

Bioraffinierte Verfa

Die Aachener Verfahrenstechnik der Herausforderung

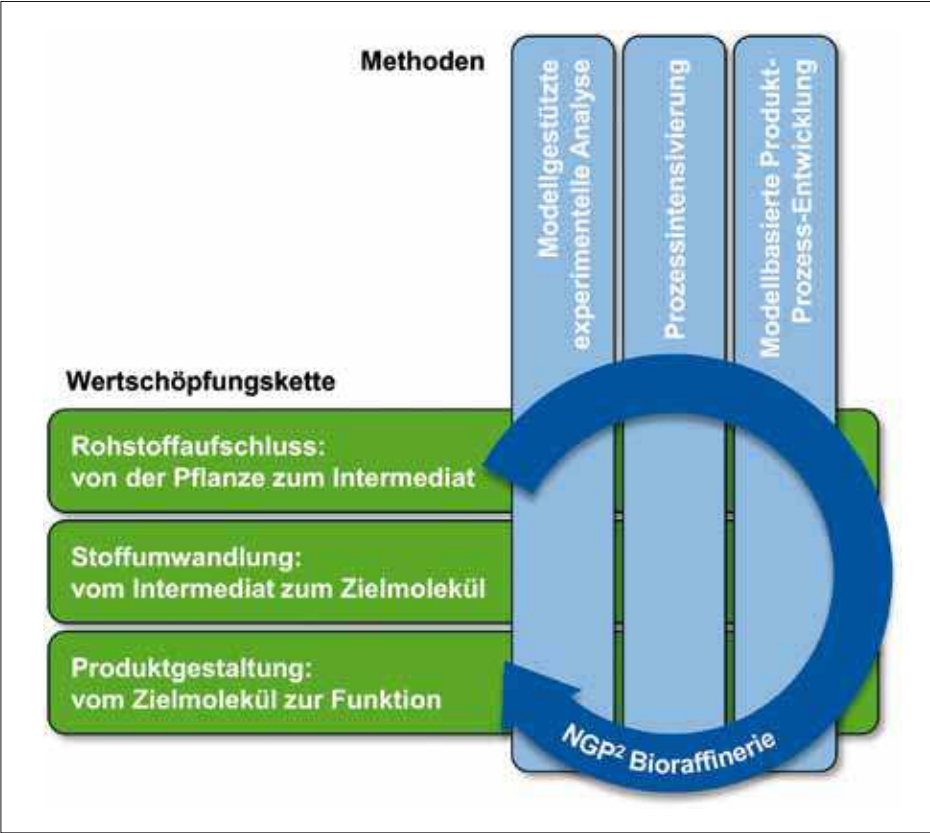


Bild 1: Entlang der Wertschöpfungskette (vertikal) ergeben sich Forschungsschwerpunkte, die mit den verfahrenstechnischen Methoden (horizontal) über die NGP²-Bioraffinerie gekoppelt werden können.

36

Die schwankenden Öl- und Gaspreise und eine unübersichtliche globalpolitische Richtung provozieren die Frage, ob Biokraftstoffe, biobasierte Materialien und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe noch Erfolg versprechen. Vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung, einer knappen Rohstoffbasis in Europa und steigender CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen können nachwachsende Rohstoffe einen entscheidenden Beitrag zu Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit leisten. Dies ist das Ziel der Bioökonomie. Es bleibt

also zu klären, welche Gründe es für das schleppende Tempo dieses Wandels gibt und welche Lösungsmöglichkeiten existieren.

Die Gründe für die stockende Umgestaltung liegen sowohl im akademischen wie auch im technischen Bereich. Die technische Stoffumwandlung ist das Kerngebiet der Verfahrenstechnik, die noch stark petrochemisch geprägt ist und auf einen sehr kohlenstoffhaltigen, energiereichen und kostengünstigen Rohstoff fokussiert ist. Dies betrifft die Herstellungswege und die Eigenschaften der Produkte. Die Produkte werden überwiegend in Gasphasenreaktionen oder mit organischen Lösungsmitteln unter Nutzung fossiler Energiequellen hergestellt. Eine Verfahrenstechnik zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe muss dagegen den deutlich höheren Wasser- und Sauerstoffgehalt der Stoffströme in neuen Syntheserouten mit komplexen Lösungsmittel- und Reaktionssystemen und Produk-

ten berücksichtigen. Das fundamentale Verständnis dieser molekularen Eigenschaften bis hin zur makroskopischen Prozessskala muss also in der Wissenschaft neu aufgebaut werden. Es müssen insbesondere Strategien für die Verarbeitung einer neuen Rohstoffbasis mit großer Variabilität und letztlich ökonomische Perspektiven aufgezeigt werden, was nur mit hohen Ausbeuten auch im technischen Maßstab erreichbar sein wird.

