

15. DGAU-WISSENSCHAFTSKONGRESS

Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft

Anke Bockreis, Martin Faulstich, Sabine Flamme, Kathrin Greiff,
Martin Kranert, David Laner, Mario Mockler, Michael Nelles,
Peter Quicker, Gerhard Rettenberger, Vera Susanne Rotter,
Jörg Woidasky (Hg.)

Wissenschaftliche Organisation

Prof. Dr.-Ing. Anke Bockreis (Univ. Innsbruck)
Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich (INZIN e.V.)
Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme (FH Münster)
Prof. Dr. Kathrin Greiff (RWTH Aachen University, ANTS)
Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert (i. R. Univ. Stuttgart)
Prof. Dr. David Laner (Univ. Kassel)
Prof. Dr. Mario Mockler (OTH Amberg-Weiden)
Prof. Dr. mont. Michael Nelles (Univ. Rostock/DBFZ Leipzig)
Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker (RWTH Aachen University, TEER)
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Rettenberger (i. R. HS Trier)
Prof. Dr.-Ing. Vera Susanne Rotter (TU Berlin)
Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky (HS Pforzheim)

Deutsche Gesellschaft für Abfall- und Kreislaufwirtschaft e.V.
DGAW
Von-der-Heydt-Straße 2
10785 Berlin
Tel.: 030.84 59 14 77
E-Mail: info@dgaw.de
www.DGAW.de

© *innsbruck* university press, 2026
Universität Innsbruck
1. Auflage
Alle Rechte vorbehalten.
innsbruck university press, Karl-Schönherr-Straße 3, 6020 Innsbruck
Tel. +43 512 507-31700, iup@uibk.ac.at, www.uibk.ac.at/iup
www.uibk.ac.at/iup
ISBN 978-3-99106-187-8
DOI 10.15203/99106-187-8
Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Chemisches Recycling von abfallstämmigem Matratzenschaum durch Pyrolyse

Abstract: Jährlich fallen etwa 5 Millionen m³ Matratzen in Deutschland zur Entsorgung an, die überwiegend durch Verbrennung energetisch verwertet werden [1]. Angesichts erheblicher Verluste wertvoller Rohstoffe verfolgt das Projekt REFOAM („Recycling of Waste-Derived Mattresses Foam through Sensor-based Characterization and Pyrolysis“) das Ziel, das Potenzial der Ressourcenerückgewinnung aus latexhaltigen Matratzenschaumabfällen zu erschließen. Zunächst wurden die Schaummaterialien mittels sensorbasierter Charakterisierung erfasst und anschließend sortiert. Es wurden Pelletierungs- und Agglomerationsversuche durchgeführt, dabei wurde ein Agglomerat mit 60 M.-% Latexmatratzenschaum, 20 M.-% expandiertem Polystyrol sowie 20 M.-% einer Sortierfraktion aus Polystyrol erzeugt. Die Agglomeration soll die Förderfähigkeit für den kontinuierlichen Betrieb verbessern und die Effizienz der nachgeschalteten Pyrolyse erhöhen. Erste Pyrolyseversuche im Batch-Reaktor (Stickstoffatmosphäre, Einwaage 200 g, 450 °C, Haltezeit 60 min) ergaben im Mittel 27,3 % Kondensat, 6,7 % Karbonisat und 66,0 % Permanentgas. Die Gasphase wurde über Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie erfasst, die Kondensate wurden mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie analysiert. Im Kondensat wurden unter anderem Styrol, Limonen und Ethylbenzol nachgewiesen. Im Karbonisat wurde ein erhöhter Zinkgehalt festgestellt, als vorläufiger Wert wurden 25,25 % angegeben. Im weiteren Projektverlauf sollen die Versuchsparameter optimiert, Agglomerate im Batch-Reaktor vergleichend zum reinen Latexmatratzenschaum pyrolysiert sowie die Pyrolyse skaliert und in einen kontinuierlichen Pilotbetrieb überführt werden.

