

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Projekt „Entwicklung eines Pflanzgranulates mit definierter Funktionalität auf Basis von Bau-Reststoffen - GranuGruen“

FKZ: 2818903A20

Teilprojekt 1 - Granulatentwicklung

I. Kurze Darstellung

Das Teilprojekt 1 bildete die Grundlage zum Erreichen der Projektziele des Gesamtvorhabens. Es umfasste die Entwicklung und Herstellung von Wasser-Speichergranulaten unter der Verwendung von Baureststoffen sowie organischen Anfallstoffen. Die organischen Anfallstoffe sollten zu einer gezielten Porosität in den Granulaten führen, indem diese durch eine thermische Behandlung ausgebrannt werden und dadurch ein Porenraum zurückbleibt. Länge und Durchmesser der organischen Fasern bestimmen hierbei auch Länge und Durchmesser des kapillarwirksamen Porenanteils. Über die Zugabemenge der organischen Fasern kann bis zu einer gewissen Grenze das Gesamtporenvolumen optimiert werden. Randbedingungen stellen hier vor allem die Festigkeit der Granulate nach der thermischen Behandlung und das damit einher gehende Handling für die weiteren Verarbeitungsschritte.

Zum Start der Bearbeitung erfolgte zunächst eine Rohstoff-Auswahl und Analyse hinsichtlich verwendbarer Baureststoffe. Aufgrund der Verfügbarkeit sowie seiner weitestgehend homogenen Zusammensetzung wurde als Grundmaterial ein aufgemahlener RC-Beton für alle durchzuführenden Versuche zur Rezepturentwicklung verwendet. Im zweiten Schritt wurden potenzielle organische Rest- bzw. Anfallstoffe für die Verwendung als Ausbrennstoff recherchiert und beschafft. Dies erfolgte unter enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner ILU e.V. Es schlossen sich Laborversuche zur Aufbereitung der organischen Ausbrennstoffe an, um herauszuarbeiten, welche Art der Aufbereitung zum Erreichen der Vorgaben hinsichtlich Faserlängen und Durchmesser zielführend ist. Die aufbereiteten Fasern unterschiedlicher Art und Herkunft bildeten die zweite Hauptkomponente für die Rezepturentwicklung. Als festigkeitsbildende dritte Komponente wurde Zement gewählt, da dieser einerseits schon bei geringen Einsatzmengen guten Festigkeiten ausbildet und er andererseits im ausgehärteten Zustand ökologisch unbedenklich ist.

Für die Herstellung der Grüngranulate wurden neben den verschiedenen Ausgangsstoff-Komponenten unterschiedliche Formgebungs-Verfahren getestet. Neben der händischen Herstellung von Labormengen kamen noch ein Press- sowie ein Granulierverfahren (Nassgranulation) zum Einsatz. Alle Verfahren hatten gemeinsam, dass das einmal für die Reaktion des Zementes notwendige sowie zur Einstellung einer verarbeitbaren Konsistenz benötigte Wasser bereits vor oder während der Herstellung zugegeben wurde. Nach einer mindestens 7-tägigen Erhärtungszeit wurden die Grüngranulate anfangs noch getrocknet, um ein plötzliches Entweichen der Restfeuchte beim Brennprozess und damit die mögliche Zerstörung der Granulate durch die plötzliche Druckänderung zu verhindern. Im Laufe der Projektbearbeitung wurde festgestellt, dass dieser energieaufwendige Teilschritt entfallen kann und die Grüngranulate auch mit Restfeuchte dem Brennprozess zugeführt werden können ohne, dass diese dabei zerstört werden.

Die ersten Versuche zur Erzeugung des Porenraumes durch thermische Behandlung erfolgten batchweise im Labor-Kammerofen. Es hat sich gezeigt, dass bis auf Ascherückstände praktisch 100 % der Organik ausgebrannt werden konnte. Durch Optimierung des Brennregimes konnte die Ausbrenntemperatur um 200 °C gesenkt werden. Als Übergang hin zu einer kontinuierlichen Granulatherstellung erfolgten im späteren Projektverlauf die Ausbrennversuche in einem Drehrohrofen beim Projektpartner IBU-tec. An den fertigen Granulaten erfolgten an jeder Charge labortechnische Eigenschaftsbestimmungen. Ausgewählte Chargen wurden dann dem Projektpartner ILU e.V. für die Versuche zur Funktionalisierung und den sich daran anschließenden Pflanzenwuchstests übergeben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Projektziele des Teilprojekt 1 erreicht werden konnten. Die Versuche haben außerdem gezeigt, dass das entwickelte Herstellverfahren auch bei einer Variation der Ausgangskomponenten RC-Material und organischem Ausbrennstoff mit vergleichsweise geringem Aufwand durch Rezepturänderungen angepasst werden kann und somit ein größeres Potenzial für eine Praxisanwendung bietet.