Auch die technische Exploration dieser Zusammenhänge steckt in einem Dilemma. Die etablierten industriellen Anlagen sind üblicherweise durch große Massenströme, eine geringe messtechnische Ausstattung und eine hohe Spezialisierung auf einen Rohstoff gekennzeichnet. Insbesondere die Trenn- und Aufarbeitungstechnologien sind stark auf die molekularen Eigenschaften der üblicherweise flüchtigen Zwischenprodukte zugeschnitten. Dazu kommt, dass durch stetigen

hrenstechnik

verpflichtet sich „Nachwachsende Rohstoffe“

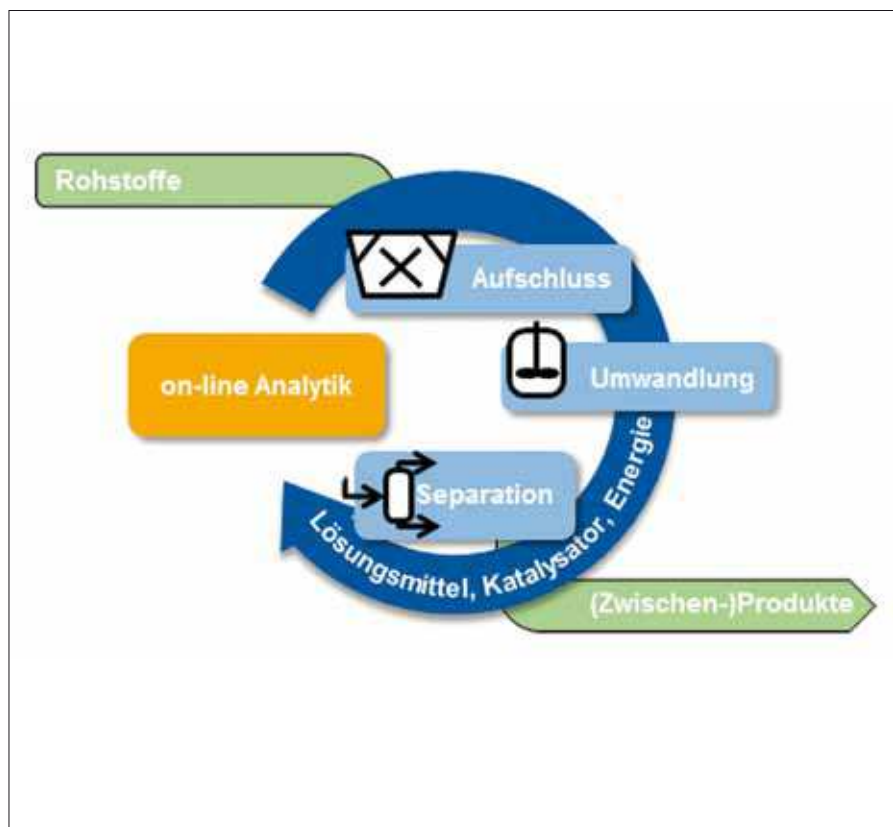


Bild 2: Das Konzept der NGP²-Bioraffinerie zur Konversion von biogenen Rohstoffen zu (Zwischen-)Produkten – also Chemikalien, Polymeren und Kraftstoffen – beinhaltet die Verfahrensschritte „Aufschluss“, „Umwandlung“ und „Separation“ als modulare Teilanlagen. Während on-line Analytik direktes Verständnis ermöglicht, werden Lösungsmittel, Katalysatoren und Energie wie im technischen Maßstab rezykliert beziehungsweise integriert.

