicht hat, wird der restliche Schlicker aus

³ (vgl. Klasse 4 Dental GmbH, 2014)

⁴ (vgl. SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH, 2024)

⁵ (MEGABAD.LIVING Das Online Magazin, 2017)

der Form abgelassen. Der Formling wird nach einer weiteren Trocknungs-/Aushärtungszeit aus der Gipsform entnommen und weiterbearbeitet. Die Gipsform besteht aus mehreren Einzelementen, die zur Endform zusammengesetzt und mittels Formschlösser fixiert werden.

Der Projektpartner SGF hat im Rahmen der Projektbearbeitung ein Haufwerk von ca. 20 Tonnen Sanitärgipsformen für Untersuchungen von der Geberit Keramik GmbH aus Haldesleben zur Verfügung gestellt bekommen. Die Lagerung erfolgte mit Gewebeplane abgedeckt auf einer asphaltierten Freifläche. Die maximale Stückgröße betrug ca. 50 cm. Auf nachfolgenden Bildern ist das Haufwerk sowie die enthaltenen Störstoffe zu erkennen.



Abbildung 4: Haufwerk Sanitärgipse



Abbildung 5: Sanitärgipse mit Armierungsstählen und Kunststoffschläuchen

Das Vorbrechen des Sanitärgipses erfolgte bei Saint-Gobain Formula in Walkenried mit einem mobilen Backenbrecher (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Mobile Brechanlage zur Vorzerkleinerung von Sanitärgipsabfällen

Der Brechspalt wurde dabei so gewählt, dass eine Körnung < 10 cm erzeugt wurde und damit eine Beschickung der Produktionsanlage der beta-Kalzinierung ermöglichte (siehe Abbildung 4). Als wichtiger Sortierschritt wurde am Austrag vom Brecher mit einem Überbandmagneten 60 kg Armierungsstähle abgetrennt.



Abbildung 7: Vergleich Haufwerk nach Backenbrecher

Zwei Proben vom Sanitär-Recycling-Gips wurden zur externen Untersuchung entsprechend der „Erstprüfung für Recyclinganlagen, Qualitätsmanagement, Qualitätsempfehlungen und Analyseverfahren“ vom Bundesverband der Gipsindustrie e.V. gegeben. Die Analysenergebnisse lagen innerhalb der Vorgaben.

Eine Teilmenge vom Sanitär-Recycling-Gips wurde für einen Produktionsversuch der zweistufigen beta-Kalzinierung mit Walzen-Schüssel-Mühle und Großkocher verwendet. Mit einer Zugabemenge von 20 % zum üblichen Rohgips wurde eine gute Prozessfähigkeit erreicht. Trotz der erhöhten Feuchtigkeit beim Sanitär-Recycling-Gips von 10 % und der im Vergleich geringen Festigkeit konnte der Prozess unter leichter Anpassung der Parameter gefahren werden. Der erzeugte beta-Gips zeigte Abweichungen bei der Kornverteilung und im Wasseranspruch, weitere wichtige Eigenschaften, wie gute Benetzung beim Einstreuen, farblich unauffällig, homogenes Erscheinungsbild der Gips suspension, keine Verfärbungen beim Trocknen wurden erreicht. Für Technikumsversuche konnte, in Abmischungen mit anderen Grundgipsen, ein Sanitärformengips mit einem Recycling-Anteil von 10 % hergestellt werden. Das Saugverhalten, die Scherbenbildung und -oberfläche sowie die Rücktrocknung, wurden als ausreichend bewertet. Bei der Abnutzung der Versuchsform wurden aber vermehrt farbliche Einschlüsse von Kunststoffpartikeln in der Oberfläche sichtbar. Dieser Punkt wurde negativ mit potenzieller Erzeugung von Glasurfehlern bewertet. Damit wurden dann weitere Schritte zur Verringerung der Fremdstoffe im Sanitär-Recycling-Gips notwendig.

Ein Bigbag (ca. 750 kg) mit dem gebrochenen Sanitär-Recycling-Gips wurde dem ThiWert (Thüringer Institut für Wertstoffe) der Hochschule Nordhausen für Aufbereitungsuntersuchungen bereitgestellt. Die Restmenge wurde auf asphaltierter Freifläche mit Gewebeplane gegen Niederschlag geschützt, genau wie das angelieferte Haufwerk, gelagert. Aufgrund von vermehrten starken Niederschlägen konnte das rückgestaute Wasser unter die Plane laufen wodurch der poröse Recycling-Gips deutlich an Feuchtigkeit zugenommen hat.

Ziel des Vorversuchs im ThiWert war es, die im Gips eingegossenen Kunststoffformschlösser aufzuschließen und somit eine nachfolgende Separation vom Gips zu ermöglichen. Neben den Formschlössern aus blauem Kunststoff waren transparente und schwarze Kunststoffschläuche enthalten. Nach der erfolgreichen Abtrennung der Störstoffe im Vorversuch erfolgte die Umsetzung des getesteten Aufbereitungsschemas im Rahmen eines Großversuchs. Die einzelnen Aufbereitungsschritte sind nachfolgend detailliert beschrieben.

Großversuch Gipsabfallaufbereitung – Sanitärgipse

Mit dem Ziel der Störstoffabtrennung wurde im Rahmen des Projektes RueGips ein Großversuch zur Aufbereitung von ca. 11 t Sanitärgipsabfällen im ThiWert der Hochschule Nordhausen durchgeführt. Der aufbereitete Gipsabfall stand im Anschluss für Kalzinierversuche bei Saint-Gobain Formula (SGF) zur Verfügung. Die Aufbereitung des angelieferten Gipses erfolgte entsprechend dem Aufbereitungsschema, welches im Anhang 4 dargestellt ist.

Versuchsmaterial im Anlieferungszustand

Aufgrund der Lagerbedingungen besaß der Gips im Anlieferungszustand eine erhöhte freie Feuchte von ca. 25 M.-%. Eine Verarbeitung im Zweiwellenzerkleinerer und in der Siebmaschine war daher im Anlieferungszustand nicht sinnvoll. Ein erster Siebversuch zeigte zudem, dass das Feingut agglomerierte und Störstoffe einschloss/ ummantelte, was eine nachfolgende Sortierung unmöglich machte. Eine Vortrocknung des Materials war daher zwingend erforderlich. Die maximale Stückgröße des angelieferten Materials betrug ca. 100 mm.

Der Sanitärgips wurde auf den überdachten Freiflächen auf dem Gelände des ThiWert ausgebreitet (siehe Abbildung 8) und regelmäßig von Hand umgeschichtet, um eine gleichmäßige Trocknung zu erreichen.

Im Zuge der Verarbeitung des Sanitärgipses wurde regelmäßig die freie Feuchte bei 40 °C gemessen. Der Wert betrug im Mittel ca. 6,1 % (max. 9,7 M.-%; min. 2,8 M.-%). Durch die mehrwöchige Lufttrocknung konnte eine Reduzierung der freien Feuchte um ca. 20 M.-% erreicht werden. Bereits während der Trocknung wurden grobe Störstoffe (insbesondere transparente Schläuche) manuell aussortiert (siehe Abbildung 9).



Abbildung 8: Trocknung des Sanitärgipses auf der überdachten Freifläche des ThiWert



Abbildung 9: Manuell aussortierte Störstoffe

Die chargenweise Zerkleinerung des bereits vorzerkleinerten Sanitärgipses erfolgte in einem Zweiwellenzerkleinerer vom Typ ZWS.800 der Firma ICS Contec Maschinenbau GmbH. Das zu zerkleinernde Material wird von den Haken der Messer erfasst, eingezogen und zwischen den Messern der beiden gegenläufigen Wellen zerkleinert.

Das nachfolgende Diagramm (Abbildung 10) zeigt die Korngrößenverteilung des Zerkleinerungsproduktes nach dem Zweiwellenzerkleinerer. 50 % des zerkleinerten Sanitärgipses sind kleiner als ca. 7,5 mm und der Siebdurchgang bei 15 mm beträgt ca. 78 M.-%. Durch Absiebung bei einem Siebschnitt von 15 mm kann somit eine Reduzierung des zu sortierenden Grobgutes auf etwa 1/5 der Gesamtmasse erreicht werden.

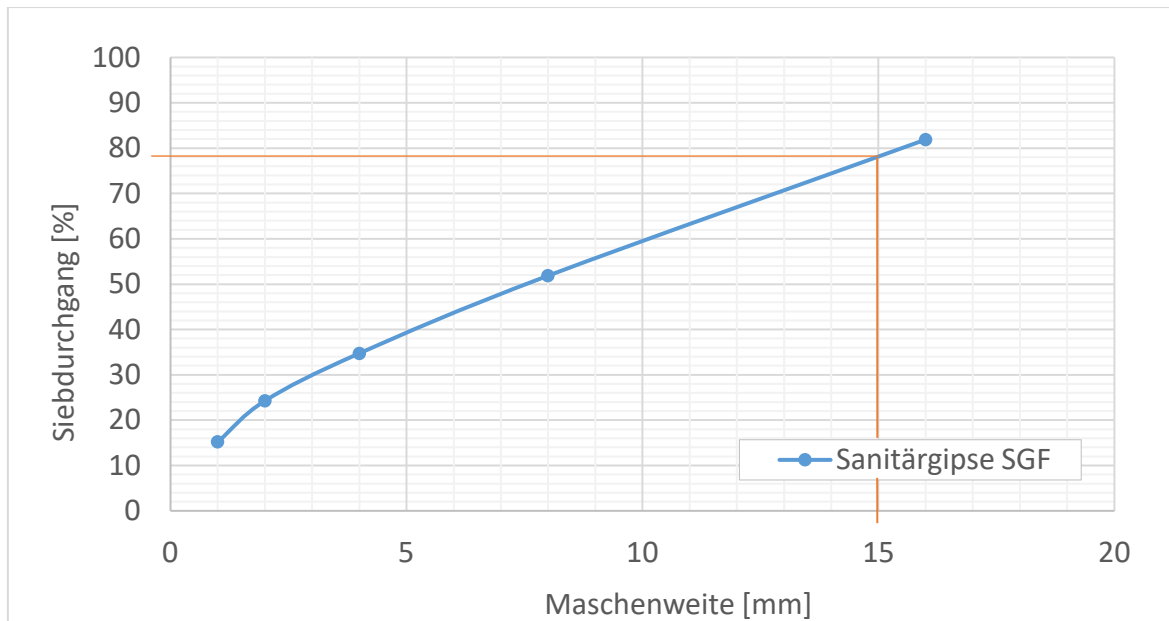


Abbildung 10: Korngrößenverteilung des Zerkleinerungsprodukt Zweiwellenzerkleinerer

Die Siebung des Zerkleinerungsproduktes erfolgte in der Trommelsiebzanlage 2e+ der Firma GREMAC mit einer Siebmaschenweite von 15 mm. Die Trommelsiebzanlage verfügt über einen Aufgabebunker mit Abzugsband und einer Siebtrommel von 1,0 m Durchmesser und 3,0 m Länge. Der Austrag der zwei Siebfraktionen erfolgt über Förderbänder, deren Geschwindigkeit über Frequenzumrichter regelbar ist. Die Abbildung 11 zeigt den Versuchsaufbau.

Der Durchsatz bei der Siebung betrug ca. 6 t/h. Die Masseverteilungen nach der Siebung sind in Tabelle 3 dargestellt. Der Massenanteil von 78,6 % < 15 mm entspricht dabei dem Siebdurchgang in Abbildung 10 bei 15 mm (ca. 78 %).



Abbildung 11: Trommelsiebzanlage der Fa. GREMAC (Typ e2+)

Tabelle 3: Masseanteile Siebdurchgang /-überlauf

	Siebdurchgang < 15 mm	Siebüberlauf > 15 mm
Masse [kg]	8.870	2.410
Masseanteil [%]	78,6	21,4

Ziel der anschließenden Sortierung des Grobgutes war es, Störstoffe (insbesondere Kunststoffverschlüsse) aus dem Gipsabfall zu erkennen und abzutrennen. Die Sortierung erfolgte mit dem Sortiersystem CLARITY CLN der Firma binder+co (Rutschensortierer). Das Aufgabematerial wird in einen Bunker vorgelegt und über eine Förderrinne verteilt und dem Sortiersystem

zugeführt. In der Sortiereinheit werden die einzelnen Partikel des Aufgabematerials detektiert und klassifiziert. Die Sortiereinheit ist mit einer kombinierten Sensortechnologie ausgestattet:

- VIS-Sensor: Erkennung visueller Unterschiede, kann wahlweise als Transmissions- oder Reflexionssensor eingesetzt werden
- NIR-Sensor: Erkennung von Materialunterschieden auf Basis des Absorptionsvermögens
- Metallsensor: erfasst metallische Objekte durch Induktion
- Sensoren können einzeln oder kombiniert zur Erfassung von Trennmerkmalen verwendet werden

Die Informationen der Sensoren werden an ein Input-/Output-System weitergeleitet, was die Informationen auswertet und die Ventile der Düsenblöcke steuert und so die Störstoffpartikel ausbläst. Durch die hinterlegte Anwendung kann bestimmt werden, welches Objekt mittels Druckluft ausgetragen werden soll. Die Detektion ist auch für verwachsene Objekte und Partikel mit Anhaftungen anwendbar, da aufgrund der hohen Auflösung der Kameras selbst kleine Bereiche mit verschiedenen Materialien auf der Objektoberfläche erfasst werden können. Durch die Definition des erlaubten Oberflächenanteils eines Materials kann die Sortierung erfolgen.

Die Erkennung der Störstoffe im Sanitärgips erfolgte durch eine Kombination aus NIR, VIS und induktivem Sensor, so dass ein Großteil der Störstoffe detektiert und ausgetragen werden konnte. Nachfolgende Abbildung 12 zeigt den Versuchsaufbau bei der optischen Sortierung.



Abbildung 12: Versuchsaufbau sensorgestützte Sortierung

Die erkannten Störstoffe wurden durch einen Druckluftimpuls über den verstellbaren Trennscheitel (siehe Abbildung 15) befördert und mittels Förderband aus der Maschine transportiert. Die Sammlung der Störstoffe erfolgte in einem Kunststoffbehälter (siehe Abbildung 14). Durch ein weiteres Förderband mit Steigband wurde der Gips in einen Big Bag abgesackt. Zur Beurteilung des Sortierergebnisses wurde das Gipsprodukt auf dem Steigband händisch nachsortiert.

Aus den 2,4 Tonnen Sanitärgips (Siebüberlauf > 15 mm) konnten durch die sensorgestützte Sortierung 9,98 kg Störstoffe abgetrennt werden, was einem Störstoffanteil von 0,41 % entspricht. Hauptbestandteile in der Störstofffraktion waren mit 63 % blaue Kunststoffverschlüsse und ca. 27 % schwarze Kunststoffrohre.

Durch händische Nachsortierung konnten weitere 3,81 kg Störstoffe entfernt werden. Neben 27,3 % mineralischen Störstoffen (evtl. Betonreste o.ä.) stellten in diesem Stoffgemisch metallische Störstoffe mit 29,7 % den massenmäßig größten Anteil dar. Händisch wurden zudem 0,79 kg blaue Verschlüsse (11,2 % der Gesamtmasse an Verschlüssen) entfernt. Die unvollständige Abtrennung der Kunststoffe kann u.a. in einem unvollständigen Aufschluss (anhaftende Gipsanteile) oder einer ungünstigen Flugbahn (Rückpralleffekte im Sortierer) begründet sein. Dieser Anteil kann ggf. durch

Optimierung der Intensität des Druckluftstoßes und des Winkels des Trennscheitels verringert werden.



Abbildung 13: Blick in den Rutschensortierer der Fa. binder+co



Abbildung 15: Sortierraum mit Trennscheitel



Abbildung 14: Sortierprodukt (links: Sanitärgips; rechts: ausgeschossene Störstoffe)

Die Tabelle 11 „Separierte Störstoffanteile im Sanitärgips“ im Anhang 5 gibt einen Überblick über die mittels optischem Sortierer ausgetragenen und händisch aussortierten Störstoffe aus dem Grobgut > 15 mm. Die in den Tabellenspalten 3 und 5 berechneten Masseanteile beziehen sich auf die jeweiligen Anteile in dem maschinell bzw. händisch aussortierten Produkt.

Die Prüfung auf Störstoffe im Siebdurchgang (Feingut < 15 mm) erfolgte durch eine händische Sortieranalyse an einer entnommenen Materialprobe von ca. 12,41 kg. In der Fraktion 0 – 15 mm waren 0,21 % Störstoffe in Form von zerkleinerten Kunststoffverschlüssen und Fasern enthalten.

Eine Zusammenstellung der separierten Kunststofffraktionen ist der nachfolgenden Tabelle und der Abbildung 16 zu entnehmen.

Tabelle 4: Kunststoffseparation je Prozessschritt

Störstoffe	Masse [kg]	Masseanteil [%]
Sensorgestützte Sortierung > 15 mm	9,38	55,69
Manuelle Nachsortierung > 15 mm	1,16	6,88
Händisch vorab aussortiert	2,31	13,72
Kunststoffe im Feingut < 15 mm	3,99	23,71
Gesamt	16,83	100

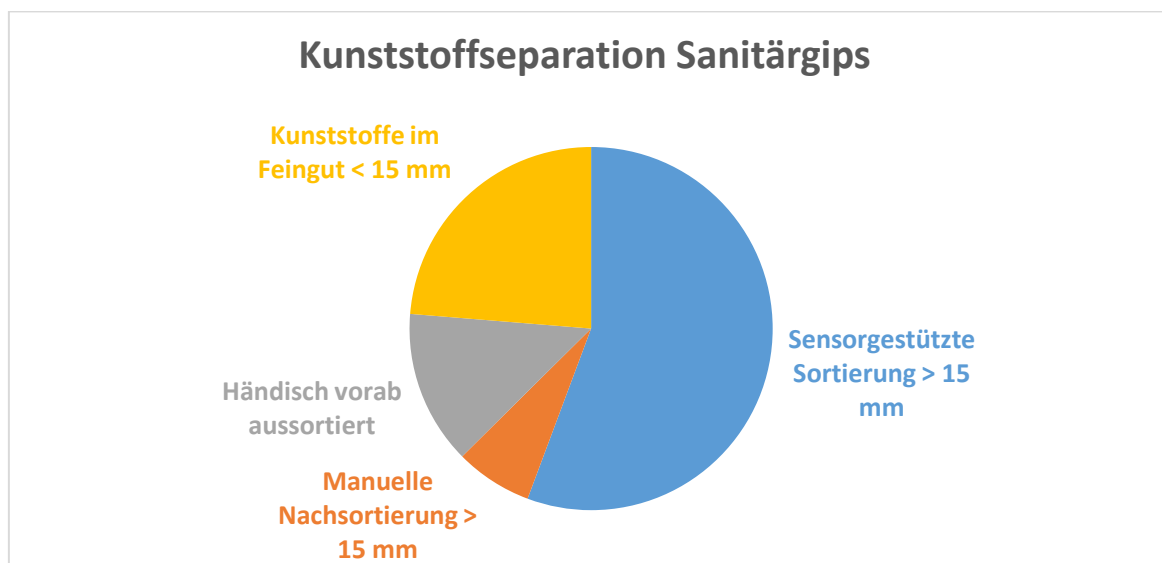


Abbildung 16: Kunststoffseparation Sanitärärgips

Störstoffidentifikation und Wertstoffpotential

Sanitärärgips enthält Störstoffe aus unterschiedlichen Materialien, insbesondere Kunststoffe und Metalle. Für die sensorgestützte Sortierung mittels Nahinfrarot (NIR) ist die Kenntnis der enthaltenen Kunststoffart für eine Anpassung der Software bzw. des Sortierprogramms unerlässlich. Die Bestimmung der Kunststoffarten der Störstoffe erfolgte mit einem mobilen NIR-Spektrometer der Firma trinamiX. Bei der NIR-Spektroskopie wird das vom Testmaterial reflektierte Infrarotlicht von einem Infrarotdetektor in ein elektrisches Signal umgewandelt, aus dem sich Informationen über das Material ableiten lassen. Das Gerät verfügt über einen Spektralbereich von ca. 1400 - 2500 nm mit einer spektralen Wellenlängenauflösung von 1% der Wellenlänge.

