



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

BEKANNTMACHUNG

Doktorandenprogramm des BMEL mit der Islamischen Republik Iran

Iranil: Ash-related aspects during the thermo-chemical conversion of leached silicon rich biomass assortments for the production of heat and power and the combined transformation into valuable inorganic multipurpose chemical compounds

Land/Länder	Deutschland, Iran
Fördernde Organisation	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft - BMEL
Projekträger	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung - BLE
Koordinator	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Partner	University of Leipzig, Institute of Chemical Technology, Faculty of Chemistry and Mineralogy, Professorship Chemical Reaction Engineering

	Iran University of Science and Technology (IUST), School of Mechanical Engineering
Projektbudget	136.282,47 €
Projektlaufzeit	01.01.2018 – 30.06.2021
Schlagwörter	Reisstroh, Reisspelzen, Verbrennung, biogenes Silika, Asche
Hintergrundinformation	<p>Trotz der derzeitigen Rolle Irans als eines der führenden Erdöl exportierenden Länder wird erwartet, dass der gegenwärtige Trend des steigenden Energieverbrauchs und die notwendige Reduzierung der THG Emissionen einen Anstieg des Verbrauchs an erneuerbaren Energien von derzeit 2 % auf 38 % im Jahr 2030 bewirken wird. Neben der solaren, hydrothermalen und Windenergieerzeugung wird die Bioenergieerzeugung, insbesondere die Nutzung und Verwertung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten und biogenen Reststoffen, eine wichtige Rolle spielen, um diese nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen, die folglich zur Modernisierung des iranischen Agrarsektors beitragen wird. Kern des Projekts ist ein innovativer Wertschöpfungsansatz zur Verbesserung der Effizienz der Biomassenutzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette und zur Etablierung nachhaltiger landwirtschaftlicher Prozesse (z.B. Einsatz von Düngemitteln), zur Bereitstellung klimaneutraler Energie insbesondere in (abgelegenen) ländlichen Regionen und zur Umwandlung von landwirtschaftlichen Reststoffen in chemische Grundstoffe (z.B. amorphes Siliziumdioxid) für vielfältige fortschrittliche Anwendungen, z.B. als Katalysatorträger. Bei den bisherigen experimentellen Arbeiten lag der Schwerpunkt auf dem Nachweis des Konzepts. Es fehlte jedoch noch an Grundlagenforschung zu den thermochemischen Konversionsprozessen und den Auswirkungen der Konversionsbedingungen sowie der unterschiedlichen Qualität des Ausgangsmaterials auf das siliziumreiche Ascheprodukt. Daher sind wissenschaftliche Prognosen zu Konversionsparametern und Anlageneinstellungen erforderlich, um die gewünschte und anspruchsvolle Qualität der siliziumreichen Aschen für die stoffliche Nutzung zu gewährleisten.</p>
Projektziel	<p>Um ascherelevante Aspekte bei der Verbrennung von siliziumreichen Biomassebrennstoffen (d.h. insbesondere RH und RS) zu untersuchen, werden die folgenden spezifischen Ziele verfolgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klärung des Einflusses der Brennstoffvorbehandlung und der Verbrennungsparameter auf die Qualität des biogenen Silikas und die Schlackenbildung durch eine umfassende Literaturübersicht und eine systematische experimentelle Untersuchung.

