



WIR!-Bündnis „Gipsrecycling als Chance für den Südharz“



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

wir! Wandel durch
Innovation
in der Region



GIPSRECYCLING
CHANCE FÜR DEN SÜDHARZ

gemeinsamer Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I: Kurzbericht

VERBUNDVORHABEN

„Entwicklung eines Putzgipsmörtels auf der Basis von Recycling-Gips“

TEILVORHABEN CASEA (Projektkoordinator)

FKZ: 03WIR0309A

*TP 1: UNTERSUCHUNGEN ZUM ANFORDERUNGSPROFIL DER HERSTELLUNG, DER
AUSTAUSCH-FÄHIGKEIT DES BINDEMITELS DURCH RC-GIPSBINDEMITELE UND ZUR
ERREICHUNG DER QUALITÄTSPARAMETER VON RC-PUTZGIPSMÖRTELN ZUR ENTWICKLUNG
EINES ZUKUNFTSFÄHIGEN BAUSTOFFES NACH NORM*

TEILVORHABEN MFPA

FKZ: 03WIR0309B

*TP 2: SPEZIELLE ANALYTIK UND SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ADDITIVWIRKUNG
IN RECYCLINGGIPSBASIERTEN SYSTEMEN SOWIE SPEZIELLE BETRACHTUNGEN ÖKOLOGISCH
INDUZIERTER INNOVATIONSPOTENZIALE VON RC-GIPSPUTZEN*

Projektzeitraum 01.01.2022 bis 30.06.2024
Berichtszeitraum 01.01.2022 bis 30.06.2024

Zuwendungsempfänger

CASEA GmbH
Pontelstraße 3
99755 Ellrich
Tel: 036332/89 260

MFPA Weimar
Coudraystr. 9
99423 Weimar
Tel.: 03643 / 564 179

Ansprechpartner

Dr. Grit Losch
E-Mail: grit.losch@casea-gips.de

Ansprechpartner

Dr. Saskia Nowak
E-Mail: Saskia.nowak@mfpa.de



1. Aufgabenstellung und wissenschaftlich-technischer Stand

Es sollte ein Gipsputzmörtel unter Verwendung von Recycling-Gips entwickelt werden, der nach den konventionellen Regeln der Technik verwendet werden kann und den Qualitätsstandards und der Norm entspricht.

Wesentlich Schwerpunkte des Projektes waren:

- Rezepturenentwicklung für Putzmörtel mit unterschiedlichen Anteilen an Recycling-Gips: Hierzu gehörte die Herstellung von geeigneten RC-Bindemitteln im Labor- und kleintechnischen Maßstab, Untersuchungen zur Additivwirkung, insbesondere von Methylcellulose, sowie Anpassungen der Additivkombination zur Einstellung erforderlicher Abbinde-, Verarbeitungs- und Festkörpereigenschaften.
- Maschinelle Applikation: Hierzu mussten ausreichend große Mengen verschiedenartiger Putzmischungen unter Verwendung von RC-Gipsbindemitteln hergestellt werden. In praxisnahen Versuchen wurden Testflächen hergestellt und die Eigenschaften an der Wand mittels werkseigenen Untersuchungsmethoden beurteilt.
- Eigenschaften nach Norm: Ziel war es, die normativen Anforderungen zu erfüllen, wenngleich sich Eigenschaften wie der Wasseranspruch vom Referenzprodukt unterschieden.
- Akzeptanzbildung: Hierzu erfolgte eine Marktanalyse und die Untersuchung des Bedarfes an Bauprodukten, die nachhaltiger oder ökologischer sind bzw. Recyclingmaterial enthalten.
- Innovationspotenzial/ Bedarfsbildung: Es wurde per SWOT-Analyse wesentliche Anforderungen an eine Innovation herausgearbeitet und ein allgemeingültiges Innovation-Template erstellt. Es wurden Fragebögen und Maßnahmen zum Wissenstransfer erarbeitet.
- Ökobilanzielle Bewertungen: Nach der Sammlung und Erhebung aller notwendigen Informationen und Daten wurden verschiedene ökobilanzielle Berechnungen und Betrachtungen durchgeführt. Dazu gehörten ein Vergleich der Rohstoffe Recycling-Gips und Naturgips sowie Vergleiche mit dem Referenzputz und weiteren marktüblichen Leicht- und Normalputzen.

Im Ergebnis des Projektes konnten wesentliche Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Gipsleichtputzmörtel erarbeitet werden, die sich aus der Verwendung von Recycling-Gipsen ergeben. Je nach Substitutionsgrad und Art des Bindemittels werden Wasseranspruch, Abbinde- und Verarbeitungsverhalten mehr oder weniger beeinflusst. Gezielte Maßnahmen zur Aussteuerung sind nun möglich. Die Voraussetzungen für den Übertrag in den industriellen Maßstab sind erfüllt. Hierzu gibt es Rezepturvorschläge, die unter Beachtung der limitierten Verfügbarkeit von RC-Gips sowie der Begrenzung des eigenschaftsverändernden Einflusses von RC-Gips eine Beschränkung auf 20 % des Putzbindemittels vorsehen, aber auch einen 100%igen Austausch ermöglichen. Für einen Markteintritt bzw. die Erschließung eines neuen Marktsegmentes liegen Vorschläge zur Akzeptanzbildung und Maßnahmen hinsichtlich der Bedarfsbildung vor. Die ermittelten Ökobilanzfaktoren, insbesondere des CO₂-Fußabdruckes können ebenfalls der Bewerbung des innovativen Produktes dienen.

2. Ablauf des Vorhabens

Die Projektlaufzeit vom 01.01.2022 bis 30.06.2024 betrug inkl. einer 6-monatigen Verlängerung 30 Monate. Antragstellende Partner waren CASEA und MFPA. Während die MFPA v.a. grundlegende Untersuchungen bezüglich Rohstoffcharakterisierung, Bindemittelherstellung und Additivwirkung oblagen, war CASEA für die Mörteluntersuchungen, die Herstellung im kleintechnischen Maßstab, die Maschinenversuche sowie die Untersuchung von Testflächen verantwortlich. Außerdem übernahm CASEA die Projektkoordination. Die assoziierten Partner MUEG und DOW waren wertvolle Ansprechpartner. Das Arbeitspaket zur Untersuchung von Methylcellulosen erfolgte in enger Zusammenarbeit



mit der DOW. Als Unterauftragnehmerin bearbeitete Kareen Schlangen als Innovationsexpertin die Fragestellungen hinsichtlich Akzeptanz und Bedarf. Die Aufgabenteilung des Konsortiums ist der Abb. 1 des Berichtsteils II zu entnehmen.

Es wurden 9 Arbeitspakete bearbeitet. Diese beinhalteten die Untersuchung verschiedener RC-Gipse und RC-Gipsbindemittel im Vergleich zu Referenzmaterialien aus Naturgips, die Ermittlung der Additivwirkung anhand von Compounds mit unterschiedlichem RC-Substitutionsgrad, Frisch- und Festmörteluntersuchungen inkl. Rezepturanpassungen, insbesondere mittels neuer Methylcellulosen sowie Praxisversuche zur maschinellen Verarbeitung und Applikation inkl. der Beurteilung von Testflächen.

Die Ziele der Meilensteine M1 und M2 sowie das Gesamtziel des Projektes wurden erreicht.

3. Wesentliche Ergebnisse des Verbundes

- Nachweis der Eignung von RC-Gips der MUEG für den Einsatz in Gips-Putzen
- Herausarbeitung des Einflusses der Kartonagereste (Cellulosefasern und Holzinhaltstoffe) in RC-Gipsen aus Gipskartonplattenrecycling (GKP) durch Vergleich mit RC-Gips aus Gipsformenrecycling. Insbesondere war eine Erhöhung des Wasseranspruchs, Verzögerung der Hydratation und Erhärtung sowie ein Festigkeitsabfall (auch bei vergleichbarer Porosität) kennzeichnend.
- Nachweis der geeigneten Verwendung von RC-Stuckgips (RC-SG) zum teilweisen Austausch der Beta-Halbhydratkomponente, von RC-Thermoanhydrit (RC-TA) zum Austausch der Anhydrit II-Komponente sowie eines RC-Mehrphasengipses (RC-MPG) zum vollständigen Austausch des Putzgipsbindemittels. Während für den Einsatz von RC-SG und RC-MPG je nach Substitutionsgrad Rezepturanpassungen nötig sind – sie betreffen insbesondere Änderungen der abbinderregulierenden Additive und der Wassermenge – bedarf der Einsatz von RC-TA nur minimale Anpassungen.
- Während Verarbeitbarkeit, Sedimentationsstabilität, Haftvermögen, Standfestigkeit und Wasserückhaltevermögen der RC-Gipsputze unproblematisch einzustellen sind, stellte die Erreichung der Mindestdruckfestigkeit von 2 MPa eine Herausforderung dar. Unterschiedliche Ursachen führen bei RC-Gipsverwendung zu einer erhöhten Gesamtporosität und Erhärtungsstörungen. Verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserbedarfes wurden untersucht. Letztlich führte der Einsatz wirksamerer Methylcellulosen mit geringerer notwendiger Dosierung zu einem ausreichend geringen Wasser-Feststoff-Wert ($W/F \leq 0,65$), um die Festigkeitsanforderungen sicher zu erreichen und die erforderlichen Additivanpassungen zu minimieren. Ein Austausch mit 20 % RC-TA führte von vornherein zu hohen Festigkeiten, da die organischen Störstoffe infolge der gegenüber RC-SG und RC-MPG höheren Brenntemperaturen weitgehend inaktiviert wurden.
- Die maschinelle Verarbeitung und Applikation (Anspritzen) gelang bei allen Versuchsmischungen ohne Probleme. Eine erhöhte Knötchenbildung war nicht erkennbar. Probleme ergaben sich v.a. nach dem Aufziehen. Oftmals war das Abziehen und Glätten mit mehrfachen Arbeitsgängen verbunden oder nicht möglich. Hauptgrund besteht in der schwierigen Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf die maschinelle Verarbeitung. Hier sind werkseitig weitere Untersuchungen insbesondere im Hinblick auf die Beschleunigungswirkung durch den Energieeintrag der Maschine sowie auf die optimale Wassermenge (l/h) notwendig.
- Zum erarbeiteten Innovationskonzept gehören u.a. ein Fragebogen zur Bedarfsstruktur, ein Innovation Template und eine Roadmap mit strategischen Handlungsmaßnahmen sowie Materialien und Methoden zum Wissenstransfer. Die Ökobilanziellen Betrachtungen erlauben einen Vergleich zu Marktprodukten und bilden erste Voraussetzungen zur Erstellung einer EPD.



WIR! - Bündnis Gipsrecycling als Chance für den Südh...



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Wandel durch
Innovation
in der Region



GIPSRECYCLING
CHANCE FÜR DEN SÜDHARZ

Gemeinsamer Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil II: Eingehende Darstellung

VERBUNDEVORHABEN

Entwicklung eines Putzgipsmörtels auf der Basis von Recycling-Gips

TEILVORHABEN CASEA (Projektkoordinator)

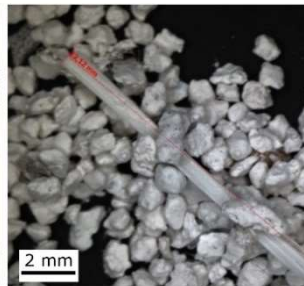
FKZ: 03WIR0309A

TP 1: UNTERSUCHUNGEN ZUM ANFORDERUNGSPROFIL DER HERSTELLUNG, DER AUSTAUSCHFÄHIGKEIT DES BINDEMITELS DURCH RC-GIPSBINDEMITELE UND ZUR ERREICHUNG DER QUALITÄTSPARAMETER VON RC-PUTZGIPSMÖRTELN ZUR ENTWICKLUNG EINES ZUKUNFTSFÄHIGEN BAUSTOFFES NACH NORM

TEILVORHABEN MFPA

FKZ: 03WIR0309B

TP 2: SPEZIELLE ANALYTIK UND SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ADDITIVWIRKUNG IN RECYCLINGGIPSBASIERTEN SYSTEMEN SOWIE SPEZIELLE BETRACHTUNGEN ÖKOLOGISCH INDUZIERTER INNOVATIONSPOTENZIALE VON RC-GIPSPUTZEN



Projektzeitraum
Berichtszeitraum

01.01.2022 bis 30.06.2024
01.01.2022 bis 30.06.2024

Zuwendungsempfänger

CASEA GmbH
Pontelstraße 3
99755 Ellrich
Tel: 036332/89 260

MFPA Weimar
Coudraystr. 9
99423 Weimar
Tel.: 03643 / 564 179

Ansprechpartner

Grit Losch
E-Mail: grit.losch@casea-gips.de

Ansprechpartner

Saskia Nowak
E-Mail: saskia.nowak@mfpa.de



Inhalt

1	Projektüberblick.....	3
1.1	Projektziel.....	3
1.2	Konsortium, Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit.....	3
1.3	Änderungen im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung.....	4
2	Die wichtigsten Ergebnisse.....	4
2.1	Fazit.....	4
2.2	Unterschiede Natur- und RC-Gips und deren Bindemittel.....	6
	Ausgangsstoffe.....	6
	Untersuchte RC-Bindemittelarten.....	6
	Granulometrische Eigenschaften und Störstoffe.....	7
2.3	Einfluss des Anteiles und der Art des Recycling-Gipsbindemittels.....	9
	Auswirkungen auf den Wasseranspruch und daraus resultierender Mörtel­eigenschaften.....	9
	Wasseranspruch der Bindemittel.....	9
	Wasseranspruch der RC-Gipsmörtel und Ausbreitverhalten.....	9
	Auswirkung auf Reaktionsverhalten und Versteifungszeiten.....	11
	Versteifungszeiten der Bindemittel und der Gipsmörtel.....	11
	Reaktionsverhalten der Bindemittel und der Gipsmörtel.....	11
	Rohdichte, Festigkeiten und Wasserrückhaltevermögen.....	13
	Rezepturanpassungen zur Erreichung der geforderten Druckfestigkeit.....	15
2.4	Testflächen im Demonstratormaßstab.....	16
2.5	Innovationspotenzial und Bedarfsanalyse.....	17
	Akzeptanzforschung, Bedarfs-Struktur, Zielgruppen-Übersicht, Merkmals-System.....	18
	Strategiekonzept und mögliche Transfermaßnahmen in die Praxis.....	18
2.6	Ökobilanzielle Betrachtungen.....	21
2.7	Zusammenfassung.....	24
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	26
4	Fortgeschriebener Verwertungsplan.....	26
5	während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	28
6	erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF.....	28
7	Literaturverzeichnis.....	28



1 PROJEKTÜBERBLICK

1.1 Projektziel

In den letzten Jahren sind, angestoßen durch den angekündigten Kohleausstieg und damit Wegfall von REA-Gips in Deutschland, umfangreiche Forschungsprojekte zur Wiedergewinnung von Gips aus Bauabfällen und Industrieprozessen initiiert worden. Ziel ist es, neben dem grundsätzlichen Anspruch auf Rohstoff- und Ressourcenschonung, Umwelt- und Klimaschutz, Deponieschonung und einen Umbau in eine ökologischere Industrielandschaft, die Recyclingquote von Gips bei gleichbleibend hohem Rohstoffbedarf [2] zu erhöhen sowie die generelle Akzeptanz für Recycling-Baustoffe zu verbessern. Das BMBF-geförderte WIR!-Gipsrecycling-Projekt „EcoStuc“ (Ecological Stucco) [9] sollte dabei einen Beitrag leisten.

Im Forschungsprojekt wurde anhand des Recyclinggipses der Firma MUEG (RC-M; 0/2 mm) mit Produktstatus [6] im Vergleich zu weiteren RC-Gipsen (RC-Z und -F) erforscht, wie daraus im Labor- und kleintechnischen Maßstab geeignete Bindemittel für einen Gipsleichtputz herzustellen sind. Es wurde untersucht, inwiefern ein vollständiger Austausch des konventionellen Bindemittels aus Naturgips möglich ist, oder ob andere Ansätze hinsichtlich einer industriellen Produktion und Marktplatzierung zielführender sind. Dies geschieht unter der Maßgabe, vergleichbare Eigenschaften mit einem marktüblichen, maschinell verarbeitbaren Produkt (Ref. WTM bzw. Ref. PGB) zu erreichen und normative Anforderungen einzuhalten. [7]

Um die Auswirkung der RC-Gips-Zugabe erkennen zu können, blieb die Rezeptur der Gipsmörtel unverändert.