Für folgende Störstoffe wurde das Material mittels Hand-NIR bestimmt:

Tabelle 5: Kunststoffarten der Verunreinigungen in Sanitärärgips

Störstoffart	Material
Verschlüsse (blau)	ABS
Kunststoffrohre (schwarz)	PVC
Kunststoffschrauben (schwarz)	-
Stopfen (Gummi)	PVDF
Div. Kunststoffe / Folien	PE
Schlauch (transp.)	-
Big Bag Schlaufen	PP

Fazit

Im Großversuch konnte gezeigt werden, dass durch die Zerkleinerung von Sanitärgips im Zweiwellenzerkleinerer Störstoffe sehr gut aufgeschlossen werden können. Die Erkennung mittels NIR und VIS setzt eine geringe Feuchtigkeit (möglichst < 12 M.-%) des Gipses voraus, da Störstoffe sonst ggf. im feuchten Gipsfeingut eingeschlossen werden. Auch die Qualität der Siebung hängt stark von der Feuchtigkeit des Siebgutes ab. Der verarbeitete Sanitärgips konnte bis zu einer freien Feuchte von ca. 10 M.-% bei einer Siebmaschenweite von 15 mm gut verarbeitet werden. Eine Absiebung bei ca. 20 - 25 M.-% war hingegen nicht mehr sinnvoll möglich, da es durch die Drehbewegung in der Trommelsiebmaschine zur Agglomeratbildung kam. Ziel der Siebung war es, die Masse für die nachfolgende sensorgestützte Sortierung zu reduzieren. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Die Absiebung bei 15 mm führte zu einer Reduzierung der zu sortierenden Masse auf ca. 22 M.-% der Gesamtmasse.

Durch die sensorgestützte Sortierung konnten 88,8 % der Hauptstörstoffe (blaue Verschlüsse) und 89,3 % der schwarzen Kunststoffe (Rohre und Schrauben) aus dem Materialstrom entfernt werden. Bei der Abtrennung von metallischen Verunreinigungen und mineralischen Störstoffen (Art, Herkunft und Zusammensetzung unklar) konnten nur unzureichende Sortiierungsergebnisse erzielt werden. Es wird davon ausgegangen, dass durch Anlernen der enthaltenen Störstoffe in der Gerätesoftware und Optimieren der Erkennungs- und Austragsparameter eine deutliche Verbesserung des Sortiierungsergebnisses erzielt werden kann.

Aufgrund des negativen Einflusses von hoher Feuchtigkeit auf den Aufbereitungsprozess wird eine überdachte und zugige Lagerung der Gipsabfälle empfohlen.

Der aufgereinigte Sanitär-RC-Gips vom ThiWert (siehe Abbildung 17) wurde zum Einsatz eines weiteren Produktionsversuchs der beta-Kalzination bei SGF vorgesehen. Aufgrund der nun geringeren Kontamination mit Störstoffen und den positiven Erfahrungen aus dem 1. Versuch wurde eine höherer Recycling-Anteil angestrebt. Aus den Mengenströmen beim Versuch ergab sich ein Recycling-Anteil von 45 %. Als negative Eigenschaft wurde ein höherer Anteil an Feinstpartikeln, sowie ebenfalls ein höherer Anteil Grobpartikel festgestellt. Die Abweichungen konnten in Abmischung mit anderen Grundgipsen ausgeglichen werden, so dass auch hier ein Sanitärformengips mit einem Recycling-Anteil von 10 % hergestellt werden konnte. Die Laborwerte wie Wasseranspruch, der Erhärtungsverlauf, die Festigkeiten oder das Saugverhalten wurden entsprechend der Vorgaben erreicht.



Abbildung 17: Material aus Großversuch ThiWert

1.3.2 Gipsabfälle der Dentalindustrie

Gipsabfälle aus der Dentalindustrie fallen in Form von Gipsgebissabdrücken und Sockelmodellen an (siehe Abbildung 18). Diese Abfälle enthalten nur in sehr geringem Umfang Störstoffe wie Kunststoffe und Wachse. In der Dentalindustrie werden für die Fixierung Messingstifte (Pins) in das Gipsmodell eingegossen. Diese liegen im Abfall nicht aufgeschlossen vor. Um eine Separation zu erzielen ist ein Aufschluss der Pins erforderlich.

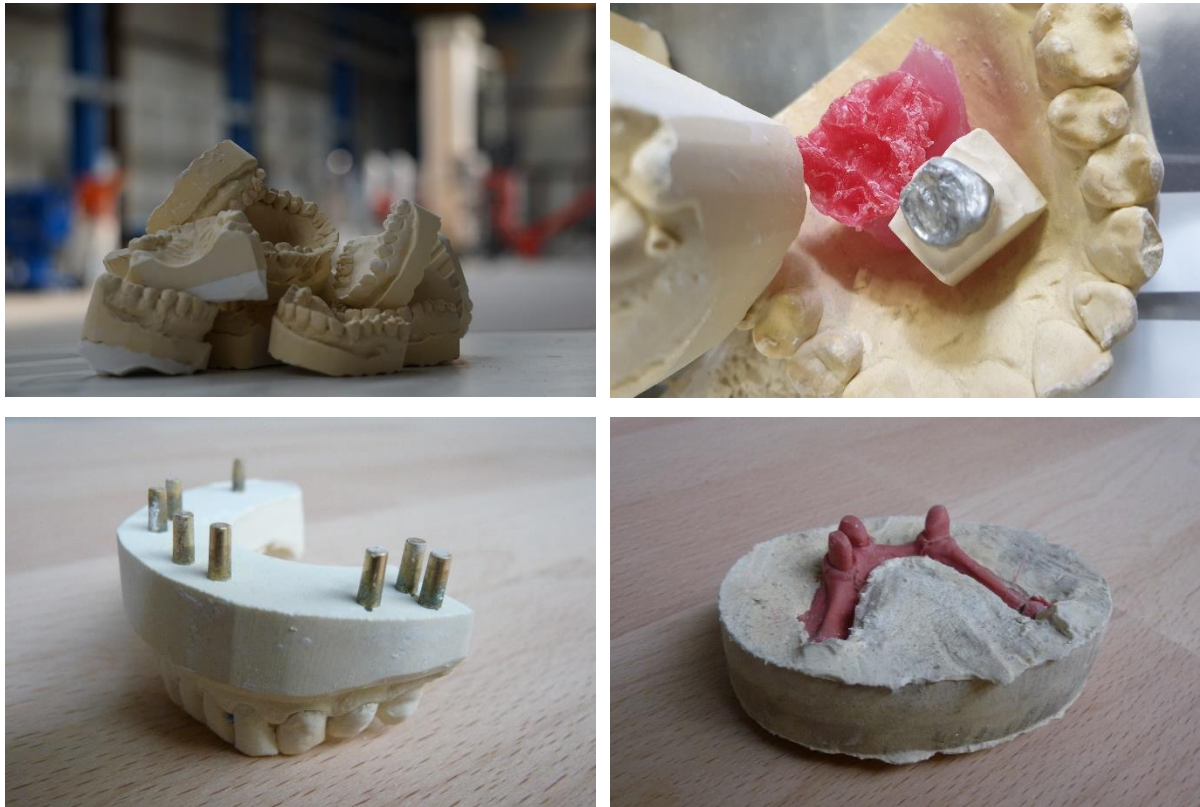


Abbildung 18: Gipsabdrücke aus der Dentalindustrie

Der Aufschluss erfolgte durch die mechanische Zerkleinerung der Gipsmodelle in einem Laborbackenbrecher der Fa. Siebtechnik. Die Zerkleinerung in Backenbrechern erfolgt durch Druck in einem keilförmigen Mahlraum zwischen einer feststehenden und einer beweglichen Brechbacke. Durch schrittweise Reduktion des Brechspalts konnte der optimale Abstand mit 4 mm bestimmt werden. Hier wurden die Messingstifte größtenteils gut aufgeschlossen, ohne eine Zerkleinerung der Pins zu bewirken. Eine Zerkleinerung der Gipsabfälle mit einer Hammermühle wurde geprüft. Aufgrund der Schlagbeanspruchung erfolgte jedoch eine Zerkleinerung der Pins, was sich nachteilig auf die nachfolgende Separation auswirkt.

Für die Abtrennung der Messingpins wurden im ThiWert der Hochschule Nordhausen zwei Verfahren geprüft – die Wirbelstromscheidung und die sensorgestützte Sortierung. Nachfolgend sind die Verfahren und Ergebnisse dargestellt:

Abtrennung von Messingstiften aus Dentalgipsabfällen mittels Wirbelstromscheider

Wirbelstromscheider dienen der Abtrennung von Nichteisenmetallen wie Aluminium, Kupfer und Magnesium. Eingeschränkt abscheidbar sind Zink, Zinn und Messing in Abhängigkeit der Legierung⁶. Durch ein schnell rotierendes Magnetpolrad werden Wirbelströme in leitfähige NE-Metalle induziert, wodurch diese ein gleichgepoltes Magnetfeld erzeugen. Dies bewirkt ein Abstoßen von

⁶ (vgl. Wagner Magnete GmbH & Co. KG Spann- und Umwelttechnik, 2023)

NE-Metallpartikeln vom Polrad. Durch das Ablenken der NE-Teile von der natürlichen Wurfparabel wird eine Abtrennung vom Materialstrom ermöglicht. Die Reinheit der NE-Fraktion und das Masseausbringen werden durch die Drehzahl des Magnetsystems, die Beschleunigungsbandgeschwindigkeit und den Winkel des Trennscheitels beeinflusst.

Es soll nachgewiesen werden, ob und bis zu welchem Verwachsungsgrad mit Gips eine Abscheidung der Messingstifte mittels Wirbelstromscheider möglich ist. Die Versuche mit einem Modellgemisch, welches eine höhere Konzentration an Messingstiften aufwies als das Originalabfallmaterial, erfolgten mit einem Wirbelstromscheider der Fa. Line Technology (Eddy Active)⁷.



Abbildung 19: Blick in den Wirbelstromscheider

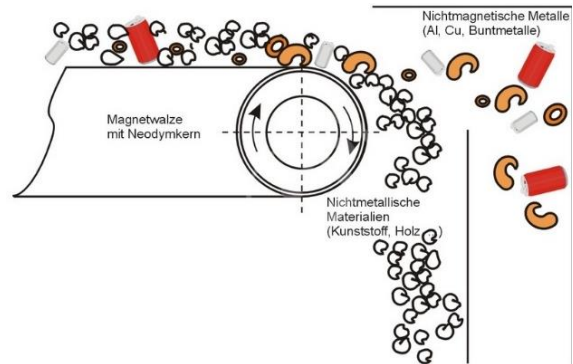


Abbildung 20: Funktionsprinzip Wirbelstromscheider
 (Quelle: <https://www.magsy.eu/25026-wirbelstromabscheider>)



Abbildung 21: Wirbelstromscheider - Durchgang



Abbildung 22: Wirbelstromscheider – NE-Produkt

⁷ (LINETECHNOLOGY GmbH, 2023)

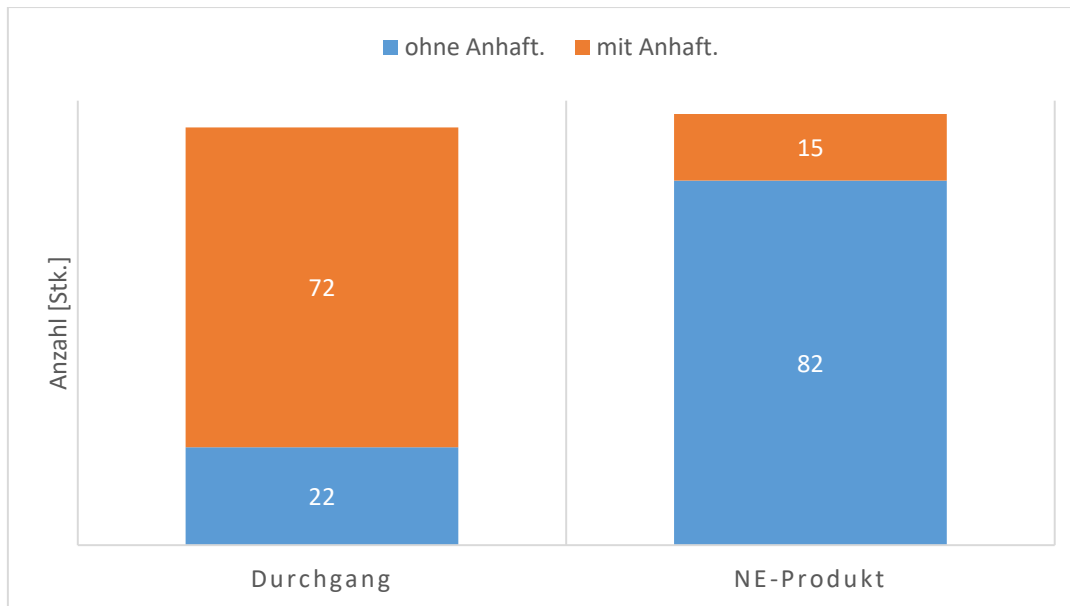


Abbildung 23: Abtrennung von Messingstiften aus Gipsabfällen der Dentaltechnik mit einem Wirbelstromscheider

Wie in Abbildung 23 ersichtlich ist, konnten von den 191 Messingstiften im Modellgemisch lediglich 97 Stifte (50,7 %) mit dem Wirbelstromscheider abgeschieden werden. Bei den abgetrennten Pins handelt es sich insbesondere um Messingstifte ohne Gipsanhaftungen (siehe Abbildung 22). Nur 15 Pins mit Anhaftungen konnten ausgetragen werden. Dies entspricht ca. 17 % der nicht vollständig aufgeschlossen vorliegenden Pins im Modellgemisch. Mit dem Wirbelstromscheider konnten somit nur ungenügende Sortiierungsergebnisse erzielt werden.

Abtrennung von Messingstiften aus Dentalgipsen mittels sensorgestützter Sortierung

Die Abtrennung von Messingpins aus Dentalgipsabfällen mit einem optischen Sortierer erfolgten mittel Druckluft. Mit der sensorgestützten Sortierung konnten über 77 % der Pins aus dem Materialstrom mittels Druckluft ausgeblasen werden. Der Fehlaustrag an Gips lag bei ca. 21,1 % reiner Gips. Im Ausgangsmaterial lagen die Pins in aufgeschlossener Form (ohne Gipsanhaftungen) und nicht vollständig aufgeschlossener Form vor. Durch die verwendete Technik lag der Anteil an ausgetragenen Pins mit Anhaftungen bei über 85 % (siehe Abbildung 24).

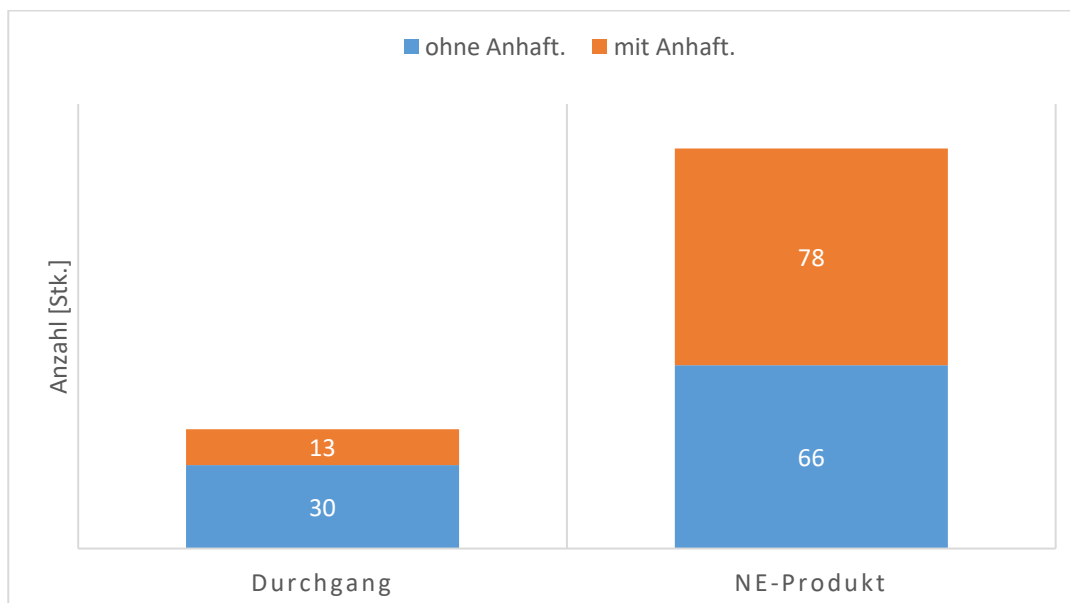


Abbildung 24: Abtrennung von Messingstiften aus Gipsabfällen der Dentaltechnik

1.3.3 Gipsabfälle aus der Orthopädie / Orthopädieschuhtechnik

Gips wird in der Orthopädie zur Erstellung von Modellen einzelner Körperpartien wie Füßen, Beine, Arme und Torsi genutzt. Ein Körperteil wird dafür meist mit Gipsbinden umwickelt, um ein Negativ-Modell herzustellen. Dieses wird nach dem Abziehen mit einem Trennmittel ausgekleidet und mit Gips ausgegossen. So entsteht ein Positiv-Modell, das als Grundlage für die Erstellung und Modellierung von z.B. Einlagen, Orthesen oder Korsagen dient. Für die Herstellung von Schuheinlagen wird häufig eine andere Methode verwendet. Dabei wird der Fuß auf einem Schaumstoffkörper belastet, so dass ein Negativabdruck entsteht. Dieser Abdruck wird dann mit Gips ausgegossen, um eine Positivform zu erhalten. Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Erstellung von Positivmodellen mittels 3D-Scanverfahren.

Orthopädiegipse unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Störstoffgehalte in Abhängigkeit der Herkunft und können in vier Gruppen unterteilt werden:

- Gipse aus der Orthopädieschuhtechnik: Positiv-Modelle von Füßen mit ca. 20 cm Bein, ähnliche Stückgrößen ohne Störstoffe
- Gipsformen aus der Orthopädietechnik: Positiv-Modelle von Gliedmaßen, Händen und Füßen: geringe Störstoffanteile in Form von Tackerklammern und Kunststoffschäumen
- Gipsform aus der Orthopädietechnik mit Vermiculit⁸: Positiv-Modelle von Torsi, aufgrund von Gewichtsreduzierung und besserer Modellierbarkeit mit dem Mineral Vermiculit versetzt. Zudem Störstoffe wie Tackerklammern, Nägel und Kunststoffe
- Gipsbinden: Gipsbinden aus der Herstellung der Negativ-Formen, hoher Störstoffanteil durch Gewebeanteil

Die folgenden Bilder zeigen orthopädische Gipse, die von einem lokalen orthopädischen Labor für die Durchführung von Aufbereitungsversuchen zur Verfügung gestellt wurden.



Abbildung 25: Gipsabfälle aus der Orthopädietechnik

Versuche zur Abtrennung von Orthopädiegipsen mit und ohne Vermiculit

Ziel war es zu testen, ob eine Erkennung und Trennung von Gipsabfällen mit und ohne Vermiculit mit einem optischen Sortiersystem möglich ist. Hierzu wurden Aufnahmen von Materialproben mittels NIR gemacht und ausgewertet. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass es keine signifikanten Unterschiede im NIR-Spektrum gibt, wodurch eine Separation mit dem optischen Sortierer der Fa. Binder (Clarity) nicht durchführbar ist.

