

Ein wichtiger N-Eintragsweg in Kurzumtriebsplantagen?

Biologische Stickstoff-Fixierung der Robinie

Maik Veste, Christian Böhm, Ansgar Quinkenstein und Dirk Freese

*Als Pionierbaumart besiedelt die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) schnell offene Flächen und gilt im Vergleich zu anderen mitteleuropäischen Baumarten als relativ gut angepasst an trockene Standorte mit lockeren Böden. Sie gehört zu den wenigen Baumarten Mitteleuropas, die zur biologischen Stickstoff-Fixierung (BNF) befähigt sind. In dieser Studie soll der jährliche Eintrag von Stickstoff (N) aus der biologischen N-Fixierung der Robinie in Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen abgeschätzt werden.*

In Mitteleuropa gilt die Robinie als eine an die Trockenheit angepasste Baumart und wird seit dem 18. Jahrhundert vor allem auf sandigen Böden am Oberrhein, in Sachsen-Anhalt und in Brandenburg angebaut. In Deutschland befinden sich die größten forstlichen Anbauflächen in Brandenburg mit insgesamt 8 600 ha [1] und hier vor allem in den östlichen und südlichen Landesteilen, die durch ausgeprägte Trockenperioden und sandige Böden mit einer geringen Wasserhaltekapazität gekennzeichnet sind. In der Niederlausitz hat sich die Robinie zudem für die Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften bewährt [2]. Als Forstbaum spielt die Art in Deutschland zwar eine eher untergeordnete Rolle, aber ihre Fähigkeit, auf extremen Standorten zu wachsen, macht sie für die Produktion von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Agroforstsystemen insbesondere auf Grenzertragsstandorten interessant, wo sie eine Alternative zum Anbau von Weiden und Pappel darstellt (Abb. 1) [2]. Die jährliche

Holzproduktion der Robinie in Kurzumtriebsplantagen variiert zwischen 3 und 19 t/Jahr Trockenbiomasse in Abhängigkeit von der Bestockungsdichte, standörtlichen Eigenschaften, Umtriebszeiten und der Herkunft [2, 3].

Biologische Stickstoff-Fixierung

Die Robinie verfügt über unterschiedliche physiologische und morphologische An-

passungen, die es ihr ermöglichen, auch bei Wasser- und Nährstoffarmut zu wachsen und auch während langanhaltender Trockenperioden zu überleben. So wird bei extremer Trockenheit der Wasserbedarf der Pflanzen minimiert, indem durch Stomatenschluss und einen aktiven Blattabwurf der Transpirationsverlust deutlich reduziert wird [4].

Zudem erlaubt die Symbiose mit Knöllchenbakterien (Rhizobien) der Robinie die Fixierung von N_2 aus der Luft, wodurch sie auf nährstoffarmen Standorten einen Wuchsvorteil gegenüber anderen, nicht N-fixierenden Arten hat. Auch im Zusammenhang mit der Trockenheitsresistenz wird die Bedeutung der biologischen Stickstoff-Fixierung (BNF) hervorgehoben.

Mithilfe des Enzymkomplexes Nitrogenase sind die symbiotischen Bakterien in der Lage, den molekularen Luftstickstoff N_2 in Ammoniak (NH_3) umzuwandeln,

Bestimmung von Isotopen-Gehalten mit Massenspektrometern

Stickstoff liegt überwiegend in Form zweier stabiler Isotope vor: dem leichteren Isotop ^{14}N und dem schwereren Isotop ^{15}N . Im Luftstickstoff, dem wichtigsten Stickstoff-Reservoir, sind die Anteile mit 99,634 % für ^{14}N und 0,366 % für ^{15}N nahezu konstant.