1.2 Konsortium, Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit

Die Projektlaufzeit vom 01.01.2022 bis 30.06.2024 betrug inkl. einer 6monatigen Verlängerung 30 Monate. Antragstellende Partner waren CASEA und MFPA. Während die MFPA v.a. grundlegende Untersuchungen bezüglich Rohstoffcharakterisierung, Bindemittelherstellung und Additivwirkung oblagen, war CASEA für die Mörteluntersuchungen, die Herstellung im kleintechnischen Maßstab, die Maschinenversuche sowie die Untersuchung von Testflächen verantwortlich. Außerdem übernahm CASEA die Projektkoordination. Die assoziierten Partner MUEG und DOW waren wertvolle Ansprechpartner. Das Arbeitspaket zur Untersuchung von Methylcellulosen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der DOW. Als Unterauftragnehmerin bearbeitete Karen Schlangen als Innovationsexpertin die Fragestellungen hinsichtlich Akzeptanz und Bedarf. Die Aufgabenteilung des Konsortiums ist Abb. 1 zu entnehmen.

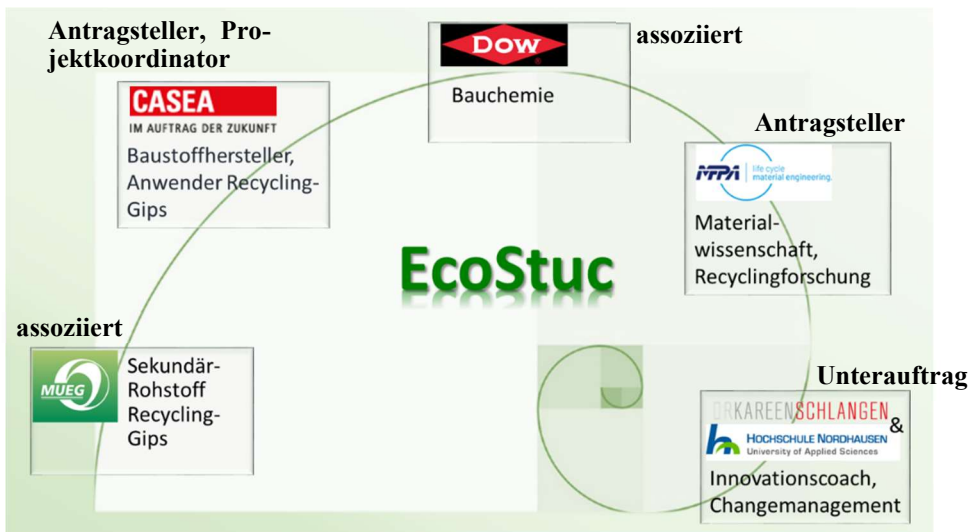


Abb. 1: Kompetenzbündelung der Partner im Verbund für die F&E-Aufgaben hinsichtlich Wertschöpfung und Unterstützungsaktivitäten



Die Arbeitsschwerpunkte des Projektes, die in 9 Arbeitspaketen bearbeitet wurden, veranschaulicht Abb. 2.

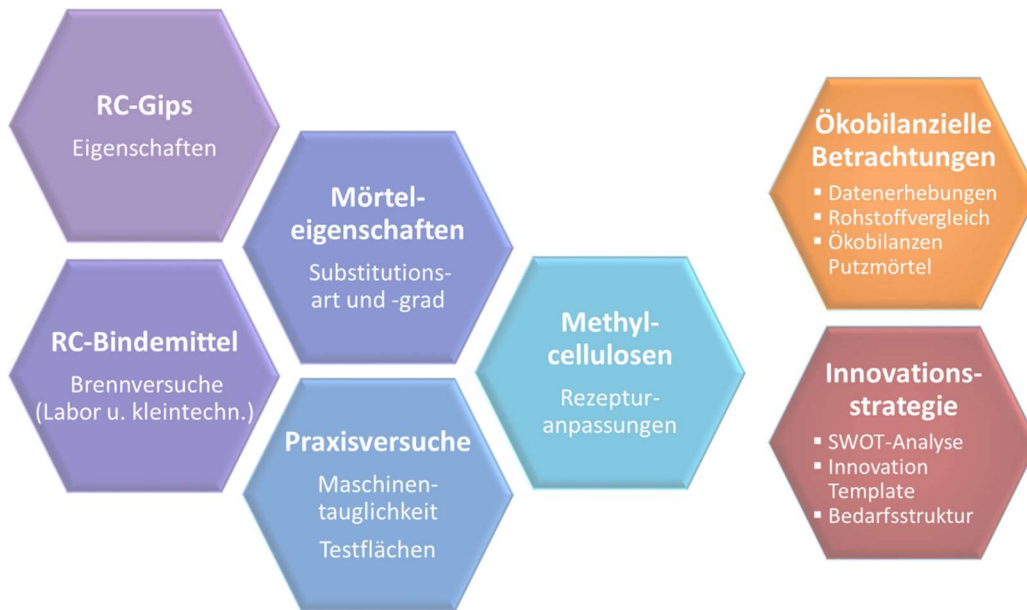


Abb. 2: Arbeitsschwerpunkte

1.3 Änderungen im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Bei Antragstellung war für die Putzmörtelentwicklung eine Versuchshierarchie mit zunehmender Komplexität geplant (Bindemittel → Binder → Mörtel). Im Projektverlauf hat sich gezeigt, dass sich die am Binder gewonnenen Erkenntnisse (AP 4) nicht auf den Mörtel übertragen lassen. Dies ist auf die speziellen Eigenschaftsveränderungen durch den Recycling-Gips (RC-Gips) zurückzuführen, die bis dato nicht Stand der Wissenschaft waren. Daher wurden frühzeitig der Umfang der Mörteluntersuchungen (AP 6) erweitert und die speziellen Untersuchungen zu Methylcellulosen (AP 5) an Mörteln statt an Bindern unternommen, was den Untersuchungsaufwand vergrößerte. Darüber hinaus waren die Versuche zur werkseitigen kleintechnischen Herstellung der RC-Gipsbindemittel sowie die Mörteluntersuchungen an Testflächen im Werk mit größerem Aufwand verbunden als zur Antragstellung angenommen.

2 DIE WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

2.1 Fazit

Einen qualitativ hochwertigen RC-Gips aus Gipsabfall herzustellen, der derzeit überwiegend aus Gipskartonplatten besteht, entspricht dem Stand der Technik. Im Projekt EcoStuc wurde erfolgreich erarbeitet, wie aus dem RC-Gips **geeignete RC-Gipsbindemittel** herzustellen sind, um daraus einen **maschinell verarbeitbaren Gipsleichtputz** zu rezeptieren. Das Wichtigste: der Putzmeister ist zufrieden. Es besteht aus Sicht des Anwenders kein Unterschied zum beliebten, marktüblichen Produkt. Beim Glätten ist der RC-Putz sogar etwas gefälliger. Es wird eine Oberflächenqualität Q3 erhalten.

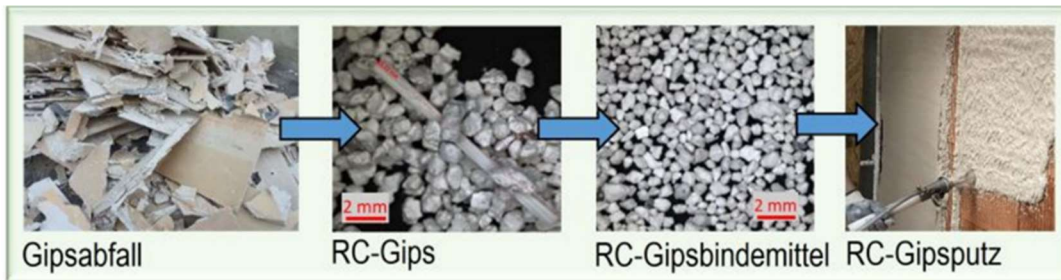


Abb. 3: Wertschöpfungskette von Gipsabfall aus Gipskartonplatten zum RC-Gips als Sekundärrohstoff über die Herstellung von RC-Gipsbindemitteln zum maschinell verarbeitbaren RC-Gipsleichtputz



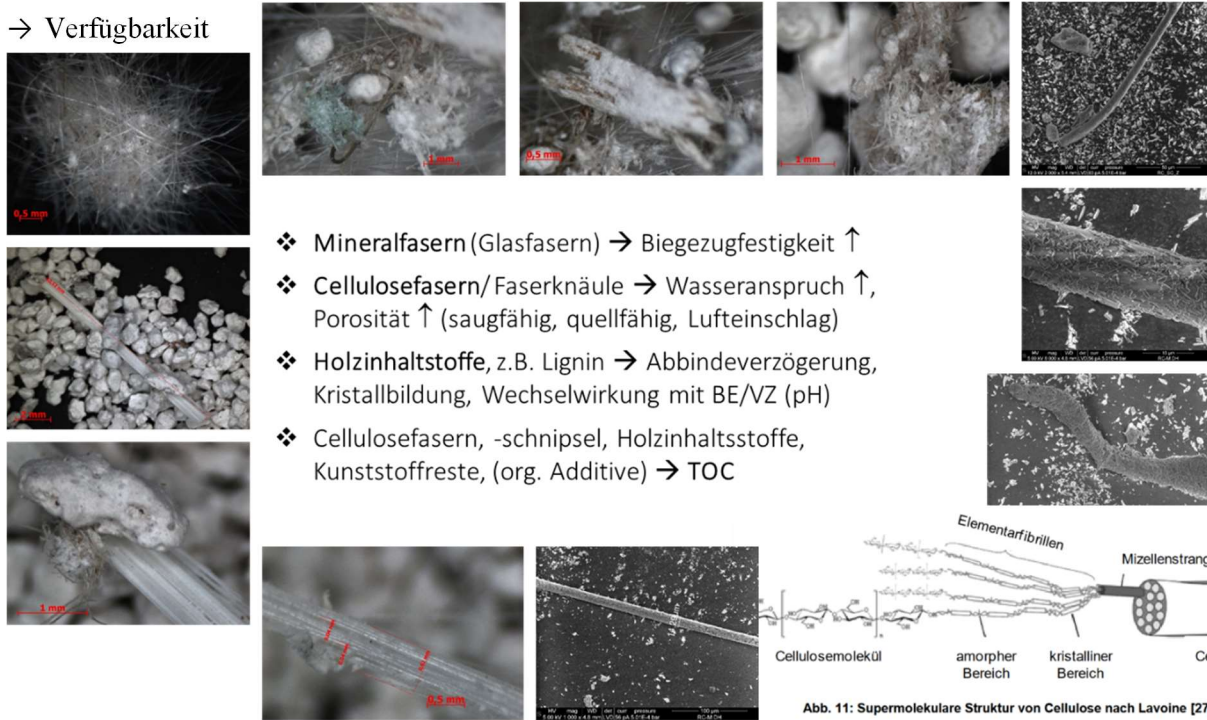
Abb. 4: Zusammenfassung der Ergebnisse des Projektes EcoStuc

Abb. 4 gibt einen Überblick der wesentlichen erzielten Ergebnisse im Projekt, die nachfolgend detaillierter beschrieben werden.

Ein wesentlicher Erkenntnisgewinn im Projekt betrifft die Auswirkung der Kartongereste, die zu geringen Anteilen im RC-Gips aus GKP enthalten und prozesstechnisch nicht vollständig zu vermeiden sind. Die in Abb. 5 dargestellten Ergebnisse basieren insbesondere auf dem Vergleich von Rohstoffen und Mörteln aus RC-Gips aus GKP im Vergleich zu RC-Gips aus Gipsformenrecycling und zu Naturgips.

Wesentliche Unterschiede von RC-Gips (aus GKP) zu Naturgips

- Kartonagereste (Fasern, organische Holzinhaltsstoffe)
- eventuell geringerer CaSO_4 -Anteil (nicht bei MUEG-RC-Gips)
- Transportwege
- Verfügbarkeit



- ❖ Mineralfasern (Glasfasern) → Biegezugfestigkeit ↑
- ❖ Cellulosefasern/Faserknäule → Wasseranspruch ↑, Porosität ↑ (saugfähig, quellfähig, Luftschlag)
- ❖ Holzinhaltstoffe, z.B. Lignin → Abbindeverzögerung, Kristallbildung, Wechselwirkung mit BE/VZ (pH)
- ❖ Cellulosefasern, -schnipsel, Holzinhaltstoffe, Kunststoffreste, (org. Additive) → TOC

Abb. 5: Überblick zu den Ergebnissen zum Einfluss der Kartonagereste im RC-Gips aus Gipskartonplatten bei Verwendung im Gipsputzmörtel

2.2 Unterschiede Natur- und RC-Gips und deren Bindemittel

AUSGANGSSTOFFE

Beim Hauptausgangsstoff, mit dem sämtliche Untersuchungen durchgeführt wurden, handelte es sich um den RC-Gips der Firma MUEG. Er wird primär aus Gipskartonplattenbruch (GKP) gewonnen. Vergleichsweise wurde ein weiterer RC-Gips aus GKP untersucht. Trotz Einhaltung des TOC-Wertes [4] wurde eine charakteristische Einflussnahme dieser RC-Gipsart beobachtet. Der TOC-Wert ist hauptsächlich auf die Kartonagereste in Form von Cellulosefasern (Abb. 5 und 9) im Mikrometerbereich bis hin zu millimetergroßen Papierfetzen sowie organischen Inhaltsstoffen aus der Papierherstellung (z.B. Lignin) zurückzuführen. Weitere mineralische und/oder Kunststofffasern waren im mikroskopischen Bereich im erklecklichen Maß vorhanden (Abb. 5: 2. Bild oben links). Um die beobachteten Eigenschaftsunterschiede mit höherer Sicherheit auf die Kartonagereste zurückführen zu können, diente ein weiterer RC-Gips als Vergleich. Dabei handelte es sich um einen im Labor aufbereiteten RC-Gips aus Gipsformen, wie sie in der Porzellanherstellung eingesetzt werden. Da zur Formenherstellung ausschließlich ein Formengips aus Naturgips diente, waren keine der oben genannten Störstoffe vorhanden.

Das Marktprodukt, ein Gipsleichtputz, wurde ebenfalls aus Naturgips hergestellt.

UNTERSUCHTE RC-BINDEMittelARTEN

Beim Marktprodukt, das als Referenz diente, entspricht das Bindemittel einem Putzgipsbinder, also einem Mehrphasengipsbinder, der überwiegend aus Calciumsulfat-Halbihydrat und Anhydrit II besteht. [1,3]



Mit dem Hauptaugenmerk, die Phasenzusammensetzung des Marktproduktes zu erreichen, wurden verschiedene Bindemittelarten labormäßig aus den RC-Gipsen hergestellt. Sie werden anteilig oder vollständig mit dem ursprünglichen Bindemittel des Gipsmörtels ausgetauscht.

Zunächst wurde im Niedertemperaturbereich ein RC-Stuckgips (RC-SG) hergestellt. Hiermit wurden 16 % und 32 % des Referenz-Bindemittels substituiert. Im Zuge dessen wurden vor allem Untersuchungen am Binderleim vorgenommen. Später wurde ein RC-Mehrphasengipsbinder (RC-MPG) im Mittelbrand sowie ein Anhydrit II-Bindemittel (RC-Thermoanhydrit, RC-TA) bei höheren Temperaturen hergestellt. Hiermit erfolgten umfangreiche Frisch- und Festmörtel-Untersuchungen mit Anteilen an RC-Bindemittel von 20, 50 und 100 %.

Tabelle 1 zeigt die mittels XRD ermittelten Phasenzusammensetzungen inkl. der mineralischen Nebenbestandteile. Die niedrig gebrannten RC-Stuckgipsbindemittel bestehen beim erarbeiteten Brennregime überwiegend aus Halbhydrat, ohne Dihydratrete zu enthalten. Der Mehrphasengipsbinder aus dem RC-Gips RC-M (MPG-M), welcher durch aufwändige Brennversuche beim letztlich gewählten Brennregime im Glühofen etwa aus 2/3 Halbhydrat und 1/3 Anhydrit II besteht, ist sehr gut mit der Phasenzusammensetzung des industriell aus Naturgips hergestellten Referenz-Bindemittels vergleichbar. Der MPG-Z zeigt bei gleichem Brennregime einen höheren Brenngrad auf. Die Calciumsulfatphasen setzen sich hier jeweils zur Hälfte aus Halbhydrat und Anhydrit II zusammen. Das optimierte Brennregime für RC-Thermoanhydrit führte zur vollständigen Umwandlung des Gipsanteils in Anhydrit II. Der Putzgipsbinder wurde durch Mischen von 20 % RC-TA mit 80 % industriellem Stuckgips erhalten.