⁸ Vermiculit: natürlich vorkommendes Aluminium-Eisen-Magnesium-Silikat

1.3.4 Gipsabfälle aus der Orthopädieschuhtechnik

Ein Leisten ist die Grundvoraussetzung für die Herstellung von maßangefertigten Schuhen. Diese sind insbesondere für die Orthopädieschuhtechnik unerlässlich. Die Fertigung der Holz-Schuhleisten erfolgt basierend auf Positiv- oder Negativformen. Zu den Abformungsmöglichkeiten zählen Copysocks, Gipsbinden und Gipsmodelle. Bei den Gipsmodellen handelt es sich um Positivformen, welche digital erfasst und für die Fertigung weitergenutzt werden. Nachteilig kann bei den Gipsformen die Zerstörungsgefahr beim Transport sein.⁹

Im Rahmen der Feldstudie wurden Positivformen aus Gips in regelmäßigen Abständen beim Hersteller abgeholt. Anders als die Gipsabfälle der Orthopädie sind die Gipsabfälle der Orthopädieschuhtechnik frei von Störstoffen. Aufgrund unterschiedlicher Lagerungszeiten variieren die Gipsabfälle stark hinsichtlich ihrer Feuchtigkeit. Die Bandbreite reicht von trocken bis schmierig feucht. Die freie Feuchte einer Teilprobe der ersten Lieferung (ca. 50 kg) wurde durch Trocknung bei 40 °C im Trockenschrank mit ca. 10 % bestimmt. Durch ungünstige Lagerbedingungen ist mit der Bildung von Schimmel zu rechnen (siehe Abbildung 26). Bei der Sammlung sollte eine Abtrocknung des Materials ermöglicht werden.



Abbildung 26: Schimmelbildung aufgrund ungünstiger Lagerbedingungen

1.3.5 Weitere untersuchte gipshaltige Abfallströme

Neben den bereits oben beschriebenen Gipsabfallströmen erfolgten Aufbereitungsuntersuchungen mit folgenden Gipsabfällen:

- Gipsabfälle aus der Feinkeramikproduktion
- Gipsabfälle aus der Dachziegelherstellung

Die Vorzerkleinerung erfolgte in Abhängigkeit des Materials mit einem Backenbrecher und/oder einer Walzenmühle der Fa. Siebtechnik. Für die Feinzerkleinerung wurde eine Schlagnasenmühle sowie Stiftmühle der Fa. Jehmlich eingesetzt. Die Zerkleinerungsprodukte dienten u.a. als Ausgangsmaterial für Kalzinierungsuntersuchungen. Da die o.g. Materialien frei von Störstoffen wie Kunststoffen oder Metallen waren, erfolgte die Aufbereitung mit dem Ziel der Korngrößenreduktion.

⁹ (vgl. M. Spenle GmbH, 2023)

1.3.6 Baustoffe auf Gipsbasis

Das Recycling von gipshaltigen Stoffströmen ist bisher hauptsächlich auf das Recycling von Gipskartonplatten, einem verhältnismäßig mengenreichen Stoffstrom beschränkt. 2012 lag das geschätzten Abfallaufkommen an Gipskartonplatten aus Neubau-, Sanierungs- und Rückbau-/Abrissmaßnahmen bei 243.000 Tonnen.¹⁰ Im Jahr 2018 betrug die Produktionsmenge an Recyclinggips in Deutschland lediglich insgesamt 45.000 Tonnen.¹¹ Bei einem konstanten Abfallaufkommen von ca. 250.000 Tonnen wurden somit 2018 ca. 200.000 Tonnen Gipskartonplatten nicht dem Recycling zugeführt.

Eine stoffliche Verwertung aller aktuell getrennt gesammelten gipshaltigen Abfälle (Baustoffen auf Gipsbasis; Abfallschlüsselnr. 170802; 2016: ca. 644.000 Tonnen) erfolgt in Gipsaufbereitungsanlagen zur Herstellung von Recyclinggips (aktuell sehr geringer Anteil) sowie z.B. im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen von Schlammteichen im europäischen Ausland.¹² Zudem werden gipshaltige Abfälle derzeit noch in größerem Umfang auf Deponien beseitigt.

Durch die Aufbereitung in einer der drei in Deutschland betriebenen Gipsrecyclinganlagen können aus Baustoffen auf Gipsbasis mit einem Störstoffanteil von max. 5 %¹³, Recyclinggipse erzeugt werden. Auch wenn Recyclinggipse in ihren Verwertungsmöglichkeiten qualitätsbedingt eingeschränkt sind, finden sie als Sekundärrohstoff Anwendung z.B. in der Gips- und Zementindustrie. Aufgrund unzureichender Rückführungssysteme ist die Auslastung der existierenden Anlagen aktuell nicht gegeben.

Im Rahmen eines Unterauftrags erfolgte die Bearbeitung des Schwerpunktes „Gipsabfälle aus dem Rückbau, Sanierung und Abriss von Gebäuden“ durch ein Thüringer Abriss- und Entsorgungsunternehmen. Für die Erfassung des IST-Standes wurde die Entkernung eines gewerblich genutzten Objektes begleitet und dokumentiert sowie Firmendaten der Jahre 2012 bis 2022 zur Verfügung gestellt.

In den Jahren 2012 bis 2022 fiel bei Rückbau- und Entkernungsmaßnahmen des Unterauftragnehmers ca. 3.220 Tonnen Baustoffe auf Gipsbasis an. Die Summe setzt sich aus Maßnahmen in Gewerbeeinheiten, Mehrfamilienhäusern und Einfamilienhäusern zusammen, wobei (mit Ausnahme des Jahres 2016) die Gewerbeeinheiten mengenmäßig die größte Position ausmachen. In nachfolgendem Diagramm sind die angefallenen Mengen Baustoffe auf Gipsbasis in den Jahren 2012 bis 2022 dargestellt.

¹⁰ (vgl. Buchert, Sutter, Alwast, Schütz, & Weimann, 2017)

¹¹ (vgl. EnBuasa, 2020)

¹² (vgl. Umweltbundesamt, 2019)

¹³ Annahmekriterien der Recyclinganlage MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH, Braunsbedra (vgl. MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH, kein Datum)

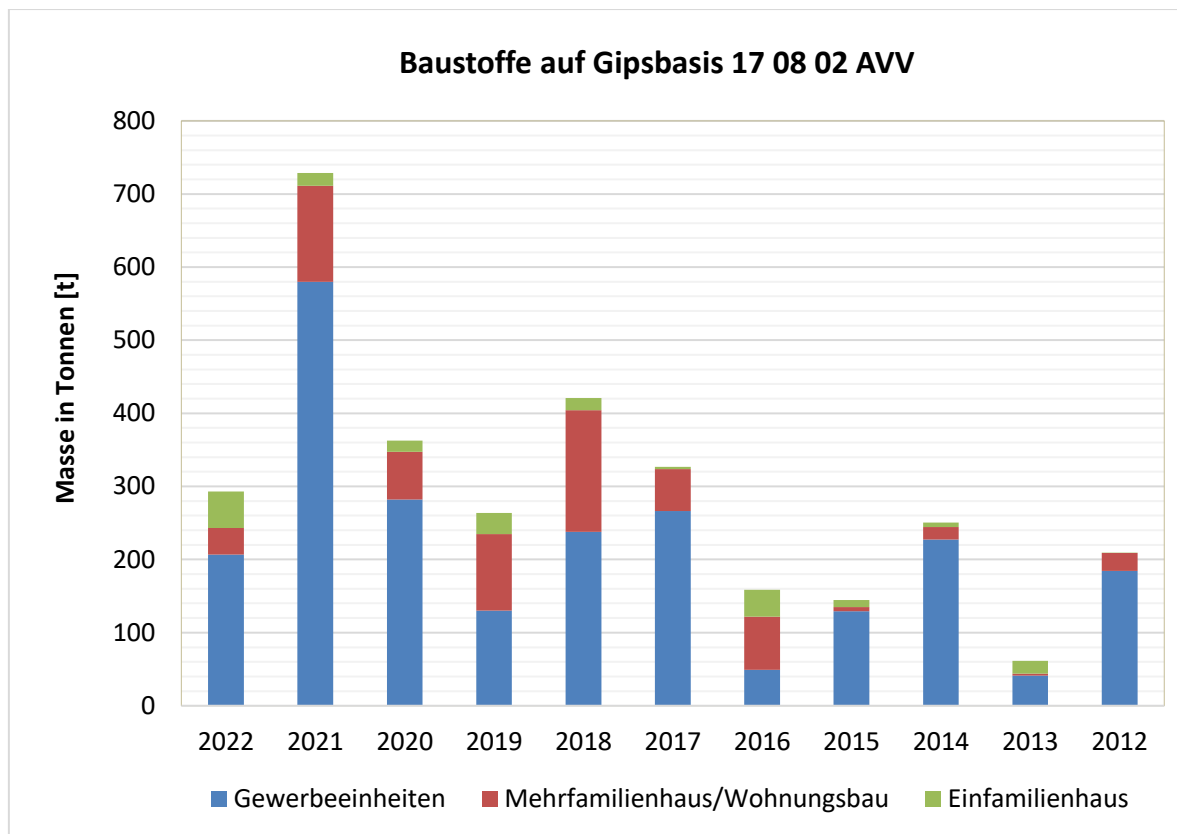


Abbildung 27: Baustoffe auf Gipsbasis in den Jahren 2012 bis 2022 bei dem Unterauftragnehmer

Separation von Gipsabfällen bei Abriss- und Entkernungsvorhaben

Bei dem Unterauftragnehmer erfolgt bei der Entkernung und beim Rückbau von Gebäuden eine Trennung der Baustoffe auf Gipsbasis von den weiteren Abbruchabfällen. Eine Separation von recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Baustoffen auf Gipsbasis wird jedoch nicht durchgeführt. Dies führte in der Vergangenheit dazu, dass Gipsabfälle nicht den Qualitätsanforderungen des Recyclingunternehmens entsprachen und somit dem Wertstoffkreislauf verloren gegangen sind. Zur Steigerung der Recyclingquote wären folgende drei Varianten der Separierung von Gipsabfallqualitäten denkbar:

1. Separierung mittels Zwischenlagern auf der Baustelle
2. Separierung beim Transport/Containerbeladung
3. Nachsortierung auf Recyclinghof

Jede Separierungsmethode hat Vor- und Nachteile und die Wahl der Methode hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese werden im Anhang 6 für die drei Methoden gegenübergestellt.

Das Platzangebot auf der Baustelle und deren Umfeld spielt eine große Rolle. Ist ausreichend Platz für eine Zwischenlagerung vorhanden? Können mehrere Container gleichzeitig gestellt werden? Ebenso wichtig ist die Gesamtmenge des anfallenden Abbruchgutes. Rechtfertigt die Gesamtmenge das Aufstellen mehrerer Container? Schlussendlich ist festzuhalten, dass für jedes Bauprojekt individuell festgelegt werden muss, wie mit den anfallenden Stoffströmen umzugehen ist. Allerdings wird der Aufwand der Separierung umso höher, je größer die Durchmischung des Abfallgutes ist. Je früher mit der Separierung begonnen wird, desto geringer ist der Einsatz an Arbeits- & Maschinenleistung. Eine Separierung des Abbruchgutes auf dem Recyclinghof ist zwar die aufwendigste Methode, diese lässt sich nicht umgehen, da ein großer Teil des Gesamtstoffstromes nicht von eigenen Baustellen stammt, sondern von Fremdfirmen oder

Privatpersonen. Um hier auch für diese einen Anreiz zu schaffen, das Abbruchgut möglichst vorsortiert anzuliefern, bedarf es einer Preisdifferenzierung zwischen recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Material. Die Vorsortierung muss mit einer Kostenersparnis einhergehen, die den erhöhten Sortieraufwand aufwiegt.

Entsorgung / Verwertung

Lt. der zur Verfügung gestellten Daten wurden in den Jahren 2014, 2016, 2021 bis 09/2023 1.217 Tonnen Gipsabfälle (ausschließlich Gipskartonplatten) einer stofflichen Verwertung zugeführt. Bei einer Gesamtmenge an Baustoffen auf Gipsbasis von 19.480 Tonnen und einem Anteil von ca. 60 % Gipskartonplatten beträgt die Gesamtmenge an Gipskartonplatten ca. 11.690 Tonnen. Es werden somit nur ca. 10 % der Baustoffe auf Gipsbasis einer stofflichen Verwertung zugeführt. Die verbleibenden 90 % werden jeweils zu ca. 50 % für die Rekultivierung ins Ausland verbracht und deponiert.

Ca. 40 % der Gesamtmasse an Baustoffen auf Gipsbasis entfallen auf Anhydritestriche und sonstiges.

1.3.7 Technische Gipse (Synthetische Calciumsulfate)

Technische bzw. synthetische Calciumsulfatphasen fallen bei verschiedenen industriellen Prozessen an und liegen zum Teil in sehr hoher Reinheit vor. Der wohl bekannteste technische Gips ist der REA-Gips. Er entsteht bei der Reinigung von Abgasen im Kalkwäscher von Verbrennungsanlagen (REA: Rauchgasentschwefelungsanlage) und deckte bisher ca. die Hälfte des jährlichen Gipsbedarfs in Deutschland.

Mit ca. 170 Mio. Tonnen jährlich¹⁴ stellt Phosphorgips den mengenmäßig größten Anteil an technischen Gipsen dar. Er entsteht bei der Herstellung von Phosphorsäure aus Rohphosphat. „Bedingt durch die Aufbereitungsprozesse von Phosphorgips kommt es zu einer Anreicherung natürlicher radioaktiver Isotope, die im bergmännisch gewonnenen Phosphorgestein enthalten sind“¹⁵ [, weshalb dieser Gips bisher nicht für die Herstellung von Gipsprodukten in Deutschland eingesetzt wird]. Im Rahmen des Verbundprojektes „PhosphoGips – Analyse des Nutzungspotenzials von Phosphogipsen“ der HSN, Knauf Gips KG, DMT GMBH & CO. KG und Claudius Peters Projects GmbH wird 2024 und 2025 ein Konzept zur Nutzung von Phosphogipsen erarbeitet. Hierbei wird die übergeordnete Zielstellung verfolgt, die Entstehung/ Gewinnung von Gips direkt als Nebenprodukt im Produktionsprozess von Phosphorsäure zu optimieren. Das Projekt befasst sich daher im ersten Schritt mit dem Frischgips aus der Produktion.

Bei der Herstellung von Flusssäure aus Fluorit fällt synthetischer Anhydrit (Fluoranhydrit) als Nebenprodukt an. Er liegt in trockener Form vor und wird für die Herstellung von Estrichen verwendet.¹⁶ Im Herstellungsprozess von Flusssäure reagieren 1 Tonne Fluorit und 1,25 Tonnen Schwefelsäure zu 0,5 Tonnen Flusssäure und 1,75 Tonnen Anhydrit.¹⁷ 2012 wurden in Europa ca. 240.000 Tonnen Flusssäure hergestellt¹⁸, was einer Anhydritmenge von ca. 840.000 Tonnen entspricht.

Titandioxid ist ein weißes Pigment, „mit einer globalen Jahresproduktion von ca. 7,2 Mio. Tonnen“¹⁹. Die fünf deutschen Hersteller sind in Nordrhein-Westfalen und Hessen verortet. 2001

¹⁴ (vgl. Coninx, Feinhals, & Stümpel, 2021)

¹⁵ (Coninx, Feinhals, & Stümpel, 2021)

¹⁶ (Winnacker, Küchler, & Dittmeyer, 2004)

¹⁷ (vgl. Stranzl, 2007)

¹⁸ (vgl. European Chemical Industry Council, 2015)

¹⁹ (Verband der Mineralfarben Industrie, kein Datum)

wurden 322.000 Tonnen Titandioxid an vier Standorten in Deutschland nach dem Sulfatverfahren hergestellt.²⁰ Bei der Titandioxidherstellung nach dem Sulfatverfahren entsteht durch Neutralisation der anfallenden verdünnten Schwefelsäure Titanogips, der bisher nur in geringen Mengen in der Gipsindustrie eingesetzt wird.²¹

Ein weiterer chemischer Gips ist der Zitronensäuregips. Er fällt bei der biotechnologischen Herstellung von Zitronensäure nach dem Submersverfahren an. Der dabei entstehende Gips ist rein weiß und für eine Weiterverarbeitung nutzbar.^{22,23}

Im Rahmen des Projektes wurde ein Titanogips und Zitronensäuregips chemisch und physikalisch charakterisiert. Zudem wurden Aufnahmen mit einem Digitalmikroskop (Fa. Keyence) erstellt. Die Ergebnisse sind der Tabelle 8 im Anhang 8 sowie der Tabelle 6 zu entnehmen. Für die Messung der Reindichte wurde ein Heliumpyknometer der Fa. Anton Paar (Ultrapyc 5000) verwendet.

Tabelle 6: Reindichte und Feuchtegehalt von Titano- und Zitronensäuregips

	Reindichte [g/cm ³]	Feuchtegehalt bei 40 °C [M.%]
Titanogips	2,324	10,22
Zitronensäuregips	2,310	21,36

1.3.8 Probenanalytik

Farbmessung diverser Gipsabfälle

Zur Bestimmung der Materialfarbe wurde das Spektralphotometer ColorLite sph 870 der Firma ColorLite GmbH zusammen mit dem Messkopfadapter / der Messkopfvariante MA35-UK-6-mit (einer) d/8°Messgeometrie verwendet. Das Spektralphotometer misst Farben durch die Beleuchtung der Probe und der Analyse des Lichts, welches diffus reflektiert wird. Das resultierende Spektrum wird mit dem Spektrum einer bekannten weißen Fläche verglichen und die spektralen Eigenschaften der gemessenen Oberfläche werden berechnet. Dieses Probenspektrum wird dann mit einer genormten Lichtart und ebenso mit einer Farbspektralwertfunktion gewichtet. Dies führt zu den drei Werten X, Y und Z.²⁴ Der verwendete Messkopfadapter wandelt die standardmäßige 45°/0°-Geometrie des Photometers in eine d/8°-Geometrie nach DIN 5033 um. Dies bedeutet, dass die Proben mit einem diffusen Licht beleuchtet werden, welches in einer Ulbrichtkugel mit einer Barium-Sulfat-Beschichtung erzeugt wird.

Der L-Wert (Helligkeit/Luminanz) lag bei allen untersuchten Proben, mit Ausnahme des Titanogipses, zwischen 82,7 und 86,5. Der L-Wert des Titanogips betrug 78,97. Die Ergebnisse der Farbmessungen verschiedener Gipsabfälle sind dem Anhang 7 zu entnehmen.

²⁰ (vgl. European Chemical Industry Council, 2015)

²¹ (Gentzmann, 2023)

²² (Deutschland Patentnr. EP0151470B1, 1989)

²³ (vgl. Austrian Centre of industrial Biotechnology, 2019)

²⁴ (vgl. ColorLite GmbH)

1.3.9 Chemische Analysen und Asbestgehalt

Die Analytik der Gipsabfallproben bzw. Sekundärgipse erfolgte im Rahmen von extern vergebenen Untersuchungen durch die Fa. Eurofins. Die Ergebnisse der chemischen Analysen des zertifizierten Labors sind im Anhang 8 vergleichend dargestellt. Folgende Gipse wurden untersucht:

- Feinkeramik
- Dentalgips
- Dachziegelformen
- Orthopädischer Gips
- Orthopädische Gips mit Vermiculit
- Sanitär gips
- Zitronensäuregips
- Titanogips
- Polygips (Gips aus polyhaltischem Gestein)
- Naturgips

Bei keiner der untersuchten Proben lag der Asbestgehalt oberhalb der Bestimmungsgrenze. Bis auf die Dentalgipse lagen alle Formgipsabfälle unterhalb des Zielwertes für die Spurenelementgehalte. Lediglich die Gipsabfälle aus der Dentalindustrie wiesen mit 66 mg/kg einen erhöhten Zinkgehalt auf (Zielwert < 47 mg/kg). Für die Einordnung der Untersuchungsergebnisse wurden die Zielwerte der Qualitätsempfehlung für RC-Gips vom Bundesverbands der Gipsindustrie e.V. herangezogen.²⁵

1.3.10 Durchführung von vergleichenden Kalzinierungsuntersuchungen

Im Projekt sollen durch werkstoffliche Untersuchungen Unterschiede von Gipsabfallqualitäten aufgezeigt werden. Um abbindefähige Bindemittel für die Herstellung von Prüfkörpern (Prismen) zu erzeugen, wurden für ausgewählte Gipsabfälle die Kalzinationszeiten bestimmt. Ziel war es, ein beta-Halbhydrat mit einem Kristallwassergehalt von ca. 5 % zu erzeugen. Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an das Merkblatt „Analyse von REA-Gipse“²⁶. Je Material wurden 3 kg trockener Rohgips auf Bleche verteilt (max. 2 cm hoch) und im Trockenschrank temperiert.