	<ul style="list-style-type: none"> • Klärung des Mechanismus bei der Aschetransformation im Hinblick auf makroskopische und mikroskopische Aspekte und die Rolle verschiedener aschebildender Elemente. • Vorhersage der Schlackenbildung und der Qualität des biogenen Silikas unter Verwendung thermodynamischer Gleichgewichtsrechnungen, relevanter Brennstoffindizes (FI) und der Berechnungen der Ascheviskosität.
<p>Projektergebnisse</p>	<p>Die Ergebnisse des Projektes sind in mehreren begutachteten Publikationen veröffentlicht worden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H. Beidaghy Dizaji, T. Zeng, I. Hartmann, D. Enke, T. Schliermann, V. Lenz, M. Bidabadi, Generation of high-quality biogenic silica by combustion of rice husk and rice straw combined with pre- and post-treatment strategies – A review, Applied Sciences 9 (2019) 1083. https://doi.org/10.3390/app9061083. • A. Zareihassangheshlaghi, H. Beidaghy Dizaji, T. Zeng, P. Huth, T. Ruf, R. Denecke, D. Enke, Behavior of Metal Impurities on Surface and Bulk of Biogenic Silica from Rice Husk Combustion and the Impact on Ash-Melting Tendency. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 8 (2020) 10369–10379. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01484. • H. Beidaghy Dizaji, T. Zeng, H. Hölzig, J. Bauer, G. Klöß, D. Enke, Ash transformation mechanism during combustion of rice husk and rice straw, Fuel 307 (2022) 121768. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121768. • H. Beidaghy Dizaji, T. Zeng, D. Enke, New fuel indexes to predict ash behavior for biogenic silica production, Fuel, 122345, In Press. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122345. <p>Die wesentlichen wissenschaftlichen und technischen Ergebnisse des Vorhabens und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen können wie folgt zusammengefasst werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Anwendung von Brennstoffmischungen ist bzgl. der Vermeidung von Verschlackungen in der Asche und die Erzeugung von biogenem Silika mit hoher Qualität im Vergleich zur chemischen Brennstoffvorbehandlung begrenzt. Je nach Biomassebrennstoff müssen jedoch unterschiedliche Brennstoffvorbehandlungen angewendet werden. Für Reisstroh ist eine Laugung mit Zitronensäure effektiver, während für Reisspelzen die Vorbehandlung mit Wasser ausreichend ist, um die Silikaqualität zu verbessern und die Verschlackung der Asche zu vermeiden. Es wurde auch festgestellt, dass deionisiertes Wasser anstelle von Leitungswasser bei der chemischen Vorbehandlung des Brennstoffs verwendet werden sollte, um das Risiko von Ca-Verunreinigungen in der Aschematrix zu vermeiden. • Die Reinheit und die spezifische Oberfläche und des biogenen Silikas aus der Verbrennung von der LRH-erlaubt einen Einsatz des

	<p>Materials für medizinische Anwendungen, z. B. die Verabreichung von Medikamenten.</p> <ul style="list-style-type: none">• Unterhalb eines kristallinen Anteils in der Asche von etwa 10 Ma.-% wirken sich die Umwandlungstemperatur sowie die Art der Brennstoffvorbehandlung auf die Qualität des biogenen Silikas aus. Um hochwertiges biogenes Silika zu erzeugen, sollte daher der kristalline Anteil der Asche unterhalb dieses Schwellenwertes gehalten werden.• Um eine hohe Qualität des biogenen Silikas zu gewährleisten, sollten zweistufige Verbrennungsprozesse mit gezielter Steuerung der Verbrennungstemperatur zur Vermeidung von Verschlackungen in der Asche und kristallinen Phasen eingesetzt werden.• Die Vorhersage des Ascheschmelzverhaltens anhand der charakteristischen Ascheschmelztemperaturen ist begrenzt. Durch thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen und Berechnung der Ascheviskosität können detaillierte Vorhersagen zur Ascheverschlackung und die chemische Zusammensetzung getroffen werden.• Ebenso bietet der neu definierte Brennstoffindex $(K+Na+Mg)/P$ [mol/mol] ein hohes Potenzial, um das Verschlackungsverhalten der Aschen und die Reinheit des biogenen Silikas zu klassifizieren.
Empfehlungen	<p>Künftige Untersuchungen im Labormaßstab sollten die folgenden Aspekte berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der Einsatz weiterer Analysetechniken (z. B. RAMAN, XPS oder EDX) in Verbindung mit Bildverarbeitungsmethoden und künstlicher Intelligenz kann weiteren Aufschluss über die Eigenschaften von biogenem Silika geben.• Die Modellierung des Ascheverhaltens mittels molekulardynamischen Simulationsmodellen kann vorteilhaft sein, um das Ascheschmelzverhalten problematischer Phasen zu identifizieren.• Der entwickelte Python-Code bietet einen guten Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung von Brennstoffindizes. Hierfür sollten große Datensätze verwendet werden, die andere potenzielle siliziumreiche Biomassebrennstoffe wie Hafer- und Dinkelspelzen berücksichtigen. Im nächsten Schritt muss die Übertragbarkeit auf Verbrennungsanlagen im Labor- und Industriemaßstab geprüft werden.• Da die Viskositätsmodelle P_2O_5 nicht berücksichtigen, sind experimentelle Untersuchungen erforderlich, um eine Viskositätsdatenbank inkl. synthetischer Oxidsysteme mit P_2O_5 zu erstellen. Somit können die Viskositätsmodelle zukünftig die Aschen realitätsgetreuer abbilden.• Eine Optimierung der chemischen Brennstoffvorbehandlung bzgl. Temperatur, Zeit und Säurekonzentration ist notwendig, da dies

einen erheblichen Einfluss auf die Schlackenbildung in der Asche und die Qualität des biogenen Silikas hat.