1 Einleitung

In Deutschland fallen jährlich rund 8,27 Millionen Altmatratzen an. Unter der Annahme von 20 kg pro Matratze ergibt sich ein Aufkommen von etwa 165.400 Tonnen Matratzenabfällen, darunter rund 16.540 Tonnen Latexmatratzenschaum [1]. Von besonderem Interesse ist der Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), ein schwefelvulkanisiertes Copolymer [3]. Das Recycling von Latexmatratzenschäumen ist derzeit nicht im industriellen Maßstab etabliert. Die steigenden Recyclingquoten für Siedlungsabfälle in der EU machen jedoch ein Umdenken erforderlich, weg von der rein energetischen Verwertung und hin zu einer stofflichen Nutzung im Sinne einer verbesserten Ressourcennutzung [2]. Ob ein werkstoffliches Recycling dieses Materials möglich ist, muss aufgrund mehrerer Aspekte, etwa der chemischen Struktur, Verunreinigungen und des Einsatzes von Verbundwerkstoffen noch untersucht werden [4]. Eine Alternative zur thermischen Behandlung ist die rohstoffliche Nutzung mit dem Ziel, Primärrohstoffe im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu ersetzen.

Perspektivisch kann die pyrolytische Behandlung eine Möglichkeit sein, SBR-haltige Abfälle zu recyceln. Dabei wird das Material in inertisierter Atmosphäre so stark erhitzt, dass die Polymerketten thermisch fragmentieren. Flüchtige Bestandteile gehen in die Gasphase über und umfassen neben Permanentgasen auch bei Raumtemperatur kondensierbare Kohlenwasserstoffe mit ölig bis wachsartiger Konsistenz. Durch eine optimierte Prozessführung und zusätzliche Aufbereitungsschritte können diese Kondensate wie-

der in die Wertstoffkette eingebunden werden. Dadurch ließen sich Matratzenschäume verwerten, fossile Rohstoffe substituieren und eine zirkuläre Wertschöpfung unterstützen.

2 Methodik

2.1 Kompaktierung von Latexmatratzenschäumen

Die Kompaktierung des abfallstämmigen Latexmatratzenschaums verfolgt das Ziel, stabile und gut förderfähige Agglomerate zu erzeugen. Dadurch soll die Schüttdichte erhöht werden, um einen effizienteren Transport sowie die Förderung in die anschließende Pyrolyseanlage zu unterstützen und gleichzeitig den Feinanteil zu minimieren. Hierzu wurden Pelletierungs- und Agglomerationsverfahren erprobt und die erzeugten Pellets und Agglomerate hinsichtlich Förderfähigkeit und Abriebfestigkeit bewertet. Ohne zusätzliche Additive waren weder Agglomeration noch Pelletierung möglich. Als abfallstämmige Additive wurden für die Pelletierung Polystyrol-Joghurtbecher und Polyethylenfolien aus der Leichtverpackungssortierung (LVP) verwendet. Für die Agglomeration wurden zusätzlich eine Sortierfraktion aus der LVP aus expandiertem Polystyrol (EPS) und Polystyrol (PS) sowie reines EPS aus Gewerbeabfällen eingesetzt. Ein Schwerpunkt lag darauf, den Anteil an Latexmatratzenschaum in den Agglomeraten zu maximieren. Anschließend wurde der Einfluss der Additive auf die chemische Zusammensetzung mithilfe von Immediat- und Elementaranalyse untersucht.

2.2 Pyrolyse von Latexmatratzenschäumen

Das thermochemische Zersetzungsverhalten wurde zunächst mittels thermogravimetrischer Analyse (TGA) untersucht. Auf dieser Grundlage wurden erste Versuchsbedingungen für das Scale-Up im Batch-Reaktor abgeleitet. Die Batch-Versuche wurden in einer Doppelbestimmung durchgeführt. Pro Versuch wurden unter Stickstoffatmosphäre 200 g Latexmatratzenschäume eingewogen und mit einer Aufheizrate von 5 K/min auf 450 °C aufgeheizt. Diese Temperatur wurde für 60 min gehalten. Die entstehenden Pyrolysegease wurden anschließend durch eine Kühlfalle geleitet, um kondensierbare Bestandteile abzutrennen. Das Produktspektrum der Gasphase wurde über eine Kopplung mit Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) erfasst. Zusätzlich wurden Kondensate und Karbonisat beprobt und für die weitere Auswertung bereitgestellt. Die Zusammensetzung der Pyrolysekondensate wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) analysiert. Das Karbonisat wurde mittels Immediat-, Elementar- und einer Röntgenfluoreszenzanalyse charakterisiert, um Wertstoffe mit Rückgewinnungspotenzial zu identifizieren.

3 Ergebnisse & Diskussion

3.1 Kompaktierung von Latexmatratzenschäumen

Bei der Kompaktierung von Latexmatratzenschäumen zeigte die Agglomeration im Vergleich zur Pelletierung einen stabileren Prozessablauf und führte zu besser förderfähigen Agglomeraten. Aus diesem Grund wird im Folgenden ausschließlich auf die Agglomerate eingegangen. Es wurden 18 Agglomerate mit verschiedenen Mischungsverhältnissen zwischen Additiv und Latexmatratzenschaum hergestellt. Agglomerat 17 wies den höchsten Anteil an Latexmatratzenschaum auf und bestand aus 60 M.-% Latexmatratzenschaum, 20 M.-% EPS aus Gewerbeabfällen sowie 20 M.-% einer Sortierfraktion aus EPS/PS aus der LVP. Abbildung 1 zeigt den Vergleich der Elementar- und Immediatanalyse von Latexmatratzenschaum, Additiv und Agglomerat 17.

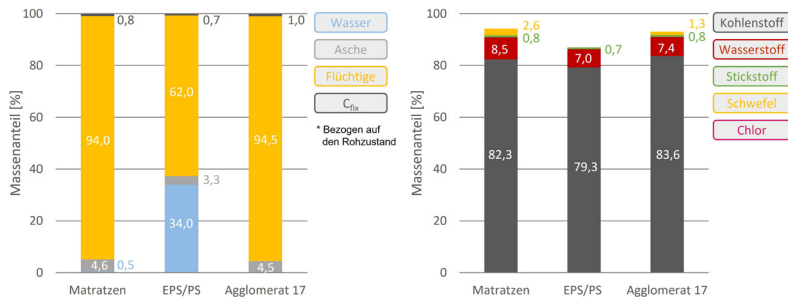


Abbildung 1: Vergleich der Elementar- und Immediatanalyse zwischen Latexmatratzenschaum, Additiv EPS/PS und Agglomerat 17

Die chemische Zusammensetzung von Latexmatratzenschaum und Agglomerat 17 verändert sich durch Agglomeration und Additivzugabe nur geringfügig.

Eine Kompaktierung des Latexmatratzenschaums konnte nur unter Zugabe von Additiven erreicht werden, da Latexmatratzenschäume Elastomere sind, die bei erhöhten Temperaturen degradieren, anstatt zu erweichen. Durch die Agglomeration änderte sich die chemische Zusammensetzung von Latexmatratzenschaum im Vergleich zu Agglomerat 17 nur geringfügig. Im weiteren Projektverlauf werden Pyrolyseversuche mit Agglomerat 17 durchgeführt. Für den kontinuierlichen Betrieb wird durch die Agglomeration die Förderfähigkeit gewährleistet.

3.2 Pyrolyse von Latexmatratzenschäumen

Nach den Pyrolyseversuchen wurde Massenbilanzen aufgestellt, die in Abbildung 2 dargestellt sind.