Die Untersuchungen wurden mit Gipsabfällen, die zuvor in einer Universalprallmühle mit Schlagnasenrotor- und stator auf < 8 mm vorzerkleinert und anschließend mit Stiftrator- und stator bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 125 m/s auf Endfeinheit zerkleinert wurden, durchgeführt. Die Partikelgrößenverteilung wurde mit einem Lasergranulometer (Trockendispergierung) der Fa. Sympatec und einem Luftstrahlsieb bestimmt.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich der Kristallwassergehalt der vier Gipsabfallarten mit steigender Verweilzeit im Trockenschrank unterschiedlich stark verringert (siehe Abbildung 28). Dies konnte bei allen getesteten Temperaturen (120 °C, 140 °C und 160 °C) beobachtet werden.

²⁵ (vgl. Bundesverband der Gipsindustrie e.V., 2020)

²⁶ (vgl. VGB PowerTech e.V., 2008)

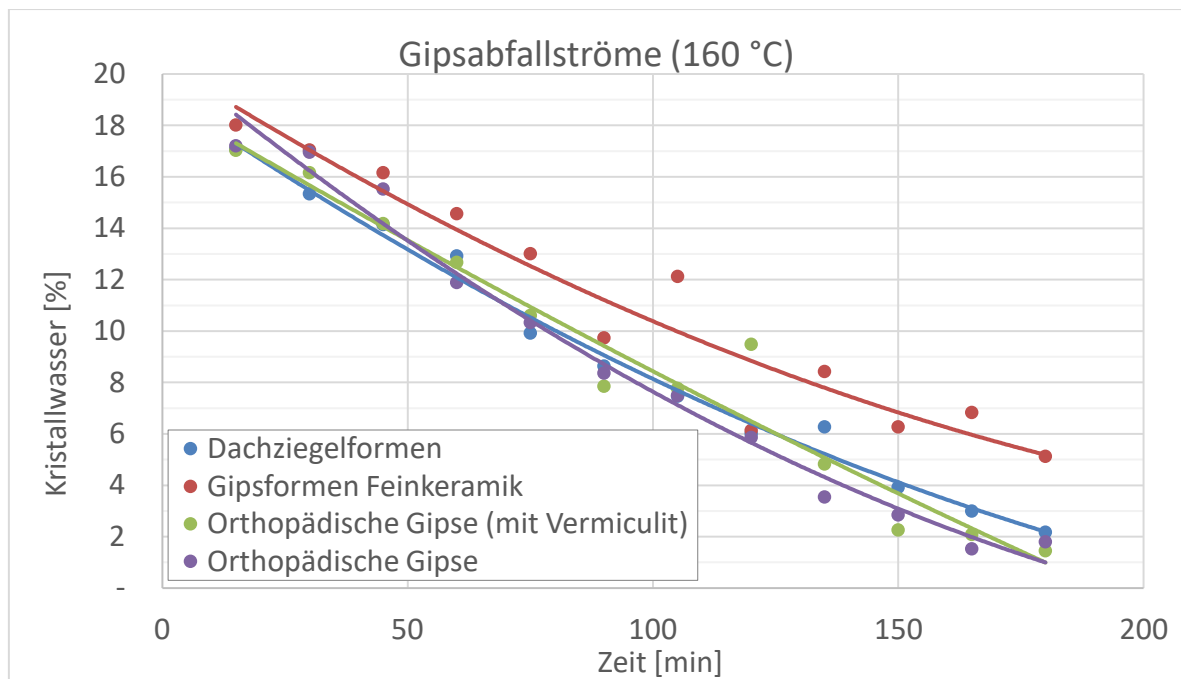


Abbildung 28: Kristallwassergehalt in Abhängigkeit der Kalzinierungsdauer für ausgewählte Gipsabfälle bei 160 °C

Der Kristallwassergehalt der Orthopädischen Gipse (unabhängig von der Verwendung von Vermiculit) verringerte sich deutlich schneller als der Kristallwassergehalt der Gipsformen aus der Feinkeramikherstellung. So konnte bei 160 °C der Zielwert von 5 % Kristallwassergehalt bei den Orthopädischen Gipsen bereits nach ca. 130 min erreicht werden. Die Gipsformen (Feinkeramik) benötigten hingegen 30 min mehr Zeit, um den geforderten Kristallwassergehalt zu erreichen.

Als Ursache wurden unterschiedliche Dichten bzw. Schüttdichten vermutet. Hier konnte jedoch kein Zusammenhang nachgewiesen werden, so dass die optimalen Kalzinierungsdauern individuell für jedes Material bestimmt werden mussten. Die Roh- und Schüttdichten der 4 untersuchten Gipsabfälle sind der Tabelle 7 zu entnehmen. Die Bestimmung der Schüttdichte erfolgte mit einem Einlaufgerät nach Böhme. Für die Messung der Reindichte wurde ein Heliumpyknometer der Fa. Anton Paar (Ultrapyc 5000) verwendet.

Tabelle 7: Rohdichte und Schüttdichte gemahlener Gipsabfälle

	Reindichte [g/cm ³]	Schüttdichte [g/l] Mittelwert (3-fach Bestimmung)
Dachziegelformen	2,332	762,0
Gipsformen Feinkeramik	2,358	640,5
Orthopädische Gipse (mit Vermiculit)	2,378	521,0
Orthopädische Gipse	2,353	545,3

1.3.11 Durchführung von Prüfverfahren für Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel

Für die kalziierten Gipsproben wurden nachfolgende Kennwerte / Daten bestimmt:

- Wasser-Gips-Wert (DIN EN 13297-2; 4.3.1)
- Fließmaß (DIN EN 13297-2; 4.3.2)
- Versteifungsbeginn (Messerschnittmethode, DIN EN 13297-2; 4.4.1) und Versteifungsende

Die Ergebnisse für die beta-Halbhydrate, die bei einer Temperatur von 160 °C im Trockenschrank kalziiert wurden, sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 8: Ergebnisse Prüfverfahren für beta-Halbhydrate (Kalziniierung bei 160 °C)

	Stuckgips / Referenz	Orthopädische Gipse	Orthopädische Gipse mit Vermiculit	Keramische Gipse (Feinkeramik)
Kristallwassergehalt [%]	5,4	6,1	5,8	5,3
Wasser-Gips-Wert*	0,75	1,42	1,38	1,08
Fließmaß* [mm]	208,0	177,0	160,0	154,5
Versteifungsbeginn [h:min:s]	0:14:52	0:31:02	0:17:44	1:52:32
Versteifungsende [h:min:s]	-	0:53:06	0:35:11	2:31:51
Bemerkungen				stark hygroskopisch

*Mittelwert

Bei der Verarbeitung der Materialien wurde deutlich, dass insbesondere die aufbereiteten Gipsformen aus der Feinkeramikherstellung ein stark hygroskopischen Verhalten zeigten und somit eine DIN-gerechte Bestimmung des Wasser-Gips-Wertes nicht möglich war. Zudem waren Versteifungsbeginn und –ende deutlich erhöht. Im Gegensatz dazu ließen sich die Orthopädischen Gipse (unabhängig vom Vermiculitgehalt) gut verarbeiten. Bei allen beta-Halbhydraten aus Recyclingmaterial war der Wasser-Gips-Wert z.T. deutlich höher als beim untersuchten Referenzmaterial (beta-Halbhydrat, Stuckgips), was ein höheres Porenvolumen im Produkt und damit Festigkeitseinbußen bedingt.²⁷

²⁷ (vgl. Neroth, 2011: 189)

1.4 Entwicklung eines Sammel- und Logistikkonzepts und Durchführung eines Praxistests

Programme zur Transportplanung und Transportoptimierung werden von vielen Anbietern angeboten. Diese Programme sind entweder unternehmensspezifisch erstellt oder müssen selbst durch Programmierung an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Für die Tourenplanung im Projekt wurde zunächst eine umfangreiche Recherche zu bestehenden Planungsprogrammen durchgeführt. Diese ergab, dass eine Vielzahl von Anbietern Programme und Dienstleistungen für solche Zwecke anbieten. Ziel war es, die Programme hinsichtlich ihrer Eignung zu vergleichen und durch eventuell vorhandene Testversionen auf ihre Praxistauglichkeit zu testen.

Die gefundenen Programme (Übersicht siehe Anhang 9) waren jedoch häufig ungeeignet für den geforderten Einsatzbereich. Gründe dafür waren:

- Bereits vorhandene Routen müssen zur Optimierung vorliegen
- Aufwendige Programmierungen müssen vorgenommen werden
- Hohe Kosten
- Eine Mindestanzahl von Fahrzeugen
- Programme werden auf Anfrage konfiguriert (langer Beratungs- Programmierungs- und finanzieller Aufwand)
- Komplizierte Bedienung (sehr viele Tools)

Da der Aufwand für den Einsatz einer der wie oben beschrieben oben getesteten Software im Rahmen dieses Projektes als zu hoch und unwirtschaftlich angesehen wird, wurde entschieden, die Routen manuell zu berechnen. Für die manuelle Routenberechnung stehen verschiedene Algorithmen zur Verfügung. Je nach Bedarf, Kapazität und Transportrestriktionen muss der richtige Algorithmus ausgewählt werden. Dazu müssen alle relevanten Parameter wie z.B. Standorte, gesetzliche Restriktionen etc. bekannt sein.

Die manuelle Transportplanung muss handhabbar bleiben. Je mehr Orte vorhanden sind, desto aufwendiger wird die Berechnung, da sich die Transportmöglichkeiten sehr schnell vervielfachen. Bis zu 10 Standorte können noch als überschaubar angesehen werden. Darüber hinaus wird der Aufwand sehr hoch. Außerdem ist zu beachten, dass bei Änderungen der Bedingungen der gesamte Algorithmus neu berechnet werden muss. Um ein umfassendes Logistikkonzept zu erstellen sind mehr Partner notwendig, als für den Praxistest gewonnen werden konnten. Die meisten Algorithmen, die für die Tourenplanung verwendet werden, können für drei Standorte durchgeführt werden. Bei einer überschaubaren Anzahl von Standorten können kürzeste Wege, Kapazitäten und mögliche Restriktionen auch ohne komplexe Berechnungen überblickt werden. Im Rahmen des Projektes wurde die Vorgehensweise der Tourenplanung exemplarisch für vier Orte dargestellt. Auf diese Informationen kann in Folgeprojekten bzw. bei einer zukünftigen Etablierung und Umsetzung der Projektergebnisse zurückgegriffen werden.

Hemmnisse

Gipsabfälle aus der Orthopädie sind häufig mit Daten gekennzeichnet, die eine Zuordnung zum jeweiligen Kunden ermöglichen könnten. Diese Daten sind nicht immer eindeutig zuzuordnen, d.h. es kann ein Name oder auch eine Kundennummer eingeritzt bzw. notiert sein. Dennoch wird empfohlen, die Sammelbehälter für Gipsabfälle unzugänglich abzustellen oder ggf. mit einem Sicherheitsschloss zu versehen. Da es sich bei der Gipsabfallsammlung um einen Nischenfall handelt, ist gesetzlich nicht beschrieben, wie mit der Kennzeichnung umzugehen ist.

Abfalltransporte unterliegen generell der Anzeigepflicht bei der Unteren Abfallbehörde. „Darunter fallen Unternehmen, die nach ihrem Geschäftsgegenstand nicht hauptsächlich Abfälle transportieren beziehungsweise bewirtschaften, zum Beispiel Bauunternehmen oder Gartenbauer, die

Bauschutt, Farbreste oder Verpackungen transportieren.“²⁸ Für Handwerksbetriebe, zu denen auch Orthopädietechniker gehören, gilt jedoch die so genannte Kleinmengenregelung. Danach dürfen diese Betriebe eigene Abfälle bis zu einer Menge von zwei Tonnen gefährlicher Abfälle und 20 Tonnen nicht gefährlicher Abfälle ohne Anzeige selbst befördern. Die Beförderung darf nicht gewerbsmäßig erfolgen. Ist eine Anzeige erforderlich, fallen je nach Bundesland zwischen 50 und 100 Euro an.

Je nach Sammelkonzept ist ein Transport zu einer zentralen Sammelstelle mit anschließender Abholung durch einen Entsorger denkbar (Depotsystem). Ob in einem solchen Fall die Kleinmengenregelung greift, muss im Vorfeld individuell geklärt werden.

Praxistest

Für die Durchführung der Gipsabfallsammlung wurden Big Bags und die nachfolgend aufgeführten Eurobehälter in verschiedenen Größen beschafft. Die Behälter haben Standardmaße, sind kostengünstig und stapelbar. Aufgrund der zu erwartenden unterschiedlichen Abfallstückgrößen wurden Boxen in verschiedenen Abmessungen beschafft, um deren Eignung im Rahmen des Praxistests zu überprüfen.

- 60x40x22 cm (durchbrochen); Volumen ca. 53 Liter
- 60x40x27 cm (geschlossen, Handgriff Stirnseite); Volumen ca. 65 Liter
- 30x20x17 cm (geschlossen); Volumen ca. 10 Liter
- 60x40x27 cm (geschlossen); Volumen ca. 65 Liter

Für den Praxistest konnten durch schriftliche und telefonische Akquise zwei Betriebe aus dem Bereich der Orthopädie im Landkreis Nordhausen gewonnen werden:

- Praxispartner A: Orthopädieschuhtechniker
- Praxispartner B: Orthopädietechniklabor

Praxispartner A: Orthopädieschuhtechniker

Im Juni 2023 wurden die Eurobehälter bei dem Praxispartner A (4 gr. Behälter (65 Liter, geschlossen); 4 kl. Behälter (geschlossen)) verteilt. Für die Sammlung von Gipsabfällen aus der Orthopädieschuhtechnik stellten sich die kleinen Eurobehälter jedoch als ungeeignet heraus, da die Stückgröße der Gipsabfälle zu groß für deren Lagerung / Sammlung war und ein Stapeln der Behälter aufgrund überstehender / herausragender Formteile nicht möglich war. Die großen Behälter dürfen wiederum nicht zu stark befüllt werden, um ein händisches Verladen und Stapeln entsprechend Lastenhandhabungsverordnung²⁹ zu ermöglichen.

1. Abholung: Gewicht 150 kg (netto), Abholung der gefüllten Behälter und Tausch gegen 6 große leere Eurobehälter (65 Liter)

→ 150 kg / 2 Monate (entspricht 75 kg Gipsabfälle pro Monat)

2. Abholung: Gewicht 172 kg (netto), Abholung der gefüllten Behälter + Umlagerung aus Holzkisten in Säcke und Tausch gegen 7 große leere Eurobehälter (65 Liter)

→ 172 kg / 2,2 Monate (entspricht ca. 78 kg Gipsabfälle pro Monat)

3. Abholung: Gewicht 162 kg (netto), Abholung der gefüllten Behälter

→ 162 kg / 2,5 Monaten (entspricht ca. 65 kg Gipsabfälle pro Monat)

²⁸ (IHK Mittlerer Niederrhein, kein Datum)

²⁹ Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV)

Im Mittel kann von einer Gesamtmasse von 870 kg Gipsabfälle pro Jahr ausgegangen werden. Die Abfälle sind frei von Störstoffen und fallen kontinuierlich an.

Praxispartner B: Orthopädielabor

Ende Juni 2023 wurde ein BigBag auf Europlatte an das Orthopädielabor geliefert.

Das Aufkommen an Gipsabfällen aus der Orthopädie unterlag im Projektzeitraum aufgrund von Weiterentwicklungen in der Fertigungstechnik deutlichen Schwankungen. So wurde z.B. im Praxistestzeitraum eine neue Abformmethode im Orthopädielabor eingeführt, weshalb im Testzeitraum nur ein Gipspotential von 400 kg pro Jahr ermittelt werden konnte. Die Verwendung von Hartschaum führte dazu, dass deutlich geringere Mengen an Gips eingesetzt werden müssen. Diese Entwicklung ist jedoch nicht kontinuierlich, d.h. Nachteile beim Einsatz von gefrästen Schäumen führten zu einer Rückbesinnung auf den Rohstoff Gips. Hier ist mit einem Anstieg des Gipsabfallpotenzials zu rechnen.

Eine belastbare Hochrechnung der Abfallmengen für Gipsabfälle aus der Orthopädie war im AP 5 aufgrund der unzureichenden Datenlage und der starken Schwankungen durch die Anpassung der Produktionstechniken nicht möglich. Die erzielten Ergebnisse bestätigen jedoch die Ergebnisse der Primärdatenanalyse (vgl. Sekundärdatenanalyse und Hochrechnungen).

Logistikkonzept zur Abholung von Gipsabfällen bei unterschiedlichen Anfallstellen

Die Tourenplanung ist eine Teildisziplin der Distributionslogistik und soll durch die intelligente Anordnung bzw. Verknüpfung von Transportaufträgen zur Erreichung von Zielvorgaben beitragen. Diese Zielvorgaben können z.B. Transportkostenminimierung, Zeitoptimierung, Servicemaximierung oder die Minimierung von Umweltbelastungen sein. Die Zusammenstellung hat dabei unter Beachtung relevanter Restriktionen zu erfolgen.³⁰

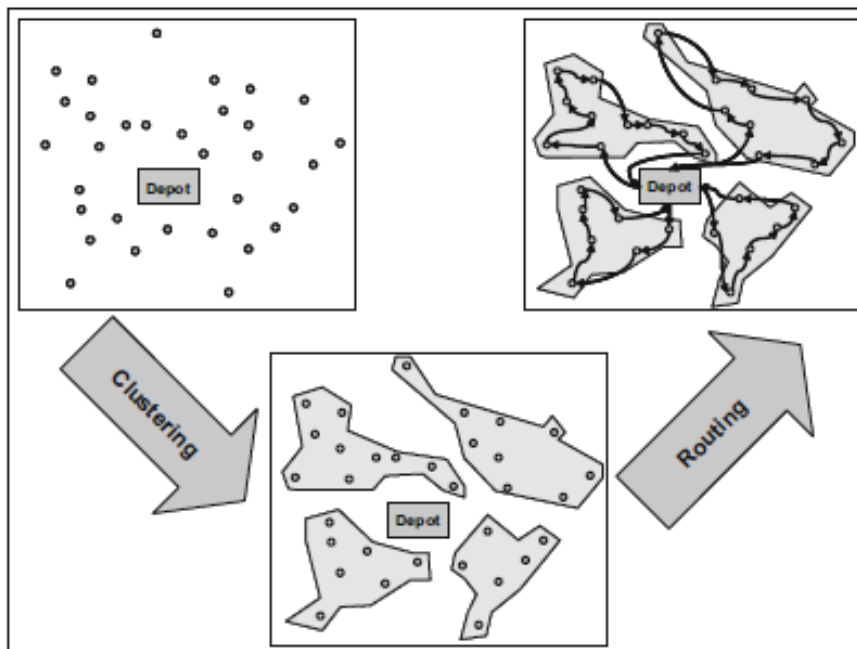


Abbildung 29: Exemplarische Darstellung der Trennung Clustering- und Routingproblem bei der Tourenplanung³¹

³⁰ (Wenger, 2009)

³¹ (entnommen aus: Wenger, 2009)

Im vorliegenden Fall der Abholung von Gipsabfällen an vier Standorten wird für die Routenplanung (Routing) das Travelling Salesman Problem (TSP) herangezogen und nachfolgend exemplarisch beschrieben. Eine Clusterbildung (vgl. Abbildung 29), d.h. die Zuordnung von Sammelstellen zu einzelnen Touren, ist hier nicht erforderlich.