II. Eingehende Darstellung

1 Durchgeführte Arbeiten im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabensbeschreibung

AP 1.1 Qualitative und quantitative Analyse der organischen und Baureststoffe

TP 1 Analyse Baureststoffe

In Deutschland entstehen jährlich über 200 Mio. t Baureststoffe. Nicht alles davon kann einer sofortigen Wiederverwertung zugeführt werden. Wesentlich ist hierbei die Sortenreinheit der Reststoffe.

Im Jahr 2022 fielen in Deutschland rund 65,2 Millionen Tonnen Betonbruch bzw. Bauschutt an. Davon wurden:

- 45,1 Mio. Tonnen ($\approx 81,7\%$) recycelt.
- Weitere 7,2 Mio. Tonnen ($\approx 13,0\%$) wurden z. B. im Deponiebau oder zur Verfüllung verwendet.
- Die restlichen 2,9 Mio. Tonnen ($\approx 5,3\%$) wurden auf Deponien beseitigt.

Die Recyclingquote für Betonbruch liegt damit bei über 80 %, wobei ein Teil davon nicht hochwertig verwertet wird (z. B. als Füllmaterial). Ziel ist es, den Anteil hochwertig recycelten Betons weiter zu steigern, etwa durch den Einsatz in neuen Betonprodukten. Die Werte zeigen, dass Beton- und/oder Mauerwerksbruch in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen und auch zukünftig zur Verfügung stehen werden.

Als Basis für die Versuche zur Granulatherstellung wurde daher ein nahezu sortenreiner Betonbruch verwendet. Beton als Massenbaustoff wird in den kommenden Jahren vermehrt als Recycling-Ressource anfallen.

Der erste Schritt der Aufbereitung ist die Vorabsiebung. Diese ist meist in den Brecher integriert. Eine zusätzliche Vorabsiebung mit einem Stangenrost kann nützlich sein. Wenn der Abbruch in Eigenregie stattfindet, werden Stangenroste bereits auf der Abbruchbaustelle eingesetzt, um das Feinkorn vor Ort zu lassen. Auch Sieblöffel können für die erste Vorabsiebung genutzt werden. Das Grobgut des Stangenrosts wird im Fall des gemischten Bauschutts noch großformatige Fremdstoffe enthalten, die mittels Greifer entfernt werden können. Nach der Ausschleusung der Feianteile und der groben Störstoffe kann mit der eigentlichen Aufbereitung begonnen werden. Beim Aufbereiter/Recycler erfolgt zunächst eine Zerkleinerung mittels Backenbrecher. Aus dem Brechprodukt werden mit Hilfe eines Überbandmagneten die Eisenteile entfernt. Mittels eines Zwischensiebs wird die Feinfraktion abgetrennt.

Die Grobfraction kann über ein Sortierband geführt werden, auf dem die groben Störstoffe ausgelesen werden. In Abhängigkeit, von der mit dem Backenbrecher erreichten, Partikelgrößenverteilung kann eine zweite Brechstufe erforderlich sein. Daran schließt sich eine Klassierung in Fraktionen an. Diese Fraktionen könnten dann bspw. Ausgangspunkt für die RC-Betonherstellung sein. Für die Versuche im Projekt wurde die Feinfraktion aus der Betonaufbereitung verwendet. Feinfraktionen fallen bei der Aufbereitung immer als Nebenprodukt mit an und stellen meist ein Problem für die Weiterverwendung dar.

Die Hauptbestandteile aus der chemischen Analyse des aufbereiteten RC-Betons waren wie folgt:

Betonbruch: 55 M.-% SiO₂ / 8,8 M.-% Al₂O₃ / 3,7 M.-% Fe₂O₃ / 14,5 M.-% CaO / 1,4 M.-% MgO / 4,4 M.-% K₂O

Im Weiteren erfolgte die Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Laserbeugungsanalyse. Folgende Werte wurden für das RC-Betonmehl ermittelt:

- Mittelwert X_m (mittlere Korngröße): 16,69 µm
- Modalwert X_{mod} (Maximum der Häufigkeit): 18,00 µm
- Medianwert X₅₀ (Partikelgröße bei 50 % Durchgang): 8,36 µm
- Partikelgröße bei 90 % Durchgang: 54,56 µm

Das so aufbereitete RC-Betonmehl war die Basis für die Laborversuche zur Granulatherstellung unter Verwendung der Bio-Materialien als Ausbrennstoffe.

AP 1.2 Festlegen und Erproben von Aufbereitungsschritten

TP 1 Laborversuche Aufbereitung Einsatzstoffe

Aufbereitung RC-Beton

Über die grundsätzliche Aufbereitung des RC-Betons wurde unter 1.1 schon berichtet. Das durch Aufmahlen in der Kugelmühle erhaltene RC-Betonmehl wurde vor den Granulativversuchen noch auf einem 2 mm-Sieb abgesiebt, um eventuell vorhandene gröbere Mahlrückstände zu entfernen.

