

Forschungsschwerpunkte – Prof. Dr. Largus Angenent

Die Arbeitsgruppe Umweltbiotechnologie (www.envbiotech.de) an der Universität Tübingen hat sich zum Ziel gesetzt, unsere Gesellschaft nachhaltiger zu machen, indem sie innovative biotechnologische Produktionsplattformen im Labor entwickelt, die sich in die reale Welt übertragen lassen. Mit dieser Technologieentwicklung und -umsetzung möchten wir dazu beitragen, den Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre zu verringern oder die Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoff in nützlichen Produkten zu kombinieren. In unserer Forschungsgruppe und den Spin-off-Start-ups werden Mikroben, die aus unserer Umwelt stammen, in Bioreaktoren eingesetzt, um biologische Umwandlungen durchzuführen. Durch Gasfermentation ist es sogar möglich, CO₂ und/oder Kohlenmonoxid (CO) als Kohlenstoffquelle zu nutzen, indem man Gase als einziges Substrat einspeist.

Ein Beispiel ist die Power-to-Gas-Technologie: Wir verwenden eine thermophile methanogene Mikrobe mit dem Namen *Methanothermobacter thermoautotrophicus*. Diese Mikrobe wandelt CO₂ und Wasserstoff (H₂; aus der Wasserelektrolyse mit erneuerbarem Strom) in Methan (CH₄) um, das der Hauptbestandteil von Erdgas ist. Auf diese Weise können wir erneuerbares Erdgas produzieren, anstatt es aus dem Ausland zu kaufen. Bei dieser Idee handelt es sich um eine Energiespeichertechnologie, da CH₄ in Zeiten produziert werden kann, in denen die Sonne scheint und der Wind weht, was zu einem Überschuss an erneuerbarer elektrischer Energie führt. In solchen Zeiten kann die überschüssige elektrische Energie im Erdgasnetz als Methan mit einer Kapazität von 80 Tagen während des winterlichen Gasverbrauchs gespeichert werden. Unsere Arbeitsgruppe hat eine Firma mit dieser Idee mitgegründet (Electrochaeta, GmbH in München) und arbeitet an der Bioprozessierung, der genetischen Veränderung der Mikrobe und der Systembiologie zur weiteren Optimierung des Bioprozesses.

Die Umweltbiotechnologie ist eng mit der Suche nach technologischen Lösungen für unsere größten gesellschaftlichen Probleme verbunden, die mit der rapiden Verschlechterung unserer Umwelt zu tun haben. Dabei verlieren wir jedoch nicht die nichttechnologischen Aspekte aus den Augen, wie z. B. politische Entscheidungen, soziale Fragen, nachhaltige Bewertungen und wirtschaftliche Tragfähigkeit. In den letzten 20 Jahren haben unser Labor und andere Labors Lösungen für die Rückgewinnung von Kohlenstoff bei der Abwasserbehandlung als Teil einer Kreislaufwirtschaft gefunden. Beispiele sind die anaerobe Vergärung und die Kettenverlängerung mit Mikrobiomen. Bei Letzterem können wir z. B. saure Molke, ein Abfallprodukt aus

der Herstellung von griechischem Joghurt und Quark, in eine Plattformchemikalie umwandeln. Um diese Arbeit in die Praxis umzusetzen, hat unsere Arbeitsgruppe ein zweites Unternehmen in den USA gegründet (Capro-X, Inc.). Wir arbeiten in unserer Gruppe weiter an der Optimierung der Kettenverlängerung.

Die Rückgewinnung von Kohlenstoff aus Abwässern reicht jedoch nicht aus; wir müssen jetzt kohlenstoffnegative Technologien entwickeln, um beispielsweise Kraftstoffe, grüne Chemikalien, Kunststoffe und sogar menschliche Nahrungsmittel herzustellen. Um die globale Erwärmung über 1,5 bis 2 Grad Celsius hinaus zu stoppen, müssen wir CO₂ aus Schornsteinen und sogar aus der Atmosphäre entfernen, und dann muss der Kohlenstoff gespeichert werden. Eine Technologieplattform nimmt Pflanzenmaterial und verbrennt es unter sauerstoffarmen Bedingungen, sodass Kohlenstoffmaterial, das die Pflanzen als CO₂ aus der Atmosphäre entfernt haben, in pyrogene Biochar und CO umgewandelt wird. Die Biochar kann in Böden gelagert werden und das CO wird durch biologische Umwandlung z. B. zur Herstellung von Kunststoffen oder Nahrungsmitteln verwendet. Diese Kombination ist ein Beispiel dafür, wie die Produktion von Kunststoffen oder Nahrungsmitteln kohlenstoffnegativ werden könnte. Andere Technologien zur Abscheidung von Kohlenstoff verwenden Chemikalien zur vorübergehenden Bindung und Entfernung von CO₂, was wir gerne für die Produktentwicklung nutzen würden. Jede dieser Technologien hat jedoch Probleme oder ist noch nicht skalierbar, und Lösungen können nur in größeren gemeinsamen Forschungsanstrengungen gefunden werden. Daher ist unsere Gruppe ein Satellitenlabor für das CO₂-Forschungszentrum (CORC; <https://corc.au.dk>) an der dänischen Universität Aarhus, um einige der Probleme im Zusammenhang mit der Kohlenstoffabscheidung und der Verbindung zur Kohlenstoffnutzung zu lösen.

