

# **Zusammenhang zwischen Schattentoleranz und Ernährung von Buche und Bergahorn bei ihrer Einbringung in nährstoffarme, sekundäre Nadelreinbestände**

Kordula Heinen und Marian Kazda  
Universität Ulm, Abteilung Systematische Botanik und Ökologie

## **Einleitung**

Fichtenmonokulturen wurden bereits seit Mitte des 18. Jahrhunderts verstärkt angebaut (Leder 2002), um den wachsenden Holzbedarf zu decken. Die Fichte (*Picea abies*) ist heute die in Europa am häufigsten vertretene Baumart. Allerdings kommt sie dadurch oft außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung vor.

Die Böden in Nadelreinbestände zeichnen sich meist durch Rohhumusakkumulation, Versauerung und verminderte Nährstoffverfügbarkeit aus (z. B. Emmer et al. 1998). Außerdem sind Fichtenmonokulturen anfällig gegenüber Schäden durch Schnee, Eis, Sturm, Trockenheit und Schädlingsbefall. Die wirtschaftlichen Schäden durch Windwurf nach den Sturmereignissen „Wiebke“ und „Vivienne“ im Jahre 1990 oder „Lothar“ im Jahre 1999 waren immens. Allein durch „Lothar“ kam es zu einem Windwurf von 200 Mio. Fm in ganz Europa (Deffner 2000), so dass in der Fachliteratur ein Waldumbau zu struktureichen Mischwäldern gefordert wird (Hatzfeldt 1996, Leder 2002, Weilharter 1991). Ziel des Waldumbaus ist es, standortgerechte und naturnahe Wälder zu schaffen.

Eine Möglichkeit, um Fichtenreinbestände in stabilere, produktive Mischwälder umzuwandeln, ist der Voranbau (Leder 2002, Vonhoff 1997, Fleder 1991, Sauter 1988). Bei dem auf der Versuchsfläche in Weitra durchgeführten Voranbau handelte es sich um einen aktiven Voranbau. Die Zielbaumarten werden nach einem Durchlichtungshieb in einen fast schlagreifen Fichtenbestand gepflanzt. Diese Methode vermindert gegenüber einem Kahl-schlag die Nährstoffauswaschung und Konkurrenzprobleme mit der Schlagflora (Nykvisst 1977, Mayer 1980).

Obwohl der Buchenvoranbau in Westeuropa teilweise bestandesweise durchgeführt wird, sind begleitende Untersuchungen zum Nährstoffbedarf in Verbindung mit Schattentoleranz bisher nur auf wenigen Standorten vorgenommen worden (Büttner und Wagner 1996, Pichler et al. 2001). Langzeitbeobachtungen der Voranbauten auf der Versuchsfläche der Forstverwaltung Castell-Castell in Oberösterreich (Kazda et al. 2004) haben gezeigt, dass auf nährstoffarmen Standorten die Nährstoffversorgung eine Schlüsselrolle für das Wachstum spielt. Die Bedeutung der Nährstoffversorgung für den Erfolg der Voranbauten wird noch gravierender, wenn zur Buche der anspruchsvollere Bergahorn hinzukommt. Auf den

Versuchsflächen in Weitra zeigen die Blätter des Ahorns ab Juni/Juli Vergilbungen und vorzeitigen Blattabwurf. Dies hat den Ausschlag für die durchgeführten Begleituntersuchungen gegeben. In der Literatur fehlt es an klassifizierbaren Aussagen über den Nährstoffbedarf im Zusammenhang mit der Schattentoleranz dieser wichtigen Wirtschaftsbaumart.

Die erfolgreiche Einbringung von Ziellaubhölzern über den Voranbau in nährstoffarme Fichtenaltbestände hat eine ausreichende Nährstoffversorgung als Voraussetzung. Im Rahmen des Vorhabens sollte geprüft werden, ob in solchen sekundären Nadelwäldern die Nährstoffversorgung ausreicht, um Buche und Bergahorn erfolgreich unter dem bestehenden Altbestandesschirm zu verjüngen. Ist darüber hinaus eine begleitende Nährstoffzufuhr erforderlich? Des Weiteren sollte gezeigt werden, welche Unterschiede bezüglich ihrer Schattentoleranz und des damit verbundenen Nährstoffbedarfs zwischen Buche und Ahorn auftreten. Für diese Ermittlung wurden ökophysiologische Messungen (photosynthetische Leistungskapazität) als Schnelldiagnose eingesetzt und mit Wachstumsparametern verknüpft. Zusätzlich wurde die Effizienz der eingesetzten Stickstoffdüngung durch die Verwendung stabiler Stickstoffisotope überprüft.

## **Methoden**

Die Versuchsfläche liegt im Waldviertel (Niederösterreich) und wird von der Fürstenberg'schen Forst- und Güterdirektion Weitra verwaltet. Die Kationen-Austauschkapazität bzw. die Basensättigung des Mineralbodens ist sehr gering. Der Boden der Untersuchungsfläche ist nährstoffarm und stark versauert. Klimatisch wird der Standort dem kontinentalen Klima zugeordnet, das durch verstärkte Niederschläge in den Sommermonaten und deutliche Temperaturunterschiede zwischen der im Sommer und im Winter gemessenen Lufttemperatur gekennzeichnet ist. Der Fichtenaltbestand auf der Versuchsfläche weist ein Alter von 110 Jahren auf. Nach der Auflichtung im Jahr 1999 wurden die Versuchspflanzen *Fagus sylvatica* und *Acer pseudoplatanus* gepflanzt. Für die Buchenpflanzung wurden Wildlinge verwendet. Der Ahorn hingegen stammte aus einer Baumschule. Für die Versuche wurden pro Art zweimal 30 Pflanzen ausgewählt.

