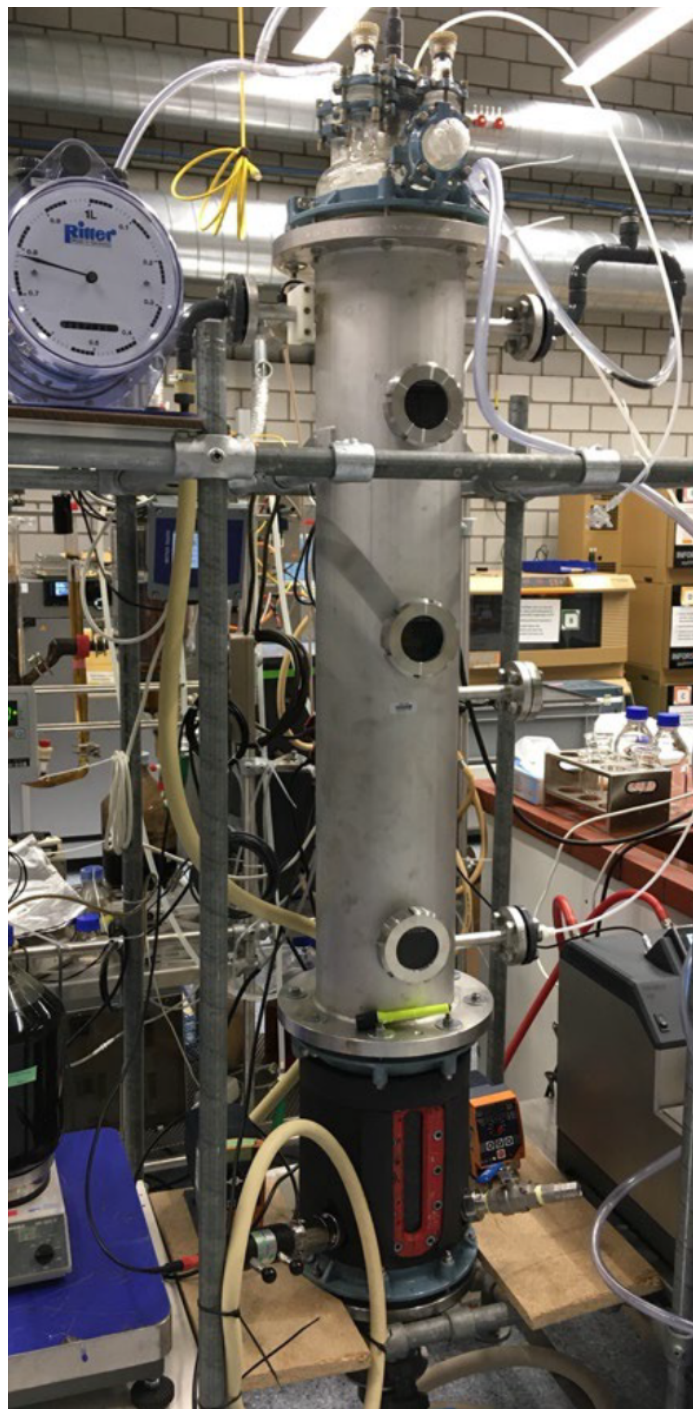


PROZESSWÄRME AUS BIOGENEN RESTSTOFFEN

In flüssigen biogenen Industrieabfällen steckt viel Kohlenstoff – und damit viel Energie. Ein Forscherteam der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) hat mit österreichischen Partnern ein neuartiges Verfahrenskonzept zur Verwertung dieser Abfälle erforscht: Damit lassen sich Biomethan und Biokohle gewinnen und Hochtemperatur-Prozesswärme für industrielle Zwecke erzeugen. Der «Proof of Principle» ist erbracht, einer kommerziellen Anwendung stehen bislang aber noch technische Hürden und die fehlende Wirtschaftlichkeit entgegen.

Kreislaufwirtschaft bedeutet: Reststoffe werden einer Verwendung zugeführt, und es müssen keine Abfälle mehr entsorgt werden. Diesen Zero-Waste-Ansatz verfolgt ein Forschungsprojekt des Instituts für Chemie & Biotechnologie der ZHAW. Das Projekt mit dem Namen «Valorisation of industrial residues for a sustainable industry» (abgekürzt: VARESI) zielt darauf ab, organische Reststoffe direkt beim Industrieunternehmen zu verwerten, um daraus Prozesswärme bereitzustellen.