Wettbewerb die etablierten Anlagen zu immer größeren Kapazitäten optimiert wurden. Eine Änderung dieser etablierten, oft milliardenschweren Investitionen zur Realisierung der Bioökonomie ist verständlicherweise ein hohes Risiko, selbst wenn die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus ökonomischer Sicht sinnvoll ist.

Dieser Zustand erschwert den gewünschten Wandel zu einer regionalen, stofflichen und möglichst klimaneutralen Wertschöpfung in einer Bioökonomie. Die üblichen schrittweisen Verbesserungen bestehender Wertschöpfungsketten bieten dafür nicht die Möglichkeit. Die neu entwickelten wissenschaftlichen Konzepte und Methoden werden daher selten im technisch relevanten Maßstab validiert und können nur schwierig hinsichtlich des Gesamtverfahrens weiterentwickelt werden. Die Bioökonomie erfordert infolgedessen eine Kombination aus technischer Umsetzung und wissenschaftlicher

Forschung zur Entwicklung innovativer Produkte und Prozesse.

Diesen Herausforderungen wird sich das in Bau befindliche „Center for Next Generation Processes and Products“ (NGP²) der Aachener Verfahrenstechnik, kurz AVT, widmen. Diese hatte sich in einer bundesweiten Evaluierung durch den Wissenschaftsrat mit einer neuen Forschungsprogrammatik zu den Fragestellungen der Erschließung und Wertschöpfung regenerativer Rohstoffe in der Bioökonomie durchsetzen können. Entlang der Wertschöpfung vom biogenen Rohstoff bis zu einem neuen funktionalen Produkt verpflichtet sich die AVT damit den Herausforderungen der Bioökonomie, siehe Bild 1. Der Aufschluss der Pflanze ermöglicht den Zugang zu deren Inhaltsstoffen und ist der erste wichtige, aber auch komplexe, Schritt in der Verarbeitung. Eine hohe Effizienz und Ausbeute in den nachgeschalteten Umwandlungen sind Grundvoraussetzun-

gen, die mit günstigen – und damit vielfältigen – und meist saisonalen Rohstoffen zu leisten sind. Erfolgversprechend sind dezentrale und flexible Produktionssysteme, die unter milden Bedingungen in Flüssigkeiten unter 200 Grad Celsius die Entstehung von Abbauprodukten möglichst vollständig vermeiden. Im Vergleich zu den klassischen Vergasungs- oder Pyrolyseverfahren können damit prinzipiell höhere Ausbeuten an Zwischenprodukten in kleineren Anlagen erzielt werden.

Die eigentliche Wertschöpfung geschieht indessen erst durch die stoffliche Umwandlung der Zwischenprodukte. Eine hohe Selektivität ist mittels biotechnologischer Konversion des aufgeschlossenen Materials möglich. Da Nebenprodukte aus dem Aufschluss und auch das eigentliche Produkt zur Hemmung der Konversion führen, ist die zentrale Herausforderung eine gleichbleibend hohe Ausbeute