Laborversuche Aufbereitung Einsatzstoffe – Biomaterialien ILU e.V.

Von den aus Teilprojekt 2 recherchierten Biomaterialien wurden durch den Projektpartner ILU e.V. Probemengen beschafft und zum IAB geschickt. Folgende Biomaterialien standen für erste Tests zur Verfügung:

- Stroh / Paludi / Laub / Heu / Hanf(stängel) / Treber
- Zusätzlich durch IAB Weimar bereitgestellt: Material Siebüberlauf einer Kompostanlage

Die Aufbereitung der Biomaterialien erfolgte mittels Labor-Kollergang. Ziel war es dabei, die Materialien nicht zu fein (Pulver) aufzubereiten, sondern eine Faserstruktur zu erhalten. Es zeigte sich, dass nicht alle untersuchten Stoffe dafür geeignet sind. Aufgrund der sehr faserigen Struktur der Hanfstängel, wurden zusätzlich noch die Aufbereitung mit einer Schlagnasenmühle getestet.

Die aufgemahlene Ausbrennstoffe wurden mittels Rasterelektronen-Mikroskopie und CamSizer (Korngrößenanalyse) analysiert. Speziell das Verfahren zur Korngrößenanalyse bietet künftig eine gute Möglichkeit, die Ergebnisse des Aufmahlprozesses zu charakterisieren. Nach 4 h Aufbereitung im Kollergang lagen die meisten der faserigen Biomaterialien unter 1 mm Korngröße bzw. Faserdurchmesser.

Laborversuche Aufbereitung Einsatzstoffe – Siebüberlauf

Bei dem potenziellen Ausbrennstoff „Siebüberlauf“ handelt es sich um die abgetrennte Grobfraction, die bei der Siebung von Kompost aus entsprechenden kommunalen Kompostanlagen entsteht. Das verwendete Material war ein Materialgemisch aus langstieligen, faserigen Holzresten und einem volumenmäßig hohen Anteil an Störstoffen wie Kunststoff-Folien. Die Faserlängen betragen ca. 10-50 cm, die Faserdurchmesser ca. 0,5-3 cm. Im Aufbereitungs-Technikum der IAB Weimar gGmbH (IAB) erfolgte zunächst eine Grobzerkleinerung des Materialgemisches mittels Zweiwellen-Schneidzerkleinerer. Hierbei entstanden grobe Späne/Häcksel mit ca. 2-10 cm Länge. Die anschließende Feinzerkleinerung erfolgte mittels Schlagnasenmühle (Ergebnis: Kurzfasern 0,1-4 mm Länge). Im dritten Schritt erfolgte noch eine Nachzerkleinerung mittels Mörsermühle. Hierbei ergab sich eine Mischung aus Kurzfasern und tlw. Pulver.

Der so aufbereitete Siebüberlauf fungierte im Weiteren als einer der potenziellen Ausbrennstoffe.

Alle im Projektverlauf verwendeten Biomaterialien konnten mit der im Technikum vorhandenen Aufbereitungstechnik zerkleinert werden. Abhängig von den Materialeigenschaften ergaben sich unterschiedliche Mahlgrade. Während das Laub nach der Aufbereitung sehr fein-pulvrig war, ergaben sich bei den eher fasrigen Biomaterialien gröbere Partikel. Bei den festeren Biomaterialien wie Stroh oder Hanf, war die Aufbereitung mittels Kollergangs nicht optimal, da der Vorgang hier sehr lange dauert und damit der Durchsatz vergleichsweise gering ist.

AP 1.3 Agglomeration oder Kompaktierung

TP 1 Laborversuche zur Granulierung, Bestimmung Granulateigenschaften

Voruntersuchungen / Untersuchung von Referenzmaterialien

Die ersten Laboruntersuchungen erfolgten an recherchierten, kommerziell verfügbaren Pflanzsubstraten sowie an unterschiedlichen, am IAB verfügbaren, RC-Materialien. An den Materialien wurden die Wasseraufnahme im Beregnungsversuch sowie die Porengrößenverteilung mittels Quecksilberporosimetrie bestimmt. Folgende Produkte/Materialien wurden in die Versuche einbezogen:

- Kommerziell: Lava 2/11, Bims 2/11, Granulat Fa. Hansegrand 4/8, Blähton Fa. Hummusziegel, Blähschiefer, TerraPearl, Perlit (TechnoPerl K5), Seramis
- RC-Materialien: RC-Porenbeton 4/8, verschiedene „heiße“ RC-Granulate gebrochen und ungebrochen

Im Ergebnis der Vorversuche konnten Ranglisten hinsichtlich der untersuchten Materialeigenschaften erstellt werden:

- Rangliste Porengrößen Bereich 10-100 μm → 1. Seramis / 2. RC-Granulat ungebrochen / 3. Lava
- Rangliste WA (Tauchverfahren) → 1. Seramis / 2. RC-Granulat gebrochen / 3. RC-Porenbeton
- Rangliste WA (Beregnung) → 1. Seramis (**110 M.-%**) / 2. RC-Porenbeton (**69 M.-%**) / 3. RC-Material gebr. < 2 mm und 2/11 (**58 M.-%**)

Die mit Abstand größte Wasserspeicherfähigkeit wies das kommerzielle Produkt „Seramis“ auf. Das korrelierte auch mit dem größten Anteil an Porenraum im Bereich 10-100 μm . Das Produkt stellt somit eine Benchmark für die im Projekt zu entwickelnden Granulate dar. Allerdings handelt es sich um ein Produkt, welches kein Recyclingmaterial darstellt und eigens für seinen Zweck in einem Industrieprozess unter Anwendung eines Hochtemperatur-Brennprozesses hergestellt wird.

Eigene Granulativversuche

Für die ersten Versuche zur Granulatherstellung (Serie 1) wurde nach Test zur Matrixzusammensetzung folgende Basis-Rezeptur verwendet:

- 85 M.-% RC-Material
- 15 M.-% Zement
- 15 M.-% Biomaterial
- ... M.-% Wasser (nach Bedarf, konsistenzabhängig)

Die Herstellung der Granulate erfolgte händisch. Es wurde so viel Wasser zugesetzt, dass eine gut plastisch bildsame Masse erzielt wurde. Im Anschluss nach der Herstellung lagerten sie offen für mindestens 7 Tage im Normklima. In einer 2. Serie wurde der Anteil an Biomaterial auf 20 M.-% erhöht, bei sonst gleichbleibender Rezepturzusammensetzung. In einer 3. Serie wurde der Zementanteil um 5 M.-% erhöht und damit der Anteil an RC-Material um 5 M.-% verringert, um Einflüsse auf die Granulatfestigkeit zu prüfen.

Im Anschluss an die Aushärtezeit von 7 Tagen wurden die Granulate getrocknet, um die verbliebene Restfeuchte, die nicht mehr für die chemische Reaktion des Zementes benötigt wird, vor dem eigentlichen Brennprozess auszutreiben. Bei einem zu hohen Restfeuchtegehalt besteht die Gefahr, dass diese beim Brennprozess schlagartig entweicht und dabei die Granulatmatrix „gesprengt“ wird. Nach dem Trocknen erfolgten die Versuche zum Ausbrennen der Organik.

Insgesamt wurden für die ersten Versuche 18 Mischungen hergestellt. Es hat sich dabei gezeigt, dass jedes Biomaterial eine andere Wirkung auf die Gesamtmischung aufweist. Heu, Laub und Treber zeigten beispielsweise einen negativen Einfluss auf die Erhärtung der Granulate und wurden daher nicht weiterverwendet. Nach dem Ausbrennen der Organik im Kammerofen wurden an den Granulatchargen folgende Eigenschaften bestimmt:

- Wasseraufnahme (24h tauchen) - Mehrfachbestimmungen
- Einzelkornfestigkeit
- Schüttdichte
- Rohdichte

Auf Basis der Auswertung der ersten Granulatserien wurde sich für die weitere Bearbeitung zunächst auf den Ausbrennstoff Stroh fokussiert, weil dieses Material kostengünstig, weit verbreitet regional auch in größeren Mengen verfügbar ist. Weiterhin zeigten die Granulate mit Stroh als Ausbrennstoff die höchsten Werte für die Wasseraufnahme.

Für die Aufbereitung/Zerkleinerung des Stroh wurde nach geeigneten Aggregaten mit größerem Durchsatz gesucht. Dafür hat sich der im Technikum des IAB vorhandene Querstromzersetzer als grundlegend geeignet erwiesen. Hierbei wird das Stroh mittels einer rotierenden Stahlkette zerkleinert und durch seitlich angeordnete Siebe ausgetragen. Im Ergebnis werden Strohspäne ≤ 2 cm Länge erzeugt, mit denen Granulatchargen für die Versuch im Teilprojekt 2 – Funktionalisierung hergestellt werden konnten. Grundsätzlich wäre eine weitere Zerkleinerung / Zerkleinerung der Strohspäne wünschenswert, aber im Laufe der Projektbearbeitung konnte kein adäquates Aufbereitungsaggregat gefunden werden.