Auffällig ist bei den Bindemitteln aus dem RC-Gips RC-Z der relativ hohe Anteil an Carbonaten bzw. Dolomit. Er ist bei den Bindemitteln aus RC-M nur etwa halb so groß. Bei beiden untersuchten RC-Gipsen werden im Gegensatz zum Naturgipsprodukt geringe Anteile an Hellglimmer und Kaolinit gefunden. Aus dem Naturgips kommt dagegen ein Anteil an Magnesit, was für das Abbaugbiet typisch ist.

Tabelle 1: Phasenzusammensetzung der Bindemittel (XRD)

	Stuckgips	Putzgipsbinder	RC-Stuckgips		RC-Mehrphasengips		RC-Anhydrit	20%RC-TA/ 80% SG _{ind.}
	SG _{ind.}	Ref. PGB	RC-SG-M	RC-SG-Z	RC-MPG-M	RC-MPG-Z	RC-TA-M	
Dihydrat	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Halbhydrat	81,8	64,6	82,1	73,2	61,9	39,2	0,0	65,4
Anhydrit II	4,2	25,4	4,9	2,6	28,8	42,8	92,3	21,8
Calcit	6,8	3,1	4,4	6,1	4,7	4,7	4,0	6,2
Quarz	1,4	1,2	3,1	3,9	3,0	2,5	2,7	1,7
Dolomit	0,0	0,0	2,9	6,8	1,6	10,8	1,0	0,2
Hellglimmer	Magnesit 4,5	Magnesit 5,5	2,5	3,8	n.b.			Magnesit 3,6
Kaolinit			1,0	0,7				

GRANULOMETRISCHE EIGENSCHAFTEN UND STÖRSTOFFE

Die Korngrößenanalyse soll aufzeigen, inwiefern die RC-Materialien von den Naturgips-Bindemitteln in ihrer Korngrößenzusammensetzung abweichen. Allerdings ist zu beachten, dass die gewöhnliche Auswertung der Lasergranulometrie von pulverförmigem Material, welches außerdem faserförmige Störstoffe enthält, zu einem verzerrten Bild führt. Die Länge der Fasern (z.B. Cellulose- und andere Fasern) bzw. Faserknäule (s. Abb. 5) werden vom Auswerteprogramm als Durchmesser eines Kornes mit rundlicher Form angenommen. Hierbei sorgen bereits wenige Faserindividuen dafür, dass scheinbar ein höherer Anteil größerer Partikel vorhanden ist, als dies tatsächlich der Fall ist.

Abb. 7 zeigt die Ergebnisse der Lasergranulometrie des RC-Gipses der Firma MUEG (M), eines RC-Gipses einer in der Entwicklung befindlichen Recyclinganlage (Z), zweier industriell hergestellter Bindemittel aus Naturgips (Ref.) sowie der im Labor hergestellten RC-Bindemittel, die in diesem Fall einem Stuckgips entsprechen (RC-SG). Vor der Analyse wurden die Materialien bei 2000 µm abgesiebt und im Ultraschallbad mit

Isopropanol deagglomert. Beispielsweise werden bei den RC-Bindemitteln (RC-SG) ca. 64 V-% Partikel ermittelt, welche kleiner als 100 µm sind. Beim Standard-Bindemittel werden hierfür 80 V-% ermittelt. Des Weiteren ist an der deutlichen Differenz der Kornzusammensetzung der RC-Gipse und deren niedrig gebrannter Bindemittel ein relativ hoher Kornzerfall infolge des Brennens abzuleiten. Das bedeutet, die porösen Partikel aus dem Gipskern der Gipskartonplatten zerfallen teilweise durch die thermische Beanspruchung. Auch ein Einfluss auf die faser- oder knäuelartige Stoffe durch die Hitzeeinwirkung ist denkbar.

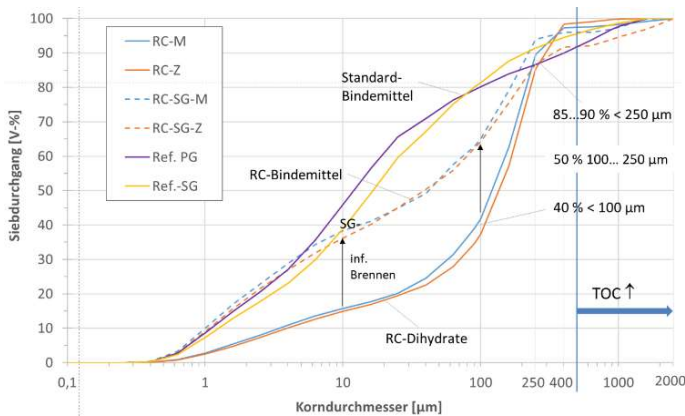


Abb. 7: Korngrößenzusammensetzung lt. Lasergranulometrie der Referenz-Bindemittel aus Naturgips, der RC-Bindemittel und RC-Dihydrate



Abb. 6: li. Ref.-Bindemittel, re. RC-SG-M mit gequollenen Bestandteilen

Abb. 8 zeigt eine Siebanalyse vom RC-Gips MUEG. Hierbei wurde ermittelt, dass etwa 42 M-% des Materials feiner und 58 M-% gröber als 250 µm sind. Darüber hinaus wurde in den drei erhaltenen Kornklassen der TOC-Wert bestimmt. Dieser ist im Bereich der gröberen Körnung am höchsten. Dies stimmt mit den augenscheinlichen Beobachtungen überein, dass sich restliche Cellulosefasern bevorzugt im gröberen Bereich anreichern.

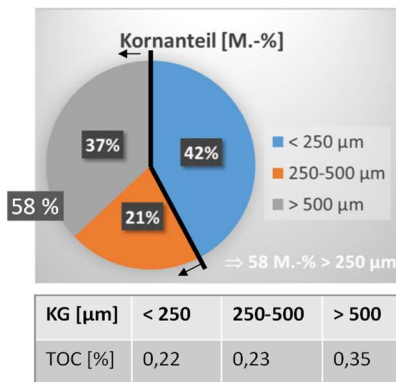


Abb. 10: Siebanalyse RC-Gips MUEG (RC-M) mit Kornklassen 0-250 µm, 250-500 µm und > 500 µm; TOC-Wert der Kornklassen

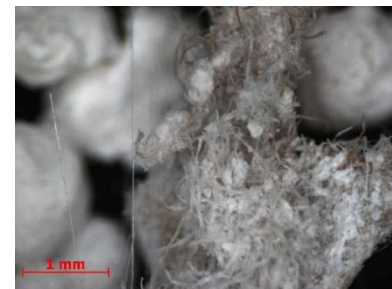


Abb. 9: lichtmikroskopische Aufnahme Cellulosefaser-Knäuel im RC-Gips

Die Anwesenheit von Cellulose- und anderen Fasern im Recycling-Gips aus Gipskartonplatten ist hinlänglich bekannt. Festzustellen ist deren Einfluss auf Geruch, Farbe, Porosität, Druck- zu Biegezugfestigkeits-Verhältnis und allen voran ein deutlich höherer Wasseranspruch für ein vergleichbares Verarbeitungsverhalten sowie eine Verzögerung des Hydratationsverhaltens von RC-Gipsbindemitteln.



2.3 Einfluss des Anteiles und der Art des Recycling-Gipsbindemittels

AUSWIRKUNGEN AUF DEN WASSERANSPRUCH UND DARAUSS RESULTIERENDER MÖRTELEIGENSCHAFTEN

Wasseranspruch der Bindemittel

Per Einstreumenge wurde der charakteristische Wasser/ Bindemittel-Wert (W/B) der reinen Gipsbindemittel ohne Zusatzmittel (Additive) und Zusatzstoffe bestimmt. Er gibt Auskunft zum Wasseranspruch der RC-Bindemittel im Vergleich zum industriell hergestellten Referenz-Bindemittel auf Naturgipsbasis. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2. Zum Vergleich der reinen RC-Stuckgipse ist außerdem ein industrieller Stuckgips aus dem gleichen Naturgips wie der Putzgipsbinder (PGB) aufgeführt (orange Zeilen).

Tabelle 2: W/B-Wert aus Einstreumenge sowie Versteifungsbeginn (VB) und -ende (VE) von Bindemitteln aus Naturgips (NG) sowie verschiedenen RC-Gipsen (RC)

Binde-mittel	RC-An-teil [M-%]	W/B	VB [min]	VE [min]
SG _{ind.}	0	0,75	4	6
Ref. PGB	0	0,65	5	13
RC-SG-M	16	0,65	7	17
	32	0,67	7	17
	50	0,73	8	21
	100	1,01	28	62
RC-SG-Z	32	0,67	8	18
	100	1,01	25	55
RC-SG-F	32	0,72	5	13
	100	1,00	4	14
RC-MPG-M	100	1,03	7	21
RC-MPG M kt	100	1,24	7	33

Am Beispiel der RC-Stuckgipse M und Z ist erkennbar, dass der W/B-Wert lt. Einstreumenge mit steigendem RC-Anteil zunimmt, wobei geringe Anteile von 16 M-% oder 32 M-% RC-SG zunächst wenig ausmachen. Ebenfalls auffällig ist, dass die reinen RC-Bindemittel unabhängig von ihrer Art und Herstellungstemperatur ungefähr einen W/B-Wert von 1 benötigen. Der W/B-Wert des im kleintechnischen Maßstab im Werk hergestellten RC-MPG kt überschreitet sogar diesen hohen Wert. Dass selbst der RC-Stuckgips aus Gipsformen, der keine Kartonagereste enthält, einen W/B-Wert von

1 erfordert, dürfte ein Zufall sein. Dieses Material ist deutlich feiner als die RC-Gipse aus GKP mit einem geringeren Größtkorn und einem höheren Anteil an Partikeln < 10 µm. Die hohe Feinheit und ein geringer Anteil an hygroskopischen Salzen aus der Porzellanherstellung werden für den hohen Wasseranspruch verantwortlich gemacht. Die genannten unterschiedlichen Ursachen für den Wasseranspruch der RC-Bindemittel schlagen sich bei der Untersuchung des Ausbreitverhaltens der Mörtel nieder (inkl. Additive für Verarbeitungs- und Abbindeverhalten, Füller aus abgestuftem Gesteinsmehl und Perliten als Leichtzuschlag) (Tab. 4). Da im RC-SG-F keine quellenden Bestandteile für den erhöhten Wasseranspruch sorgen, sondern eine reine Benetzung der Gipskornoberflächen, weist der Mörtel mit RC-SG-F nach dem Schocken bei gleichem W/F-Wert ein deutlich größeres Ausbreitmaß auf als die Mörtel mit RC-SG-M und -Z (208 → 185 mm).

Wasseranspruch der RC-Gipsmörtel und Ausbreitverhalten

Der Wasseranspruch der Gipsmörtel schlägt sich im Wasser/Feststoff-Verhältnis (W/F-Wert) nieder, der nötig ist, um ein Ausbreitmaß von 165 ± 5 mm zu erreichen. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse einiger Mörtel.

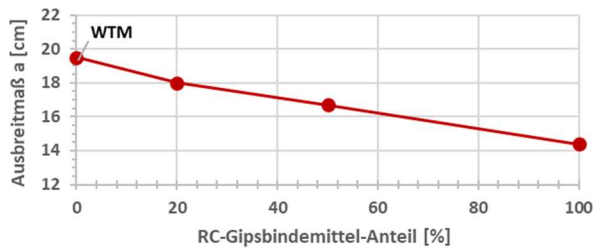
Tabelle 3: Wasseranspruch (erforderlicher W/F-Wert) von Gipsmörteln mit unterschiedlichen RC-Gipsbindemitteln und RC-Anteilen

Putz-mörtel-mischung	RC-Anteil im Bindemittel [M-%]	Wasser/ Feststoff-Wert W/F [-]	Ausbreitmaß [mm]
Referenz WTM	0	0,60	168
RC-MPG-Z	100	0,75	161
RC-MPG-M	100	0,85	159
	50	0,70	161
	20	0,65	162
RC-TA-M	20	0,58	158
RC-MPG M kt	100	0,85	163

Der erhöhte Wasseranspruch der Mörtel infolge der Zugabe von RC-Material ist zum einen anhand der steigenden W/F-Werte bei vergleichbarer Konsistenz zu erkennen (Tabelle 3). Zum anderen zeigt dies auch das abnehmende Ausbreitmaß bei einem konstantem W/F-Wert von 0,73 in Tabelle 4 (s.a. Abb. 11).

Abb. 12 zeigt das Ausbreitmaß in Abhängigkeit der W/F-Werte für Gipsmörtelmischungen mit verschiedenen RC-Bindemittelarten im Vergleich zum Werk trockenmörtel (WTM). Der Unterschied zwischen RC-MPG aus RC-M und RC-Z wird derzeit insbesondere auf den höheren Brenngrad von RC-MPG-Z sowie den geringeren CaSO₄-Anteil zurückgeführt. Es wird angenommen, dass die geringere Menge an Aufgabegut beim Brennen von RC-Gips-Z zum höheren Umsatz in Anhydrit II geführt hat (Tabelle 1). Es ist bekannt, dass mit zunehmender Anhydrit II-Entstehung beim Brennen die spezifische Oberfläche abnimmt [8]. Darüber hinaus ist es nicht ausgeschlossen, dass auch ein höherer Anteil der organischen Störstoffe zersetzt wurden.

Tabelle 4: Ausbreitmaß von Gipsmörteln unter Austausch von RC-Stuckgips aus unterschiedlichen RC-Gipsen bei konstantem W/F



Putzmörtel	RC-Anteil im Bindemittel [M-%]	Wasser/ Feststoff-Wert W/F [-]	Ausbreitmaß [mm]
Ref. WTM	0	0,73	190
RC-SG Z	32	0,73	185
RC-SG M	16	0,73	205
	32	0,73	185
	50	0,73	168
RC-SG-F	32	0,73	208

Abb. 11: Ausbreitmaß Gipsmörtelmischungen mit zunehmendem Anteil an RC-MPG-M bei W/F = 0,73

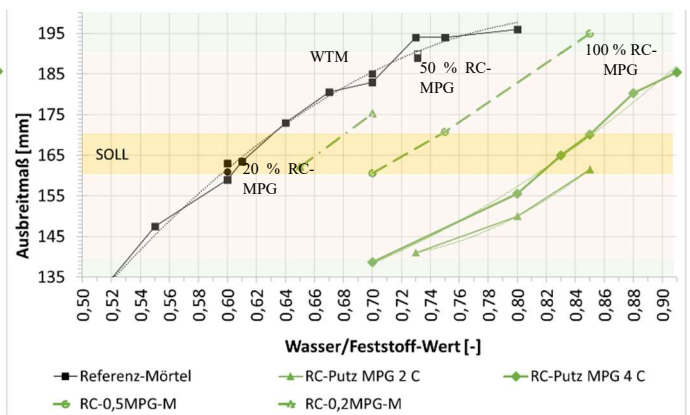
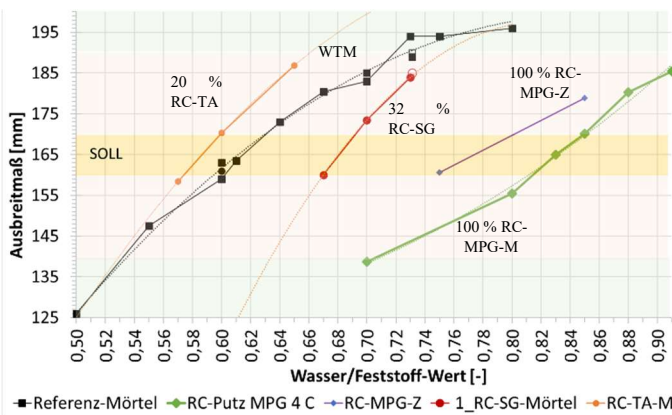


Abb. 12: Ausbreitmaß nach DIN EN EN13279-2 von Gipsmörteln mit unterschiedlichen Bindemittelarten aus RC-Gipsen sowie vom Werk trockenmörtel

Abb. 13: Ausbreitmaß nach DIN EN EN13279-2 von Gipsmörteln mit unterschiedlichen Substitutions-Anteilen von RC-MPG-M im Vergleich zum Werk trockenmörtel (WTM)

Die Verwendung von 20 % RC-TA führt zu einem geringeren bzw. mit dem Werk trockenmörtel vergleichbaren Wasseranspruch, was zunächst überrascht. Die Zusammensetzung der Bindemittelkomponenten ist hier jedoch merklich verändert. Statt eines Putzgipsbinders, der im Mittelbrand erhalten wird, wurde hier ein Bindemittel aus dem Hochbrand (TA) mit 80 % Stuckgips aus dem Niederbrand vermischt. Die Phasenzusammensetzung stimmt zwar näherungsweise mit dem ursprünglichen Putzgipsbinder überein (Tabelle 1), doch anhand der Differentialthermoanalyse (DTA, TG) ist nachweisbar, dass die Störstoffe im RC-Gips bei höheren Temperaturen weitgehend zerstört werden. Damit nehmen die quellfähigen Bestandteile aus dem RC-Material (Abb. 6) deutlich ab. Darüber hinaus ist die spezifische Oberfläche eines Thermoanhydrits erfahrungsgemäß geringer als die eines Mehrphasengipsbinders.