Ein letztes Beispiel für Technologien, die wir entwickeln, ist CO₂-to-Protein oder Power-to-Protein. Ähnlich wie bei der Power-to-Gas-Technologie werden CO₂ und H₂ als Substrate verwendet. Für die Proteinproduktion verwenden wir anstelle von methanogenen Mikroben in einer einzigen Stufe eine zweistufige Technologie. Im ersten Bioreaktor werden CO₂ und H₂ durch anaerobe Bakterien in Acetat umgewandelt. Acetat wird dann in einen zweiten Bioreaktor in Reihe gepumpt, in dem Hefezellen in Gegenwart von Sauerstoff (O₂) wachsen. Hefe wächst gut mit O₂, und die produzierten Proteine, einschließlich aller für den menschlichen Verzehr erforderlichen Aminosäuren, machen etwa 50 Prozent der Zellmasse aus. Diese Idee, menschliche Nahrung aus CO₂ herzustellen, wird nun in einem neuen Start-up-Unternehmen in Deutschland umgesetzt. CORC ist auch am Upscaling der Technologie von einem 2-Liter-Maßstab auf einen 100-Liter-Maßstab (50-fache Vergrößerung) beteiligt.

The Environmental Biotechnology Group (www.envbiotech.de) at the University of Tübingen aspires to make our societies more sustainable by developing innovative biotechnology-production platforms in the lab that can be translated into the real world. With this development and translation of technology, we would like to make an impact on reducing the emissions of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere or by combining carbon capture and utilisation into useful products. In our research group and spin-off start-up companies, microbes that originated from our environment are put to work in bioreactors to make biological conversions. Through gas fermentation, it is even possible to use CO₂ and/or carbon monoxide (CO) as a carbon source by feeding in gases as the only substrate.

*One example is power-to-gas technology: We utilise a thermophilic methanogenic microbe with the name *Methanothermobacter thermautotrophicus*. This microbe converts CO₂ and hydrogen (H₂; from water electrolysis with renewable electric power) into methane (CH₄), which is the main constituent of natural gas. Thus, we can produce renewable natural gas rather than buy it from foreign nations. This idea is an energy-storage technology because CH₄ can be produced during periods when the sun shines, and the wind blows, resulting in excess renewable electric power. During such periods the excess electric energy can be stored in the natural-gas grid as methane with a capacity of 80 days during wintery gas consumption. Our group has co-started a company around this idea (*Electrochaea, GmbH in München*) and works on bioprocessing, genetic modification of the microbe, and systems biology to further optimise the bioprocess.*

*Environmental Biotechnology is closely aligned with finding technological solutions to our biggest societal problems that have to do with the rapid deterioration of our environment. However, we do not lose sight of non-technological issues such as policy making, social issues, sustainable assessments, and economic viability. In the last 20 years, our lab and other labs have found solutions to recover carbon during wastewater treatment as part of a circular economy. Examples are anaerobic digestion and chain elongation with microbiomes. For the latter, we can convert, for example, acid whey, which is a waste product from Greek yogurt and quark production, into a platform chemical. To translate this work into the real world, our group started a second company in the USA (*Capro-X, Inc.*). We continue to work on the optimisation of chain elongation in our group.*

However, recovering carbon from wastewater is not enough; we must now develop carbon-negative technologies to produce, for example, fuels, green chemicals, plastics, and even

human food. To stop global warming beyond 1.5 to 2 degrees Celsius, we need to remove CO₂ from smokestacks and even the atmosphere, and then carbon needs to be stored. One technology platform takes plant material and burns it under oxygen-limiting conditions so that carbon material, which plants had removed as CO₂ from the atmosphere, is converted into pyrogenic biochar and CO. The biochar can be stored in soils, and the CO is used via biological conversions to make, for example, plastics or human food. This combination is one example of how the production of plastics or human food could become carbon negative. Other carbon-capture technologies use chemicals to temporarily bind and remove CO₂ that we would like to utilise for product development. However, each of these technologies has problems or is still not scalable, and solutions can only be found in greater collaborative research efforts. Therefore, our group is a satellite lab for the CO₂ Research Center (CORC; <https://corc.au.dk>) at Aarhus University in Denmark to solve some of the problems around carbon capture and how to connect this to carbon utilisation.

A final example of technology that we develop is called CO₂-to-protein or power-to-protein. Similar to power-to-gas technology, CO₂ and H₂ are used as substrates. For protein production, we use a 2-stage technology instead of methanogenic microbes in a single stage. In the first bioreactor, CO₂ and H₂ are converted into acetate by anaerobic bacteria. Acetate is then pumped into a second bioreactor in series, which grows yeast cells in the presence of oxygen (O₂). Yeast grows well with O₂, and the produced proteins, including all the required amino acids for human food consumption, make up about 50 per cent of the cell mass. This idea to produce human food from CO₂ is now being translated into a new start-up company in Germany. CORC is also involved in upscaling of the technology from a 2-liter scale to a 100-liter scale (50x scale up).