Tourenplanung nach dem Travelling Salesman Problem (TSP)

Das TSP ist ein Optimierungsproblem, mit dem die optimale Route zwischen einer Liste von Orten unter Berücksichtigung der Entfernungen zwischen den Ortepaaen ermittelt werden kann. Eine exakte Lösung ist möglich, jedoch steigt der Rechenaufwand mit der Anzahl an Orten exponentiell an, so dass eine heuristische Lösung bevorzugt wird. Dabei nähert man sich der optimalen Lösung an. Mit dieser Approximation können deutlich mehr Orte einbezogen werden.

Um die steigende Anzahl der Routen bei exakter Berechnung und unterschiedlichen Hin- und Rückwegen (asymmetrisches TSP) zu verdeutlichen, wird nachfolgend die Anzahl der Routen für 4, 10 und 20 Orte beispielhaft berechnet, um die hohe Komplexität bei einer großen Anzahl von Orten zu verdeutlichen:

Anzahl der Orte = n

$n = 5 \rightarrow (5-1)! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$ Routen

$n = 10 \rightarrow (10-1)! = 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 362.880$ Routen

$n = 20 \rightarrow (20-1)! = 20 \cdot 19 \cdot 18 \cdot 17 \cdot 16 \cdot 15 \cdot 14 \cdot 13 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 2,43 \cdot 10^{18}$ Routen

Wenn Hin- und Rückweg gleich sind spricht man von einem symmetrischen TSP. Die Anzahl der Routen halbiert sich in diesem Fall. Bei der grafischen Darstellung des TSP sind die Punkte („Knoten“) die Orte und die verbindenden Linien („Kanten“) stellen die Wege zwischen den Orten dar. Alternativ zu der Entfernung der Orte können Kosten, Emissionen oder die Reisedauer als Kanten dargestellt werden.

Nachfolgend wird eine Tourenplanung für die Abholung von Gipsabfällen bei vier Unternehmen (Feldstudienteilnehmer ergänzt um zwei fiktive Abholorte in der Modellregion Südharz) beispielhaft dargestellt. Der Tabelle 9 (Matrix) sind die Entfernungen („Kanten“) zwischen den Abholorten A bis D zu entnehmen. S entspricht dem Start- und Endpunkt der Route und ist im ThiWert der HSN lokalisiert. Die Lage der „Knoten“ (Abholorte und Start) ist in der Abbildung 30 dargestellt.

Tabelle 9: Matrix mit Entfernungen zwischen den Abholorten A bis D (in Kilometer)

		Start (S)	A	B	C	D
		ThiWert	Nordhausen	Ellrich	Mühlhausen	Sangerhausen
Start (S)	ThiWert	-	4	22	56	41
A	Nordhausen	4	-	17	55	40
B	Ellrich	22	17	-	66	63
C	Mühlhausen	56	55	66	-	97
D	Sangerhausen	41	40	63	97	-

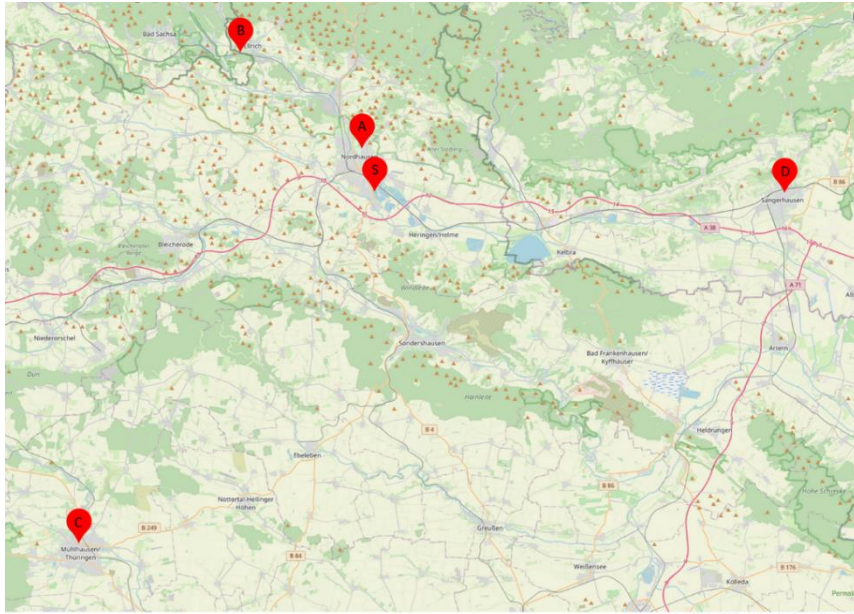


Abbildung 30: Abholorte („Knoten“) in der Modellregion Südharz³²

Im Folgenden wird die Berechnung der Tourenplanung exemplarisch für die vier Abholorte (A - D) mit gleichem Start- und Endpunkt (S) aufgezeigt:

Route 1: $r [S, A, B, C, D, S] = 4 + 17 + 66 + 97 + 41 = 225$

Route 2: $r [S, A, B, D, C, S] = 4 + 17 + 63 + 97 + 56 = 237$

Route 3: $r [S, A, C, B, D, S] = 4 + 55 + 66 + 63 + 41 = 229$

Route 4: $r [S, A, C, D, B, S] = 4 + 55 + 97 + 63 + 22 = 241$

Route 5: $r [S, A, D, B, C, S] = 4 + 40 + 63 + 66 + 56 = 229$

Route 6: $r [S, B, A, C, D, S] = 22 + 17 + 55 + 97 + 41 = 232$

Route 7: $r [S, B, C, D, A, S] = 22 + 66 + 97 + 40 + 2 = 227$

Route 8: $r [S, B, C, A, D, S] = 22 + 66 + 55 + 40 + 41 = 224$

Route 9: $r [S, B, D, A, C, S] = 22 + 63 + 40 + 55 + 56 = 236$

Route 10: $r [S, C, D, A, B, S] = 56 + 97 + 40 + 17 + 22 = 232$

Route 11: $r [S, C, B, A, D, S] = 56 + 66 + 17 + 40 + 41 = 220$

Route 12: $r [S, C, A, B, D, S] = 56 + 55 + 17 + 63 + 41 = 232$

Bei exakter Berechnung ist die Route 11 mit einer Länge von 220 km um 21 km kürzer als die längste Route 4 mit einer Gesamtlänge von 241 km. Abbildung 31 zeigt die Reihenfolge der Abholungen der Routen 4 und 11. Berechnet man die Strecke nach der „Bester Nachfolger Strategie“, bei der ausgehend von einem Startpunkt immer der nächstgelegene Knoten zur Route hinzugefügt wird³³, so ergibt sich eine Routenlänge von 237 km (Route 2). Für die Abholung der Gipsabfälle und den Transport der Gipsabfälle zum ThiWert wird im nachfolgenden Beispiel ein Transporter bis 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht und einer Nutzlast von ca. 1,3 Tonnen zu Grunde gelegt. Bei der Berechnung der Transportkosten müssen daher keine Mautgebühren, fahrzeugabhängigen Geschwindigkeiten und Einsatzzeitfenster berücksichtigt werden. Bei der Routenplanung kann zudem auf die Einbeziehung von Straßenverkehrsbeschränkungen (z.B. hinsichtlich maximaler Brückengewichte, Durchfahrthöhen, Straßenbreite) verzichtet werden.

³² Kartenausschnitt, online: <https://www.openstreetmap.de/karte/>

³³(Wenger, 2009)

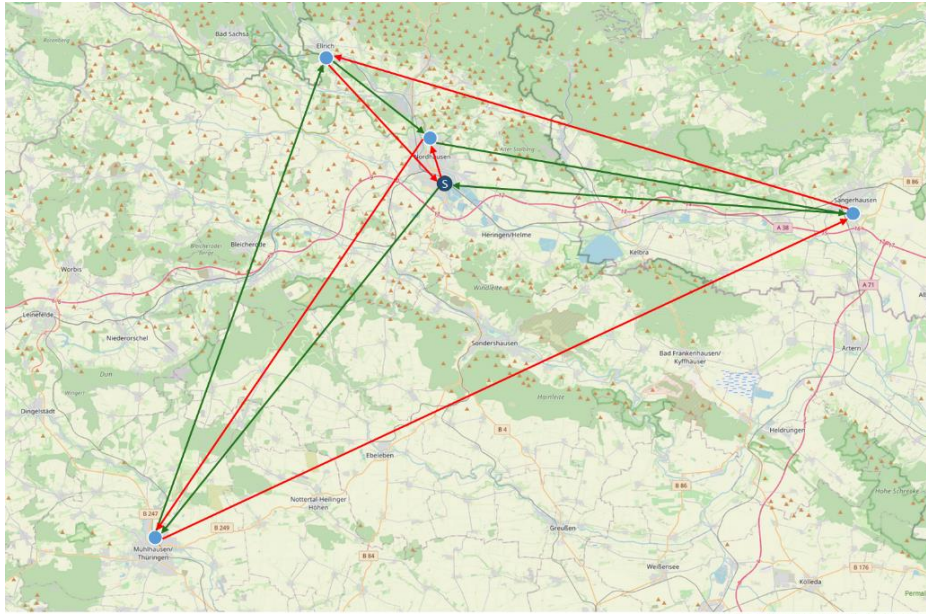


Abbildung 31: Kürzeste (grün) und längste (rot) Route bei 4 Abholorten (S = Start)³⁴

Annahmen und Beispielfahrzeug:

Sprinter Kastenwagen BASE 311 CDI Standard (Fahrzeugkennwerte sind von der Homepage des ADAC entnommen³⁵):

Verbrauch:	9,1 Liter/100 km (Diesel)
Preis (Diesel):	1,70 €/Liter
Zulässiges Gesamtgewicht:	3.500 kg
Zulässige Zuladung:	1.338 kg
Gepäckraumvolumen:	9 m ³

Gipsabfälle (je Unternehmen):	900 kg/Jahr
Länge der Route:	220 km
Fahrzeit:	3,5 h
Be- und Entladen:	1,5 h (4 Orte)
Personalkosten:	12 € / h (Mindestlohn 2022)
Arbeitgeberanteil:	21 % → Stundenlohn: 14,52 €/h

Ausgehend von einer Jahresmenge von max. 900 kg je Unternehmen (= 3,6 Tonnen/Jahr gesamt für die 4 Unternehmen) und einer zulässigen Zuladung von 1,3 Tonnen sind drei Abholungen für die vier Beispiellorte pro Jahr erforderlich. Dies setzt ausreichende Lagerkapazitäten für die über einen Zeitraum von 4 Monaten anfallenden Gipsabfälle bei den Unternehmen voraus. Aus den Erfahrungen des Praxistests ist dies jedoch nicht problemlos möglich. Hier wäre nach individuellen Lösungen für eine trockene Lagerung der Abfälle zu suchen.

Für die 3-malige Sammlung von Gipsabfällen an vier Standorten in der Modellregion würden Kosten für Diesel in Höhe von ca. 34 € anfallen. Bei einer Fahrzeit von 3,5 h und weiteren 1,5 h für Be- und Entladevorgänge fallen zudem Personalkosten von 217,80 € an. Die Abschreibung des Fahrzeugs sowie Betriebsmittel werden nicht kalkuliert. Die Wirtschaftlichkeit der Gipsabfallrückführung ist unter den o.g. Bedingungen (Holsystem) nicht gegeben und durch Upscaling bzw. Erweiterung der Stoffströme anzustreben.

³⁴ Kartenausschnitt, online: <https://www.openstreetmap.de/karte/>

³⁵ (ADAC, kein Datum)

Erweiterung bestehender Abholsysteme um Gipsabfälle

Eine Alternative zur exklusiven Abholung von Gipsabfällen an den Anfallstellen stellt das System „Der Sack“ dar. Bei „Der Sack“ kann ein Big Bag mit 1 m³ Volumen entweder online bestellt oder im Baustoffhandel gekauft, am Anfallort aufgestellt und befüllt werden. Ist der Big Bag befüllt, kann die Abholung online angefordert werden. Der Fokus dieses Systems liegt bisher auf der Sammlung und Abholung von Bauschutt - eine Befüllung mit Gips ist nicht vorgesehen und wird explizit ausgeschlossen. Das System „Der Sack“ ist in Deutschland noch nicht flächendeckend verfügbar. Die Sammelgebiete beschränken sich insbesondere auf Norddeutschland, Berlin, Mitteldeutschland mit der Region Südharz und Süddeutschland. Die Kosten für die Abholung sind im Preis des Big Bags enthalten. Je nach Region liegen die Kosten für einen Big Bag zwischen ca. 115 € und 200 € (brutto). In der Region Südharz kostet ein Big Bag 120 € (brutto).³⁶ Die Entsorgung der Gipsabfälle würde somit bei einem angenommenen Schüttdichte von 400 kg/m³ bei „Der Sack“ 300 €/Tonne kosten.

Beispielhafte Gegenüberstellung der Entsorgungskosten (EK) für Gipsabfälle von „Der Sack“ und...

1. Entsorgung des Gipsabfalls im Abfallwirtschaftszentrum des Landkreises (LK) Nordhausen

- (1) EK für gipshaltige Abfälle ohne Störstoffe (AVV-Nr. 101206, 170802): 115 €/Tonne³⁷
- (2) EK für gipshaltige Abfälle mit Störstoffen (AVV-Nr. 100105, 170802): 170 €/Tonne³⁷
- Schüttdichte von Gipsformen (angenommen): 400 kg/m³
- Preis pro m³ (1): 46 €/m³
- Preis pro m³ (2): 68 €/m³

Unter der Annahme, dass das System „Der Sack“ die Abholung von Gips ermöglicht, wären die Entsorgungskosten um mind. 75 % höher als die Entsorgungskosten im Abfallwirtschaftszentrum des LK Nordhausen bei Anlieferung der Abfälle.

2. Entsorgung über die Restmülltonne im LK Nordhausen

- Grundgebühr Restmülltonne (60 Liter) inkl. Behältergebühr: ca. 60 € pro Jahr³⁸
- Grundgebühr Restmülltonne (240 Liter) inkl. Behältergebühr: ca. 223 € pro Jahr³⁸
- Differenz aufgrund größeren Volumens: 163 € pro Jahr
- Angenommene monatliche Gipsabfallmasse: 75 kg ($\cong$ ca. 0,19 m³)
- Abfuhrgebühr pro Liter: 0,046 €/l³⁷ (= 46 €/m³)
- Abfuhrgebühr pro Kilogramm (Schüttdichte = 400 kg/m³): 0,115 €/kg

Bei 75 kg Gipsabfällen pro Monat und einem Preis von 0,115 €/kg belaufen sich die jährlichen Entsorgungsgebühren auf ca. 104 € zzgl. der höheren Behältergebühr von 163 € pro Jahr → Die Entsorgung von 900 kg Gipsabfällen über die Restmülltonne kostet 267 € pro Jahr ($\cong$ 297 €/Tonne) und würde somit den Kosten von „Der Sack“ entsprechen. Im Gegensatz zu Gipsabfällen, die über die Restmülltonne entsorgt werden, können sortenreine Gipsabfälle bei getrennter Sammlung einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Da die Big Bags keine Belüftung des Materials zulassen, ist eine Befüllung mit ausschließlich trockenen Gipsabfällen erforderlich, da es sonst zu starker Schimmelbildung kommen kann.

³⁶ (vgl. OTTO DÖRNER Entsorgung GmbH, 2024)

³⁷ (Landratsamt Nordhausen, 2024)

³⁸ (Abfallwirtschaftszentrum Landkreis Nordhausen, 2024)

1.5 Zusammenfassung und Fazit

Die Sammlung und Verwertung bisher ungenutzter Gipsabfälle stellt ein Potenzial zur langfristigen Steigerung der Recyclinggipsmengen in Deutschland dar. Insbesondere in den Bereichen Dentalindustrie und Orthopädie konnte bei der Befragung im Rahmen der Primärdatenanalyse eine hohe Kooperationsbereitschaft festgestellt werden. Auch die chemischen Analysen bestätigten eine gute Qualität der Formgipse aus dem verarbeitenden Gewerbe. Ein limitierender Faktor, der bei der Verwendung von Formgipsabfällen auftreten kann, ist die Zugabe von Additiven. Dies zeigte sich beispielsweise bei der Untersuchung von Formgipsen aus der Feinkeramikherstellung. Das aufbereitete Bindemittel wies ein stark hygroskopisches Verhalten, was sich sehr negativ auf die Verarbeitbarkeit auswirkte.

Aufgrund der hohen Kooperationsbereitschaft, der hohen Qualität und des geringen Störstoffanteils der Gipsabfälle wurde der Stoffstrom der Gipsabfälle aus der Orthopädie für den Praxistest ausgewählt. Da im Rahmen der Aufbereitungsversuche kein geeignetes Verfahren zur Abtrennung des Minerals Vermiculit, das den Gipsformen in der Orthopädie teilweise zugesetzt wird, gefunden werden konnte, beschränkte sich der Praxistest auf vermiculitfreie Gipsabfälle.

Im Zuge der Projektbearbeitung rückte zunehmend der Stoffstrom Sanitärgipse in den Fokus. Formgipse aus der Sanitärkeramikherstellung fallen u.a. bei der Produktion von Wasch- und Toilettenbecken an. Aufgrund der Produktionsweise enthalten die Gipsabfälle neben metallischen Verunreinigungen in Form von Armierungsstählen auch eine Vielzahl unterschiedlicher Kunststoffe auf. Im Rahmen der Untersuchung der Recyclingfähigkeit und Bindemittelqualität wurde bei den Projektpartnern Saint-Gobain Formula (SGF) und der Hochschule Nordhausen (HSN) ein Großversuch mit einer Menge von 11 Tonnen Sanitärgipsabfällen durchgeführt. Die Grobzerkleinerung und Kalzinierung erfolgte bei SGF, während die Trocknung, Aufschlusszerkleinerung und Störstoffentfrachtung erfolgreich im ThiWert der Hochschule Nordhausen durchgeführt wurde.

Formgipse können dazu beitragen, die durch den Wegfall des REA-Gipses bedingte Gipslücke zu reduzieren. Sie zeichnen sich durch eine hohe Qualität, eine überwiegend geringe Störstoffbelastung sowie eine gute Recyclebarkeit aus. Ein höheres Mengenpotenzial zeigt sich jedoch bei den Bauabfällen auf Gipsbasis. Die Gewerbeabfallverordnung fordert zwar eine getrennte Erfassung von Gipsabfällen, jedoch keine Trennung von recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Gipsabfallfraktionen. Diesbezüglich könnten finanzielle Anreize, beispielsweise in Form geringerer Entsorgungspreise für recyclingfähige Gipsabfälle, zu einer Erhöhung der Recyclingquoten von Gipsabfällen aus dem Bausektor führen.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die bereitgestellten Fördergelder wurden von der Hochschule Nordhausen für folgende Positionen verwendet. Aus dem Gesamtfinanzierungsplan des Änderungsbescheides vom 06.10.2022 ergeben sich wie folgt (Summe lt. GFP):

Position	Summe lt. GFP	tatsächlich entstandene Kosten
0812 Beschäftigte E12-E15	252.603,83 €	227.634,75 €
0817 Beschäftigte E1-E11	13.560,00 €	-
0820 Lohnempfänger(innen) / Sonstige	-	-
0822 Beschäftigungsentgelte	23.914,42 €	16.971,20 €
0831 Gegenstände bis 800/410/400 €	2.900,00 €	2.573,91 €
0834 Mieten und Rechnerkosten	-	-
0835 Vergabe von Aufträgen	23.250,00 €	25.441,37 €
0843 Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	22.173,27 €	10.430,84 €
0846 Dienstreisen	5.228,64 €	3.598,94 €
0850 Gegenstände >800/410/400 €	3.400,00 €	2.646,16 €
0861 Gesamtausgaben	347.030,16	289.297,17
0864 Bundesmittel	347.030,16	289.297,17
0865 Projektpauschale	69.406,04	57.859,43

Verwendete Zuwendung: 0812 – Beschäftigte E12 – E15
Erfüllung: vollumfänglich (innerhalb der 20%-Grenze)

Verwendete Zuwendung: 0817 – Beschäftigte E1 – E11
Erfüllung: nicht vollumfänglich
Begründung: Es wurde kein technischer MA, wie geplant für die Durchführung der Aufbereitungsversuche eingestellt. Diese Position wurde im Projekt eingespart.