Center for Next Generation Processes an

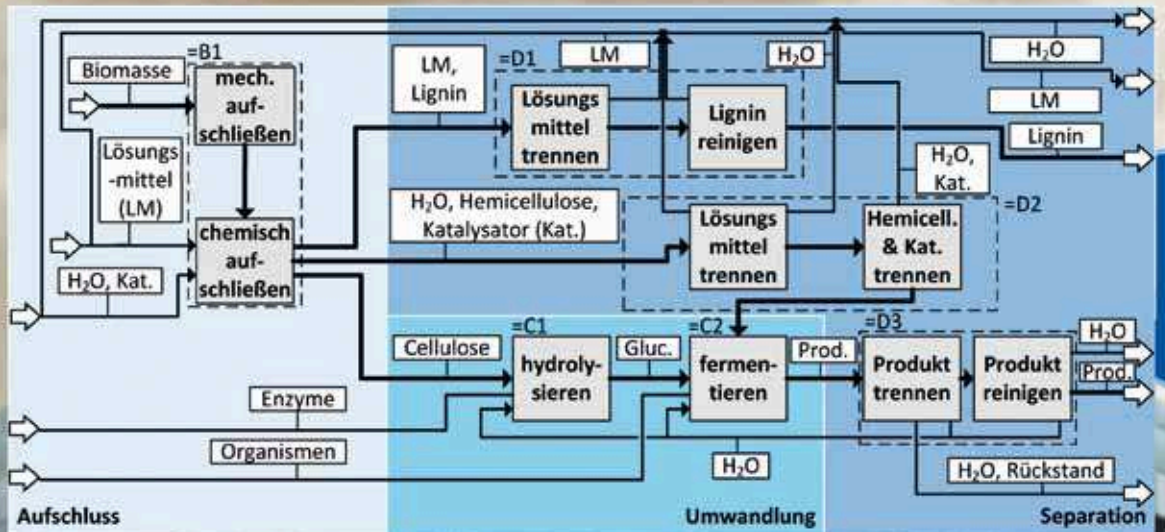
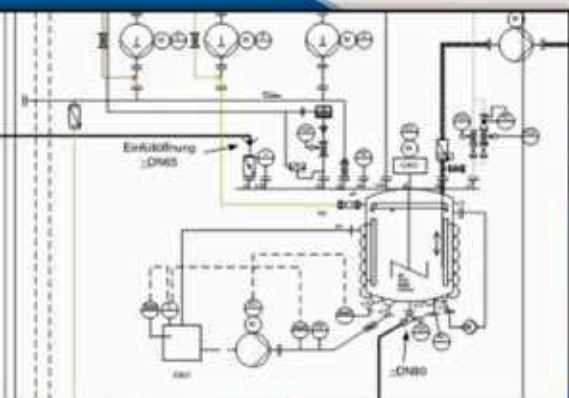


Bild 3: Illustration des NGP² und Visualisierung der Planungsleistung der AVT vom Blockfließbild bis zum schlüsselfertigen Apparat in der NGP²-Bioraffinerie.

pro Zeit und Apparatvolumen. Potenzial ergibt sich hier nur durch Integration der Biotechnologie mit dem Aufschluss und der Techniken zur Separation der eingesetzten Stoffe. Dieser letzte Schritt ist immer der entscheidende Schritt zum Produkt, weshalb er gleichbedeutend mit der (bio-) katalytischen Konversion im Rahmen der Stoffumwandlung untersucht werden muss. Das Ergebnis des Forschungsschwerpunktes „Stoffumwandlung“ muss insofern nicht nur ein Produkt in Form neuer Chemikalien, Wirkstoffe, Polymere oder Kraftstoffe sein, sondern sollte auch innovative Apparate und neue Techniken zu deren Separation beinhalten. Neben dieser stofflichen Sicht sind somit auch die Apparate und die Methoden als „Werkzeuge“

der Bioökonomie von Bedeutung. Der Stellenwert der methodischen Unterstützung zeigt sich bei der Betrachtung der Komplexität eines maßgeschneiderten Produkts. Die makroskopischen Produkteigenschaften ergeben sich direkt aus der molekularen Struktur der Rohstoffe und den angewandten Verfahren. Die Entwicklung neuer funktionaler Produkte als Forschungsschwerpunkt erfordert daher die Beherrschung dieser Komplexität. Dazu bietet sich die Anwendung und Weiterentwicklung modellgestützter Methoden an. Die Methoden der modellgestützten experimentellen Analyse, der Prozessintensivierung zur Produktabtrennung im Konversionsapparat und des modellgestützten Produkt-Prozess-Entwurfs bilden dabei in der AVT



die Grundlage zum Verständnis der komplexen mechanistischen Zusammenhänge in der Wertschöpfungskette, siehe Bild 1. In der Perspektive ergibt sich daraus das systematische Verständnis der Prozessschritte und ihres Zusammenwirkens und – daraus resultierend – der Entwurf intelligenter und möglichst optimaler Prozesskonzepte.