Erweiterung der Biomaterialien und weitere Granulativversuche

Im Projektverlauf wurden weitere RC-Biomaterialien recherchiert. Hierbei handelte es sich um Hanfschäben als Anfallstoff aus der Hanfverarbeitung sowie um Kokosfasern als industriellem Reststoff. Der Vorteil dieser Materialien ist, dass sie direkt ohne weitere Aufbereitungsschritte verwendet werden konnten. Für die Versuche zur Granulatherstellung mit diesen Reststoffen wurde die Grundrezeptur beibehalten. Insgesamt wurden 8 Rezepturen mit unterschiedlichen Anteilen / Mengen / Mengenverhältnissen hergestellt und deren Eigenschaften nach dem Ausbrennen bestimmt. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Eignung dieser RC-Biomaterialien für die Wasserspeichergranulate.

An diesen Rezepturen erfolgten auch weitere Versuche zur Granulatherstellung sowie die Bereitstellung einer größeren Charge für den Projektpartner ILU e.V.

Maschinelle Granulat-Herstellung im Labormaßstab

Für die Versuche wurden zwei unterschiedlichen Geräte bzw. Verfahren getestet. Einmal erfolgte die Herstellung mittels einer Brikettpresse der Fa. Euragglo. Herstellbar sind Briketts mit einer Größe von ca. 2 x 2 x 4 cm. Das zu verpressende Materialgemisch wird mit einer Schnecke zwischen zwei rotierenden Stahlwalzen transportiert und durch deren Drehung gepresst und weitertransportiert. Es kann hier nur eine, von der entsprechenden Matrize abhängige, Produktgröße erzielt werden.

Beim zweiten Verfahren handelt es sich um das Granulieren mit einem Eirich-Intensivmischer. Diese Mischertypen sind grundsätzlich zum Mischen und Granulieren geeignet. Durch die Rotation des Mischtrogs in schräger Stellung wird ein Granuliereffekt erzeugt, der dem eines Granuliertellers ähnlich ist. Die Herstellung der Granulate erfolgt hier batchweise. Form und Größe der erzeugten Granulate variieren hier, es entsteht also ein Kornband.

Es hat sich gezeigt, dass die Herstellung mit der Brikettpresse kein ausreichend festen Granulate erzeugt. Bei Verwendung des Eirich-Mischers konnten Granulate unterschiedlicher

Zusammensetzungen hergestellt werden. Die Ausbeuten (Verhältnis Einsatzmenge zu erzielter Granulatemenge) lagen zwischen 8 und 78 %. Gegen Ende der Versuche konnte eine Verfahrensweise am Eirich-Mischer etabliert werden, welche Ausbeuten um 80 % erzielte. Das nicht-granulierte vorgemischte Ausgangsmaterial kann bei einer kontinuierlichen Herstellung durch die Verwendung des Eirich-Mischers als Granulierteller (Aufbaugranulation) immer wieder als Granulatkeime dienen, womit praktisch fast keine Materialverluste entstehen.

Als weiteren Test für die Herstellung der Granulate wurde ein Versuch mit einer Strangpresse durchgeführt. Dieses Verfahren hätte den Vorteil, dass es kontinuierlich betrieben werden könnte. Der Versuch hat jedoch gezeigt, dass die Mischung Feinstoff (RC-Beton, Zement), Biofasern und Wasser trotz des Einstellens einer plastischen Konsistenz, für diese Art der Herstellung nicht geeignet ist.

AP 1.4 Ausbrennen der Porenräume - Optimierung Porenraum

TP 1 Laborversuche zum Ausbrennen, Charakterisierung der Porenräume, Redesign

Brennversuche

Um eine Voraussage über die notwendigen Brenntemperaturen treffen zu können, wurden an der Mischung QS-1a (Granulate mit Stroh aus Querstromzersetzer) zunächst ein Gradientenbrand durchgeführt. Hierbei können in einem Gradientenofen bei einem Brand unterschiedliche Temperaturzonen erzeugt werden. Die Ermittlung der Eigenschaften der Granulate aus den einzelnen Zonen gibt einen Aufschluss über zielführende Temperaturbereiche für das Ausbrennen der Organik.

Für die ersten größeren Brennversuche kam ein Labor-Kammerofen zum Einsatz. Das zunächst eingesetzte Brennregime beruhte auf Erfahrungen aus der Keramikindustrie, wo häufig organische Rest- und Anfallstoffe als Ausbrennstoffe zur Rohdichteoptimierung verwendet werden. Folgende Brennparameter wurden verwendet:

- Aufheizen mit 50 K/h auf 400 °C → 60 min. Haltezeit
- Aufheizen mit 50 K/h auf 600 °C → 120 min. Haltezeit
- freies Abkühlen

Die Auswertung der ersten Brennversuche ergab, dass scheinbar nicht alle verwendeten Biomaterialien zu formstabilen Granulaten führen. Die genauen Ursachen dafür konnten bisher nicht vollständig geklärt werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass ein zu hoher Proteingehalt in den Biomaterialien zu einer Störung der Zementterhärtung führt und damit schon vor dem Ausbrennen eine unzureichende Grünstandfestigkeit entsteht. Die Biomaterialien Heu,

Laub und Treber werden daher in die weiteren Versuche nicht mit eingebunden. Diese Materialien wiesen zusätzlich auch ein ungünstiges Mahlverhalten auf (zu geringer Faseranteil, eher pulvrig).