Ausgangspunkt sind flüssige organische Industrieabfälle. Diese lassen sich wegen ihres hohen Wassergehaltes nicht ohne weiteres weiterverwenden, weisen aber einen hohen Kohlenstoffgehalt auf und sind damit energetisch wertvoll. Solche Abfälle entstehen beispielsweise in Papierfabriken,



Mit dieser Versuchsanlage haben die ZHAW-Forscher den «Proof of Principle» für den VARESI-Prozess erbracht. Der EGSB-Fermenter im Labor fasste 60 Liter. Foto: Schlussbericht VARESI

Molkereien, Schlachtbetrieben oder in der Fruchtsaftindustrie. Herkömmlicherweise werden sie mit hohem Energieaufwand entwässert, getrocknet und dann zur Energiegewinnung verbrannt. «Wir möchten aus diesen Reststoffen mit einer Bioraffinerie das Maximum an Energie herausholen», erklärt ZHAW-Projektleiter Hajo Nägele. «Bioraffinerie steht dabei für ein gesamtheitliches Verwertungskonzept, das als zentrale Prozessstufe eine Biogasanlage einsetzt und diese mit weiteren Technologien ergänzt.»

Dreiteiliger Prozess

In dieser Bioraffinerie soll ein dreistufiger Prozess zur Energiegewinnung ablaufen, wie das ZHAW-Forscherteam vorschlägt:

Erster Schritt: Die flüssigen Reststoffe werden in einer Biogasanlage vergärt. Dabei entsteht Methan (CH_4). Dieses Biogas kann energetisch genutzt werden, beispielsweise in Heizungen zur Wärmebereitstellung oder in Blockheizkraftwerken zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme. Je nach Zusammensetzung der Biomasse kann dieser erste Prozessschritt entfallen, sodass direkt mit dem zweiten Schritt begonnen wird.

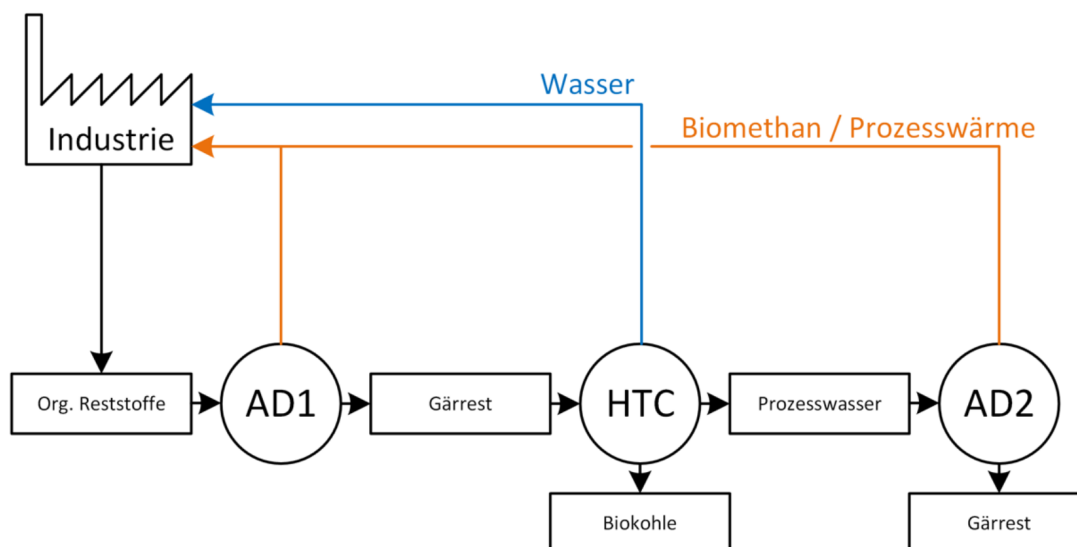
Zweiter Schritt: Der Kohlenstoff in den Gärresten, der in der Biogasanlage durch die Mikroorganismen nicht methanisiert wurde, wird unter Druck (ca. 20 bar) und Wärme (200–220 °C) in Kohle umgewandelt, die flüssigen Bestandteile der Gärreste ergeben Prozesswasser. Dieser Prozess ist als Hydrothermale Karbonisierung (HTC) bekannt. Die HTC-Kohle (oder «Biokohle») kann energetisch als klimaneutraler Brenn-

stoff genutzt werden. Als Alternative könnte sie auch ins Erdreich eingebracht werden, womit der in der HTC-Kohle fixierte Kohlenstoff dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt und so zu Negativemissionen führen würde (Carbon Capture and Storage). Damit eine solche Speicherung in relevantem Umfang realisiert werden kann, müssen zuerst die Auswirkungen auf Boden und Fauna abschliessend geklärt werden. Zudem wären gesetzliche Anpassungen erforderlich.