Diese Vision eines umfassenden Verständnisses erfordert ein interdisziplinäres Team mit der entsprechenden apparativen Ausstattung. Als zentrale Forschungsplattform soll daher im NGP² die Expertise der AVT-Lehrstühle und der Kooperationspartner in der NGP²-Bioraffinerie zur technischen Realisierung der Wertschöpfungskette mit integrierter wissenschaftlicher Methoden-

entwicklung gebündelt werden. Grundlegendes, verfahrenstechnisches Verständnis ist in der AVT durch Grundlagenforschung und Anwendung im Bereich Biotechnologie, Trennoperationen, Messtechnik und der Methoden und Modelle auf Systemebene vorhanden. Hier bietet NGP² daher eine ideale Infrastruktur zur Prozessentwicklung vom Mikroliter- bis zum Liter-Maßstab. Darüber hinaus sind viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler direkt an der RWTH oder im regionalen Verbund im Bereich der Bioökonomie tätig. Der Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“ und das Projekthaus „Center for Molecular Transformations“ bringen die RWTH-Kompetenzen unter anderem im Bereich der Chemo-

katalyse und Hochdrucksynthese durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Makromolekulare Chemie (ITMC) ein. Das DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien – bietet die Kooperation für maßgeschneiderte, funktionale Produkte. Überregional wird über das „Bioeconomy Science Center“ eine einzigartige Komplementarität mit Pflanzenwissenschaften (Forschungszentrum Jülich, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn) und Biotechnologie (Forschungszentrum Jülich, RWTH Aachen) zur Aachener Verfahrenstechnik erreicht. Schließlich werden mit der NGP²-Bioraffinerie auch weitere Kooperationsmöglichkeiten in den Profildbereichen „Energy,

Chemical & Process Engineering“ (ECPE) und „Molecular Science and Engineering (MSE)“ sowie der Jülich Aachen Research Alliance, kurz JARA, geschaffen.

Die NGP²-Bioraffinerie soll die Forschung aus dem Labor in den Technikumsmaßstab übertragen. Das allgemeine Konzept der NGP²-Bioraffinerie ist in Bild 2 dargestellt. Die Biomasse wird dazu aufgeschlossen, umgewandelt und die (Zwischen-)Produkte separiert. Dies schließt die verlustfreie Rückführung der eingesetzten Hilfsstoffe wie Lösungsmittel, Katalysatoren und Energie ein („zero discharge“). Weiterhin wird die stoffliche Zusammensetzung durch die eingesetzte online Analytik direkt im Apparat bestimmt, was ein sofortiges Verständnis der Mechanismen und Optimierung ermöglicht. Besonders wichtig sind hier die Mechanismen, die unter laborüblichen Bedingungen ohne Betrachtung von zurückgeführten Stoffströmen und Energie nicht nachvollzogen werden können. Die Volumina der modularen Teilanlagen sind zwischen 25 und 100 Liter geplant, wodurch auch an einer Universität der Transfer vom Labor in den technischen Maßstab mit flexiblen, modularen Grundoperationen machbar ist.

Die technische Herausforderung besteht darin, dass solche Forschungsanlagen nicht von einem einzigen Hersteller erhältlich sind, sondern üblicherweise eine individuelle Generalplanung und -ausführung voraussetzen. Um diese nicht finanzierbare Dienstleistung zu erbringen, wurde das an der RWTH Aachen vorhandene interdisziplinäre Moment schon zur Planung genutzt. Basierend auf der Forschung im Exzellenzcluster wurde die Expertise der AVT-Lehrstühle in den Teilprozessen Zerkleinerung (AVT.MVT), Aufschluss (AVT.SVT), enzymatische Hydrolyse (AVT.EPT), Fermentation (AVT.BioVT), Membranverfahren (AVT.CVT) und Trenntechnik (AVT.FVT) genutzt, um die Teilanlagen nach AVT-Vorgabe schlüsselfertig durch verschiedene Anlagenbauer anbieten zu lassen. Dadurch kann die nötige Modularität und Flexibilität am besten sichergestellt werden, um die Forschungsfragen der Bioökonomie nach variabler Rohstoffnutzung, einer hohen Raum-Zeit-Ausbeute und geeigneten Trenntechnologien zu lösen. NGP² bietet daher mit Fertigstellung in 2016 eine exzellente Infrastruktur für nachhaltige und wettbewerbsfähige Bioökonomie.

Autoren:

Univ.-Prof. Alexander Mitsos, Ph.D., ist Inhaber des Lehrstuhls für Systemverfahrenstechnik. Dr.-Ing. Jörn Viell ist Oberingenieur am Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik.