

Mikroorganismen und der globale Stickstoffkreislauf - Schwerpunkt Nitrifikationsforschung

(Wissenstransfer)

Projektverantwortliche Univ.-Prof. Holger Daims (holger.daims@univie.ac.at), Univ.-Prof. Kristina Djinovi-Carugo, Univ.-Prof. Michael Wagner, Univ.-Prof. Andreas Richter, Univ.-Prof. Wolfgang Wanek

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 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 Düngemittelseinsatz 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 Stickstoff zum größten Teil aus dem Boden ausgewaschen und gelangt in Grundwasser, Flüsse, Seen und Meere. Dieser exzessive Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln hat deshalb 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 von Mikroorganismen durchgeführte 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 Tonmineralien 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 viel leichter durch Regenwasser aus dem Boden ausgewaschen als das positiv geladene Ammonium. Zudem gibt es eine Reihe von Mikroorganismen, welche 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. Im

Gegensatz zur Landwirtschaft sind Nitrifikanten in Kläranlagen äußerst nützlich. Hier werden sie verwendet, um Gewässer vor Überdüngung zu schützen. Jeder Mensch scheidet mit dem Urin ca. 20-30 g Harnstoff am Tag aus. Der 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 Ingenieur*innen nachgebaute Ökosysteme, durch die es gelingt, Organismen zu züchten, die für uns arbeiten und Stickstoffverbindungen (sowie viele andere Schmutzstoffe) im Abwasser abbauen. Damit sind Kläranlagen weltweit der quantitativ wichtigste biotechnologische Prozess. Ein weiterer ökologisch hochrelevanter Aspekt der Nitrifikationsforschung ist die Tatsache, dass Nitrifikanten als Nebenprodukt ihres Stoffwechsels das hochpotente Treibhausgas Lachgas (N_2O) produzieren und damit wesentlich zu den Treibhausgasemissionen aus Böden und Kläranlagen beitragen. Im Rahmen des Projekts wird hochgradig interdisziplinäre Nitrifikationsforschung betrieben. Das Team um Michael Wagner erforscht ammoniumoxidierende Bakterien und Archaeen, während die von Holger Daims geleitete Gruppe sich auf die nitritoxidierenden Bakterien fokussiert. Die Gruppen um Andreas Richter und Wolfgang Wanek untersuchen Prozesse des Stickstoff-Kreislaufs, inklusive der Nitrifikation, auf der Ebene von Ökosystemen mit Hilfe modernster analytischer und Isotopen-basierter Methoden. Das Team von Kristina Djinovi-Carugo erforscht die Struktur und Funktionsweise von Proteinen aus Mikroben und anderen Organismen auf atomarer Ebene und trägt so entscheidend zum Verständnis wichtiger Stoffwechselprozesse bei. Ein internationales Forscher*innenteam unter der Leitung von Holger Daims und Michael Wagner hat erst vor wenigen Jahren 'Comammox'-Mikroben entdeckt, welche die komplette Nitrifikation allein durchführen - in einem und nicht in zwei Schritten, wie seit über hundert Jahren als allgemeingültig angenommen wurde. Hieraus ergeben sich zahlreiche Fragen bezüglich der Konsequenzen. Unterscheiden sich die biochemischen Mechanismen der Nitrifikation in Comammox-Bakterien von den anderen, vorher bekannten Nitrifikanten? Sind die weltweit verbreiteten Comammox-Bakterien auch gegenüber den Hemmstoffen für Nitrifikanten in Düngemitteln empfindlich? 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. Schließlich ist zu klären, ob die Effizienz der Abwasserreinigung mit Comammox noch gesteigert werden kann. Um viele dieser Fragen zu untersuchen, wurde im Jahr 2018 an der Universität Wien die Forschungsplattform „The Comammox Research Platform“ gegründet. Im Rahmen dieser Forschungsplattform werden Comammox-Bakterien aus verschiedensten Perspektiven - von der

	Ebene einzelner Atome und der Struktur zentraler Enzyme über die Physiologie auf zellulärer Ebene bis hin zur Funktion in Stoffkreisläufen auf Ökosystem-Ebene - vertieft untersucht.
Schlagworte/ Keywords	Stickstoffkreislauf (nitrogen cycle), Nitrifikation (nitrification), Landwirtschaft (agriculture), Abwasserreinigung (wastewater treatment), Treibhausgase (greenhouse gases), Eutrophierung (eutrophication)
Zentrale Ziele der Third-Mission-Aktivität	Das Ziel dieses Klammerprojekts, das eine universitäre Forschungsplattform sowie mehrere Einzelprojekte umfasst, ist das Verständnis der Mikrobiologie, welche für die Umsetzung von Stickstoffverbindungen auf unserer Erde eine essentielle Rolle spielt.
Universitätsexterne Kooperations- partner*innen	Firmenkooperation (Entsorgungstechnik)
Kooperations- partner*innen aus dem Wissenschafts- bzw. Forschungsbereich	Prof. Dr. Leonid Sazanov (Institute of Science and Technology Austria); Prof. Per H. Nielsen; Dr. Mads Albertsen (Universität Aalborg, Dänemark); Dr. Eva Spieck, Dr. Andreas Pommerening-Röser (Universität Hamburg, Deutschland); am Zentrum für Mikrobiologie und Umweltsystemwissenschaft, Univ. Wien: Dr. Craig Herbold; Univ.-Prof. Dr. Thomas Rattei - Bioinformatik sowie Univ.-Prof. Dr. Thilo Hofmann; Univ.-Prof. Dr. Stephan Krämer - Analytik und Biogeochemie
Fakultät	Universitäre Forschungsplattform 'The Comammox Research Platform' sowie Zentrum für Mikrobiologie und Umweltsystemwissenschaft und Department für Strukturbioogie und Computational Biology
Projektlaufzeit	2003 - 2021, bei Verlängerung 2024.
Finanzierung	Universität Wien (Forschungsplattform 'The Comammox Research Platform'), FWF (Wittgenstein-Preis Prof. Michael Wagner 2019 sowie diverse Einzelprojekte)
Forschungsbasierung	Die Aktivität beruht auf der im Rahmen der Forschungsplattform 'The Comammox Research Platform', sowie der involvierten Drittmittelprojekte, geleisteten Forschungsarbeit. Eng damit verknüpft ist die Forschung im Rahmen der Kooperationen mit externen Partner*innen.
Gesellschaftliche/ Wirtschaftliche Relevanz	Ein besseres Verständnis der Nitrifikation ist Grundlage für einen ökonomischeren und umweltverträglicheren Einsatz von Düngemitteln sowie für neue Ansätze in der Abwasserreinigung. Beides sind