Die Versuche zur Wasseraufnahme erfolgten im weiteren Verlauf an Granulaten unter Verwendung der verbliebenen Biomaterialien (Serien 1 bis 3, s. AP 1.3). Die Granulate wurden nach dem Ausbrennen insgesamt 3 Zyklen zur Wasseraufnahme unterzogen. Dazu wurden sie jeweils für 24 h unter Wasser gelagert, oberflächlich mit einem feuchten Tuch abgetrocknet, gewogen und anschließend bei 105 °C rückgetrocknet. Die Granulate der Serie 1 wurden im Anschluss noch einer Wasserlagerung unter Vakuum-Tränkung unterzogen, um herauszufinden, ob sich dadurch die Wasseraufnahmemenge erhöhen lässt. Die Ergebnisse der Versuche zur Wasseraufnahme zeigten, dass

- Die erste Wasseraufnahme nach dem Brennen bei allen Mischungen höhere Werte ergibt als bei den Folgeversuchen.
- Die Erhöhung des Anteils an Biomaterial (Serie 2) um 5 M.-% zu ca. 10 M.-% höherer Wasseraufnahme führt.
- Die höchsten Werte unter Verwendung von Stroh und Hanf (Kollergang) zu erzielen sind (ca. 70 M.-%).
- Teilweise eine Nacherhärtung/Verfestigung der ausgebrannten Granulate durch die Wasserlagerung erfolgt.

Im Anschluss an die Wasserlagerung wurde an verbliebenen Granulaten die Einzelkornfestigkeiten bestimmt. Hierbei zeigt sich tendenziell, dass die Mischungen mit den höchsten Werten der Wasseraufnahme die geringeren Festigkeiten aufweisen.

Optimierung Brennregime

Anhand der Versuchsergebnisse der DSC-Messung am IAB Weimar und den Tests beim Projektpartner IBU-tec wurde im Projektverlauf die Maximaltemperatur zum Ausbrennen der Organik von 600 °C auf 400 °C gesenkt. Die Haltezeit konnte auf 30 min. verkürzt werden. Beide Maßnahmen wirken sich positiv auf die Energiebilanz des Gesamtverfahrens aus.

Auswahl Verfahren

Die Auswertung der Granulier- und Brennversuche führte zu einer Eingrenzung im Herstellverfahren. Im weiteren Projektverlauf wurden die Granulate mittels Eirich-Mischer hergestellt. Die Auswahl des Mischregimes erfolgt auf Basis der Werte der Wasseraufnahme (möglichst hoch) und den erzielten Ausbeuten und Granulatfestigkeiten.

Im Ergebnis des Arbeitspaketes konnte unter engem Austausch mit dem Projektpartner IBU-tec das Brennregime hinsichtlich Ausbrenntemperatur und -dauer optimiert werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Granulateigenschaften nach dem Ausbrennen im Kammerofen mit denen der Brennversuche im Drehrohrofen korrelieren. Dieses Ergebnis zeigt, dass eine kontinuierliche Herstellung mittels Drehrohrofen möglich ist, was einen wesentlichen Einfluss auf eine spätere wirtschaftliche Umsetzung des Projektzieles hat.

AP 4.2 Erprobung des Einbringverfahrens an Funktionsmusterflächen

TP 1 Schwachstellen Analyse Granulat-Einbringung - Redesign Granulate

In Vorbereitung auf die Feldversuche wurde unter Zusammenarbeit mit der Fa. Christoffers GmbH (Christoffers) ein Konzept für die Musterfläche entworfen. Es ist eine Fläche von 6 x 3 m² unterteilt in 3 Streifen auf dem Gelände der Fa. Christoffers geplant. Als Boden wird ein eher magerer, wenig nährstoffreicher Boden der Region vorgesehen. Auf der Fläche ist eine Bewässerung mittels Tropfschläuchen installiert, damit alle Flächenabschnitte in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit vergleichbare Bedingungen haben.

Die Musterfläche ist grundsätzlich fertiggestellt, die Pflanzversuche konnten allerdings nicht mehr im Projektzeitraum gestartet werden. Grund dafür ist einmal eine Verzögerung bei der Herstellung entsprechend großer Mengen an Wasserspeichergranulaten. Weiterhin ist eine Bepflanzung aufgrund der Witterung erst im Frühjahr zielführend.

Die Pflanzversuche mit den damit verbundenen Arbeiten werden nach Ende der Projektlaufzeit durchgeführt und die Ergebnisse entsprechend ausgewertet und dokumentiert. Dies ist schon im Hinblick auf die angestrebte Vermarktung unumgänglich.