AUSWIRKUNG AUF REAKTIONSVERHALTEN UND VERSTEIFUNGSZEITEN

Versteifungszeiten der Bindemittel und der Gipsmörtel

Die Versteifung der reinen Bindemittel setzt mit zunehmendem RC-Material immer später ein, sofern es sich beim Ausgangsmaterial um RC-Gips aus Gipskartonplattenrecycling handelt. Beim im Labor aufbereiteten RC-Gips aus Gipsformen, der ohne Kartonagereste daherkommt, wird trotz erhöhter Zugabewassermenge keine Verzögerung festgestellt. Tabelle 2 zeigt Versteifungsbeginn (VB) und -ende (VE) der Bindemittel, die per Messerschnitt und Daumendruck ermittelt wurden [1; 5].

Tabelle 5: Versteifungsbeginn von Gipsmörteln mit und ohne RC-Material sowie vor und nach einer Modifikation der abbinde-regulierenden Additive

Putz-mörtel-mischung	Modifizierung	Wasser/Feststoff-Wert W/F	Verst. Beginn [h:min]
Referenz WTM	Standard-rezeptur	0,60	5:15
Referenz Labor (PGB)		0,60	3:00
RC-02MPG-M	Standard-rezeptur	0,65	4:00
RC-05MPG-M		0,70	5:25
RC-MPG M		0,85	7:30
RC-MPG M modifiziert	CL90 2fach	0,85	5:10
	DH 10fach	0,85	4:25
	Ohne VZ	0,85	1:40
RC-MPG Z	Standard-rezeptur	0,85	7:50
RC-MPG M kt		0,85	2:30
RC-TA-M	Standard-rezeptur	0,58	0:20

Tabelle 5 zeigt den Versteifungsbeginn von Gipsmörteln (mit Vicat-Konus lt. DIN EN 13279-2 [5]). Da sich der Werk trockenmörtel als älteres Material erwies, der ebenfalls die Anforderungen an die Verarbeitungszeit von 3 Stunden nicht erfüllte, wurde labormäßig ein Trockenmörtel (PGB) hergestellt, der sich zum Vergleich eignet. Von dessen Versteifungsbeginn von 3 h ausgehend verlängert sich die Verarbeitungszeit bei Zugabe von 20, 50 und 100 % RC-MPG-M von 4 auf fast 5,5 bzw. 7,5 h (orange Zeilen).

Erste Untersuchungen für mögliche Anpassungen der Standard-Additiv-Kombination, welche sich auf das Abbindeverhalten auswirken, haben statt-

gefunden. Tabelle 5 zeigt beispielhaft drei Modifizierungen (graue Zeilen). So tragen eine gesteigerte basische Anregung durch Weißkalkhydrat (CL90) und eine Erhöhung des Keimbildners (DH) bereits zu einer deutlichen Beschleunigung bei. Ganz ohne Zugabe zusätzlicher Verzögerer (VZ) erzielt der RC-Gipsmörtel mit 100 % RC-Material lt. Norm eine ausreichend lange Verarbeitungszeit (> 50 min), die jedoch noch nicht den Werksvorgaben entspricht.

Reaktionsverhalten der Bindemittel und der Gipsmörtel

Aus den Ergebnissen der Differentialkalorimetrie der Bindemittel (Abb. 14) lässt sich der verzögernde Einfluss von Bestandteilen, die nur im RC-Gips aus Gipskartonplattenrecycling (GKP) vorkommen, eindeutig ableiten. Während der RC-Stuckgips aus Gipsformen ein vergleichbares Hydratationsverhalten wie der Stuckgips aus Naturgips aufweist, setzt die Reaktion der RC-Stuckgipse aus GKP merklich später ein und verläuft deutlich gedämpft. Dies ist bereits bei einer Substitution von 32 % der Fall. Wie auch schon anhand der verlängerten Dauer zwischen Versteifungsbeginn und -ende von RC-SG-M und -Z (Tabelle 3) erkennbar ist, zeigt sich auch hier eine merklich verlängerte Hydratationszeit. Alle Bindemittel wurden mit einem W/B-Wert von 1 gemessen, um eine vollständige Hydratation zu gewährleisten.

Bei den Gipsmörteln erfolgt die Messung der Hydratationstemperatur im Mörtelkalorimeter anhand von Thermoelementen. Gemessen werden jeweils 150 ml Frischmörtel mit einem konstanten W/F-Wert von 0,80 (Abb. 15) bzw. den W/F-Werten aus Tabelle 4 (Abb. 16, 17).

Die Kurven der Mörtel mit 32 %iger Substitution mit RC-Stuckgipsen aus GKP-Recycling in Abbildung 15 zeigt gegenüber dem Referenzmörtel eine ca. einstündige Verzögerung, bevor es zu einer langsam ansteigenden Hydratationswärmeentwicklung kommt. Während die Wärmerate der Referenz (bis zum Wendepunkt) rasch abfällt, ist auch die Abklingperiode der RC-Mörtel verlangsamt. Es ist davon auszugehen, dass sowohl Keimbildung als auch Kristallisationsgeschwindigkeit von der verzögernden Wirkung betroffen sind.

Abb. 16 und 17 zeigen Gipsmörtel mit zunehmendem Anteil an RC-Mehrphasengipsbinder (RC-MPG-M) (veränderte Additivzusammensetzung gegenüber den Proben aus Abb. 15, die insbesondere mehr Verzögerer beinhaltet). Die verminderte Reaktionsfreudigkeit mit steigendem RC-Anteil ist deutlich erkennbar. Während eine 20 %ige Substitution noch einen relativ geringen Einfluss nimmt, zeigen die Proben mit 50 und 100 % Austausch in Abb. 16 einen deutlich gedämpften, stark verbreiterten Verlauf mit stundenlang verzögerter Induktionsperiode. Abb. 17 weist auf eine immer geringere Wärmemenge hin.

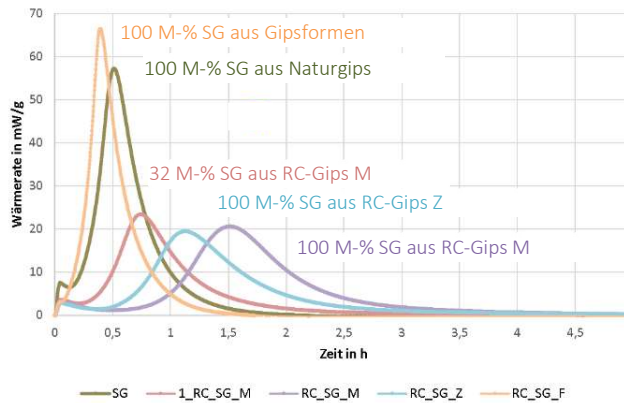


Abb. 14: Differentialkalorimetrie (DCA) von Stuckgips-Bindemitteln (SG) aus Naturgips und aus verschiedenen RC-Gipsen

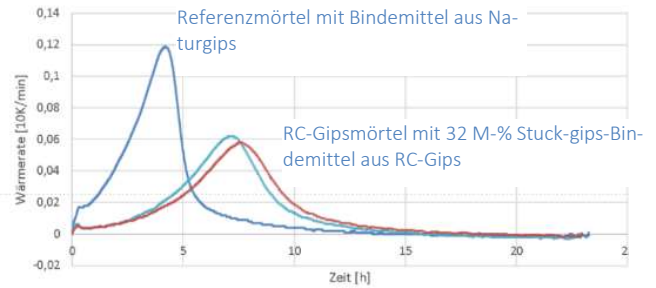


Abb. 15: Differentialkurven der Mörtelkalorimetrie von Gipsmörteln mit 32 %iger Substitution mit RC-SG-M und -Z im Vergleich zur Referenz

Die Ergebnisse der Differential- und Mörtelkalorimetrie geben nur die Hydratation des Halbhydratanteils im Putzgipsbinder wieder. Die Anhydrit II-Hydratation erzeugt keinen auswertbaren Peak [8]. Um auf die Verzögerungswirkung von Anhydrit II schließen zu können, ist die Ermittlung des Hydratationsgrades der erhärteten Mörtelproben angedacht. Mittels Quantitativer Röntgenphasenanalyse (XRD) kann sowohl der Gesamtumsatz als auch der A II-Umsatz in Dihydrat berechnet werden.

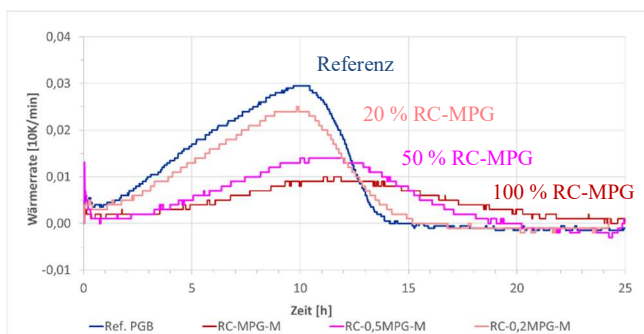


Abb. 16: Wärmerate Mörtelkalorimetrie von Mörteln mit RC-MPG*-Substitution von 0, 20, 50 und 100 % im Vergleich zu einer im Labor hergestellten Standardrezeptur mit Referenz-Bindemittel (Ref. PGM); *labormäßig hergestellter RC-Mehrphasengipsbinder

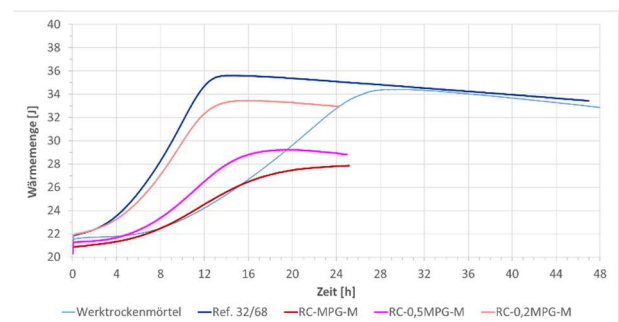


Abb. 17: Wärmemenge Mörtelkalorimetrie von Mörteln mit RC-MPG*-Substitution von 0, 20, 50 und 100 % im Vergleich zum Werkrockenmörtel und einer im Labor hergestellten Standardrezeptur mit Referenz-Bindemittel (Ref. PGM); *labormäßig hergestellter RC-Mehrphasengipsbinder

Im Gegensatz zur Verzögerung der reinen Bindemittel, die im Minutenbereich liegt, ergibt sich beim Mörtel eine Verzögerung um Stunden (Vgl. Abb. 16 und 17). Da die erhebliche Beeinflussung bei Anwesenheit der abbinderegulierenden Additive bzw. bei vollständiger Mörtelrezeptur festzustellen ist, wird derzeit davon ausgegangen, dass sich der Verzögerungsmechanismus der organischen Störstoffe verstärkend auf die Wirkung der verzögernden Additive auswirkt. Anders betrachtet reicht die keimbildende Wirkung und/oder die basische Anregung der Beschleuniger bei Anwesenheit von RC-Material aus GKP-Recycling nicht aus. Hinweise auf eine mögliche Wirksamkeit von Holzinhaltsstoffen, Lignin sowie ein verminderter pH-Wert der reinen RC-Bindemittel sind gegeben, was noch weiter untersucht werden soll.



ROHDICHTE, FESTIGKEITEN UND WASSERRÜCKHALTEVERMÖGEN

Tabelle 6 zeigt die Eigenschaften der Frisch- und Festmörtel, je nach Art und Anteil des RC-Bindemittels.

Die Werksvorgabe, mindestens 2 MPa **Druckfestigkeit** zu erreichen, wird nur von den Mischungen mit 20 %iger Substitution mit RC-MPG-M (W/F = 0,65) und RC-TA-M (W/F = 0,58) eingehalten. Auch der Austausch von 50 % RC-MPG-M (W/F = 0,70) ist vielversprechend, da hier das Potenzial geringfügiger Rezepturanpassungen besteht. Der Festigkeitsverlust bei bis zu 32 % RC-SG ist trotz vergleichbarer W/F-Werte tendenziell höher.

Umso höher der RC-Anteil, d.h., umso höher der faserförmige Störstoffanteil im Gipsgefüge (Abb. 20 a, b), desto besser ist das **Biegezug/Druckfestigkeits-Verhältnis**. Die Biegezugfestigkeit ist im Verhältnis zur Druckfestigkeit erhöht. Allerdings ist am Werkrockenmörtel (WTM), der mit unterschiedlichen W/F-Werten verarbeitet wurde, auch festzustellen, dass die Druckfestigkeit mit zunehmender Wassermenge in stärkerem Maße sinkt als die Biegezugfestigkeit. β_{Bz}/β_D steigt demnach ebenfalls mit zunehmendem Kapillarporenanteil. Diese Tendenz ist jedoch bei Gipsmörteln mit RC-Anteil nicht zu beobachten. Hier bleibt das Verhältnis meist gleich (s. W/F-Werte von 0,68 vs. 0,73).

Während β_{Bz}/β_D vom Werkrockenmörtel bei 0,3 liegt, wird bei allen Mörteln mit RC-Gipsbindemittel-Anteil etwa 0,4 erreicht (Tabelle 6). Die Festigkeiten nehmen selbstverständlich mit zunehmendem W/F-Wert ab. Jedoch auch bei gleichem W/F-Wert kommt es bei RC-Gipsbindemittel-Verwendung zu Festigkeitseinbußen (rosa Zeilen). Die erhöhte Porosität bei den Mörteln mit RC-Anteil wird hierfür der Hauptgrund sein. Allerdings ist auch erkennbar, dass die Druckfestigkeiten der RC-Mörtel nicht mit der Rohdichte bzw. der Porosität korrelieren. Ebenfalls einzubeziehen ist ein unterschiedlich hoher Hydratationsgrad der Mörtel. Er fällt je nach Erhärtungsstörung durch die organischen Störstoffe mehr oder minder hoch aus und ist bei der RC-Thermoanhydrit-Substitution am höchsten. Das heißt, dass die Erhärtungsstörung durch Kartonagereste bei hoher Herstellungstemperatur der RC-Bindemittel so gut wie aufgehoben ist.

Das **Wasserrückhaltevermögen** (WRV), das lt. Werksvorgabe mindestens 97 % erreichen soll, wird von allen Gipsmörteln eingehalten. Aus dieser Sicht kann von einer Anpassung der Dosierung von Methylcellulose und/oder anderen stabilisierenden bzw. verdickenden Additiven zunächst abgesehen werden. Erkennbar ist, dass das WRV von einem Substitutionsgrad von 0,2 unbeeinflusst bleibt, jedoch bei 0,5 und 1,0 zunehmend geringer wird. Dies wird primär auf den zunehmenden Wasseranteil der Frischmörtelmischung (bei vergleichbarer Konsistenz) zurückgeführt. Bekanntermaßen geht damit eine sinkende Viskosität einher.

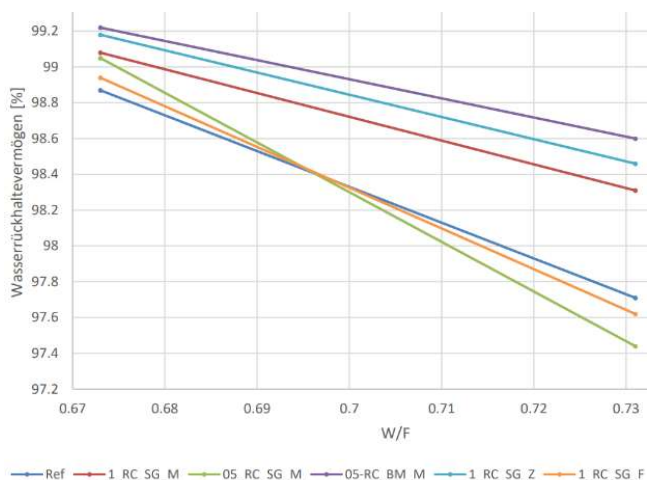


Abb. 18: Wasserrückhaltevermögen (WRV) verschiedener Gipsmörtel mit RC-Stuckgips-Anteilen (RC-SG und RC-BM) im Vergleich zum Werkrockenmörtel (Ref.)

Dass die Anteile aus Kartonageresten einen Beitrag zum Wasserrückhaltevermögen bzw. zur Sedimentationsstabilität leisten, ist eindrucksvoll an Abbildung 17 erkennbar. Während die Werte bei W/F = 0,68 noch nahe beieinanderliegen und das Soll erfüllen, stellt W/F = 0,73 ein Szenarium bei Überdosierung von Wasser dar (Ausbreitmaße s. Tabelle 4). Zwei Kurvenscharen sind erkennbar. Bei der unteren fällt das WRV infolge der



höheren Wassermenge deutlicher ab als bei der oberen. Der drastischere Abfall ergibt sich beim Werk trockenmörtel und bei Substitution mit 32 % RC-SG-F, welche beide keine Kartonagereste mit sich bringen, sowie bei Substitution mit 16 % RC-SG-M, die vergleichsweise wenig Kartonagereste mitbringt. Einen geringeren Abfall bewirken höhere Substitutionsanteile mit jeweils 32 % RC-SG-M und -Z sowie mit 50 % RC-SG-M. Es scheint naheliegend, dass der höhere Anteil an Kartonageresten hierfür verantwortlich ist. Allerdings weisen letztere auch eine steifere Konsistenz auf, was ebenfalls auf die Reststoffe zurückzuführen ist. Einen weiteren Hinweis auf einen Beitrag der Reststoffe auf das Wasserrückhaltevermögen bieten die WRV-Werte aus Tabelle 6 bei vergleichbaren W/F-Werten (rosa Zeilen). Auch beim RC-Mehrphasengipsbinder werden bei W/F = 0,70 bzw. 0,75 höhere WRV als beim Werk trockenmörtel mit W/F = 0,73 erreicht. Dies ist beim RC-Bindemittel RC-SG-F ohne Kartonagereste nicht zu beobachten.

Tabelle 6 gibt außerdem Hinweise darauf, dass die höhere **Porosität** bei Verwendung von RC-Gipsbindemitteln nicht allein auf die höhere Wassermenge zurückzuführen ist. Bereits per Augenschein ist eine vermehrte Anwesenheit von Luftporen im Festmörtel erkennbar. Lichtmikroskopische Aufnahmen scheinen das zu bestätigen (Abb. 19 a vs. b, c). Darüber hinaus zeigt der Vergleich von WTM (W/F=0,60) mit RC-TA (W/F=0,58) bei ähnlichem W/F-Wert eine Zunahme der Porosität um 4 % (Tabelle 6, Abb. 19 c), was auf die Anwesenheit von 20 % RC-Material zurückgeführt wird. Bei gleichem W/F (0,73) weist der Stuckgips RC-SG-F ohne Kartonagereste ebenfalls eine geringere Porosität bzw. höhere Rohdichte auf als die Stuckgipse aus RC-Gips-M und -Z. Demzufolge wird angenommen, dass insbesondere die verschlungenen Cellulosefasern beim Mischvorgang Luft „einschlagen“ und/oder Bestandteile der Papierkleber und/oder Holzinhaltstoffe wie Lignin zur Luftporenbildung beitragen.

Der kleintechnisch im Werk hergestellte RC-Mehrphasengipsbinder (RC-MPG M kt) führt auch hier zu günstigeren Eigenschaften als der im Labor hergestellte RC-MPG-M. Bei gleichem W/F-Wert werden eine höhere Rohdichte und Festigkeit festgestellt (grüne Zeilen Tabelle 6).

Tabelle 6: Eigenschaften von Gipsmörteln mit unterschiedlichen RC-Gipsbindemitteln und RC-Anteilen

Putzmörtelmischung	RC-Anteil im Bindemittel [M-%]	Wasser/Feststoff-Wert W/F [-]	Ergiebigkeit [l/t]	Frischmörtelrohddichte ρ_r [kg/dm ³]	Festmörtelrohddichte ρ_f [kg/dm ³]	ρ_r/ρ_f [-]	Porosität* [%]	Biegezugfestigkeit β_{Bz} [MPa]	Druckfestigkeit β_D [MPa]	β_{Bz}/β_D [-]	WRV [%]
Referenz WTM	0	0,60	1240	1,29	0,89	1,4	65	1,2	3,8	0,32	99,3
	0	0,68	1481	1,13	0,81	1,4	68	0,8	2,2	0,36	98,9
	0	0,73	1540	1,12	0,80	1,4	68	0,7	1,9	0,37	97,7
RC-SG-M	16	0,68	1556	1,08	0,72	1,5	72	0,7	1,6	0,44	99,1
	32	0,68	1600	1,05	0,70	1,5	73	0,7	1,6	0,44	99,1
	16	0,73	1602	1,08	0,72	1,5	72	0,5	1,4	0,36	97,4
	32	0,73	1624	1,07	0,71	1,5	72	0,6	1,4	0,43	98,3
	50	0,73	1696	1,02	0,68	1,5	74	0,6	1,1	0,55	98,6
RC-SG-Z	32	0,68	1474	1,14	0,76	1,5	71	0,8	1,9	0,42	99,2
	32	0,73	1602	1,08	0,72	1,5	72	0,6	1,4	0,43	98,5
RC-SG-F	32	0,73	1498	1,16	0,77	1,5	70	0,7	1,6	0,44	97,6
RC-MPG-Z	100	0,75	1750	1,00	0,61	1,6	75	0,3	0,7	0,43	98,7
	100	0,85	1670	1,11	0,65	1,5	76	0,3	0,6	0,50	97,0
RC-MPG-M	20	0,65	1370	1,20	0,80	1,5	69	0,9	2,5	0,36	99,2
	50	0,70	1530	1,11	0,64	1,7	75	0,7	1,8	0,39	98,4
	100	0,85	1840	1,00	0,60	1,7	77	0,4	0,9	0,44	97,6
RC-MPG M kt	100	0,85	1682	1,10	0,66	1,7	74	0,5	1,2	0,42	98,3
RC-TA-M	20	0,58	975	1,62	0,81	2,0	69	1,4	3,5	0,40	99,3

kursiv: Berechnungen unter naheliegenden Annahmen von ρ_r/ρ_f

*Berechnung Porosität mit gemessener Reindichte von WTM = 2,53 kg/dm³ u. von RC-SG-M = 2,58 kg/dm³, die für alle RC-Mischungen angenommen wird.

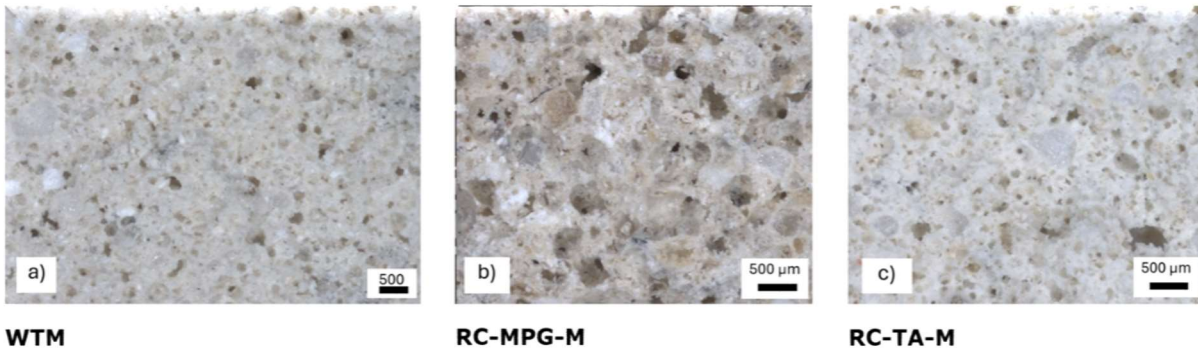


Abb. 19 a-c: Lichtmikroskopische Aufnahmen Bruchflächen 7 d erhärteter Gipsmörtel mit unterschiedlichen Bindemitteln

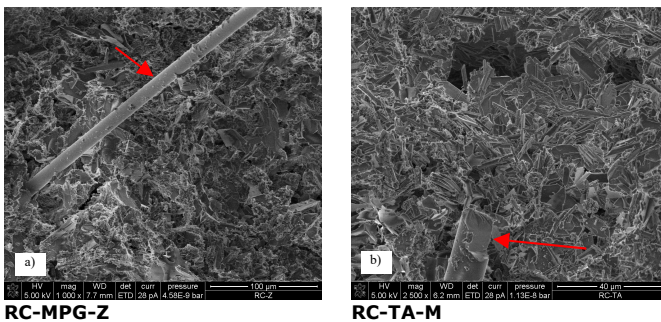


Abb. 20 a, b: ESEM-Aufnahmen Bruchflächen 7 d erhärteter Gipsmörtel mit unterschiedlichen Bindemitteln (inkl. Fasern im Gipsgefüge)

REZEPTURANPASSUNGEN ZUR ERREICHUNG DER GEFORDERTEN DRUCKFESTIGKEIT

Wenngleich mehrere Ursachen für die Festigkeitseinbußen bei Verwendung von RC-Gips identifiziert wurden, stellt der erhöhte Wasseranspruch letztendlich die größte Herausforderung dar. Obgleich wesentliche Anforderungen an einen Gipsleichtputz selbst bei 100%igem Austausch des Bindemittels mit RC-Material erfüllt werden können, bleibt die geringe Festigkeit (Tabelle 6) ein Problem, dem dringend begegnet werden muss. Im Projekt wurden deshalb verschiedene Maßnahmen untersucht (Abb. 34). Da festgestellt wurde, dass sich die Kartonagereste verstärkt im groben Korngrößenbereich anreichern (Tabelle der Abbildung 8), wurde geprüft, ob die Verwendung von RC-MPG-M < 250 µm zu einer merklichen Verbesserung führt. Dies war nicht der Fall, so dass dieser Ansatz nicht weiterverfolgt wurde. Eine weitaus effektivere Maßnahme ist, den Anteil an RC-Material auf maximal 20 M-% zu begrenzen. Dies zeigen die verschiedenen Untersuchungen mit unterschiedlichen Substitutionsgraden, auf die bereits eingegangen wurde. Soll jedoch ein Putz unter ausschließlicher Verwendung eines RC-Gips-Bindemittels hergestellt werden, lohnt sich ein Blick auf die Additive, die als Verdicker und/oder Stabilisierer eingesetzt werden. Im Projekt wurden in Zusammenarbeit mit der Firma DOW speziell die Methylcellulosen (MC) betrachtet. Es erfolgten **systematische Untersuchungen unterschiedlicher MCs**. Erfolgreich war die Verwendung höher viskoser Sorten. Hier konnte infolge der höheren Wirksamkeit eine deutliche Reduzierung der Dosiermenge der MCs erreicht werden, bei hohem Wasserrückhaltevermögen (WRV) und guter Standfestigkeit an der Wand. Der je nach MC-Art um 20 bis 40 % verringerte Anteil an Methylcellulose, erlaubt für eine ausreichende Verarbeitbarkeit (Ausbreitmaß) eine entscheidende Reduzierung der Wassermenge. Es wurde festgestellt, dass W/F-Werte $\leq 0,65$ in jedem Fall zu einer ausreichend hohen Druckfestigkeit von > 2 MPa führen. Ein weiterer Effekt der geringeren MC-Menge ist eine geringere Verzögerungswirkung, die bei allen MCs nachweisbar ist.

MC mit größerer Wirksamkeit \rightarrow MC-Dosierung \downarrow \rightarrow Verzögerungswirkung MC \downarrow + Wasseranspruch \downarrow
 \rightarrow W/F ähnlich WTM \rightarrow Festigkeiten > 2 MPa



Tabelle 7 zeigt anhand einer Auswahl an Ergebnissen die Auswirkung von Art und Dosiermenge von Methylcellulosen auf die Eigenschaften von RC-Putzmörteln im Vergleich zum Referenz-Mörtel (WTM) und zur Rezeptur mit unveränderter MC (Probe 1)

Tabelle 7: Festkörpereigenschaften von RC-Gipsmörteln mit 100 % RC-Gipsbindemittel unter Verwendung unterschiedlicher Methylcellulosen (MC)

	WTM	100 % Substitution mit RC-MPG-M kt				
Probe Nr.	Ref.	1	7	4	5	x
MC-Art	Alte MC	Alte MC	Neue MC 60	Neue MC GL	Neue MC 4V	Neue MC 2V
MC-Dosierung	100 %	100 %	80 %	60 %	50 %	80 %
W/F	0,60	0,70	0,60	0,60	0,65	0,70
Dichte [kg/m ³]	890	600	923	898	839	
Biegezugfestigkeit Bz [MPa]	1,2	0,5	1,3	1,2	1,0	0,7
Druckfestigkeit D [MPa]	3,8	1,2	3,7	3,6	2,9	1,7
Ausbreitmaß a [mm]	168	161	153	153	152	161
Wasserrückhaltevermögen WRV [%]	99	99	n.b.	99,5	99	99
Erhärtungsbeginn VB [h]	3,0	3,5	1,5	1,5	2,2	

2.4 Testflächen im Demonstratormaßstab

Zur maschinellen Herstellung und Untersuchung von Putzflächen wurden größere Mengen Bindemittel im Technikumsmaßstab bei unterschiedlichen Herstellungsbedingungen aus RC-Gips produziert. Sie wurde im Vergleich zu den Laborbindemitteln untersucht und standen dann für die Rezepturierung verschiedener Trockenmörtelmischungen (inkl. Additive und Leichtkörnung) zur Verfügung. Sie wurden mit einer konventionellen Verputzmaschine appliziert und durch einen Fachmann bearbeitet. Eine Anpassung, insbesondere der Additivkombination, war notwendig. Tendenziell konnte im Vergleich zu den Labormischungen mit einer geringeren Wassermenge gearbeitet werden. Es war festzustellen, dass die Verarbeitung in der Maschine oft einen Beschleunigungseffekt und eine erhöhte Rohdichte verursacht.

Tabelle 8: Phasenzusammensetzungen (XRD) im Technikumsmaßstab gebrannter Bindemittel aus RC-Gips und daraus erstellter Putzgipsbinder für Praxisversuche an Putzflächen

Rohstoff	Naturgips	RC-Gips MUEG		RC-Gips-haltige Mischungen	
	Putzgipsbinder	RC-Stuckgips	RC-Anhydrit	32 % RC-SG _{ind.} + 68 % PG _{ind.}	20 % RC-TA _{ind.} + 80 % SG _{ind.}
Gipsbinde- mittel	Ref. PGB	RC-SG _{ind.}	RC-TA _{ind.}		
Dihydrat	0,3	0,9	0,0	0,3	0,0
Halbhydrat	64,6	80,7	1,2	67,3	65,7
Anhydrit II	25,4	8,7	91,7	26,3	21,7

Im Vergleich zeigen die beiden RC-Gips-haltigen Mischungen (Tab. 8) deutliche Unterschiede in Abbindeverhalten und Konsistenz. Die Trockenmörtelmischung mit Anteil an RC-TA benötigt weniger Wasser und mehr Verzögerer.

Putzversuche mit verschiedenen Arten von Methylcellulosen zeigten einen deutlichen Einfluss auf Wasserbedarf, Konsistenz, Anspritzverhalten, Verarbeitungszeiten, Stehvermögen und Verhalten beim Abziehen.



Abb. 21: Putzversuche an Testflächen. Hier am Beispiel einer Putzgipsmischung mit 32 % RC-SG_{ind.} mit optimalem Gehalt einer vorzugsweise zu verwendenden Methylcellulose



Abb. 22: Beispiele von Testflächen zur Optimierung der Additivkombination am Beispiel einer Putzgipsmischung mit 32 % RC-SG_{ind.}, links: ohne Additivanpassung im Vergleich zur Referenz auf Naturgipsbasis, Mitte: verringerter Anteil an MC und Verzögerer, rechts: zu geringer Anteil an MC

2.5 Innovationspotenzial und Bedarfsanalyse

Im Ergebnis lieferte das Forschungsprojekt EcoStuc messbare Argumente für das Gips-Recycling. Es wurden Voraussetzungen geschaffen, um die Ergebnisse in den industriellen Maßstab überführen zu können. Die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis ist attraktiv, da im Projekt nicht nur die technologieseitige Praxistauglichkeit gegeben ist. Es wurden außerdem **Problemlösungen als Hilfestellungen für die Einführung eines neuen Produktes in ein noch nicht etabliertes Marktsegment** (Recycling-Bauprodukte) erarbeitet. Sie sollen dazu beitragen, dass die Markteinführung ökonomisch tragbar, und gleichzeitig gesellschaftlich anerkannt ist. Das Projekt entfaltet somit branchenintern und branchenübergreifend eine Vorbildwirkung.