Die folgenden Aspekte können bei künftigen Forschungsarbeiten für eine technische Skalierung des Prozesses berücksichtigt werden:

- Die technische Skalierung des Waschverfahrens und die Kompaktierung des Brennstoffs sollten in Betracht gezogen werden, um die Anwendung in kleineren und mittleren Feuerungsanlagen zu ermöglichen
- Die Bereitstellungskette sollte anhand einer Lebenszyklusanalyse (LCA) analysiert werden, um die Nachhaltigkeit der gesamten Bereitstellungskette zu bewerten.
- Aus praktischer Sicht sollten die Festbettverbrennungsanlagen mit unbehandelten Si-reichen Biomassebrennstoffen als zweistufiger Verbrennungsprozess umgestaltet werden, um die Kohlenstofffixierung in der Aschematrix zu vermeiden. Somit wird die organische Substanz vor dem Aufschmelzen der Asche aufgrund eines hohen Kaliumgehalts zersetzt. Dadurch wird die Kohlenstofffixierung vermieden und ein hochwertiges biogenes Silika gewonnen. Eine Vorbehandlung mit Wasser kann eingesetzt werden, um das Kalium vor der Verbrennung aus den Brennstoffen zu lösen und die Kohlenstofffixierung aufgrund des durch die K-Silikate verursachten Schmelzens der Asche zu vermeiden.
- Die Verbrennung von Si-reichen Biomassen in Großanlagen sollte anhand von CFD-Simulationen untersucht werden, um eine Verbrennungstemperatur von über 900 °C, die zur Kristallisation in der Asche führt, zu vermeiden.

Fotos

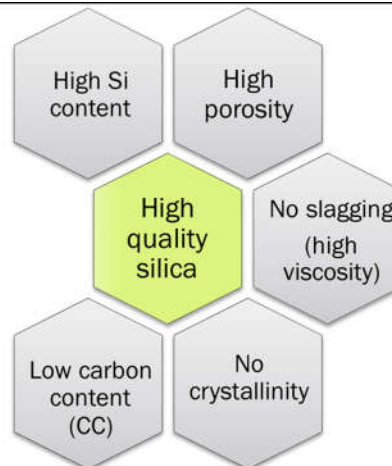


Abbildung 1. Qualitätsparameter für biogenes Silika.

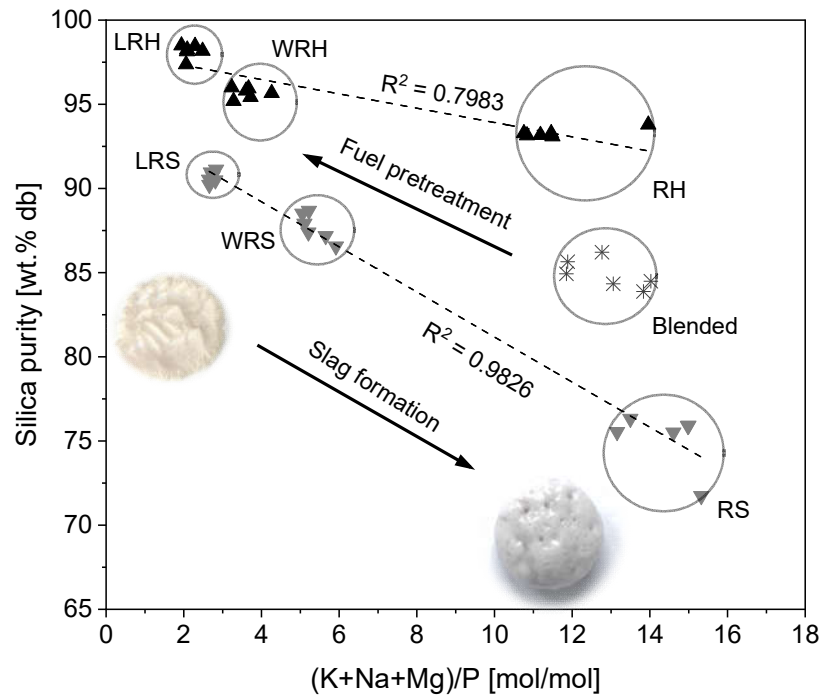


Abbildung 2. Reinheit des biogenen Silikas als Funktion des Brennstoffindex $(K+Na+Mg)/P$. Abkürzungen: Reisspelzen mit Zitronensäure vorbehandelt (LRH), Reisstroh mit Zitronensäure vorbehandelt (LRS), Reisspelzen (RH), Reisstroh (RS), wassergewaschene Reisspelzen (WRH) und wassergewaschenes Reisstroh (WRS), Mischung von 50 Ma.-% wf Reisstroh mit 50 Ma.-% wf Reisspelzen (50RS-50RH).