unverzichtbare Bestandteile einer nachhaltigen Entwicklung unserer Gesellschaft.

Einbindung der Third-Mission-Aktivität in die Lehre

Nein

Ergebnisse/Wirkung (Impact)

Die Ergebnisse werden im Rahmen von Publikationen, internationalen Kongressen und Public Lectures an die Wissenschafts-Gemeinschaft und verschiedene Stakeholder in der Gesellschaft wie Ingenieur*innen weitergegeben. In Publikationen und Vorträgen 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 des Projekts. Über die Jahrzehnte hat sich eine intensive Kommunikation zwischen Mikrobiolog*innen, Ingenieur*innen und anderen Stakeholder*innen etabliert. Das hat auch dazu beigetragen, dass im Sinne eines Kulturwandels in vielen Civil Engineering Departments weltweit Mikrobiolog*innen angestellt werden, um neueste wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Mikrobiologie in enger Zusammenarbeit mit Ingenieur*innen in der Praxis nutzbar zu machen.

Transferaspekt der Aktivität

Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung werden an Stakeholder*innen in der Gesellschaft kommuniziert und anwendungsrelevante Aspekte werden aufgezeigt. Darauf basierend können, z.B. im Rahmen externer angewandter Forschung, die nächsten Schritte hin zur praktischen Umsetzung erfolgen.

Nachhaltigkeit & Zukunftsorientierung

Die Klimaerwärmung und andere Aspekte des globalen Wandels sind zentrale Herausforderungen, welche die Zukunft unserer Gesellschaft tiefgehend prägen werden. Bereits in wenigen Jahren wird sich entscheiden, ob und in welchem Umfang diese Effekte und ihre Konsequenzen noch abgemildert werden können. In diesem Kontext hat die Erforschung der Nitrifikanten, inkl. der Comammox-Bakterien, eine Reihe gesellschaftlich höchst relevanter potentieller Anwendungen. Ein besseres, umfassenderes Verständnis der Nitrifikation ist ein unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigeren und klimafreundlicheren Landwirtschaft sowie einer effizienten Abwasserreinigung in allen Teilen der Welt.

Überprüfung der Zielerreichung der Third-Mission-Aktivität

Da die Anwendung bzw. Umsetzung der Forschungsergebnisse nicht Fokus der involvierten Arbeitsgruppen bzw. der Forschungsplattform sind, findet auch keine explizite Überprüfung der Zielerreichung in der Praxis statt. Es werden jedoch die entwickelten molekularbiologischen Werkzeuge und das Wissen um Analysemethoden/die Anwendung der Werkzeuge in Form von Kursen den Anwender*innen zur Verfügung gestellt. Zudem gibt es Gastwissenschaftler*innen aus dem angewandten Bereich, die in den Arbeitsgruppen Techniken lernen, um

die Implementierung und Anwendung von Erkenntnissen begleiten zu 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.

Maßnahmen, um die Transferaktivität längerfristig durchzuführen bzw. auszuweiten

Laufende Einreichung von Projekten zur Finanzierung und Ausweitung der Forschungsarbeiten, regelmäßige Durchführung von Kursen zu Analysemethoden für Anwender*innen seit mehr als 15 Jahren (Weiterführung ist geplant).

Sichtbarmachung

Die Resultate werden in Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften, sowie je nach Anlassfall in den Medien, veröffentlicht. Die Forschungsplattform 'Comammox' und andere involvierte Projekte werden zudem auf den entsprechenden, projektspezifischen Websites vorgestellt.

**Homepage/
Publikationen**

- Homepage der Comammox Research Platform: <https://comammox.univie.ac.at>
 - Homepage des Zentrums für Mikrobiologie und Umweltsystemwissenschaft: <http://cmess.csb.univie.ac.at>
 - Homepage des Departments für Strukturbiologie und Computational Biology: <https://structbio.univie.ac.at>
 - Universität Wien uni:view Magazin (13.11.2019): „Mikroorganismen im Kampf gegen die Gefahr Stickstoff“ <https://medienportal.univie.ac.at/uniview/forschung/de tailansicht/artikel/mikroorganismen-im-kampf-gegen-die-gefahr-stickstoff/>
 - Kits KD, Jung MY, Vierheilig J, Pjevac P, Sedlacek CJ, Liu S, Herbold CW, Stein LY, Richter A, Wissel H, Brüggemann N, Wagner M, Daims H. (2019). Low yield and abiotic origin of N₂O formed by the complete nitrifier *Nitrospira inopinata*. Nat. Commun. 1: 1836. DOI: 10.1038/s41467-019-09790-x
-