

Mikroorganismen und der globale Stickstoffkreislauf – Schwerpunkt Nitrifikationsforschung

Ziele des Projekts	Das Ziel dieses Klammerprojekts, das mehrere Einzelprojekte zusammenfasst, ist, die Mikrobiologie zu verstehen, die für die Umsetzung von Stickstoffverbindungen auf unserer Erde eine Rolle spielt.
Projektverantwortliche	Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Wagner (Universität Wien, Leiter des Forschungsverbund Chemistry Meets Microbiology, Leiter des Departments für Mikrobiologie und Ökosystemforschung) Assoz. Prof. Dipl.-Biol. Dr. Holger Daims (Universität Wien, Forschungsverbund, Gruppenleiter am Department für Mikrobiologie und Ökosystemforschung)
Kooperationspartner	Department für Mikrobiologie und Ökosystemforschung: Dr. Craig Herbold; Prof. Dr. Thomas Rattei – Bioinformatik; Univ.-Prof. Dr. Andreas Richter - Analytik und Ökosystemforschung Aalborg University Denmark: Prof. Per H. Nielsen; Dr. Mads Albertsen

Projektbeschreibung

Der Mensch greift massiv in den globalen Kreislauf der Stickstoffverbindungen auf der Erde ein und dies hat bereits zu einem deutlichen Überschreiten der Belastungsgrenze unseres Planeten geführt. Die Veränderung des globalen Stickstoffkreislaufs ist somit ein wesentlicher Teil des globalen Wandels. Ein Großteil der Veränderungen des Stickstoffkreislaufs sind auf die Düngung in der industriellen Landwirtschaft zurückzuführen. Stickstoffdünger stellen Pflanzen das Hauptnährelement Stickstoff zur Verfügung. Dadurch wachsen diese deutlich schneller und es wird gesichert, dass die Weltbevölkerung mit Nahrung versorgt werden kann – Modellberechnungen zeigen, dass ohne Düngemittelsatz die Hälfte der jetzigen Weltbevölkerung verhungern würde. Die Düngung ist allerdings sehr ineffizient – da Pflanzen nur einen Bruchteil des Düngers aufnehmen, der meist aus Ammonium-Verbindungen oder Harnstoff besteht, wird der größte Teil des Stickstoffs aus dem Boden ausgewaschen und gelangt in Grundwasser, Flüsse, Seen und Meere. Der exzessive Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln hat dadurch dramatische Folgen für das Leben in diesen Ökosystemen und führt etwa zum "Umkippen" von Gewässern, die mit Algenblüten und massenhaften Fischsterben, bis hin zur Ausbildung sog. Todeszonen einhergehen (Eutrophierung durch Überdüngung von terrestrischen und v.a. aquatischen Ökosystemen). Von einem wirtschaftlichen Gesichtspunkt aus wird zudem viel Geld durch ineffizientes Ausbringen des Düngers verschwendet.

Am Anfang dieser folgenschweren Kaskade steht der durch Mikroorganismen katalysierte Prozess der *Nitrifikation* (Abbau von Ammoniak/Ammonium). Die Nitrifikation wird durch zwei Mikroorganismengruppen katalysiert. Ammoniumoxidierende Bakterien und Archaeen wandeln Ammonium in Nitrit um und dieses wird durch nitritoxidierende Bakterien in Nitrat überführt. Der Stickstoffdünger enthält Ammonium – positiv geladene Ionen – bindet im Boden gut an negativ geladene Tonminerale und würde somit eigentlich lange den Pflanzen zur Verfügung stehen. Da Nitrifikanten von Ammonium leben, wandeln sie diesen aber zügig in negativ geladenes Nitrat um. Nitrat wird deutlich leichter durch Regenwasser aus dem Boden ausgewaschen als das positiv geladene Ammonium. Zudem gibt es eine Reihe von Mikroorganismen die Nitrat in gasförmigen Luftstickstoff überführen. Somit führt die Nitrifikation in Böden zu enormen Düngemittelverlusten und es wird darum vermehrt versucht Industriedüngern Hemmstoffe für Nitrifikanten zuzusetzen.

So schädlich Nitrifikanten aber für die Landwirtschaft sind, so nützlich sind sie für Kläranlagen. Nitrifikanten werden hier verwendet, um Gewässer vor Überdüngung zu schützen. Jeder Mensch

scheidet mit dem Urin ca. 20-30 g Harnstoff am Tag aus. Dieser Harnstoff wird von Mikroorganismen in Ammonium umgewandelt und gelangt in die Kläranlagen (bzw. kommt direkt in die Gewässer in Ländern, in denen es keine oder nicht entsprechend ausgebaute Kläranlagen gibt). In den Klärbecken wandeln Nitrifikanten Ammonium in Nitrat um. Dies wird danach durch andere Bakterien in harmlosen Luftstickstoff überführt. Kläranlagen sind also von IngenieurInnen nachgebaute Ökosysteme durch die es gelingt Organismen zu züchten, die für uns arbeiten und Stickstoffverbindungen (und viele andere Schmutzstoffe) im Abwasser abbauen. Damit stellen Kläranlagen den quantitativ vermutlich wichtigsten biotechnologischen Prozess weltweit dar.

Ein weiterer ökologisch hochrelevanter Aspekt der Nitrifikationsforschung ist die Tatsache, dass Nitrifikanten als Nebenprodukt ihres das potente Treibhausgas Lachgas (N_2O) produzieren und damit wesentlich zu den Treibhausgasemissionen aus Böden und Kläranlagen beitragen.