Im Arbeitspaket „Übergeordnete Analysen und Berechnungen zum Innovationspotenzial des Produktes“ wurden die beiden Teilarbeitspakete 8.1 „Analyse strategischer Rahmenbedingungen“ und 8.2 „Bedarfskonzept“ bearbeitet (Unterauftrag Innovationscoach Dr. Kareen Schlangen). Darüber hinaus wurden in einem dritten Teilarbeitspaket 8.3 „Ökobilanzielle Betrachtungen“ inkl. einer Erhebung konkreter Daten durchgeführt.



Für eine breite Verwendung des verfügbaren RC-Gipses fehlte es neben wissenschaftlich-technologischen Grundlagen zur praxistauglichen Herstellung und Anwendung hochwertiger Gipsbauprodukte an Akzeptanz. Das Projekt wurde genutzt, um am Beispiel eines künftigen Gipsleichtputzes aus RC-Gips diese Innovation wirtschaftswissenschaftlich zu beschreiben, die Ausgangsbedingungen zu charakterisieren und Strategien abzuleiten, um ein Recyclingbauprodukt erfolgreich am Markt platzieren zu können.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse gezeigt.

AKZEPTANZFORSCHUNG, BEDARFS-STRUKTUR, ZIELGRUPPEN-ÜBERSICHT, MERKMALS-SYSTEM

Dem erarbeiteten Innovationskonzept für Recycling-Gipsputzmörtel lt. Abb. 23 wurde anhand verschiedener Methoden nachgegangen.



Abb. 23: Innovationskonzept für Recycling-Gipsputzmörtel

Dabei wurden folgende Ergebnisse erhalten:

Als **potenzielle Zielgruppe** wurden Architekten & Planer ermittelt, die Expertise beim Einsatz von herkömmlichen Gipsputzmörteln aufweisen und Bauherren (privat & öffentlich) im Bauprozess beraten. Darüber hinaus entscheiden ausführende Handwerksfirmen und private Anwender im Eigenheim darüber, ob das neue Produkt auf dem Markt erfolgreich sein kann. Abbildung 24 zeigt die Bedarfsstruktur.

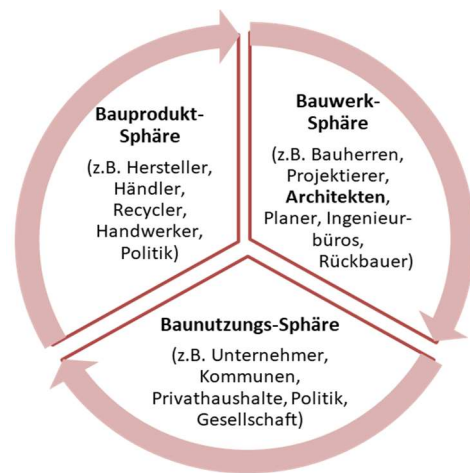


Abb. 24: Bedarfsstruktur

Eine testweise Verwendung des aufwendig erarbeiteten Fragebogens (Abb. 25), ergab mit unterschiedlichen Zielgruppen (nicht repräsentative Umfrage), dass Architekten besonderen Wert auf die Unbedenklichkeit und Zertifizierung des neuen Materials legen. Bauherren und Ausführenden war es unter der Voraussetzung von unveränderter Verwendbarkeit und Materialeigenschaften am wichtigsten, dass es nicht teurer ist. Der Aspekt der Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung und CO₂-Einsparung würde derzeit nicht zur Kaufentscheidung beitragen. (Stand 06/24).

STRATEGIEKONZEPT UND MÖGLICHE TRANSFERMAßNAHMEN IN DIE PRAXIS

Bezüglich der Entwicklung eines neuartigen Produktes und des Umgangs mit bestehenden Marktstrukturen, in welchen noch keine Gipsbauprodukte aus RC-Gips etabliert sind, wurde neben der Bedarfsanalyse eine Analyse und Bewertung des Innovationspotenzials des potenziellen Produktes erarbeitet. Dafür wurden externe und interne analysierende Studien mit daraus resultierender SWOT-Analyse durchgeführt und hinsichtlich Vorzugsvarianten ausgewertet (Abb. 26). Dies beinhaltete unter anderem Recherchen zur Branche „Gips und Gipsrecycling“, zur Nutzung und zu ökonomischen Besonderheiten, zu Aspekten der Kommunikation und zur Bewertung hinsichtlich des Problem-Solution-Fit.

Abgeleitet aus den Ergebnissen der SWOT-Analyse wurden strategische Optionen erarbeitet und letztlich eine Roadmap mit Handlungsmaßnahmen zu vier Normstrategien erstellt (Abb. 26). Die Roadmap dient als Entscheidungs- und Arbeitsgrundlage für die Entwicklung von innovativen Recycling-Bauprodukten.



Gemeinsamer Sachbericht zum Verwendungsnachweis
Teil II: Eingehene Darstellung der Ergebnisse im Projekt EcoStuc

Innovation fand im Projekt folgende Definition:

Innovation ist etwas Neues – eine *Optimierung im Hinblick ökonomischer und ökologischer Wertigkeit* von Arbeitsprozessen im Vergleich zum Status Quo und/ oder eine Entwicklung neuer Lösungsansätze für Produkte, Serviceleistungen, Geschäftsbereiche und -modelle. Dabei sind folgende Aspekte entscheidend:

- Parallelität neuer Technologie (F&E) und Anwendung (am Markt)
- Definition der Neuerung bzw. des Mehrwertes (z.B. kundenorientiert, ökonomisch, ökologisch)

Abbildung 27 zeigt die herausgearbeiteten Erfolgsfaktoren einer Innovation.

Markterfolgsrelevante Eigenschaften eines RC-Gipsputz

VOM INTERVIEWER AUSZUFÜLLEN:
Name des Interviewers: _____ Datum des Interviews: _____

Name/Institution des Befragten: _____

Bauproduktphase	Bauwerksphase	Baunutzungsphase
<input type="checkbox"/> Hersteller	<input type="checkbox"/> Bauherr	<input type="checkbox"/> Unternehmer
<input type="checkbox"/> Händler	<input type="checkbox"/> Planer	<input type="checkbox"/> Kommune
<input type="checkbox"/> Recycler	<input type="checkbox"/> Ingenieurbüro	<input type="checkbox"/> Privathaushalt
<input type="checkbox"/> Handwerker	<input type="checkbox"/> Rückbauer	<input type="checkbox"/> Politik/Gesetzgeber
<input type="checkbox"/> Politiker	<input type="checkbox"/> Architekt	<input type="checkbox"/> (Sozial-)Gesellschaft
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Projektierer	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VOM INTERVIEWER ZU BEFRAGEN GGF. VOM BEFRAGTEN AUSZUFÜLLEN:
Welche Eigenschaft(en) bzw. Merkmale assoziieren Sie spontan mit Gipsputz aus RECYCLEM Altgips?

Bisher gibt es keinen Recycling-Gipsputz (Gipsputz aus RC-Gips) am Markt. Wie kann aus Ihrer Sicht diese Innovation (Marktneuheit) vom Kunden erkennbar/wahrnehmbar gemacht werden?

Wie sollte der Kaufpreis dieses innovativen Produktes im Vergleich zu gewöhnlichem Gipsputzmörteln sein?
 teurer (Um ca. wieviel Prozent?) gleich hoch günstiger (Um ca. wieviel Prozent?)

Wie WICHTIG bzw. RELEVANT sind für Sie folgende Eigenschaften eines RC-Gipsputzes, die Ihre Kaufbereitschaft VOR dem Kauf und Ihre Zufriedenheit NACH dem Kauf beeinflussen (Nutzenstiftung)?
Je mehr Sterne Sie ankreuzen, desto wichtiger bzw. relevanter ist die Eigenschaft.

Merkmalsgruppe	Ihr Ranking Wichtigkeit VOR dem Kauf.	Ihr Ranking Relevanz NACH dem Kauf.
Ressourcenschonung <small>(aus recyceltem Material, fördert nachhaltiges Handeln und ökologisches Leben, ökologisches Gütesiegel, Plowier des 1. 100% RC-Gipsproduktes am Markt)</small>	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
Wohnqualität <small>(staub/immigrullierend, kontrolliert Luftfeuchtigkeit, nicht brennbar/hoher Brandschutz)</small>	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
Wohngesundheit <small>(emissionsfrei, schimmelresistent, ohne schädlichen Bestandteile, allergieverträglich)</small>	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
CE-Zertifizierung <small>(zulassen, zertifiziert, wissenschaftlich gut erprobt, erfüllt allgemeingültige Normen/Prüfverfahren)</small>	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
Anwenderfreundlichkeit <small>(gewählte Eigenschaften, leicht zu verarbeiten auch für Laien, Verarbeitungshinweise/-tips, langfristig verfügbar, Herstellung & Lieferung transparent)</small>	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆

Welche BEDEUTUNG hat die Eigenschaft RESSOURCENSCHONUNG als emotional-sozialer Zusatznutzen auf Ihre Kaufbereitschaft und ggf. zukünftige Produktbindung?
 gar kein Einfluss geringer Einfluss mittelmäßiger Einfluss großer Einfluss starker Einfluss

Welche Ideen/Vorschläge haben Sie für das Design bzw. die Gestaltung des Produktes und seiner Verpackung?

Abb. 25: Fragebogen zur Bedarfsanalyse

	Projektteam	Interne Stärken	Interne Schwächen
Umwelt		1. Team 2. Ausstattung 3. Innovations-Mindset	1. Kapazität (Personal) 2. Marktposition/-bekanntheit 3. Innovationsressourcen
Externe Chancen	1. Gesetzregelung (Gips) 2. Megatrends (öko & urban) 3. Politik (allgemein)	Politik/Gesetze (Plattform, Förderung) nutzen, um eigene Kommunikation (Marketing) zu stärken (imagefördernd). Image-Kommunikation ausbauen.	Fachkräftegewinnung durch pos. Förderpolitik begünstigt; positives Branding durch politik(an)getriebene Aktivitäten (Agenturen u.ä.); Nachhaltigkeit in Wertesystem integrieren Arbeitgeber-Identität verbessern.
Externe Risiken	1. Konkurrenz 2. Technologie (Materialknappheit) 3. Wirtschaft (Bau, Krise, Fachkräfte)	Gezielter, geregelter Wissenstransfer, Know-How-Sicherung (Mitarbeiter-bindung) -> AG-Branding; Rohstoffsicherung (Exklusiv-Partnerschaften) Wissens-Vorsprung absichern.	Positive Arbeitsbedingungen (Betriebsklima, Aufgaben, Freiraum, Qualifizierungen, Kontinuität); Risikostreuung über Branchen hinweg; Kooperation (Coopetition) mit Naturschutz und Tourismus Feindschaften & Silodenken vermeiden.

Abb. 26: Ergebnisse der SWOT-Analyse (projektpartnerinterne Stärken und Schwächen vs. positive und negative externe Bedingungen) im Kompaktformat und daraus abgeleitete Normstrategien (rot)



Gemeinsamer Sachbericht zum Verwendungsnachweis
Teil II: Eingehene Darstellung der Ergebnisse im Projekt EcoStuc

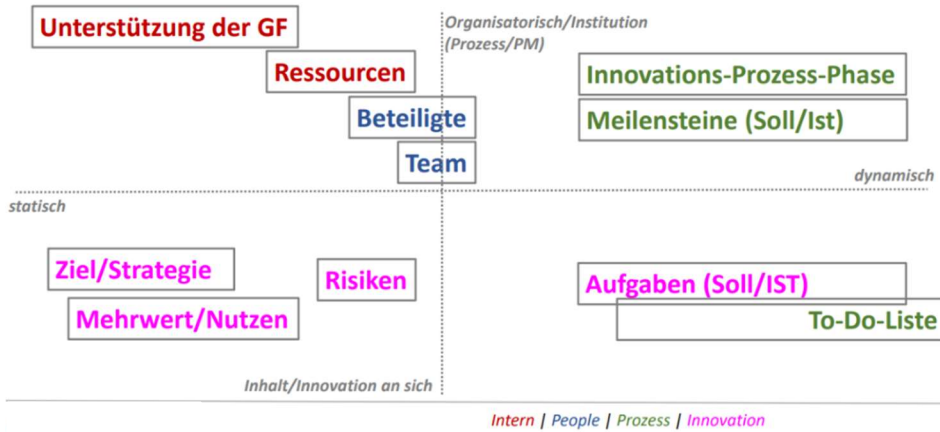


Abb. 27: Struktur der identifizierten 11 Erfolgsfaktoren einer Innovation aus 4 Kategorien

STECKBRIEF:

Farblgende: **UNTERNEHMENSINTERN** | **MENSCHEN** | **INNOVATION** | **PROZESS**

UNTERSTÜTZUNG DURCH DIE GF
 schriftlich mündlich

RESSOURCEN
 Mitarbeiter: _____
 Finanzmittel: _____
 Stunden/Wo: _____
 Zugänge: _____

TEAM

Name	Rolle	Expertise	dabei seit	dabei bis

Team-Statement (WIE wollen wir arbeiten?):

Projektverständnis (WAS wollen wir erreichen?):

INNOVATIONS-IMPULS
 Technologie Markt Politik

IDEEN-QUELLE(N)
 intern
 extern

INNOVATIONS-STRATEGIEN

LEISTUNG	Ansoff-Matrix		MARKET	
	Bestehend	Neu	Bestehend	Neu
Bestehend				
Neu				

ZIELE/STRATEGIE
 (2-3 Sätze mit Angabe von Inhalt, Ausmaß und Zeit)

NUTZEN

Zielgruppe	Mehrwert (KPI)

BETEILIGTE PARTNER (aktuell)

BETEILIGTE PARTNER (zukünftig)

RISIKEN
 (Je mehr ●, desto riskanter.)

1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

AMBITION-MATRIX

Markt vs. Leistung

KERN-INNOVATION:
 Optimierung bestehender Leistungen/Produkte für bestehende Kunden

BENACHBARTETE INNOVATION:
 Erweiterung bestehender Leistungen/Produkte in neue, bisher fremde Märkte

ADJUNKTIVE INNOVATION:
 Entwicklung neuer Leistungen/Produkte für bisher nicht ansichende Märkte

LEGENDE:
 Lieferanten Kunden Forschung
 Konkurrenten Zuliefer/Anwender Umwelt
 Öffentlichkeit Experten Interessengruppen
 Politik/Gesetz Branchenverbände

Abb. 28: Innovation Template – Teil Steckbrief (fix)



Projekttitle: _____ Datum/Version: _____ Fortschrittsanzeige: [] [] [] [] Protokollant: _____

INNOVATIONS-PROZESS

INNOVATIONEN → Ideen → Konzepte → Umsetzungen → Tests/Prototypen → Einführungen → Ausbauten

TEAM

DA?	Name	Momentum
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		

Team-Statement (WIE wollen wir arbeiten?):
.....
.....

Projektetappenziel (WAS wollen wir erreichen?):
.....
.....

AUFGABEN

MEILENSTEINE

	Datum
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

TO-DO-LISTE von _____ bis _____

<input type="checkbox"/> Aufgabe	
Wer?	
Wie warum?	
Ressourcen	
<input type="checkbox"/> Aufgabe	
Wer?	
Wie warum?	
Ressourcen	
<input type="checkbox"/> Aufgabe	
Wer?	
Wie warum?	
Ressourcen	
<input type="checkbox"/> Aufgabe	
Wer?	
Wie warum?	
Ressourcen	

Farblegende: **UNTERNEHMENSINTERN** | **MENSCHEN** | **INNOVATION** | **PROZESS** Speicher von Ideen, Feedback, Wichtigem:

Abb. 29: Innovation Template – Teil Template (dynamisch)

2.6 Ökobilanzielle Betrachtungen

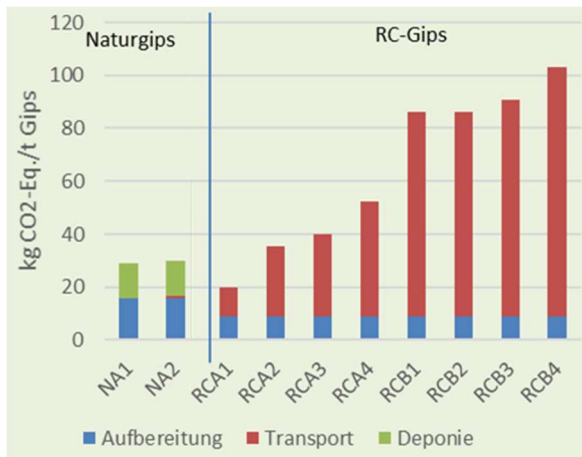
Zum einen dient RC-Gips durch das Schließen des Stoffkreislaufes der **Schonung des Primärrohstoffes** Naturgips, der **Steigerung der Rohstoffeffizienz** durch hochwertige Wiederverwertung von Gipsabfallstoffen (kein Downcycling) und der **Entlastung von Deponieraum** sowie **verringerten Umweltauswirkungen** durch deponierten sulfathaltigen Bauschutt. Zum anderen soll mit Hilfe ökobilanzieller Betrachtungen und der Quantifizierung der Treibhausgasminderung und anderen Ökobilanzfaktoren am Beispiel des RC-Gipsputzes nachvollzogen werden, inwiefern sich eine umfassendere Recyclingstrategie bei Gipsrohstoffen positiv auf den **Klima- und Umweltschutz** auswirken kann.