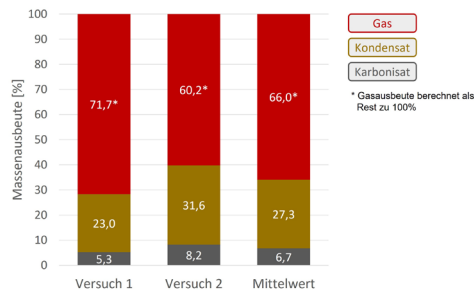


Abbildung 2: Massenbilanz aus Versuch 1 und 2 sowie den Mittelwerten bei den Versuchsbedingungen: 200 g Einwaage, Zieltemperatur 450 °C, Haltezeit 60 min

Es wurden die Mittelwerte 6,7 M.-% Karbonisat, 27,3 M.-% Kondensat und 66,0 M.-% Permanentgas ermittelt. Der Anteil an Permanentgas wurde als Rechenwert aus der Differenz zu 100 % bestimmt. Aufgrund der Schwankungen zwischen den Versuchen sollen weitere Versuche mit unterschiedlichen Temperaturen und Haltezeiten durchgeführt werden, um die Versuchsparameter weiter zu optimieren. Bei der Untersuchung des Kondensats wurden unter anderem Styrol, Limonen und Ethylbenzol nachgewiesen. Im Karbonisat wurde ein Zinkgehalt von 25,25 M.-% festgestellt.

Die ersten Pyrolyseversuche im Batch-Reaktor waren erfolgreich. Die Analysen des Output-Materials müssen weiter verifiziert werden. Mögliche Verwertungswege des Kondensats könnten der Einsatz als Feedstock im Steamcracker, die Nutzung im Flugstromvergaser oder die Rückgewinnung einzelner Stoffe sein. Perspektivisch sollen aus dem Karbonisat durch gezielte Aufbereitung definierte Stoffe (z. B. Zink) extrahiert sowie deren Verwertungswege identifiziert und bewertet werden.

5 Fazit & Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass eine Kompaktierung von Latexmatratzenschäumen durch den Einsatz von Additiven möglich ist und damit eine verbesserte Handhabung für Transport und Prozessbeschickung erreicht werden kann. Zudem wurden erste Pyrolyseversuche im Batch-Reaktor erfolgreich durchgeführt. Dabei lag die Kondensatausbeute im Bereich von 20-30 %. Die erzeugten Produktfraktionen wurden chemisch charakterisiert, sodass erste Aussagen zum Produktspektrum und zu möglichen Verwertungsoptionen abgeleitet werden konnten.

Im nächsten Schritt steht das Scale-Up der Pyrolyse im Mittelpunkt. Dazu sollen die Betriebsparameter weiter optimiert werden, um höhere Kondensatausbeuten zu erzielen und das Agglomerat im Vergleich zu dem Latexmatratzenschaum im Batch-Reaktor pyrolysiert werden. Anschließend soll die Prozesskette in einen kontinuierlichen Pilotbetrieb überführt werden, um die Ergebnisse unter praxisnäheren Bedingungen zu validieren und die Grundlage für eine spätere Umsetzung in größerem Maßstab zu schaffen.

Danksagung

Das Projekt *REFOAM* wird durch die Volkswagenstiftung gefördert.

Literatur/Quellen

- [1] Dornbusch, H.-J.; Hannes, L.; Santjer, M.; Böhm, C.; Wüst, S.; Zwisele, B.; Kern, M.; Siepenkothen, H.-J.: Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien; 2020.
- [2] Europäisches Parlament: Richtlinie (EU) 2018/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle.
- [3] Garrido, M.A.; Font, R.; Conesa, J.A.: Thermochemical study of the briquetting process of mattress foams. *Fuel Processing Technology* 2017; 159:88–95.
- [4] Zanchet, A., Sousa F.D.B.: Elastomeric Composites Containing SBR Industrial Scraps Devulcanized by Microwaves: Raw Material, Not a Trash. *Recycling* 2020; 5(1):3.

Kontakt

Lara Clemens, M. Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Lehr- und Forschungsgebiet Thermoprozesse und Emissionsminderung in der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft

Tel.-Nr.: +49 241 80-90714

E-Mail: clemens@teer.rwth-aachen.de – Homepage: www.teer.rwth-aachen.de