Da alle biochemischen und physikalischen Umsetzungsprozesse in der Regel gegen das schwerere Isotop diskriminieren (das leichtere Isotop wird bei Umsetzungen bevorzugt) kommt es mit der Zeit in anderen, nachgeordneten N-Reservoirs, wie z.B. im Boden, zu einer relativen Anreicherung von ^{15}N . Zur einfacheren Darstellung von Isotopenverhältnissen werden dabei so genannte $\delta^{15}N$ -Werte gebildet, wobei das Verhältnis von schweren zu leichten Isotopen berechnet, in Relation zu einem Internationalen Standard gesetzt und als Promille-Wert angegeben wird [5, 6]. Beim Stickstoff wird zur Ermittlung des $\delta^{15}N$ -Wertes das Isotopenverhältnis der Luft als Standard verwendet. Der $\delta^{15}N$ -Wert der Luft ist aufgrund der Berechnungsweise daher immer 0 ‰. Da Pflanzen ihren N-Bedarf zumeist nur aus dem Boden

und/oder der Luft (über N-Fixierung) decken können, sich die $\delta^{15}N$ -Werte dieser Reservoirs jedoch unterscheiden, kann man über die Ermittlung des $\delta^{15}N$ -Wertes der Pflanzenbiomasse Rückschlüsse auf die Herkunft des aufgenommenen N ziehen. Bei Vorliegen einer biologischen N-Fixierung liegen die $\delta^{15}N$ -Werte nahe 0 ‰. Sie variieren in der Regel zwischen -2 und +2 ‰. Die $\delta^{15}N$ -Werte von Stickstoff-Verbindungen im Boden (insbesondere Ammoniak und Nitrat) sind in der Regel deutlich ins Negative verschoben.

Da die exakte Ermittlung des $\delta^{15}N$ -Wertes des pflanzenverfügbaren N im Boden über den gesamten Wurzelraum sehr aufwändig wäre, wurde in der vorliegenden Studie für die Bestimmung der Isotopendiskriminierung eine nicht-N-fixierende Baumart, die vornehmlich ihren N-Bedarf aus dem Boden deckt, als Referenz benutzt [5].

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde die Roteiche (*Quercus rubra*), die in der Nachbarschaft der untersuchten Robinienbestände stand, als Referenzbaumart herangezogen.

Dr. M. Veste ist Wissenschaftler am Centrum für Energietechnologie Brandenburg e.V., Cottbus. Dr. C. Böhm, A. Quinkenstein und Prof. Dr. D. Freese sind Wissenschaftler am Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung der BTU Cottbus.



Maik Veste
maik.veste@me.com

und ihn so für den pflanzlichen Stoffwechsel verfügbar zu machen. Hierbei ist eine verlässliche Abschätzung des über die symbiontische Stickstoff-Fixierung aufgenommenen Stickstoffs von zentralem Interesse.

Dies ist insbesondere bei Bäumen unter Freilandbedingungen experimentell schwierig. Um eine technisch aufwändige direkte chemisch-analytische Messung vor Ort zu umgehen, bedient man sich zumeist indirekter Methoden wie der laboranalytischen Bestimmung von Isotopen-Gehalten in Pflanzenproben mit Massenspektrometern (siehe Kasten) [5].

Abschätzung der N-Fixierung in KUPs

Die Untersuchungen wurden auf unterschiedlich alten Robinien-Kurzumtriebsplantagen auf Rekultivierungsflächen des Tagebaus Welzow-Süd (20 km südlich von Cottbus) durchgeführt. Die natürliche Häufigkeit der natürlichen N-Isotope belegten in allen Probestämmen die biologische Fixierung von Luftstickstoff (Abb. 2). Mit zunehmendem Alter der Bäume wird der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert erwartungsgemäß positiver, bedingt durch höhere Anteile von fixiertem N. Als Referenz wurde der Anteil des biologisch fixierten Stickstoffs für die Robinie auf die Roteiche bezogen.

Da die Böden in der Tagebaufolgelandschaft sehr jung sind und nur wenig Akkumulation von fixiertem N im Boden stattgefunden hat, sind die gemessenen $\delta^{15}\text{N}$ -Signaturen deutlich negativer (Abb. 2) als die der Robinie. So errechnet sich für die Robinie ein Anteil des fixierten Luftstickstoffs in den Blättern von 62 bis 83 % des gesamten Blatt-N-Gehaltes (Abb. 3), womit sie mit denen des ebenfalls am Standort vorkommenden, N-fixierenden Besenginsters (*Cytisus scoparius*) vergleichbar sind.