Nitrifikationsforschung wird am Department seit 2003 betrieben. Das Team um Michael Wagner erforscht ammoniumoxidierende Bakterien und Archaeen. Die von Holger Daims geleitete Gruppe fokussiert sich auf die nitritoxidierenden Bakterien. Die verschiedenen Teilprojekte sind über einen ERC Advanced Grant, FWF (inkl. eines Doktoratskollegs zum Stickstoffkreislauf) und WWTF finanziert. Beide Forschungsgruppen erforschen, welche Nitrifikanten es gibt, welche Eigenschaften sie haben und wie sie miteinander und mit anderen Organismen interagieren. Ein internationales ForscherInnenteam unter der Leitung von Holger Daims und Michael Wagner hat im vergangenen Jahr "Comammox"-Mikroben entdeckt, die die komplette Nitrifikation allein durchführen – in einem und nicht in zwei Schritten wie seit über hundert Jahren als allgemeingültig angenommen und in allen Mikrobiologielehrbüchern dargestellt. Hieraus ergeben sich zahlreiche Fragen bezüglich der Konsequenzen; z.B. sind die weltweit verbreiteten Comammox-Bakterien auch gegenüber den Hemmstoffen für Nitrifikanten in Düngemitteln empfindlich? Und produzieren Comammox-Bakterien mehr oder weniger Lachgas als die konventionellen Nitrifikanten? Comammox-Nitrifikanten kommen aber auch in Kläranlagen vor und es stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen die bislang bekannten Nitrifikanten dominieren und wann sich Comammox durchsetzt und ob man mit Comammox noch effizienter Abwasser reinigen kann. Die Erforschung der Nitrifikanten inkl. der Comammox-Nitrifikanten hat also eine Reihe gesellschaftlich höchst relevanter potentieller Anwendungen.

Ergebnisse/Wirkung

Der Ausgangspunkt der Forschung des Departments ist reine wissenschaftliche Neugier. Die Ergebnisse der Nitrifikationsforschung werden im Rahmen von Publikationen, internationalen Kongressen und Public Lectures an die Wissenschaftscommunity und verschiedene Stakeholder in der Gesellschaft wie IngenieurInnen weitergegeben. Teilweise (aber nicht in großem Umfang) werden auch Patente angemeldet. In Publikationen und Vorträge werden Anregungen gegeben, wie die neuen Ergebnisse angewendet werden könnten (z.B. in Kläranlagen oder in der Landwirtschaft) – das Übersetzen in die konkrete Anwendung ist aber nicht Fokus der beiden Arbeitsgruppen. Über die Jahrzehnte hat sich aber eine intensive Kommunikation zwischen MikrobiologInnen, IngenieurInnen und anderen Stakeholdern etabliert. Das hat auch dazu beigetragen, dass im Sinne eines Kulturwandels in vielen Civil Engineering Departments weltweit Mikrobiologen angestellt werden, um neueste wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Mikrobiologie in enger Zusammenarbeit mit Ingenieuren in der Praxis nutzbar zu machen.

Die Beschreibung der Comammox-Mikroben in der Zeitschrift "Nature" wurde in Dänemark zur wichtigsten wissenschaftlichen Entdeckung des Jahres 2015 gewählt. Welche konkreten neuen Anwendungs- und Interventionsfelder sich durch diese Entdeckung ergeben, wird sich erst in den nächsten Jahren zeigen.

Qualitätssicherung/Überprüfung der Zielerreichung

Da die Anwendung bzw. Umsetzung der Forschungsergebnisse nicht Fokus der beiden Arbeitsgruppen ist, findet auch keine explizite Überprüfung der Zielerreichung in der Praxis statt. Es werden jedoch die am Department entwickelten molekularbiologischen Werkzeuge und das Wissen um Analysemethoden/die Anwendung der Werkzeuge in Form von Kursen den AnwenderInnen zur Verfügung gestellt. Zudem gibt es viele GastwissenschaftlerInnen aus dem angewandten Bereich, die am Department Techniken lernen, um die Implementierung und Anwendung von Erkenntnissen

begleiten können. Die kontinuierliche Einbindung in den Prozess der Implementierung und Anwendung bleibt über den gesamten Forschungskontext erhalten – dies reicht von Reviews von Manuskripten, die Werkzeuge einsetzen und Hypothesen empirisch überprüfen, bis hin zu neuen Forschungsfragen, die sich im Kontext der Anwendung ergeben.

Homepage/ Publikationen

Homepage des Departments für Mikrobiologie und Ökosystemforschung: <http://www.microbial-ecology.net>

Die Presse (11. August 2015). Geglückte Goldsuche.
http://diepresse.com/home/science/4885735/Geglueckte-Goldsuche?_vl_backlink=/home/science/index.do

Universität Wien Pressemeldung (26.11.2015). Microbiologists Discover Enigmatic Comammox Microbes. <http://medienportal.univie.ac.at/presse/aktuelle-pressemeldungen/detailansicht/artikel/microbiologists-discover-enigmatic-comammox-microbes/>

Daims, H., Lebedeva, E. V., Pjevac, P., Han, P., Herbold, C., Albertsen, M., ... & **Michael Wagner**. (2015). Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. *Nature*, 528(7583), 504-509. (<http://www.nature.com/nature/journal/v528/n7583/full/nature16461.html>)