Verwendete Zuwendung: 0822 – Beschäftigungsentgelte
Erfüllung: nicht vollumfänglich
Begründung: Aufgrund personeller Engpässe konnte keine studentische/wissenschaftliche Hilfskraft über den geplanten Zeitraum beschäftigt werden.

Verwendete Zuwendung: 0831 – Gegenstände bis 800/410/400 €
Erfüllung: vollumfänglich (innerhalb der 20%-Grenze)

Verwendete Zuwendung: 0835 – Vergabe von Aufträgen
Erfüllung: vollumfänglich (innerhalb der 20%-Grenze)

Verwendete Zuwendung: 0843 – Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben
Erfüllung: nicht vollumfänglich
Begründung: Aufgrund des reduzierten Umfangs des Praxistests wurde weniger Infrastruktur für die Sammlung benötigt. Zudem erfolgte die Befragung im AP 1 online, so dass die geplanten Kosten für Geschäftsbedarf und Portokosten eingespart wurden.

Verwendete Zuwendung: 0846 – Dienstreisen

Erfüllung: nicht vollumfänglich

Begründung: Aufgrund der Pandemie war die Reisetätigkeit 2021 und 2022 deutlich eingeschränkt, wodurch Reisekosten eingespart werden konnten.

Verwendete Zuwendung: 0846 – Gegenstände >800/410/400 €

Erfüllung: nicht vollumfänglich

Begründung: Der Preis für das Thermostat war niedriger als bei der Marktrecherche im Rahmen der Projektbeantragung ermittelt.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Personal- und Sachausgaben, die im Rahmen des Vorhabens WIR!-Bündnis "Rückführung sulfathaltiger Stoffströme" getätigt wurden, sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen. Erforderlichen Änderungen in der Arbeitsplanung sowie der Finanzplanung (Aufstockung) wurden seitens des Fördermittelgebers zugestimmt und entsprechend umgesetzt.

4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft dient nicht nur der Wertschöpfung, sondern ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen erforderlich, um den Rohstoff Gips möglichst umfassend zu recyceln und in neue Produktionskreisläufe zu überführen. Durch die Förderung konnte das an der Hochschule Nordhausen vorhandene Know-how im Bereich der Aufbereitung mineralischer Abfälle, deren Analyse und Verwertung deutlich ausgebaut werden und wird zukünftig u.a. in die Lehre integriert werden. Zudem konnten Erfahrungen im Bereich der Mobilisierung von Abfallströmen sowie erste Ergebnisse der Stoffstromanalyse in die Beantragung des Folgeprojektes „MobilGips - Mobilisierung von Gipsabfällen am Beispiel der Dentaltechnik und gipshaltiger Bauabfallkleinmengen privater Haushalte“ einfließen.

Da das Vorhaben an der HSN im nicht wirtschaftlichen Bereich angesiedelt war, stand die wissenschaftliche Verwertbarkeit der Projektergebnisse im Vordergrund. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Lösungsansätze zur Steigerung der Rückführungsquoten bisher nicht bzw. nur unzureichend genutzter Gipsabfälle entwickelt. Das Projekt bringt durch die Verwertung der erzielten Projektergebnisse einen Mehrwert sowohl für das beteiligte Unternehmen als auch das Bündnis.

5 Darstellung während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind während der Durchführung des Vorhabens keine relevanten Fortschritte auf dem Gebiet des Gipsrecyclings bei anderen Stellen bekannt geworden.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses nach Nr. 5

Im Rahmen des Projektes sind diverse Veröffentlichungen erfolgt sowie weitere geplant. Die Zwischenergebnisse wurden regelmäßig bei Bündnistreffen vorgestellt und mit Experten diskutiert.

Erfolgte Veröffentlichung:

Schmidt, K.; Eichhorn, S.; Henning-Jacob, J.; Samtleben, J.; Ruff, A.: Gipsrohstoffquellen – Innovative Forschungsansätze im Gipsrecycling, AT Minerals (Volume 63), 04/2022, S. 58 – 65

Eichhorn, Simon: Die Projekte Rückführung von Gipsabfallstoffströmen - Identifizierung und Bewertung anfallender Gipsabfälle, Leoben AT, 11.11.2022

Eichhorn, S.; Schmidt, K.; Ruff, A.: Rückführung von Gipsabfallstoffströmen - Identifizierung und Bewertung anfallender Gipsabfälle. Konferenzband zur 16. Recy & DepoTech-Konferenz, Montanuniversität Leoben, Österreich 09. - 11. November 2022, S. 699 - 704 und 847. Leoben (Österreich): Eigenverlag Abfallverwertungstechnik & Abfallwirtschaft Montanuniversität Leoben, 2022

Weitere lokale Veröffentlichung erfolgten im Rahmen der Vorbereitung der Umfrage (Primärdatenanalyse).

Geplante Veröffentlichung:

2024 ist die Veröffentlichung eines Artikels von der HSN und SGF in der Zeitschrift „ZKG International“ und/oder „AT Minerals“ zur Aufbereitung von Sanitärgipsabfällen im industriellen Maßstab geplant.

7 Literaturverzeichnis

- Abfallwirtschaftszentrum Landkreis Nordhausen. (2024). *Abfallentsorgungsgebühren für Gewerbetreibende*. Von <https://abfall-nordhausen.de/gebuehren/> abgerufen
- Austrian Centre of industrial Biotechnology. (Januar 2019). *Schlüssel zur Zitronensäureproduktion*. Von Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH: https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/strukturprogramme/COMET/Success_Stories_K2_DE/20190510_ACIB_SuccessStory_DE_Zitronensaure.pdf abgerufen
- Buchert, M., Sutter, J., Alwast, H., Schütz, N., & Weimann, K. (April 2017). *Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten*. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-04-24_texte_33-2017_gipsrecycling.pdf abgerufen
- Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (06 2020). *Recyclinggips (RC-Gips), Erstprüfung für Recyclinganlagen, Qualitätsmanagement, Qualitätsempfehlungen und Analyseverfahren*. Von https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/aktuelles/Qualitaetsempfehlungen_Gipsrecycling_Analyseverfahren_Stand_Juni_2020.pdf abgerufen
- ColorLite GmbH. (kein Datum). Bedienungsanleitung Spektrophotometer sph870.
- Coninx, S., Feinhals, J., & Stümpel, J. (2021). *Gutachten. Anwendung von Phosphorgips als Ersatz für den zukünftigen Entfall von REA-Gips und Naturgips*. DMT GmbH & Co. KG, Hamburg.
- EnBuasa. (05. 02 2020). *Kohleausstieg sorgt für Knappheit bei Gips*. Von <https://www.enbasa.de/daemmung/aktuelles/artikel/kohleausstieg-sorgt-fuer-knappheit-bei-gips-6848.html> abgerufen
- European Chemical Industry Council. (März 2015). *EUROFLUOR - European Technical Committee for Fluorine*. Von https://www.cup.lmu.de/ac/kornath/site/assets/files/1076/eurofluor_hf.pdf abgerufen
- Federal Environmental Agency. (Juni 2001). *Umweltbundesamt*. Von Large Volume Solid Inorganic Chemicals: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3225.pdf> abgerufen
- GC GRUPPE ÖSTERREICH. (26. 9 2023). *Blick hinter die Kulissen: So entsteht Badkeramik (2017)*. Von <https://www.elements-show.at/blog/bad/blick-hinter-die-kulissen-so-entsteht-badkeramik> abgerufen
- Gentzmann, M. (September 2023). *Titan, Informationen zur Nachhaltigkeit*. (B. f. (BGR), Herausgeber) Abgerufen am 2024 von https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/Titan.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- IHK Mittlerer Niederrhein. (kein Datum). *Abfalltransporte: Anzeigepflicht und Fahrzeugkennzeichnung*. Von <https://mittlerer-niederrhein.ihk.de/de/energie-und-umwelt/umwelt/kreislaufwirtschaft/abfalltransporte.html> abgerufen
- Klasse 4 Dental GmbH. (04 2014). *So einfach funktioniert Gipsrecycling mit Klasse 4!* Von https://www.klasse4.eu/shopware/media/pdf/infoblatt_recycling_010414.pdf abgerufen

- Kuß, A., Wildner, R., & Kreis, H. (2017). *Marktforschung, Datenerhebung und Datenanalyse*. Berlin/Nürnberg: Springer Gabler.
- Landratsamt Nordhausen. (09. Februar 2024). *Satzung über Erhebung von Gebühren für die Anlieferung und gemeinwohlverträgliche Bewirtschaftung von Abfällen auf dem Abfallwirtschaftszentrum Nentzelsrode des Landkreises Nordhausen*. Von https://abfall-nordhausen.de/wp-content/uploads/2024/02/2.-Aenderungssatzung_-Lesefassung-mit-Unterschrift_09.02.24.pdf abgerufen
- LINETECHNOLOGY GmbH. (24. 05 2023). *WIRBELSTROMSCHEIDER*. Von <https://www.line-technology.com/pp/eddy/#modul-2> abgerufen
- M. Spenle GmbH. (2023). *Fertigung nach Abformung*. Von <https://spenle.de/de/fertigung.html> abgerufen
- Magureau, G., & Gutmann, F. (1989). *Deutschland Patentnr. EP0151470B1*. Von <https://patentimages.storage.googleapis.com/3f/f0/ab/66bb6ecd1287b6/EP0151470B1.pdf> abgerufen
- MEGABAD.LIVING Das Online Magazin. (06. 04 2017). *So entsteht Ihre Badkeramik*. Abgerufen am 09 2023 von <https://www.megabad.com/magazin/ratgeber/badezimmer/sanitaerkeramik-herstellung/>
- MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH. (kein Datum). *MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH - Annahmekriterien*. Von <https://mueg.de/leistungen/gipsrecycling#entry-445> abgerufen
- Neroth, G. (2011). *Wendehorst Baustoffkunde*. (D. Vollenschaar, Hrsg.) Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- OTTO DÖRNER Entsorgung GmbH. (2024). *Der Sack*. Von <https://www.der-sack.de/> abgerufen
- Reinhardt, H.-J. (2020). *Gips im Landkreis Nordhausen, Entstehung, Abbau, Verarbeitung, Anwendung und Renaturierung*. Norderstedt: BoD _ Books on Demand.
- Riemann, R. (14. 06 2021). Entwicklung eines Konzepts zur Durchführung und Auswertung einer Stoffstromanalyse für gipshaltige Stoffe in der Region Südharz. Dresden.
- SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH. (20. 02 2024). *SILADENT GipsCycle: Weil natürliche Rohstoffe wertvoll sind*. Von <https://dentalwelt.spitta.de/dentalbranche/siladent-gipscycle-weil-natuerliche-rohstoffe-wertvoll-sind/> abgerufen
- Stranzl, C. S. (2007). *Vergleichende Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung von Rauchgasentschwefelungsgips, Chemiegips und Naturgips/Anhydrit von Spišská Nová Ves*. Diplomarbeit, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysi, Leoben.
- Umweltbundesamt. (15. Mai 2019). *Gips - Factsheet*. Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_gips_fi_barrierefrei.pdf abgerufen
- Verband der Mineralfarben Industrie. (kein Datum). *Titandioxid*. Von <https://vdmi.de/de/produkte/pigmente-und-fuellstoffe/titandioxid/> abgerufen
- VGB PowerTech e.V. (Dezember 2008). Merkblatt „Analyse von REA-Gips“, VGB-M 701. Essen.
- Wagner Magnete GmbH & Co. KG Spann- und Umwelttechnik. (19. 01 2023). *NE-Metallscheider*. Von <https://www.wagner-magnete.de/index.php5?idx=208&sub=3&lang=de> abgerufen

Wenger, W. (2009). *Multikriterielle Tourenplanung*. Hohenheim: Gabler, GWV Fachverlage GmbH.

Winnacker, K., Küchler, L., & Dittmeyer, R. (2004). *Chemische Technik: Prozesse und Produkte* (Bd. 7 (Industrieprodukte)). Weinheim: Wiley-VCH.

8 Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Standardisierter Online-Fragebogen.....	V
Anhang 2: Schematischer Ablauf des kompletten Fragebogens.....	XXI
Anhang 3: Hochrechnung am Beispiel Orthopädischer Gipse:	XXII
Anhang 4: Aufbereitungsschema Sanitärgipse.....	XXIII
Anhang 5: Separierte Störstoffanteile im Sanitärgips	XXIV
Anhang 6: Vor- und Nachteile von drei Separierungsmethoden von recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Baustoffen auf Gipsbasis.....	XXV
Anhang 7: Farbmessung mittels Spektralphotometer	XXVI
Anhang 8: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse der chemischen Analysen diverser Gipsabfälle XXVII	
Anhang 9: Tourenplanungsprogramme	XXX

Anhang 1: Standardisierter Online-Fragebogen



Seite 01

Mail

Wir, die Projektpartner im Forschungsvorhaben „Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“, die Hochschule Nordhausen, die Saint-Gobain Formula GmbH und das Bauunternehmen Henning GmbH, möchten uns schon im Voraus ganz herzlich bei Ihnen für die Teilnahme an der Umfrage bedanken.

Durch Ihre Mithilfe können wir gemeinsam die Grundlage schaffen, die Region ein Stück nachhaltiger zu machen und die schützenswerte Karstlandschaft des Südharz zu erhalten.

Das Ausfüllen des Fragebogens dauert ca. 15 Minuten.

Die Befragung können Sie an jeder beliebigen Stelle durch Drücken des Buttons "Befragung unterbrechen" pausieren und später fortsetzen.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. (FH) Katrin Schmidt
E-Mail: Katrin.Schmidt@hs-nordhausen.de
Tel.: 03631/420-731

Weitere Informationen zum Projekt „Rückführung sulfathaltiger Stoffströme“ finden Sie unter:

[Projektinformationen](#)
[Forschungszentrum](#)

Das Projekt wird im Förderprogramm „WIR! - Wandel durch Innovation in der Region“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennzeichen 03WIR0306) und steht unter der Leitung von Frau Prof. Arianne Ruff (Hochschule Nordhausen).

Datenschutzerklärung:

Die Befragung, Auswertung sowie die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgen vollständig anonymisiert und nur im Rahmen des Projektes. Ein Rückschluss auf Ihr Unternehmen ist zu keinem Zeitpunkt möglich. Alle Angaben werden vertraulich behandelt, nicht an Dritte weitergegeben und nur für Forschungszwecke verwendet. Nach Abschluss des Projekts werden die erhobenen Daten gelöscht.

1. Bitte geben Sie den Namen und die Adresse Ihres Betriebs am Standort an.

Name des Unternehmens	
Straße, Hausnr.	
Postleitzahl	
Ort	

2. In welchem Tätigkeitsfeld agiert Ihr Betrieb am Standort?

- ☐ Baugewerbe (Neubau, Modernisierung)
- ☐ Abriss/ Rückbau
- ☐ Entsorgung
- ☐ Zahnmedizin
- ☐ Medizin
- ☐ Orthopädie
- ☐ Keramikindustrie
- ☐ Kulissenbau
- ☐ Architektur
- ☐ Reifenherstellung
- ☐ Metallgießerei
- ☐ Archäologie
- ☐ Rauchgasreinigung
- ☐ Chemische Industrie
- ☐ Kalibergbau
- ☐ Deponierung
- ☐ Aufbereitung
- ☐ Sonstige:

3. Wie viele Mitarbeiter sind in Ihrem Betrieb am Standort beschäftigt?

- ☐ < 10
- ☐ 10 – 49
- ☐ 50 – 249
- ☐ > 249

Seite 03**4. Kauft Ihr Betrieb Gipse bzw. gipshaltige Güter ein?**

Der Begriff Gipse bezieht sich in diesem Zusammenhang auf alle Calciumsulfat-Phasen.

- ☐ Ja.
☐ Nein.
☐ Ich weiß nicht.

Seite 04**5. Wie hoch ist das jährliche Einkaufsvolumen an Gipsen in Ihrem Betrieb am Standort?**

Der Begriff Gipse bezieht sich in diesem Zusammenhang auf alle Calciumsulfat-Phasen.
Wenn Sie keine genauen Daten vorliegen haben, schätzen Sie bitte.

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
Bitte tragen Sie hier die Gesamtmenge [t] ein.
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.
Bitte schätzen Sie die Gesamtmenge [t].

Seite 05**6. Fallen in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle gipshaltige Abfälle an? Transportieren oder entsorgen Sie gipshaltige Abfälle?**

- ☐ Ja.
☐ Nein.

Seite 06

Art Menge

7. Welche Arten von Gipsabfällen fallen bei Ihnen im Betrieb am Standort überwiegend an?

Hinter der einzelnen Abfallart steht in Klammern die zugehörige Abfallschlüsselnummer.

- ☐ Baustoffe auf Gipsbasis (AVV 17 08 02)
☐ Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (AVV 17 09 04)
☐ Verworfenen Formen aus Gips (AVV 10 12 06, 10 12 08)
☐ Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen, z. B. Verschnitt von Gipskartonplatten, Fehlchargen (AVV 10 13 99)a
☐ Vorbehandelte Gipsabfälle (AVV 19 12 09)
☐ Reaktionsabfälle auf Calziumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen, feste Form und Schlamm (AVV 10 01 05, 10 01 07)
☐ Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden, z. B. Dentalgipse aus der Zahnmedizin, Gipsverbände (AVV 18 01 04)
☐ Sonstige:

8. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an Baustoffen auf Gipsbasis (AVV 17 08 02) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

9. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an gemischten Bau- und Abbruchabfällen (AVV 17 09 04) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

10. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an verworfenen Formen aus Gips (AVV 10 12 06, 10 12 08) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

11. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an Abfällen aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen, z. B. Verschnitt von Gipskartonplatten, Fehlchargen (AVV 10 13 99) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

12. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an vorbehandelten Gipsabfällen (AVV 19 12 09) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

13. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an Reaktionsabfällen auf Calciumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen, in fester Form und Schlamm (AVV 10 01 05, 10 01 07) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

14. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an Abfällen, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden, z. B. Dentalgipse aus der Zahnmedizin, Gipsverbände (AVV 18 01 04) in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

15. Wie hoch ist die jährlich anfallende Gesamtmenge an sonstigen Gipsabfällen in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle?

- ☐ Die jährliche Gesamtmenge [t] beträgt:
- ☐ Es liegen keine genauen Daten vor.

Seite 08

16. Können Sie abschätzen, wie sich die Mengen Ihrer gipshaltigen Abfälle in den nächsten fünf Jahren entwickeln?

- | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☒ | ☐ |
| Die Menge
wird stark
abnehmen. | Die Menge
wird
abnehmen. | Die Menge
bleibt nahezu
konstant. | Die Menge
wird sich
erhöhen. | Die Menge
wird sich
stark
erhöhen. | Ich weiß nicht. |

17. Welche Entsorgungs- bzw. Verwertungswege für die Gipsabfälle werden aktuell in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle genutzt?

Mehrfachnennung möglich.

- ☐ Entsorgung über einen Containerdienst (gemischter Bauabfall)
☐ Entsorgung über einen Containerdienst (sortenreiner Gipsabfall)
☐ Wiederverwendung
☐ Deponierung
☐ Thermische Verwertung
☐ Entsorgung über einen Wertstoffhof
☐ Entsorgung über Restmüll (schwarze Tonne)
☐ Stoffliche Verwertung am Standort (Recycling)
☐ Stoffliche Verwertung im Ausland
☐ Stoffliche Verwertung durch externe Aufbereitung im Konzern
☐ Stoffliche Verwertung im Inland (z. B. Recyclinganlage MUEG)

Sonstige:

Bitte hier nennen.