Der Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*), der seine Wurzelknöllchen mit Ac-

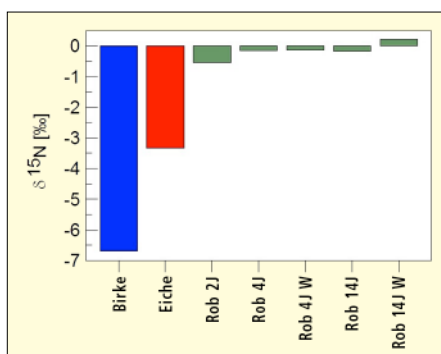


Abb. 2: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in Blättern der Robinie (2, 4, 14 Jahre und W = Wiederaustrieb aus dem Stock) und in Blättern der Roteiche und Birke als nicht-N-fixierende Baumarten



Abb. 1: Robinien-Kurzumtriebsplantage auf einer Rekultivierungsfläche im Tagebau Welzow-Süd, Brandenburg

tinomyceten als symbiontische Partner bildet, hat hier die geringste N-Fixierung. Bedingt durch die deutliche BNF liegen die Stickstoffgehalte in den Blättern der Robinie signifikant über anderen nicht-N-fixierenden Baumarten am selben Standort. Der mittlere Stickstoffgehalt im Holz variiert zwischen 0,7 und 1,5 % und in den Blättern zwischen 3,1 und 3,4 % (Abb. 4a), wobei in Blättern von Wiederaustrieben

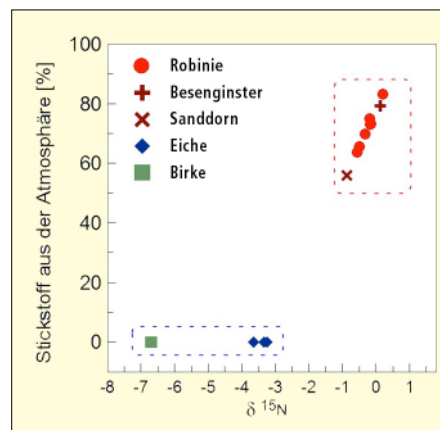


Abb. 3: Beziehung zwischen $\delta^{15}\text{N}$ -Werten und dem Anteil des Stickstoffs aus der Luft bei Stickstoff-fixierenden Arten (Robinie, Besenginster, Sanddorn) und nicht-Stickstoff-fixierenden Bäumen (Roteiche, Birke)

nach einer Ernte signifikant höhere Blatt-N-Werte von bis 4,3 % festzustellen waren. Der abgeschätzte Anteil des aus der BNF stammenden Stickstoffs in den Blättern der Robinie liegt zwischen 63 und 83 %

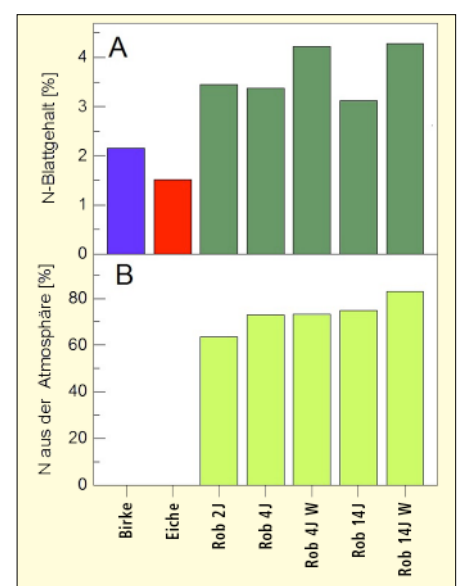


Abb. 4: Mittlere Blatt-N-Gehalte (A) und Anteil des aus der Luft aufgenommenen Stickstoffs (B) bei Roteiche, Birke und unterschiedlich alten Robinien (2, 4, 14 Jahre und W = Wiederaustrieb aus dem Stock)

(Abb. 4b). Vergleichbare Untersuchungen zur BNF ergaben einen Anteil von 65 bis 90 % [7].

Eine große Varianz ist dagegen im Holz zu finden, was insbesondere damit erklärt werden kann, dass generell bei einer Analyse der sehr geringen N-Gehalte im Holz der Einfluss der messtechnischen Varianzen auf die Messergebnisse größer wurde.

Der jährliche Stickstoff-Eintrag in das Ökosystem wurde aus der biologischen Stickstoff-Fixierung aus der jährlichen Biomasseproduktion, dem N-Gehalt und dem Anteil der BNF abgeschätzt [5]. Die ermittelte Blattbiomasse lag zwischen 1 325 kg/ha (2 Jahre alte Bäume) und 2 576 kg/ha (4 Jahre alte Bäume).

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Holzproduktion von durchschnittlich 3 t Trockenmasse pro Hektar [8] liegt die gesamte BNF der Robinien zwischen 47,9 und 84,9 kg/ha N. Somit stellt die BNF der Robinie einen wichtigen N-Eintrag auf den allgemein humusarmen bis -freien Rekultivierungsstandorten dar. Im Vergleich dazu beträgt die jährliche atmosphärische Ge-

samt-N-Deposition am Standort Welzow 20,3 kg/ha N pro Jahr [9].

In der Abschätzung der BNF durch die Robinie ist allerdings nicht die Biomassebildung des Wurzelsystems berücksichtigt, sodass von einer Unterschätzung der BNF von bis zu 37 % bei zweijährigen Robinien ausgegangen wird [7].

Die jährliche biologische N-Fixierung, allein bezogen auf die Blätter, beträgt ca. 30,5 bis 59,2 kg/ha N, die somit nach dem herbsthlichen Blattwurf einen wichtigen N-Eintrag in den Boden darstellen.

Während die im Holz gespeicherten Nährstoffe bei der Ernte dem Ökosystem entzogen werden, trägt der Blattfall wesentlich zu einer Anreicherung von Kohlenstoff, Stickstoff und zur Humusbildung auf nährstoffarmen Böden bei [10].

Diese Untersuchungen unterstreichen die Verwendung von Robinien auch für eine positive Entwicklung der Bodenprozesse auf Grenzertragsstandorten und auf zu rekultivierenden Flächen. Zudem benötigt die Robinie keine zusätzliche kostenintensive Düngung, wodurch ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet

wird. Robinien-KUPS sind allgemein als Low-Input-Systeme anzusehen.

Literaturhinweise:

[1] Landesforstanstalt Eberswalde (2002): Ausländische Baumarten in Brandenburg. Eberswalde und Potsdam. [2] BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; FREESE, D.; HÜTTL, R. F. (2011): Assessing the short rotation woody biomass production on marginal post-mining areas. *Journal of Forest Science* 57 (7): 303–311. [3] GRÜNEWALD, H.; BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; GRUNDMANN, P.; EBERTS, J.; WÜHLISCH, G. v. (2009): *Robinia pseudoacacia*: A Lesser known tree species for biomass production. *BioEnergy Research* 2, 123-133. [4] VESTE, M.; KRIEBITZSCH, W.-U. (2012): Einfluss von Trockenstress auf Photosynthese, Transpiration und Wachstum der Robinie (*Robinia pseudoacacia*). Forstarchiv – Archive of Forest Science, eingereicht. [5] RUSSOW, R.; VESTE, M.; LITTMANN, T. (2004): Using the natural ^{15}N -abundance to assess the major nitrogen inputs into the sand dune area of the north-western Negev Desert (Israel). *Isotopes in Environmental and Health Studies* 40, 57-67. [6] BODDEY, R. M.; PEOPLES, M. B.; PALMER, B.; DART, P. J. (2000): Use of the ^{15}N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient cycling in agroecosystems* 57, 235-270. [7] DANSO, S. K. A.; ZAPATA, F.; AWONAIKE, K. O. (1995): Measurement of biological N_2 fixation in field-grown *Robinia pseudoacacia*. *Soil Biology and Biochemistry* 25, 415-419. [8] BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; FREESE, D.; HÜTTL, R. F. (2009): Wachstumsverlauf von vierjährigen Robinien. *AFZ-DerWald* 10, 532-533. [9] VESTE, M.; SCHAAF, W. (2010): Atmospheric deposition. In: SchAAF, W. et al. (eds): Initial development of the artificial catchment 'Chicken Creek' – monitoring program and survey 2005 - 2008. *Ecosystem Development* 2, 21-25. [10] MATOS, E.S.; FREESE, F.; BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; HÜTTL, R. F. (2012): Organic matter dynamics in reclaimed lignite mine soils under *Robinia pseudoacacia* plantations of different ages in Germany, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43 (5), 745-755.