Weiterführende Praxistest sollen im Rahmen einer Anschlussfinanzierung durchgeführt werden.

AP 5.1 Anlagenkonzeption und –entwurfsplanung

TP 1 Ableitung Verfahrensparameter aus Werkstoff-Eigenschaften

Werkstoffeigenschaften mit Einfluss auf den Verfahrensablauf

Die werkstofflichen Eigenschaften der Wasserspeicher-Granulate bzw. der benötigten Rohstoffe mit direktem Bezug zum Verfahrensablauf lassen sich wie folgt benennen:

- Schadstoffbelastung aller Ausgangsstoffe
- Lagerfähigkeit Ausbrennstoffe
- Festigkeiten Grüngranulate
- Dauer Erhärtung Grüngranulate
- Festigkeiten der Granulate nach dem Ausbrennen
- Nachbehandlung ausgebrannte Granulate
- Beladung der Granulate mit Pflanzenhilfsstoffen
- Lagerfähigkeit beladene Granulate
- Nebenprodukte der Herstellung

Einfluss der einzelnen Werkstoffeigenschaften auf die Verfahrensparameter

1. Schadstoffbelastung Ausgangsstoffe

Da es sich beim Großteil, der für die Herstellung der Granulate verwendeten Rohstoffe um Rest- und Anfallstoffe handelt, kann nicht automatisch davon ausgegangen werden, dass diese schadstofffrei vorliegen. Die der Basisrezeptur zugrundeliegenden Baureststoff-Gemische müssen bei Annahme auf einem Recyclinghof auf potenzielle umweltschädliche Inhaltsstoffe hin geprüft werden. Je nach Herkunft, muss das auch für die potenziellen Ausbrennstoffe erfolgen. Diese Wareneingangsprüfung ist für alle Rohstoffe zwingend vorzusehen und damit fester Bestandteil des Herstellungsverfahrens.

2. Lagerfähigkeit Ausbrennstoffe

Im Projekt wurden unterschiedliche Ausbrennstoffe getestet. Bei den zwei Vorzugsprodukten handelte es sich um Anfallstoffe industrieller Prozesse und damit in gleichbleibender Qualität verfügbar. Grundsätzlich ist aber auch eine Vielzahl weiterer organischer Materialien als Ausbrennstoff möglich. Bei jedem dieser Stoffe muss im Vorfeld der Verwendung auch geprüft werden, in welchem Zustand (z.B. Feuchte, Größe usw.) diese anfallen. Abhängig davon sind die entsprechenden Lagerkapazitäten auszurichten bzw. vorzuhalten.

3. Festigkeit Grüngranulate

Die Festigkeit der Granulate nach dem Granulierprozess sollte grundsätzlich so hoch wie möglich sein. Abhängig von den erreichten Festigkeiten sind die entsprechenden Lagerungsbehälter bzw. -flächen auszulegen. Je geringer die Festigkeit, um so großflächiger müssen die

Granulate gelagert werden, damit sie nicht durch ihr Eigengewicht zerstört werden. Eine Lagerung in einem eher schmalen, aber hohen Silo wäre daher wenig zielführend. Die Gestaltung der Lagerflächen oder –behälter ist abhängig von der produzierten Menge und muss bei der Anlagenplanung mit beachtet werden.

4. Dauer Erhärtung

Im Projekt hat sich eine Erhärtungszeit von 7 Tagen als ausreichend erwiesen. Für den zeitlichen Verfahrensablauf muss diese Dauer mit eingeplant werden.

5. Festigkeiten der Granulate nach dem Ausbrennen

Nach dem Ausbrennen der Organik und der damit eiergehenden Temperaturbelastung verlieren die Granulate einen gewissen Teil an Festigkeit. Dies ist u.a. auf den erzeugten Porenraum zurückzuführen. Diesem Umstand ist verfahrenstechnisch in Bezug auf Transport und Lagerung Rechnung zu tragen.

6. Nachbehandlung der ausgebrannten Granulate

Je nach Zustand der Granulate nach dem Ausbrennen kann es sinnvoll sein, diese für 24 h in Wasser zu lagern, um eine Nacherhärtung zu erreichen. Dieser Prozessschritt würde eine anschließende Trocknung erfordern und sollte nur bei absoluter Notwendigkeit erfolgen, um hier keine zusätzliche Energie in den Gesamtprozess einzutragen.

7. Beladung der Granulate mit Pflanzenhilfsstoffen

Eine im Projekt entwickelte Eigenschaft der Granulate ist die Möglichkeit, diese mit wachstumsunterstützenden Pflanzenhilfsstoffen wie Dünger und/oder Bodenbakterien zu beladen. Dieser Vorgang erfolgt in vom Projektpartner Christoffers Kulturbau entwickelten Flutungsbehältern. Sie sind skalierbar und somit an die entsprechenden Granulatmengen anpassbar. Der Beladungsprozess beinhaltet die Tränkung der Granulate in der entsprechenden Nährlösung und einer anschließenden Trocknung, um die Lagerfähigkeit wiederherzustellen. Verfahrenstechnisch sind hier der Platzbedarf für den Flutungsbehälter sowie die Trocknungstechnologie zu betrachten und zu planen.