18. Wie viel Prozent Ihrer Gipsabfälle werden dem jeweiligen Entsorgungs- bzw. Verwertungsweg zugeführt?

	0	100
Entsorgung über einen Containerdienst (sortenreiner Gipsabfall)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Deponierung	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Entsorgung über einen Containerdienst (gemischter Bauabfall)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Stoffliche Verwertung am Standort (Recycling)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Stoffliche Verwertung im Inland (z. B. Recyclinganlage MUEG)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Wiederverwendung	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Stoffliche Verwertung im Ausland	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Thermische Verwertung	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Entsorgung über einen Wertstoffhof	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Stoffliche Verwertung durch externe Aufbereitung im Konzern	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Entsorgung über Restmüll (schwarze Tonne)	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
Sonstige:	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	

19. Werden bei Ihnen im Betrieb am Standort Gipsabfälle aus externer Quelle zum Recycling bzw. zur Wiederaufbereitung angenommen?

☐ Ja.

☐ Nein.

☐ Ich weiß nicht.

20. Wie werden Ihre Gipsabfälle vor der Entsorgung bzw. Verwertung behandelt?

Mehrfachnennung möglich.

- ☐ Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.
- ☐ Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.
- ☐ Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.
- ☐ Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.

☐ Sonstiges:

Sonstige

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

21. Wie werden Ihre Gipsabfälle vor der Entsorgung bzw. Verwertung behandelt? Mehrfachnennung möglich.

Sonstige

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Baustoffe auf Gipsbasis

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Verwerfene Formen aus Gips

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Vorbehandelte Gipsabfälle

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Reaktionsabfälle auf Calziumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden

Die Gipsabfälle werden am Anfallort getrennt gesammelt.	Die Gipsabfälle werden nicht getrennt gesammelt.	Aus dem Gipsabfall werden Störstoffe und Fremdkörper aussortiert.	Der Gips wird aus dem restlichen Abfall händisch aussortiert.	Sonstiges	<i>Ich weiß nicht.</i>
---	--	---	---	-----------	------------------------

22. Wie hoch ist der geschätzte Feuchtegehalt der Gipsabfälle?

	< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	> 20%	Ich weiß nicht.
Baustoffe auf Gipsbasis (AVV 17 08 02)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (AVV 17 09 04)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Verworfenen Formen aus Gips (AVV 10 12 06, 10 12 08)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen, z. B. Verschnitt von Gipskartonplatten, Fehlchargen (AVV 10 13 99)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vorbehandelte Gipsabfälle (AVV 19 12 09)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Reaktionsabfälle auf Calciumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen, feste Form und Schlamm (AVV 10 01 05, 10 01 07)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden, z. B. Dentalgipse aus der Zahnmedizin, Gipsverbände (AVV 18 01 04)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sonstige	☐	☐	☐	☐	☐	☐

23. Wie hoch ist der geschätzte Feuchtegehalt der Gipsabfälle?

☐ < 1%
 ☐ 1 – 5%
 ☐ 6 – 10%
 ☐ 11 – 20%
 ☐ > 20%
 |
 ☐ Ich weiß nicht.

24. Wie werden die gipshaltigen Abfälle gelagert?

Mehrfachnennung möglich.

- ☐ Im Trockenen, in einer Halle
☐ Unter freiem Himmel, abgedeckt oder unter einer Überdachung
☐ Unter freiem Himmel, nicht abgedeckt
☐ Sonstiges:

☐ Ich weiß nicht.

25. Welche der folgenden Materialien sind im Gipsabfall enthalten bzw. haften ihm an?

Mehrfachnennung möglich.

Baustoffe auf Gipsbasis

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Verworfenne Formen aus Gips

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Vorbehandelte Gipsabfälle

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Reaktionsabfälle auf Calziumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

Sonstige

Dämm- stoffe	Fliesen, Tapeten, Putze	Glasfasern	Holz, Papier	Kunststoffe	Metalle	minera- lische Füllstoffe	Sonstiges	Keine Materialien enthalten.
-----------------	-------------------------------	------------	-----------------	-------------	---------	---------------------------------	-----------	------------------------------------

26. Welche der folgenden Materialien sind im Gipsabfall enthalten bzw. haften ihm an?

Mehrfachnennung möglich.

- ☐ Dämmstoffe
☐ Fliesen, Tapeten, Putze
☐ Glasfasern
☐ Holz, Papier
☐ Kunststoffe
☐ Metalle
☐ mineralische Füllstoffe

Sonstige:

☐ Welche? Bitte hier nennen.

☐ Keine Materialien enthalten.
27. Wie hoch schätzen Sie den Gesamt-Anteil o.g. Materialien am gipshaltigen Abfall ein?

Baustoffe auf Gipsbasis

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Gemischte Bau- und Abbruchabfälle

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Verworfenne Formen aus Gips

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Vorbehandelte Gipsabfälle

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Reaktionsabfälle auf Calziumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

Sonstige

< 1%	1 – 5%	6 – 10%	11 – 20%	21 – 50%	> 50%	Ich weiß nicht.	Es sind keine Materialien enthalten.
------	--------	---------	----------	----------	-------	-----------------	--------------------------------------

28. Wie hoch ist der geschätzte Feuchtegehalt der Gipsabfälle?

☐ < 1%
 ☐ 1 – 5%
 ☐ 6 – 10%
 ☐ 11 – 20%
 ☐ 21 – 50%
 ☐ > 50%
 |
 ☐ Ich weiß nicht.

Seite 13

Gefahrstoffe

29. Welche der folgenden gefährlichen Inhaltsstoffe bzw. Verunreinigungen können in Ihren gipshaltigen Abfällen enthalten sein?

Mehrfachnennung möglich.

Baustoffe auf Gipsbasis

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Gemischte Bau- und Abbruchabfälle**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Verworfenen Formen aus Gips**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Abfälle aus der Herstellung von Gips und ihren Erzeugnissen**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Vorbehandelte Gipsabfälle**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Reaktionsabfälle auf Calziumbasis aus Rauchgasentschwefelungsanlagen**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.**Sonstige**

Asbest

HBCD
(Flamm-
schutzmittel)PCB oder
PAKRadio-
aktivitätSchwer-
metalle

Sonstige

Es sind keine gefährlichen
Inhaltsstoffe oder
Verunreinigungen enthalten.

30. Welche der folgenden Materialien sind im Gipsabfall enthalten bzw. haften ihm an?

Mehrfachnennung möglich.

- ☐ Asbest
☐ HBCD (Flammschutzmittel)
☐ PCB oder PAK
☐ Radioaktivität
☐ Schwermetalle

☐ Sonstige:

 Welche? Bitte hier nennen.

☐ Keine Materialien enthalten.

Seite 14

31. Hat sich Ihr Unternehmen im Zuge der medialen Diskussion um den Naturgipsabbau im Südharz mit der Thematik auseinandergesetzt?

Die mediale Diskussion wurde wahrgenommen.

überhaupt
nicht

wenig

teils/teils

stark

sehr stark

Kann ich
nicht
beurteilen.

Das Unternehmen hat sich in der Vergangenheit bereits mit der Thematik auseinandergesetzt.

überhaupt
nicht

wenig

teils/teils

stark

sehr stark

Kann ich
nicht
beurteilen.

Das Unternehmen setzt sich aktuell mit der Thematik auseinander.

überhaupt
nicht

wenig

teils/teils

stark

sehr stark

Kann ich
nicht
beurteilen.

Das Unternehmen wird sich zukünftig mit der Thematik auseinandersetzen.

überhaupt
nicht

wenig

teils/teils

stark

sehr stark

Kann ich
nicht
beurteilen.**32. Welche Bedeutung misst ihr Unternehmen dem Gipsrecycling zur Reduzierung des Naturgipsabbaus bei?**
☐ sehr gering

☐ gering

☐ eher gering

☐ eher hoch

☐ hoch

☐ sehr hoch

☐ Kann ich nicht beurteilen.

Seite 15

33. Welchen der folgenden Aussagen stimmen Sie am ehesten zu?

Wählen Sie bitte die drei Aussagen aus, denen Sie am ehesten zustimmen und ordnen Sie sie der Rangfolge rechts zu, indem Sie ein Textfeld anklicken und auf eines der Felder rechts ziehen.

- | | |
|---|----------------------|
| Naturgipsabbau und Umweltschutz schließen sich nicht aus. | <input type="text"/> |
| Die Gipsindustrie als großer Arbeitgeber in der Region ist wichtiger als die Umweltschutzbedenken. | <input type="text"/> |
| Eine möglichst preiswerte Entsorgung ist am wichtigsten. | <input type="text"/> |
| Gipsabfälle sind ein wertvoller Rohstoff für unser Unternehmen. | <input type="text"/> |
| Gipsabfälle sind Ressourcen, die recycelt werden müssen. | <input type="text"/> |
| Der Rohstoff Gips ist ein preiswerter Massenrohstoff, zu dem es keine gleichwertige Alternative gibt. | <input type="text"/> |
| Es gibt qualitativ gleichwertige Baustoffalternativen zu Gips. | <input type="text"/> |
| Der Abbau von Naturgips ist umweltverträglich / nachhaltig. | <input type="text"/> |
| Gipsrecycling trägt nicht zur Reduzierung des Naturgipsabbaus bei. | <input type="text"/> |

Seite 16

34. Welche Faktoren würden dazu beitragen, ein Recycling gipshaltiger Abfälle in Ihrem Unternehmen zu erwägen?

- ☐ Erhöhte Attraktivität für Kunden und Arbeitnehmer
- ☐ Erweiterung der Geschäftsfelder
- ☐ Kostenvorteil
- ☐ Kundenanforderungen
- ☐ Staatliche Anreize (z. B. Recyclingquoten, MwSt.-Senkung)
- ☐ Umsetzung des Unternehmensleitbilds
- ☐ Umweltschutzaspekte (z. B. Reduzierung des Naturgipsabbaus)
- ☐ Verbesserung der Arbeitsabläufe
- ☐ Vorbildfunktion (in der Region/Branche)
- ☐ Es besteht kein Grund für das Recycling der Gipsabfälle.
- ☐
- ☐ Sonstige:
- ☐

Seite 17

35. Wie wahrscheinlich ist es, dass Ihr Unternehmen ein gleichwertiges Produkt aus Recyclinggips kauft oder verwendet, wenn es am Markt verfügbar ist?

- ☐ gar nicht
- ☐ unwahrscheinlich
- ☐ eher unwahrscheinlich
- ☐ teils/teils
- ☐ eher wahrscheinlich
- ☐ wahrscheinlich
- ☐ wird bereits verwendet

- ☐ Kann ich nicht beurteilen.

Seite 18

36. Gibt es in Ihrem Betrieb am Standort bzw. auf der Baustelle ein Abfallmanagement, welches für die Koordination Ihrer anfallenden Abfälle verantwortlich ist?

- ☐ Ja.
☐ Ist geplant.
☐ Nein.

☐ Ich weiß nicht.

37. Bestehen in Ihrem Unternehmen bereits (Forschungs-)aktivitäten zum Umgang mit gipshaltigen Abfällen?

- ☐ Ja.
☐ Welche? Bitte hier nennen.
☐ Nein.

Seite 19

Kooperation

38. Kommt eine Forschungsbeteiligung für Ihr Unternehmen prinzipiell infrage?

- ☐ Ja.
☐ Nein.

39. Kommt eine weitere Forschungsbeteiligung für Ihr Unternehmen infrage?

- ☐ Ja.
☐ Nein.

40. Dürfen wir im Rahmen der weiteren Projektbearbeitung zu Ihnen Kontakt aufnehmen?

- ☐ Ja.
☐ Hier können Sie einen Kontakt (E-Mail oder Telefon-Nr.) angeben.
☐ Nein.

41. Wir würden uns sehr darüber freuen, wenn Sie unsere Forschung durch Bereitstellung von Untersuchungsmaterial (Proben) für chemische und mechanische Laboruntersuchungen unterstützen würden. Wären Sie prinzipiell interessiert, uns Proben zur Verfügung zu stellen?

- ☐ Ja.
☐ Nein.

☐ Ich weiß nicht.

42. Haben Sie weitere Anmerkungen oder Fragen?

Hier haben Sie die Möglichkeit, uns diese vor Beendigung des Fragebogens mitzuteilen. Wir freuen uns über Ihr Feedback!

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wir bedanken uns ganz herzlich für Ihre Unterstützung bei der Durchführung unseres Forschungsvorhabens.

Ihre Antworten wurden gespeichert, Sie können das Browser-Fenster nun schließen.

Sie sind neugierig geworden?

Hier finden Sie weiterführende Informationen:

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. (FH) Katrin Schmidt

E-Mail-Adresse: katrin.schmidt@hs-nordhausen.de

Telefonnummer: 03631 / 420-731

Projektinformationen: <https://www.hs-nordhausen.de/forschung/thiwert/>

Forschungszentrum: <https://www.hs-nordhausen.de/forschung/thiwert/forschungsprojekte/>

Datenschutzerklärung:

Die Befragung, Auswertung sowie die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgen vollständig anonymisiert und nur im Rahmen des Projekts. Ein Rückschluss auf Ihr Unternehmen ist zu keinem Zeitpunkt möglich. Alle Angaben werden vertraulich behandelt, nicht an Dritte weitergegeben und nur für Forschungszwecke verwendet. Nach Abschluss des Projekts werden die erhobenen Daten gelöscht. Sie können selbst darüber entscheiden, ob das Unternehmen im konkreten Fall namentlich genannt wird.

[Dipl.-Ing. \(FH\) Katrin Schmidt](#), [B.A. Rebecca Riemann](#) Hochschule Nordhausen, Thüringer
Innovationszentrum für Wertstoffe

Anhang 2: Schematischer Ablauf des kompletten Fragebogens

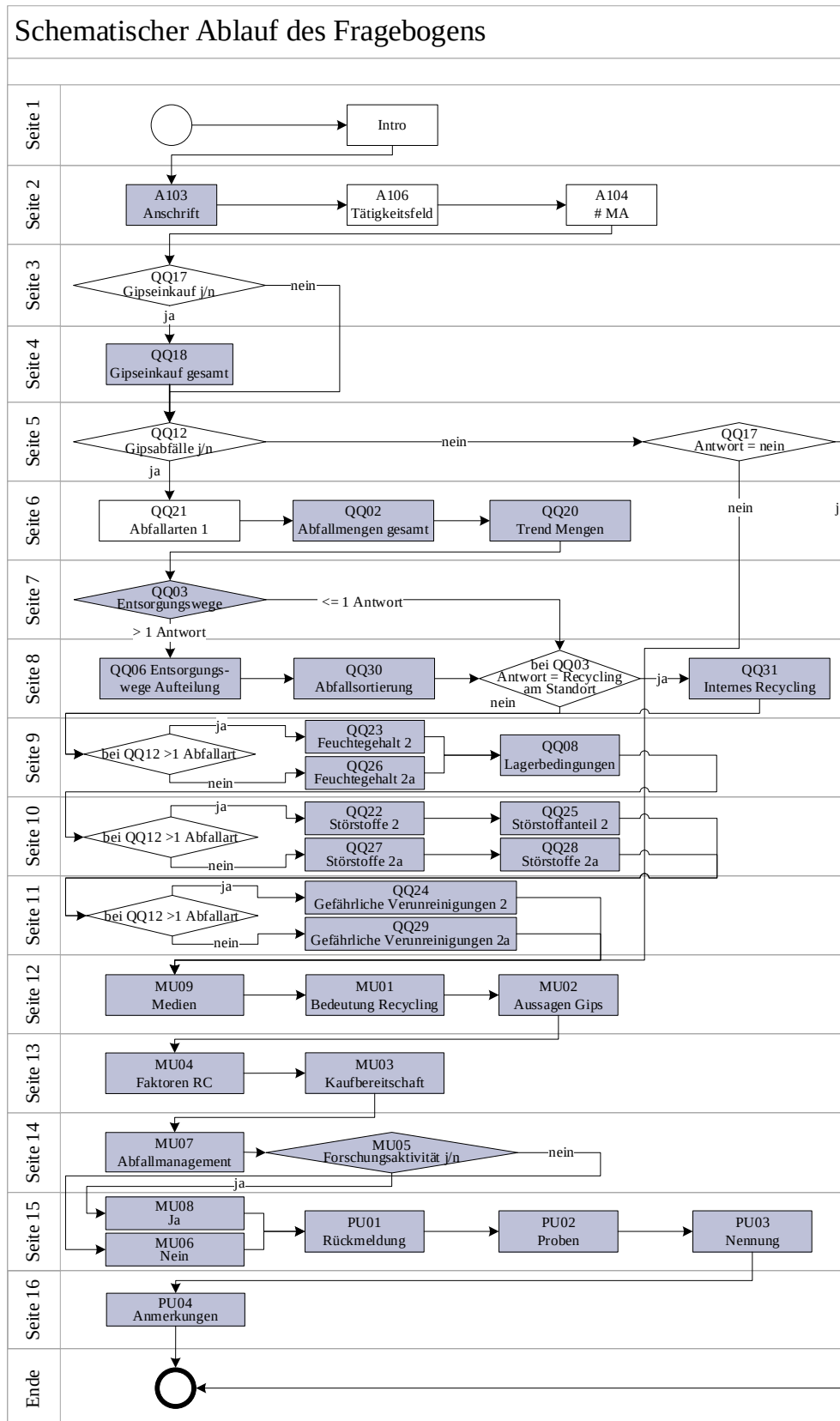


Abbildung 32: Flussdiagramm Fragebogenablauf, (entnommen aus: Masterarbeit Rebecca Riemann)

Anhang 3: Hochrechnung am Beispiel Orthopädischer Gipse:

Tabelle 10: Anzahl an Orthopädielaboren und Orthopädieschuhmachern in den Bundesländern³⁹

Bundesland	Gesamtzahl an Orthopädie-Unternehmen (Orthopädie und Orthopädieschuhmacher)	Anzahl an Beschäftigten (Orthopädie und Orthopädieschuhmacher)
Thüringen	91	2110
Schleswig-Holstein	84	2126
Sachsen-Anhalt	94	1709
Sachsen	226	3765
Saarland	64	813
Rheinland-Pfalz	139	2251
NRW	755	12814
Niedersachsen	326	6395
Mecklenburg-Vorpommern	53	1115
Hessen	228	3883
Hamburg	45	1863
Bremen	34	465
Brandenburg	74	1470
Berlin	81	2494
Bayern	590	9417
Baden-Württemberg	464	7664
Gesamtdeutschland	3348	60354

³⁹ Destatis, <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=ergebnistabelleUmfang&levelindex=3&levelid=1629205314852&downloadname=53111-0006#abreadcrumb>