Dritter Schritt: Das Prozesswasser aus Schritt 2 enthält immer noch gelösten Kohlenstoff, der durch eine erneute Vergärung in einer Biogasanlage weitgehend in Methan umgewandelt wird. Der durch das HTC-Verfahren zusätzlich im Prozesswasser freigesetzte Kohlenstoff ist grundsätzlich sehr gut anaerob verwertbar. Mikrobiologisch nicht verwertbarer, hochmolekularer Kohlenstoff wird über eine Membranfiltration rückgewonnen und karbonisiert. Zurück bleibt gereinigtes Wasser, das in der Industrie verwendet werden kann.

Erprobung im Labormassstab

Diesen dreiteiligen Verwertungsprozess hat das Forscherteam am ZHAW-Standort Wädenswil mit entwässerten Papierschlämmen praktisch erprobt. Neben der Herstellung von HTC-Prozesswasser und dessen Charakterisierung lag der Schwerpunkt auf der konsequenten Verwertung dieses Reststoffstromes (wie oben in Schritt 3 dargestellt). Dies stellt eine besondere Herausforderung dar, da das Prozesswasser Störstoffe enthält, die den Gärprozess hemmen oder im Extremfall vollständig zum Erliegen bringen. Die Valorisierung des entstehenden Prozesswassers gilt deshalb als Erfolgskriterium der HTC-Technologie.



Der dreistufige VARESI-Prozess besteht aus einer ersten anaeroben Vergärung in einer Biogasanlage (AD1), gefolgt von der Hydrothermalen Karbonisierung (HTC) und schliesslich einer zweiten anaeroben Vergärung des anfallenden Prozesswassers (AD2). Illustration: Schlussbericht VARESI

Um ideale Abbaubedingungen für den im Prozesswasser enthaltenen Kohlenstoff zu schaffen, setzten die Forscher einen «Expanded granular sludge bed Fermenter» (EGSB) ein (vgl. Textbox rechts). Der kontinuierlich beschickte Fermenter zeigte, ohne Austausch der Gärbiologie, während 200 Tagen Versuchsdauer einen zuverlässigen Abbau. Der Prozess wäre nach Darstellung der Forschenden dauerhaft weitergelaufen, hätte die Versuchsanlage nicht wegen eines Laborumbaus abgebaut werden müssen. Selbst ohne Verdünnung des Prozesswassers sei eine weitgehende Verwertung des Substrats sichergestellt. Der gelöste Kohlenstoff wurde überwiegend zu 80 und mehr Prozent abgebaut. Der verbleibende Kohlenstoff wurde durch Membranfiltration aus dem Wasser entfernt. «Wir haben mit der Versuchsanlage den «Proof of Principle» erbracht, dass der dreistufige VARESI-Prozess verfahrenstechnisch funktioniert», sagt Hajo Nägele. «Wir konnten auch zeigen, dass trotz potentiell hemmender Substanzen ein stabiler anaerober Abbauprozess möglich ist.»

Grössere Energieausbeute

Um die Vorzüge des VARESI-Prozesses aufzuzeigen, hat das Forscherteam berechnet, wie viel Energie gewonnen wurde, wenn die flüssigen Reststoffe der Papierfabrik TELA GmbH (Niederbipp) mit dem neuartigen Verfahren verwertet würden. Aus den gut 20'000 t Trockensubstanz des Papier- und Bioschlammes könnten pro Jahr rund 34'000 MWh thermische Energie gewonnen werden – unter dem Strich ein Mehrertrag von 12'600 MWh gegenüber dem herkömmlichen Verwertungsprozess mit Entwässerung und Verbrennung. Der Mehrertrag entspricht 7 % des Gesamtenergiebedarfs der Papierfabrik im Jahr 2023. Durch die Substitution von