8. Lagerfähigkeit beladene Granulate

Im Projekt konnte die Lagerfähigkeit der beladenen Granulate noch nicht vollständig betrachtet werden. Hier müssen weitere Tests erfolgen, um festzustellen, wie lange vor allem die Bakterienstämme reaktivierbar sind.

9. Nebenprodukte der Herstellung

Bei den Prozessschritten Granulieren und Ausbrennen entstehen Nebenprodukte. Beim Granulieren mit Eirich-Mischer oder Granulierteller entsteht immer ein Kornband an Granulatgrößen. Zu kleine Granulate (< 5 mm) sollten vor dem Ausbrennen über einen Siebvorgang abgetrennt werden. Weiterhin fällt auch nicht in die Granulate eingebaute Organik an. Durch den Ausbrennvorgang entsteht auch ein gewisser Anteil an Feinststoff durch Abrieb. Während der Projektbearbeitung wurde festgestellt, dass alle im Prozess anfallenden Nebenprodukte zu 100 Prozent wieder der Rohstoffmischung zugegeben und damit wiederverwertet werden können. Dafür müssen entsprechende Separations- und Lagerkapazitäten vorgehalten werden.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Personalkosten waren mit insgesamt ca. 265.000 € mit Abstand die wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises. Etwa 2.000 € Auftragskosten fielen für Analysen durch ein Fremdlabor an. Weitere allgemeine Ausgaben von ca. 3.700 € wurden für Materialbeschaffungen verwendet.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Für die Entwicklung der Granulate waren umfangreiche Recherchen und Laborversuche notwendig. Die Breite der Versuche führte dazu, dass das Produkt in nicht nur einer Variante herstellbar ist, sondern beispielsweise unterschiedliche Ausbrennstoffe verwendet werden können. Das kann zu einer breiteren Akzeptanz bei potenziellen Herstellern führen. Einige Versuchsansätze führten nicht zum erwarteten Ergebnis und mussten daher modifiziert und wiederholt werden. Grundsätzlich waren die durchgeführten Arbeiten notwendig und angemessen, um das Projektziel zu erreichen.

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse – konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die entwickelten Wasserspeichergranulate in Verbindung mit einer gezielten Funktionalisierung wecken seitens potenzieller Anwender großes Interesse. Dies zeigte sich bei persönlichen Gesprächen sowie Anfragen als Reaktionen auf öffentliche Vorstellungen der jeweiligen Projektstände. Interesse besteht hier ausschließlich am fertigen Produkt. Hier besteht im Anschluss an das Projekt die Aufgabe des Projektkonsortiums, einen oder mehrere mögliche Hersteller zu finden. Dazu gibt es erste Ansätze, welche Firmen dafür in Frage kommen könnten (Recyclinghöfe, Zementhersteller, Firmen der keramischen Industrie). Im Anschluss an die Berichtslegung ist geplant, die Projektergebnisse in einer Präsentation zusammenzufassen und bei entsprechenden Terminen vorzustellen. Hierbei soll auch die Möglichkeit einer Anschlussförderung über die Nutzung der Deutsche Innovationspartnerschaft Agrar (DIP) vorgestellt werden.

Eine Gebrauchsmuster-Anmeldung wird angestrebt und ist aktuell in Arbeit.

5 Bekannt gewordener Fortschritt während der Projektbearbeitung auf dem Vorhabensgebiet

Während der Projektlaufzeit sind keine relevanten Arbeiten Dritter zum Vorhabensgebiet bekannt geworden.

6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Bisher wurden die Projektergebnisse bzw. Zwischenstände vorwiegend bei Veranstaltungen des Transfer-Projektes „INUGA“ vorgestellt. Der Projektpartner ILU e.V. hat im Februar 2025 einen Artikel in der VDI energie+umwelt online mit dem Titel „Recyclingbeton speichert Wasser“ veröffentlicht, bei dem das IAB entsprechende Zuarbeiten geleistet hat.

Geplant ist weiterhin ein Vortrag zu den Projektinhalten im März 2026 im Rahmen des „35. Baum- und Bodenseminar / Workshop“ in Jena.

Seitens des IAB ist zunächst die Veröffentlichung auf der Homepage geplant. Wie bereits unter Punkt 4 beschrieben, soll sich zeitnah auf die Vermarktung konzentriert werden, wofür entsprechende Projekt-Kurzbeschreibungen in Form von Flyern o.ä. entworfen werden sollen.