Der Vergleich der ermittelten Daten des RC-Gips-basierten EcoStuc-Leichtputzes mit marktüblichen Leichtputzen auf Basis von Naturgips, Kalkstein oder Zement dient auch der Wissenschaftskommunikation und Akzeptanzbildung in der Fachwelt und beim Kunden.

Gipsrohstoffe sind materialseitig CO₂-frei und aus diesem Grund deutlich klimaschonender als Baustoffe, die auf Kalkstein und anderen carbonatischen Rohstoffen basieren, wie Kalk und Zement. Das Global Warming Potential (GWP) von Gipsbaustoffen wird daher maßgeblich von den **Brennstoffen** verursacht, die für die Entwässerung von Gips bei vergleichsweise geringem Energieaufwand notwendig sind und dem **Transport**. Letzterer schlägt in der derzeitigen Situation für die Bewertung von recyceltem Gips besonders zu Buche. In



der Vorkette von RC-Gips findet neben dem Energieaufwand zur Sortierung und zur mechanischen Aufbereitung von Gipsabfällen der Transportweg des Gipsbruchs bei der Anlieferung zur Gipsrecyclinganlage Beachtung wie auch der Transport von dort zum verarbeitenden Gipswerk. Dahingegen sind die Transportwege von Naturgips in Deutschland häufig vernachlässigbar. Im Projekt wurden dafür 5 km angesetzt.



Bez.	Transport Gipsabfall von Sammelstelle zur Recyclinganlage	Transport von Recyclinganlage zum Gipswerk
RC A1	50 km LKW	5 km LKW
RC A2		100 km LKW
RC A3		50 km LKW + 220 km Bahn
RC A4		50 km LKW + 430 km Bahn
RC B1	300 km LKW	5 km LKW
RC B2		100 km LKW
RC B3		50 km LKW + 220 km Bahn
RC B4		50 km LKW + 430 km Bahn

Abb. 30: Vergleich Primärrohstoff Naturgips mit Sekundärrohstoff RC-Gips - Anteil von Aufbereitung, Transport und Deponie am Global Warming Potential (GWP) von RC-Gips (mit unterschiedlichen Transportszenarien s. Tab.) im Vergleich zu Naturgips NA (mit werkseigenem Abbau in Deutschland)

Abbildung 30 zeigt sowohl den Unterschied zwischen Naturgips und RC-Gips als auch an Beispielen den starken Einfluss der Transportweglänge auf das CO₂-Äquivalent (= GWP = CO₂-Fußabdruck). Bei der Verwendung des Primärrohstoffes Naturgips wird dem linearen Verwertungsweg folgend die Deponierung (grüner Balken) angerechnet. Um dem geschlossenen Verwertungsweg des Sekundärstoffes Recyclinggips, der bereits einen Lebenszyklus hinter sich hat, Rechnung zu tragen, wird hier ohne Deponie gerechnet. Unter diesen Bedingungen ist anhand der Tabelle von Abb. 30 erkennbar, dass ein **RC-Gips einen mit Naturgips vergleichbar geringen CO₂-Fußabdruck** erzeugt, wenn er insgesamt **nicht mehr als 150 km** transportiert wird. Infolge der wenigen Gipsrecyclingstandorte in Deutschland, kann es zu deutlich längeren Wegen kommen. Sie können das GWP von RC-Gips im Vergleich zu Naturgips mehr als verdreifachen. Die Transportwege verringern sich, sobald mehr Recyclinganlagen in Deutschland in Betrieb genommen werden.

Abbildung 31 zeigt RC-Gipsputz mit 100 % und 20 % RC-Gips-Verwendung mit best case und worst case Transportszenarien, wie sie derzeit in Deutschland typisch sind. Im Vergleich dazu wird ein marktüblicher Referenz-Leichtputz auf Basis von Naturgips sowie einen Kalk-Zement-Leichtputz lt. EPD gezeigt. Gerechnet wurde für 1 Tonne Putz als Trockenmörtel für die Lebenszyklusphasen cradle to gate.

Insbesondere ist hieran erkennbar, dass der Trockenmörtel aus RC-Gips selbst unter ungünstigster Annahme noch nicht einmal halb so viel CO₂-Emission verursacht wie ein durchschnittlicher Kalk-Zementputz.



Die Trockenmörtelmischung mit 100 % Bindemittelaustausch mit Mehrphasengipsbinder aus RC-Gips, welche in Abbildung 31 je nach Transportweg 120 oder 166 kg CO₂-Äq. pro Tonne verursacht, wurde (wie auch der Bindemittelanteil von 20 % RC-Thermoanhydrit) am Beispiel eines Schachtofens berechnet. Wird stattdessen eine Putzgipsanlage als Brennaggregat eingesetzt würden 19,3 kg/t mehr CO₂ entstehen. Dies macht beispielhaft den Einfluss der gewählten Produktionsanlagen deutlich.

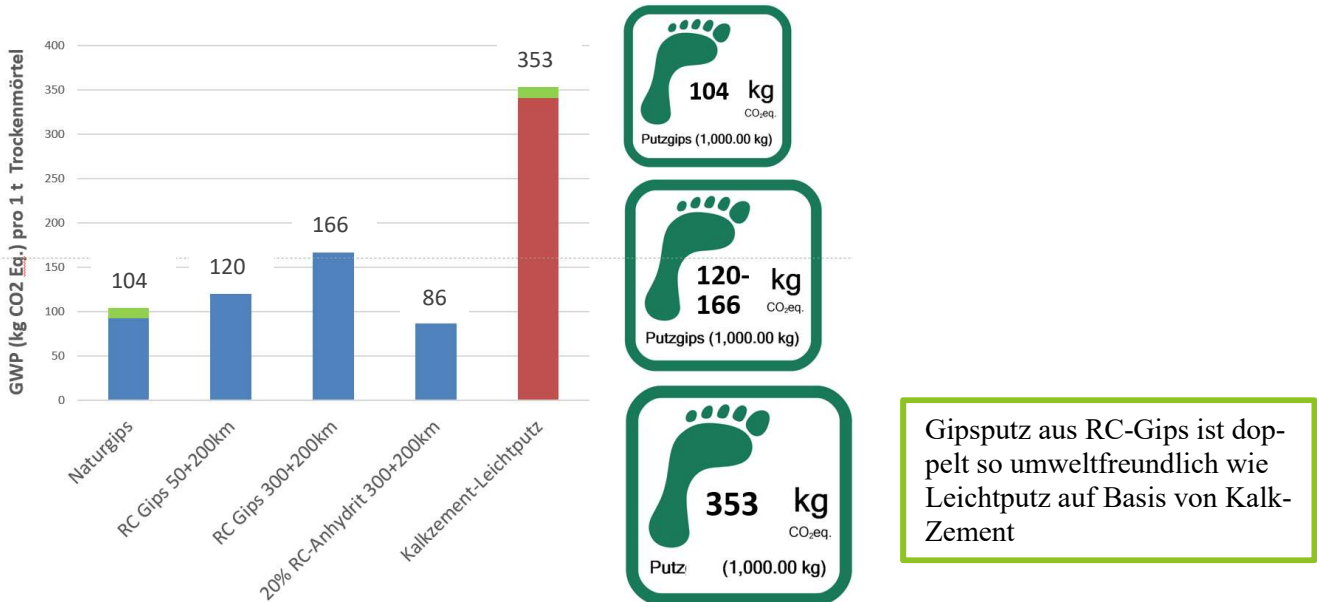
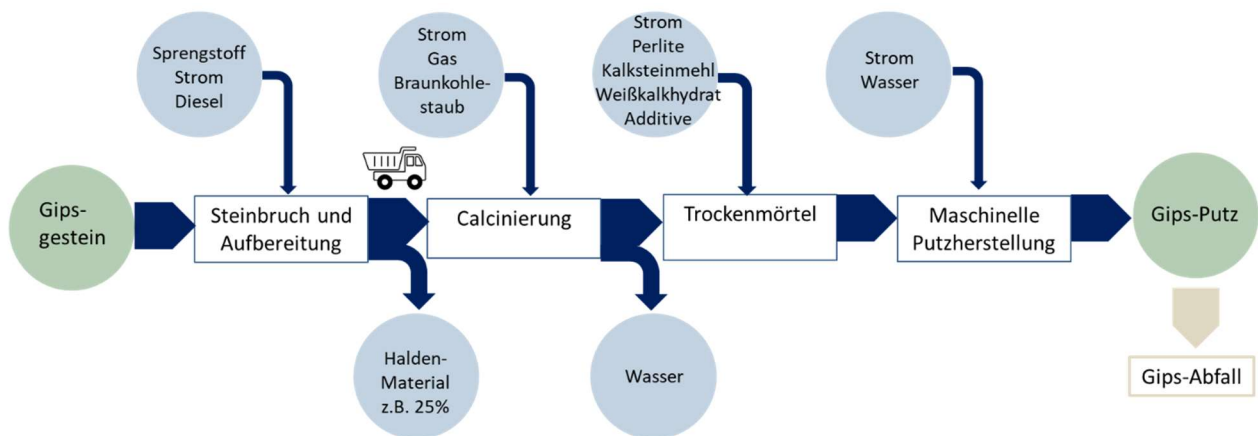


Abb. 31: Vergleich Gipsputz-Trockenmörtel auf Basis unterschiedlicher Rohstoffe bzw. unterschiedlicher Bindemittel. GWP-Bilanzierungen für einen Lebenszyklus Gradle to Gate mit unterschiedlichen Szenarien im Vergleich zu Leichtputzen auf Basis von Naturgips und von Kalk-Zement

Die Abbildungen 32 und 33 zeigen die betrachteten Herstellungsschritte für einen Gipsleichtputz-Trockenmörtel aus Naturgips und aus RC-Gips.



GWP [kg CO₂- Eq/ t Trockenmörtel]:



Abb. 32: betrachteter Lebenszyklus- Herstellung von Gipsleichtputz aus Naturgips nach Vorbild des marktüblichen Referenz-Trockenmörtels mit Angabe des GWP der wichtigsten Herstellungsschritte

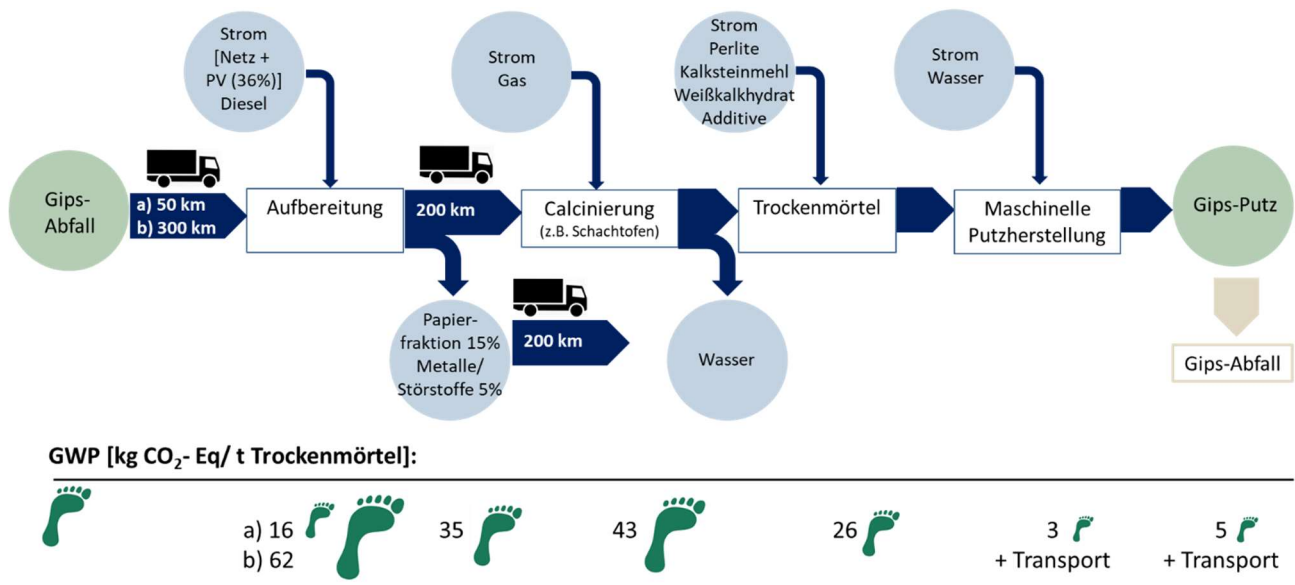


Abb. 33: betrachteter Lebenszyklus - Herstellung von Gipsleichtputz aus RC-Gips nach Vorbild der im Projekt erarbeiteten Rezepturvariante 100 % RC-MPG mit zwei verschiedenen Transportszenarien mit Angabe des GWP der wichtigsten Herstellungsschritte

2.7 Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Ansätze untersucht, um das Bindemittel eines konventionellen Maschinenleichtputzes teilweise oder vollständig mit RC-Gipsbindemitteln auszutauschen. Um nach dem Austausch einen qualitativ gleichwertigen, maschinell verarbeitbaren Gipsmörtel zu erhalten, der den werkseitigen und normativen Anforderungen entspricht, wurde eine vergleichbare Phasenzusammensetzung angestrebt. Die verwendeten Referenz-Bindemittel stellen demzufolge meist eine ähnliche Kombination aus Beta-Halbhydrat und Anhydrit II dar. Die Korngrößenzusammensetzung, die sich bei den RC-Gipsen merklich vom Naturgipsbindemittel unterscheidet, ist zunächst von nachrangiger Bedeutung.

Um das ursprüngliche Referenz-Bindemittel teilweise oder vollständig zu substituieren, wurden drei Bindemittelarten aus RC-Gipsen hergestellt – ein Stuckgips (RC-SG), um hauptsächlich den Halbhydratanteil zu ersetzen, ein Mehrphasengipsbinder (RC-MPG) für eine 100 %ige Substitution sowie ein Thermoanhydrit (RC-TA), um den Anhydrit II-Anteil zu ersetzen.

Wesentliche Bedeutung kommt der Art des Recycling-Gipses zu. Der Fokus der hier dargestellten Untersuchungen liegt auf RC-Gipsen, die durch Aufbereitung von Gipskartonplattenabfällen (GKP) gewonnen werden. Auch wenn alle Qualitätsprüfungen bestanden werden, inkl. eines TOC-Wertes von kleiner 1, sind nachweislich noch Kartonagereste vorhanden. Mit letzteren werden sowohl die augenscheinlich und mikroskopisch nachweisbaren Cellulosefasern assoziiert als auch Holz- bzw. Papierinhaltsstoffe, wie z.B. Lignin, die hier nicht explizit ermittelt wurden.

Bei Gipsleimen und Mörteln, die RC-Bindemittel aus Gipskartonplattenrecycling (GKP) enthalten, treten typische Eigenschaftsänderungen auf. Sie sind bei Verwendung von Bindemitteln aus einem RC-Gips, der aus Gipsformen gewonnen wird und ohne Kartonagereste oder Fasern daherkommt, nicht zu beobachten.

Es zeigt sich, dass geringere Substitutionsanteile von 16 oder 20 % GKP-RC-Material vergleichsweise unproblematisch einsetzbar sind. Obgleich auch hier die Wassermenge für eine ausreichende Verarbeitbarkeit gewöhnlich erhöht werden muss, werden auf praxisrelevanter Ebene sehr gute Ergebnisse erzielt. Nichtsdestotrotz sind Anpassungen der Kombination aus abbinderegulierenden Additiven erforderlich, um der Verzögerung durch Kartonagereste zu begegnen.



Eine vielversprechende Variante stellt der Austausch der Anhydrit II-Komponente mit RC-Thermoanhydrit dar. Infolge der höheren Herstellungstemperaturen wirken sich die Kartonagereste weniger stark aus. Temperaturbedingt wurden die organischen Störstoffe überwiegend zersetzt oder inaktiviert. Der RC-TA kann im Hinblick auf die zu erzielende Phasenzusammensetzung zu 20 % ausgetauscht werden. Unter Zugabe von 80 % Stuckgips (aus Naturgips) wird ein Gipsmörtel erhalten, welcher keine Erhöhung der Zugabewassermenge erfordert. Im Handversuch zeigt er eine gute Verarbeitbarkeit und günstige Eigenschaften an der Wand. Es ist keine Verzögerung mehr festzustellen und der hohe Hydratationsgrad wirkt sich günstig auf die geforderte Druckfestigkeit aus. Diese Putzmischung reagiert ohne Anpassung der entsprechenden Additive zu schnell (VB = 20 min) und muss verzögert werden.