Anhang 4: Aufbereitungsschema Sanitärägipse

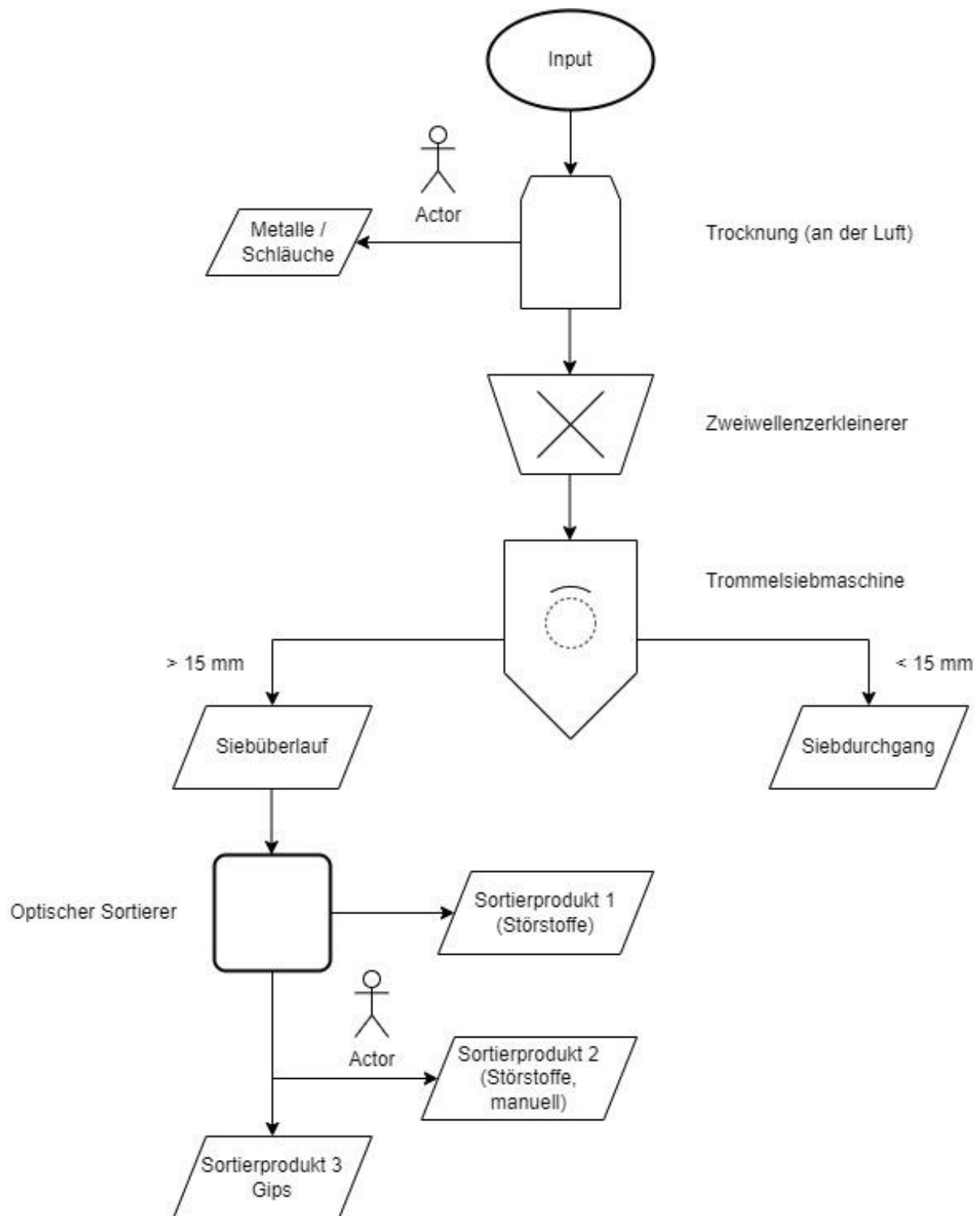


Abbildung 33: Aufbereitungsschema Sanitärägipse

Anhang 5: Separierte Störstoffanteile im Sanitärgips

Tabelle 11: Masseanteile der separierten Störstoffanteile im Sanitärgips

Störstoffart	Sortierprodukt 1 (sensorgestützte Sortierung)		Sortierprodukt 2 (manuell aussortiert)	
	Masse in g	Masse in %	Masse in g	Masse in %
Verschlüsse (blau)	6.292,1	63,0	791,0	20,7
Kunststoffrohre (schwarz)	2.686,9	26,9	304,7	8,0
Kunststoffschrauben (schwarz)	396,4	4,0	63,1	1,7
Metall	153,0	1,5	1.132,5	29,7
Laub	133,4	1,3	55,4	1,5
Stopfen (Gummi)	122,6	1,2	77,5	2,0
Div. Kunststoffe / Folien	73,9	0,7	123,7	3,2
Schlauch (transp.)	36,6	0,4	83,3	2,2
Papier	36,3	0,4	60,9	1,6
Big Bag Schlaufen	21,5	0,2	0,3	0,0
Holz	17,0	0,2	43,5	1,1
Styropor (z.T. mit Nägeln)	10,6	0,1	10,2	0,3
Mineralische Störstoffe	4,0	0,0	1.040,7	27,3
Fliesen	-	0,0	27,8	0,7
<i>Gips</i>	<i>9.163,8</i>		-	<i>0,0</i>
Gesamtmasse	9.984,3		3.814,6	

Anhang 6: Vor- und Nachteile von drei Separierungsmethoden von recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Baustoffen auf Gipsbasis

Tabelle 12: Übersicht über Vor- und Nachteile von drei Separierungsmethoden von recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Baustoffen auf Gipsbasis

	Separierung mittels Zwischenlagern auf der Baustelle	Separierung beim Transport/Containerbeladung	Nachsortierung auf Recyclinghof
Gesamtmenge Gips-Abbruchgut	Gesamtmenge des Abbruchgutes auf einzelner Baustelle muss groß genug sein ($> 7 \text{ m}^3$) um mindestens zwei Container zu füllen. Bei halbvollen Container steigen Transportkosten.	Gesamtmenge des Abbruchgutes auf einzelner Baustelle muss groß genug sein ($> 7 \text{ m}^3$) um mindestens zwei Container zu füllen. Bei halbvollen Container steigen Transportkosten.	Gesamtmenge des Abbruchgutes auf einzelner Baustelle ist irrelevant, da auf der Baustelle alles in einem Container gesammelt und abgefahren wird.
Platz im Gebäude	Zusätzlicher Platzbedarf innerhalb des Gebäudes, da mehrere Zwischenlager für recyclingfähigen und nicht recyclingfähigen Gipsabfall eingerichtet werden müssen.	Kein zusätzlicher Platzbedarf auf der Baustelle.	Kein zusätzlicher Platzbedarf auf der Baustelle.
Stellflächen für Container	1 Containerstellplatz ausreichend, da durch Zwischenlagerung des Abbruchgutes die Container nacheinander abgefahren werden können.	Mindestens 2 Containerstellflächen für Gips-Abbruchgut müssen zur Verfügung stehen, da beide Stoffströme gleichzeitig bedient werden	Nur 1 Containerstellplatz ist notwendig, da Separierung nicht auf Baustelle stattfindet.
händischer Mehraufwand	Geringer händischer Mehraufwand, da direkt bei der Abbruchtätigkeit unterschieden werden kann, ob es recyclingfähiges Material ist oder nicht und dann dem jeweiligen Zwischenlager zugeordnet werden kann.	Mäßiger händischer Mehraufwand, da nach Abbruchtätigkeit auf dem Transportweg zum Container ggf. eine Durchmischung der Stoffströme stattfinden kann. Bei der Beladung der Container erfolgt wieder händischer Sortiervorgang.	Hoher händischer Mehraufwand, da das Abbruchgut auf dem Recyclinghof durchmischt ist und erst hier bei größerem Volumen sortiert wird.
Maschineller Einsatz	Kein zusätzlicher maschineller Einsatz notwendig.	Kein zusätzlicher maschineller Einsatz notwendig.	Zusätzlicher maschineller Einsatz notwendig, da größere Mengen an durchmischem Abbruchgut mit Hilfe von einem Bagger oder Radlader verteilt werden müssen, um eine Sortierung zu ermöglichen.
Schulungsbedarf Mitarbeiter (MA)	MA auf der Baustelle müssen geschult werden, was recyclingfähiges Material ist und was nicht?	MA auf der Baustelle müssen geschult werden, was recyclingfähiges Material ist und was nicht?	MA auf dem Recyclinghof müssen geschult werden, was recyclingfähiges Material ist und was nicht? MA der Waage müssen geschult werden, um bei der Annahme von Material von Fremdfirmen oder Privatpersonen evtl. vorab Unterscheidung treffen zu können.
Platzbedarf auf Recyclinghof	Zwei separate Lagerflächen für recyclingfähiges und nicht recyclingfähiges Material erforderlich.	Zwei separate Lagerflächen für recyclingfähiges und nicht recyclingfähiges Material erforderlich.	Zwei separate Lagerflächen für recyclingfähiges und nicht recyclingfähiges Material sowie zusätzlicher Sortierplatz erforderlich.

Anhang 7: Farbmessung mittels Spektralphotometer

Tabelle 13: Farbwerte verschiedener Gipsabfälle

Gipsprobe	L*	a*	b*
Feinkeramik	84,70	0,15	3,16
Dentalgips	84,33	1,36	7,09
Dachziegelformen	84,88	0,53	2,47
Orthopädischer Gips	86,21	0,14	1,78
Orthopädischer Gips mit Vermiculit	84,56	0,37	3,19
Sanitärgips	83,48	0,83	4,01
Zitronensäuregips	86,50	0,03	0,8
Titanogips	78,97	0,33	5,01
Naturgips	82,71	0,2	1,92

Anhang 8: Vergleichende Darstellung der Ergebnisse der chemischen Analysen diverser Gipsabfälle

Tabelle 14: Ergebnisse der chemischen Analysen von Gipsabfällen_1

Einheit Bestimmungsgrenze Gipsprobe	pH-Wert	TOC Ma.-% TS 0,1	PAK mg/kg TS 0,05	Anionen aus dem wässrigen Auszug		Elemente aus dem wässrigen Auszug		
				Fluorid	Chlorid	Kalium als K ₂ O	Magnesium als MgO	Natrium als Na ₂ O
				mg/kg TS 20	mg/kg TS 1	mg/kg TS 10	mg/kg TS 10	mg/kg TS 10
Feinkeramik	7,7	0,2	< 0,05	< 20	42	342	104	198
Dentalgips	11,0	0,1	< 0,05	< 20	19	1800	< 10	377
Dachziegelformen	8,3	< 0,1	< 0,05	< 20	13	71	30	68
Orthopädischer Gips	8,6	< 0,1	< 0,05	< 20	83	30	37	30
Orthopäd.Gips mit Vermiculit	8,0	< 0,1	< 0,05	< 20	120	212	230	41
Sanitär-gips	9,2	< 0,1	< 0,05	< 20	270	77	34	982
Zitronensäuregips	4,8	< 0,1	< 0,05	< 20	16	17	12	29
Titanogips	8,0	< 0,1	< 0,05	< 20	74	14	19	166
Polygips	8,6	< 0,1	< 0,05	< 20	13	18500	7450	88
Naturgips	8,6	< 0,1	< 0,05	< 20	42	< 10	39	139

Erläuterung zu den Bestimmungsmethoden in Tabelle 14:

- pH-Wert nach VGB-M 701 Nr. 4 (2008)
- TOC nach DIN EN 15936: 2012-11
- PAK aus Originalsubstanz nach DIN EN 15527: 2008-09 (alle bestimmten Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 Mg/kg TS)
- Anionen aus dem wässrigen Auszug nach VGB-M 701 Nr. 0.2: 2008 bez. auf TS=40°C
- Elemente aus dem wässrigen Auszug nach VGB-M 701 Nr. 0.2: 2008 bez. auf TS=40°C

Tabelle 15: Ergebnisse der chemischen Analysen von Gipsabfällen_2

Element Einheit Bestimmungsgrenze Gipsprobe	Elemente aus dem Mikrowellendruckaufschluss														
	As	Be	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Se	Te	Tl	V	Zn	Hg
	mg/kg TS														
	0,8	0,2	2	0,2	1	1	1	1	1	1	1	0,2	1	1	0,07
Feinkeramik	1,4	< 0,2	4,3	< 0,2	2,5	< 1	1,5	66	1,5	< 1	< 1	< 0,2	2,5	14	< 0,07
Dentalgips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	8,9	< 1	< 1	8,6	2,0	< 1	< 1	< 0,2	< 1	97	< 0,07
Dachziegelformen	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	1,3	< 1	< 1	3,5	< 1	< 1	< 1	< 0,2	< 1	1,2	< 0,07
Orthopädischer Gips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	2,3	< 1	< 1	4,1	1,4	< 1	< 1	< 0,2	< 1	2,2	< 0,07
Orthopäd.Gips mit Vermiculit	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	13	2,0	7,9	16	7,4	< 1	< 1	< 0,2	1,0	5,3	< 0,07
Sanitäre gips	1,3	< 0,2	< 2	< 0,2	1,8	< 1	2,5	6,4	1,2	< 1	< 1	< 0,2	1,2	12	< 0,07
Zitronensäuregips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 0,2	< 1	< 1	< 0,07
Titanogips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	14	< 1	< 1	8,5	< 1	< 1	< 1	< 0,2	13	< 1	< 0,07
Polygips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	1,4	< 1	1,1	14	1,7	< 1	< 1	< 0,2	< 1	3,2	< 0,07
Naturgips	< 0,8	< 0,2	< 2	< 0,2	1,0	< 1	< 1	3,8	< 1	< 1	< 1	< 0,2	< 1	< 1,0	< 0,07

Erläuterung zu den Bestimmungsmethoden in Tabelle 15:

- Bestimmung As bis Zn: Elemente nach DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01 aus dem Mikrowellendruckaufschluss mit Königswasseraufschluss nach DIN EN 13657: 2003-01#
- Bestimmung Hg: Elemente nach DIN EN ISO 12846 (E12): 2012-08 aus dem Mikrowellendruckaufschluss mit Königswasseraufschluss nach DIN EN 13657: 2003-01#

Mikroskopische Aufnahmen von technischen Gipsen

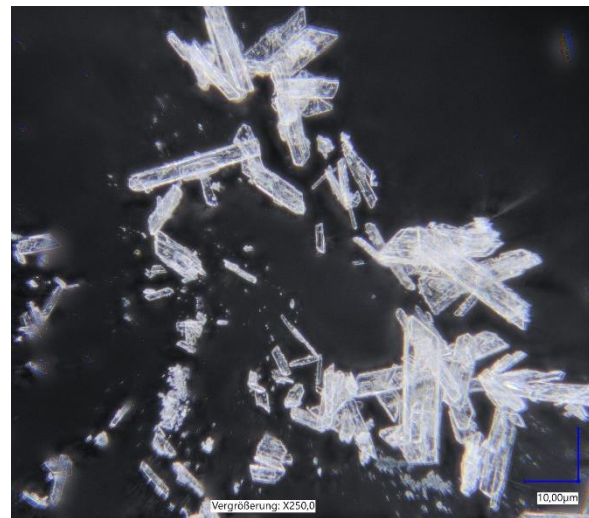


Abbildung 34: Aufnahmen von Titanogips
(Digitalmikroskop Fa. Keyence)

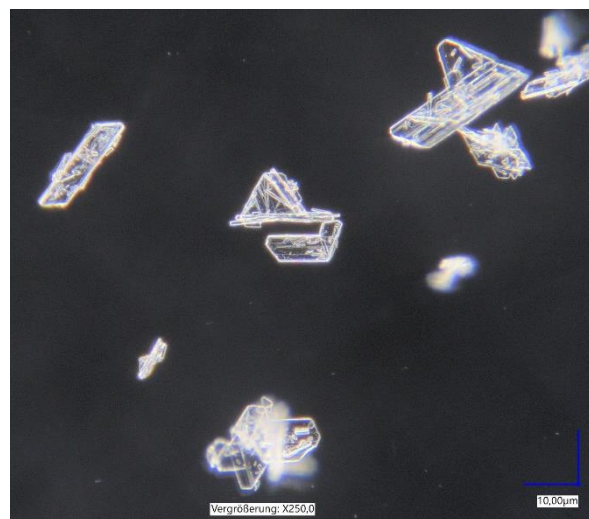


Abbildung 35: Aufnahmen von Zitronensäuregips
(Digitalmikroskop Fa. Keyence)

Anhang 9: Tourenplanungsprogramme

Getestet wurden folgende Programme:

Trackpilot von Moving Intelligence⁴⁰

Diese Software konnte als Testversion ausprobiert werden. Das Programm ist sehr komplex und bietet eine große Anzahl an Funktionen. Preise werden nur auf Anfrage bzw. nach einem Beratungstermin aufgezeigt. Folgende Nachteile zeigten sich:

- Bestehende GPS Daten werden benötigt
- Firmendaten aus Datenbank konnten nicht eingespeist werden
- Sehr hohe Komplexität durch viele Funktionen

Graphhopper

Bei dieser Software gibt es neben der Variante „Basic“ für bis zu 30 Orten und 2 Fahrzeugen auch eine Testversion. Dies bedient bis zu 5 Orte mit einem Fahrzeug und wäre somit für den Praxistest geeignet. Für die Nutzung des Programmes sind Programmierkenntnisse und Englischkenntnisse erforderlich.

Weitere Programme, die auf ihre Eignung im Praxistest geprüft wurden:

- **FLS – Fast Lean Smart⁴¹**

Dieses Programm hat einen professionellen Internetauftritt. Eine Demo-Version konnte nur im Rahmen eines Beratungssystems gebucht werden. Das Programm ist für den Praxistest nicht geeignet, da alte Tourendaten zur Optimierung neuer Tourenplanung benötigt werden.

- **Plantour (Pass Consulting Group)⁴²**

Plantour ist ein Programm, das branchenspezifische Tourenplanungs- und Tourenoptimierungssoftware anbietet. Es handelt sich um einen etablierten Anbieter deren Zielgruppe Großkunden sind. Eine Testversion stand nicht zur Verfügung.

- **PTV Group⁴³**

Dieses Tourenplanungsprogramm ist ebenfalls für Großkunden und bietet eine auf den Kunden zugeschnittene Softwarelösung. Diese Lösungen basieren auf individuellen Application Programming Interface (APIs). Eine Nutzung im Rahmen des Praxistests ist nicht zielführend.

- **CarLo – die Tourenplanungssoftware⁴⁴**
- **LiS – Logistische Informationssysteme⁴⁵**

⁴⁰ Moving Intelligence GmbH, online: <https://movingintelligence.de/tourenplanung/>

⁴¹ FLS GmbH, online: <https://fastleansmart.com/anwendungen/tourenplanung/>

⁴² PASS IT-Consulting Dipl.-Inf. G. Rienecker GmbH & Co. KG, online: <https://www.pass-consulting.com/branchen/logistik/plantour/>

⁴³ PTV Logistics GmbH, online: <https://www.myptv.com/de/logistiksoftware/tourenplanung-software-ptv-route-optimiser>

⁴⁴ Soloplan GmbH Software für Logistik und Planung, online: <https://www.soloplan.de/tms-carlo/>

⁴⁵ LIS Logistische Informationssysteme GmbH, online: <https://www.lis.eu/speditionssysteme/winsped/tourenplanung/>

- **Gts-systems⁴⁶**
- **COSware Tourenplanung⁴⁷**
- **GMS Intelligente Tourenplanung⁴⁸**
- **AEB⁴⁹**
- **geocapture⁵⁰**
- **Reteco Cargobase TMS⁵¹**
- **alepegagroupTMS⁵²**
- **mobile function⁵³**
- **opheo⁵⁴**
- **ortec-tourenplanung-software⁵⁵**
- **portatour⁵⁶**
- **AIS ALFAPLAN⁵⁷**
- **AMCS Gruoup⁵⁸**

⁴⁶ gts systems and consulting GmbH, online: <https://gts-systems.com/tourenplanung/>

⁴⁷ COS Gesellschaft für Computersysteme, Organisation und Softwareentwicklung mbH, online: <https://www.cosonline.de/cosware-von-a-bis-z/tourenplanung/>

⁴⁸ GMS Development GmbH, online: <https://www.gms-development.com/service1/tourenplanung-software/>

⁴⁹ AEB SE, online: <https://www.aeb.com/de/transport-management-software/index.php>

⁵⁰ geoCapture GmbH, online: <https://www.geocapture.de/funktionen/tourenplanung>

⁵¹ RETECO Datentechnik GmbH, online: <https://www.reteco.de/produkte/tms/>

⁵² Alpega Germany GmbH, online: <https://www.alpegagroup.com/de/tms/transportloesungen/alpega-tms/planung/>

⁵³ mobile function GmbH, online: <https://www.mobile-function.com/die-loesung/#EinsatzplanungdigitalerPlantaefel>

⁵⁴ Opheo Solutions GmbH, online: <https://www.opheo.com/dispositionsoftware/lkw-tourenplanung/>

⁵⁵ ORTEC GmbH, online: <https://ortec-tourenplanung-software.de/transport-logistik-optimierung-planung/tourenoptimierung-tourenplanung-logistik/>

⁵⁶ impactit GmbH, online: <https://www.portatour.com/Tourenplanung>

⁵⁷ AIS alfaplan GmbH, online: <https://www.ais-alfaplan.de/de/produkte/tourenplanung-tourenoptimierung>

⁵⁸ Advanced Manufacturing Control Systems Limited, online: <https://www.amcsgroup.com/de/erfolgsgeschichten/alba-gruppe/>