EGSB-REAKTOR

Der EGSB-Fermenter (für: Expanded granular sludge bed) ist ein Bioreaktor zur anaeroben (unter Luftausschluss) Vergärung von flüssigen biogenen Reststoffen zu Biogas (Methan). Er eignet sich für die Vergärung von Abwasser mit hohen organischen Anteilen. Im Gegensatz zum klassischen Biogas-Fermenter verwendet der EGSB-Reaktor für den Gärprozess ein anaerobes Schlammgranulat (engl. «granular sludge») und eine hohe Umwälzung des Abwassers, um organische Substanzen effizient abzubauen und in Methan umzuwandeln. Die hohe Umwälzung führt dazu, dass das Schlammgranulat ein grösseres Volumen («expanded») aufweist. Die so vergrösserte Kontaktfläche zwischen organischen Stoffen und Schlammgranulat erhöht die Effizienz des Gärprozesses..

Erdgas könnten die jährlichen CO₂-Emissionen um rund 13 % gesenkt werden.

«Die experimentellen Ergebnisse belegen, dass das energetische Potenzial von Papierschlamm bereits unter moderaten Prozessbedingungen der Hydrothermalen Karbonisierung weitgehend ausgeschöpft werden kann», schreiben die Wissenschaftler im Projektschlussbericht. Sie gehen davon aus, dass die Energieausbeute zusätzlich erhöht werden könnte, wenn der HTC-Prozess künftig noch exakter auf das Substrat abgestimmt würde.



Aus dem Kohle-Wasser-Gemisch (links) entstehen im Prozessschritt der Hydrothermalen Karbonisierung HTC-Kohle (Mitte) und Prozesswasser (rechts). Fotos: Schlussbericht VARESI

Weitere Forschung nötig

Hajo Nägele sieht im VARESI-Konzept eine «Schlüsseltechnologie» zur besseren Verwertung von flüssigen biogenen Industrieabfällen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, das Verfahren wirtschaftlich zu gestalten. Hierfür sowie zur Sicherstellung einer positiven Umweltbilanz des Gesamtprozesses ist eine hohe Kohlenstoffeffizienz von entscheidender Bedeutung. Bisherige Verfahren zur Prozesswasserbehandlung, deren Reinigungsleistung primär auf der Umwandlung von Kohlenstoff zu CO_2 basiert, sind weder energiepositiv noch ökonomisch vorteilhaft. Neben einer optimalen Wärmerückgewinnung im HTC-Prozess ist die maximale Energiegewinnung aus dem Prozesswasser eine Grundvoraussetzung für einen kosteneffizienten Betrieb.

Die Skalierbarkeit der HTC- und der anaeroben Vergärungstechnologie eröffnet laut ZHAW-Wissenschaftler Nägele die Perspektive zum Bau dezentraler Bioraffinerien. Gemeint sind damit kleinere Verbünde zur Verwertung lokal anfallender nasser Biomassen. Damit könnten Synergien genutzt, Kosten reduziert und potenziell Negativ-Emissionszertifikate gemeinschaftlich realisiert werden, sagt Nägele. Das neuartige Verfahrenskonzept könne zudem die Dekarbonisierung weiterer Sektoren, wie etwa Abwasserbehandlung oder Landwirtschaft, unterstützen und lasse sich effizient mit einer Nährstoffrückgewinnung (Stickstoff, Phosphor) kombinieren.

➤ Den **Schlussbericht** zum Projekt «Valorisation of industrial residues for a sustainable industry» (VARESI; deutsch: Verwertung von industriellen Reststoffen für eine nachhaltige Industrie) finden Sie unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=50255>

➤ **Auskünfte** zum Forschungsprojekt erteilt Vanessa Burg (vanessa.burg@bfe.admin.ch), Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Bioenergie.

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Bioenergie finden Sie [hier](#).



Bisher wird der entwässerte Schlamm aus der Papierherstellung unter Beigabe von Holz und weiteren (Stütz-)Brennstoffen verbrannt, wobei Prozessdampf gewonnen wird. Mit dem VARESI-Prozess liesse sich der Energieertrag bei der Schlammverwertung unter dem Strich um 50 % steigern, haben die ZHAW-Forschenden gezeigt. Foto: Schlussbericht VARESI