Bei 50 oder 100 % Austausch der RC-Stuckgips- und RC-Mehrphasengipsbindemittel aus GKP treten insbesondere infolge der höheren notwendigen W/F-Werte deutlichere Eigenschaftsänderungen zutage, wenn die Mörtelrezeptur nicht entsprechend angepasst wird. Hauptsächlich wird die geforderte Druckfestigkeit nicht eingehalten, die Standfestigkeit an der Wand ist vermindert und die Erhärtungsdauer verlängert sich um Stunden. Doch trotz der relativ hohen Wassermenge werden sedimentationsstabile Mischungen erhalten. Somit ist ein vollständiger Austausch des naturgipsbasierten Bindemittels mit RC-Gips äußerst erfolgversprechend. Diesbezüglich wurden im weiteren Projektverlauf verschiedene Maßnahmen ergriffen, die zu einem verringerten Wasserbedarf und der Einhaltung der Verarbeitungszeit von 3 Stunden führen.

Die werkseitige Herstellung eines RC-Mehrphasengipsbinders ist im kleintechnischen Maßstab bereits gelungen. Eine maschinelle Verarbeitung ist unproblematisch. Testflächen zeigen vielversprechende Ergebnisse.

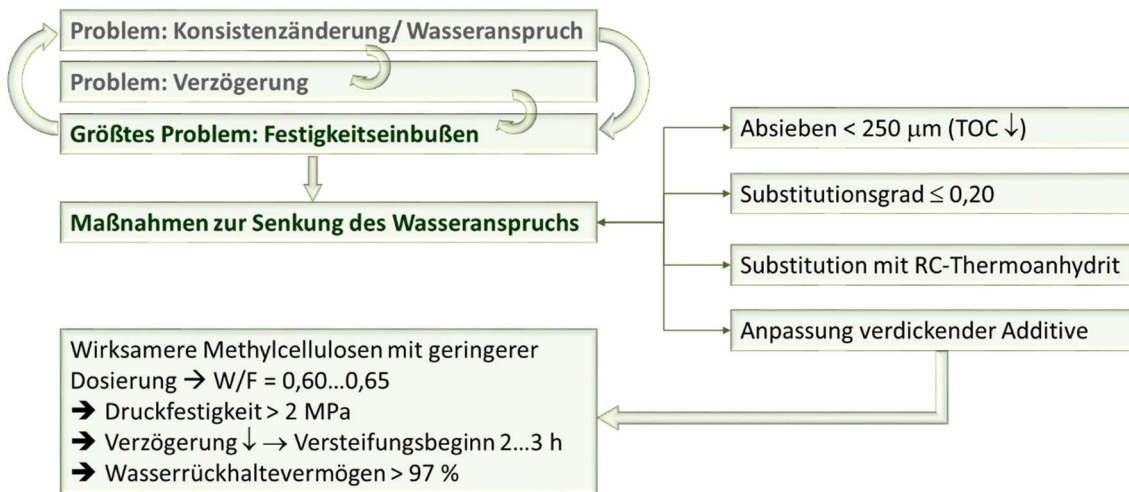


Abb. 34: Überblick der Maßnahmen im Projekt, um den Wasseranspruch zu senken und die geforderte Druckfestigkeit bei Einhaltung der sonstigen normativen Anforderungen an einen Gipsleichtputz zu erreichen

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Gründe für die verminderten Festigkeiten von RC-Putzgipsen zusammenfassend genannt. Sie gelten bei Verwendung von RC-Gipsbindemitteln aus GKP-RC-Gips, die im Nieder- oder Mittelbrand hergestellt werden.

Einflussnahmen auf die Festigkeit von RC-Gipsputzmörteln:

- ❖ Erhöhte Kapillarporosität durch erhöhte Wasser/Feststoff-Werte (W/F)
- ❖ Erhöhte Porosität durch Eintrag von Luftporen wegen organischer Störstoffe (insbesondere Cellulosefaserreste)
- ❖ Erhärtungsstörungen durch folgende Ursachen:
 - Hydratationsverzögerung bei gleichzeitig fortschreitender Austrocknung der Putzfläche
 - Verminderter Hydratationsgrad



- Gefügeveränderung durch Einflussnahme organischer Störstoffe auf die Kristallisation
- ❖ CaSO₄-Gehalt des RC-Gipses (Reinheit bzw. Gehalt an anderen mineralischen, nicht reaktiven Begleitstoffen)

Die geforderte Druckfestigkeit von ≥ 2 MPa konnte letztendlich durch die Wahl anderer, höherviskoser Methylcellulosen erreicht werden. Sie zeichnen sich durch eine höhere Wirksamkeit bei geringerer erforderlicher Dosiermenge aus. Hierdurch kann die notwendige Verarbeitbarkeit bei ausreichend geringer Wassermenge erreicht werden. Abbildung 34 gibt einen Überblick über die Maßnahmen, die im Projekt zur Reduzierung des Wasseranspruchs untersucht wurden.

Zum erarbeiteten Innovationskonzept gehören im Rahmen der Erforschung zu den Themen Akzeptanz, Bedarfsbildung und Innovationspotenzial u.a. ein Fragebogen zur Bedarfsstruktur, ein Innovation Template und eine Roadmap mit strategischen Handlungsmaßnahmen sowie Materialien und Methoden zum Wissenstransfer.

Die verschiedenen ökobilanziellen Berechnungen und Bewertungen ermöglichen einen Vergleich der Rohstoffe Recycling-Gips und Naturgips sowie Vergleiche mit dem Referenzputz und weiteren marktüblichen Leicht- und Normalputzen. Sie bilden darüber hinaus erste Voraussetzungen zur Erstellung einer EPD auf der Grundlage praxisnaher Daten.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass im Hinblick auf den CO₂-Fußabdruck Gipsputz aus Recycling-Gips doppelt so umweltfreundlich ist wie Leichtputz auf Basis von Kalk-Zement. Der Projekterfolg kann darüber hinaus Zugkraft für weitere RC-Bauprodukte als Innovation entfalten.

3 NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN PROJEKTARBEITEN

Im Projekt waren umfangreiche Untersuchungen zur Erforschung geeigneter Putz-Rezepturen unter Verwendung verschiedener Bindemittel aus RC-Gips notwendig. Hierfür mussten zunächst die Bedingungen zur Herstellung der RC-Bindemittel untersucht und die Ursachen für deren veränderte Eigenschaften aufgeklärt werden. Auch die Maßnahmen zur Verringerung des Wasseranspruchs der RC-Putzmörtel erforderte in verschiedenen Ansätzen komplexe Untersuchungen. Die Überführung der Erkenntnisse aus dem Labormaßstab in den kleintechnischen Maßstab erforderte erhöhte Ressourcen, insbesondere, da nur eine systematische Vorgehensweise im Ergebnis praxistaugliche Rezepturvorschläge hervorbrachte. Diese haben sich mit maschineller Herstellung an Testflächen in mehreren Versuchskampagnen bewährt.

Der positive Projektabschluss gelang nur durch intensive Zusammenarbeit aller Projektpartner.

Ohne die Förderung wären diese äußerst umfangreichen Arbeiten nicht durchführbar gewesen.

4 FORTGESCHRIEBENER VERWERTUNGSPLAN

Die wirtschaftliche Umsetzung erfolgt durch CASEA. Die MFPA unterstützt dabei als wissenschaftliche Einrichtung.

Der erfolgreiche Projektabschluss ermöglicht, dass nach Projektende ein Recycling-Bauprodukt ökonomisch erfolgversprechend zur Marktreife gelangen und sich als Massenprodukt etablieren kann. Der RC-Gipsputz kann als Türöffner wirken und weitere Bauprodukte auf Basis von RC-Material folgen lassen. dies lässt einen längerfristigen, nachhaltigen Innovationsschub erwarten. EcoStuc trägt dazu bei, dass die WIR!-Bündnis-Region Südharz Technologieführer für Kreislauffähigkeit und nachhaltiges Wirtschaften zu werden und Strahlkraft über die Bündnis-Region hinaus zu besitzen. Ein zügiger Transfer der Forschungsergebnisse



des Projektes in praxis- und marktreife Technologien ist geplant. Die Verwertung wird über eine Kooperationsvereinbarung geregelt.

Die Ergebnisverwertung erfolgte während der Projektphase vor allem über den **Wissenstransfer**:

2022

- Unternehmensportrait CASEA und EcoStuc – Veröffentlichung „Recycling-Gips soll Baumarkt erobern“
https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/news-und-stories/im-blickpunkt/recycling-gips-soll-baubranche-erobern/casea_artikeltext.html?nn=450842
- Science Mile Summary in Weimar - Informationsstand
- Thüringer Wertstoffdialog (HS Nordhausen) – Fachvortrag inkl. Veröffentlichung im Tagungsband
- Elevator Pitch WIR!-Bündnistreffen „Gipsrecycling“
- Öffentlichkeitswirksame Angebote zum Tag des Geotops im Werk Ellrich (CASEA)

2023

- Lange Nacht der Wissenschaften in Weimar - Informationsstand
- Festakt 30 Jahre MFPA in Weimar - Überblicksvortrag
- Sitzung Forschungsbeirat MFPA - Überblicksvortrag
- ibausil (BUW Weimar) – Vortrag und Veröffentlichung „Gipsputz auf Basis von recyceltem Gips“, Tagungsband Sept. 2023 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ccpa.2805>

2024

- Tandem-Vortrag Thüringer Werkstofftag 2024 in Weimar
- Veröffentlichung „Gypsum Plaster made from recycled gypsum“, ZKG internat. Heft 7/2024 Green Challenge Ausgabe
<https://www.zkg.de/en/artikel/gypsum-plaster-made-from-recycled-gypsum-4169813.html>
- Forschungskolloquium MFPA intern
- Pitch zum Projektabschluss beim WIR!-Bündnistreffen „Gipsrecycling“
- Vorlesungsinhalte im Präsenzstudium der Bauhaus-Universität, Studiengang Bauingenieurwesen/ Vertiefung Baustoffe und Sanierung
- Öffentlichkeitswirksame Angebote für Schüler und Bevölkerung im Werk Dorste (CASEA)
- Veröffentlichungen zum Projektabschluss auf LinkedIn (Social Media)
<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7235172711176585218/>
https://www.linkedin.com/posts/saskia-nowak-46b59378_gipsrecycling-aemkoputz-mfpa-activity-7235162229703086081-1ELt?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

ab 2025

weitere Veröffentlichungen geplant, u.a. zum Thema Ökobilanzierung der Rohstoffe Naturgips und RC-Gips sowie vergleichende ökobilanzielle Betrachtungen der RC-Gips-Trockenmörtel mit derzeitigen Marktprodukten

Mit den getätigten und geplanten Veröffentlichungen kommt die Forschungseinrichtung **MFPA** ihrem gesellschaftlichen Auftrag der Vermittlung und Multiplikation der wissenschaftlichen Erkenntnisse nach.

Eine Fortführung der Kooperation der Verbundpartner ist angedacht. Als Materialforschungs- und -prüfeinrichtung wird die MFPA Aufgaben der Qualitätssicherung und der wissenschaftlichen Beratung der Verbundpartner übernehmen.

CASEA hat vor die Ergebnisse wie folgt zu verwerten:

Die Wirkungsintensität des Projektes ist dauerhaft, da die gewonnenen Erkenntnisse zur Verarbeitung von RC-Gips als Rohstoff auf weitere Baustoffgruppen übertragen und angewendet werden können. Außerdem sollen die Ergebnisse für die Entwicklung eines marktfähigen RC-Gipsputzes herangezogen werden. So ergibt sich



langfristig eine Produktinnovation, da der entwickelte RC-Gipsputzmörtel nach Erreichen des Produktstatus als solcher vermarktet werden kann.

Aktuell produziert CASEA Gipsputz auf Naturgipsbasis. Durch Erweiterung der Produktpalette um einen RC-Gipsputz ändert sich die Zielgruppe für die Vermarktung. Aktuell geschieht der Vertrieb hauptsächlich über den Anwender (Putzer, Trockenbauer, etc.). Der Einsatz von RC-Gipsputz wird zukünftig vor allem durch die Nachfrage der Bauherren und Architekten gesteuert, sodass eine Steigerung des Marktpotentials zu erwarten ist.

Es wird erwartet, dass das hochwertige Recycling zur Herstellung gleichwertiger Gipsprodukte multiplikatorisch in weitere Anwendungs- und Produktbereiche ausstrahlt. Bei gelungener Markteinführung wirkt sich dies auch branchenübergreifend positiv für die Region aus. Sowohl die Motivation für einen zunehmend höherwertigen selektiven Rückbau als auch die Auslastung und der Ausbau von Gipsrecyclingzentren werden befördert. Für Maßnahmen zur Erhöhung der Recyclingquote seitens Gipsbruchaufbereitung und Produktentwicklung nehmen die Hemmnisse ab.

Durch die Darstellung des Produktinnovationsprozesses wurde außerdem die wirtschaftliche Bedeutung genauer betrachtet und kann langfristig auf weitere Produktinnovationen auf der Basis von RC-Gips herangezogen werden.

5 WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS DEM ZUWENDUNGSEMPFÄNGER BEKANNT GEWORDENEN FORTSCHRITT AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN

Während der Projektdurchführung wurde mehrfach zum Forschungsthema recherchiert. Dabei wurden keinerlei relevante Ergebnisse von dritter Stelle gefunden.

6 ERFOLGTE ODER GEPLANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DES ERGEBNISSES NACH NR. 5 DER NKBF/NABF

Der TIB wird ein Gesamtbericht zum Verbundprojekt (gemeinsamer Sachbericht der antragstellenden Partner CASEA und MFPA) übermittelt.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Autorenkollektiv: Der Baustoff Gips, 1. Aufl., Institut für Baustoffe der Bauakademie der DDR, VEB Verl. für Bauwesen, Berlin 1978
- [2] Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hrsg.). (2022). Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine--Erden-Industrie bis 2040 in Deutschland. Abruf am 25.11.2022. https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Bilder/Aktuelles/2022-04-20_BBS_Rohstoffstudie_01_ONLINE.pdf
- [3] Bundesverband der Gipsindustrie: Gips-Datenbuch, Berlin 2013
- [4] Bundesverband der Gipsindustrie: Recyclinggips (RC-Gips), Erstprüfung für Recyclinganlagen, Qualitätsmanagement, Qualitätsanforderungen und Analyseverfahren, Wissenschaftlicher Beirat der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie, Ad-hoc-Arbeitsgruppe ‚Analyse von Recyclinggips‘ und Dorfner Anzuplan, 2017
- [5] DIN EN 13279-2:2014-03 Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel – Teil 2: Prüfverfahren
- [6] Jörg-Michael Bunzel, Marco Wilczek, Industrielles Recycling von gipshaltigen Abfällen – Betriebserfahrungen und Produktqualität der Aufbereitungsanlage in Großpöna / Störmthal, Vortrag auf der Tagung Mineralische Nebenprodukte und Abfälle Berlin Juni 2016, S. 487 – 497
- [7] Menz, S.; Breckwoltd, J.; Hübner, A.; Kothe, U.: Feasibility study – Recycled gypsum for gypsum plaster and the use of cellulose ether, ZKG (2020) 3, S. 50-55
- [8] Nowak, S.: Alterung von Calciumsulfatphasen - Physiko-chemisch bedingte Feuchtaufnahme und Einfluss auf die Reaktivität, Diss., Weimar 2012
- [9] Nowak, S.: Projektsteckbrief zum BMBF-WIR!-Gipsrecycling-Forschungsvorhaben EcoStuc - Entwicklung eines Putzgipsmörtels auf der Basis von Recycling-Gips, TP 2, <https://www.mfpa.de/files/documents/Projektsteckbriefe/2022-03-01%20EcoStuc%20Steckbrief%20Poster.pdf>



Gemeinsamer Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Eingehene Darstellung der Ergebnisse im Projekt EcoStuc

Bildquellen

ESEM-Aufnahmen: F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde Bauhaus-Universität Weimar (FIB)

Alle weiteren Bilder, Abbildungen und Tabellen: Materialforschungs- und-prüfanstalt Weimar (MFPA)

Das Forschungsprojekt EcoStuc „Entwicklung eines Putzgipsmörtels auf der Basis von Recycling-Gips“ wird finanziert vom BMBF im Rahmen des WIR!-Bündnisses „Gipsrecycling als Chance für den Südharz“.