Die Düngung erfolgte einmalig vor Beginn der Vegetationsperiode 2003. Von den 30 Pflanzen pro Parzelle wurden je 10 als Kontrolle genommen bzw. je 10 mit einem Stickstoff- und weitere 10 mit einem Ca/Mg-Dünger gedüngt. Als Stickstoffdünger wurde Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) mit einer Düngevorschrift von 50 kg/ha eingesetzt. Für die Ca/Mg-Düngung wurde der gängige Dünger der Fürstenberg'schen Forst- und Güterdirektion Weitra verwendet, was einer Calciumdüngung von 480 kg/ha und einer Magnesiumdüngung von

123 kg/ha entsprach. An den 120 Versuchspflanzen wurden am Ende der Vegetationsperioden der Jahre 2003, 2004 und 2005 biometrische Parameter bestimmt. Aus den erhobenen biometrischen Parametern wurden relative Zuwächse errechnet. Die Blattnekrosen wurden anhand einer fünfstufigen Skala geschätzt. Am Ende der Vegetationsperiode 2005 wurden die Versuchspflanzen geerntet.

Das Lichtangebot der Jungpflanzen wurde mit einem LAI 2000 Plant Canopy Analyzern bestimmt. Die photosynthetische Leistungsfähigkeit wurde als Schnellverfahren zur Beurteilung des potentiellen Wuchspotentials verwendet.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ca/Mg-Düngung beeinflusste die Magnesiumgehalte in den Blättern beider Arten deutlich. Sowohl die Gehalte der mit Ca/Mg gedüngten Buchen als auch die der Ahorne lagen um ein Mehrfaches über denen der Kontrolle (Tab. 1). Die Gehalte der mit Stickstoff gedüngten Pflanzen beider Arten waren deutlich geringer. Dies und die signifikante Erhöhung der Blattmagnesiumgehalte nach der Düngung zeigt eine Unterversorgung beider Arten mit Magnesium auf der nährstoffarmen Fläche in Weitra.

**Tabelle 1:** Mittelwerte der Blattnährstoffgehalte [ $\text{mg g}^{-1}$ ] - signifikante Unterschiede zwischen den Arten sind rot und Unterschiede zwischen den Arten in Abhängigkeit von den Düngevarianten mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert.

Art	Dünger	Ca [ $\text{mg g}^{-1}$ ]	Mg [ $\text{mg g}^{-1}$ ]	K [ $\text{mg g}^{-1}$ ]	N [ $\text{mg g}^{-1}$ ]
<i>Fagus</i>	Ca/Mg	4,72 a	2,83 b	7,01 a	21,5 c
<i>Fagus</i>	N	4,74 a	0,873 a	9,54 b	20,8 c
<i>Fagus</i>	Kontrolle	5,00 a	1,05 a	9,42 b	21,0 c
<i>Acer</i>	Ca/Mg	9,45 b	2,43 b	10,4 bc	15,9 a
<i>Acer</i>	N	5,59 a	0,604 a	11,3 c	16,9 ab
<i>Acer</i>	Kontrolle	6,16 a	0,614 a	11,7 c	19,0 bc

Die Stickstoffgehalte der Buchen und Ahorne (Tab. 1) sind vergleichbar mit denen von Hager et al. (1998) (Ahorn  $17,7 \text{ mg g}^{-1}$ , Buche ungedüngt  $22,6 \text{ mg g}^{-1}$  und gedüngt  $22,6 \text{ mg g}^{-1}$ ). Die Analyse der Stickstoffisotope zeigte, dass sowohl 2004 als auch 2005 von beiden Arten  $^{15}\text{N}$ -markierter Stickstoff aufgenommen bzw. umverteilt und in die Blätter investiert wurde.

Die gemessene maximale Photosyntheseleistung ( $A_{\text{max}}$ ) der Buchen lag in beiden Untersuchungsjahren signifikant höher als die der Ahornpflanzen. Die Gesamtblattfläche der

Buchen war im Untersuchungsjahr 2005 signifikant größer als die der Ahorne und die daraus resultierende theoretische Maximalphotosyntheseleistung (Amax Gesamtpflanze). Des Weiteren überstieg auch die Wachstumsdynamik der Buchen die der Ahornpflanzen (Tab.2).

**Tabelle 2:** Mittelwerte der theoretische Maximalphotosyntheseleistung der Gesamtpflanze errechnet aus gemessener Maximalphotosyntheseleistung, Gesamtblattfläche der Pflanze und Blattflächenzuwachs von 2004 bis 2005. Signifikante Unterschiede zwischen den Arten sind rot, Unterschiede zwischen den Arten in Abhängigkeit von den Düngevarianten mit Kleinbuchstaben und Unterschiede zwischen den Jahren innerhalb einer Art mit Stern markiert: \*\*\*:  $p < 0,001$ , \*\*:  $p < 0,01$ , \*:  $p < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant

Art	Dünger	Amax [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ]		Gesamt- blattfläche [ $\text{m}^2$ ]		Amax Gesamtpflanze [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$ ]		Blattflächen- zuwachs [%] 2004-2005
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	
<i>Fagus</i>		6,46 ***	8,27	0,22 ***	0,42	1,49 ***	3,55	83,8
<i>Acer</i>		5,81 *	4,81	0,21 n.s.	0,29	1,37 n.s.	1,67	57,8

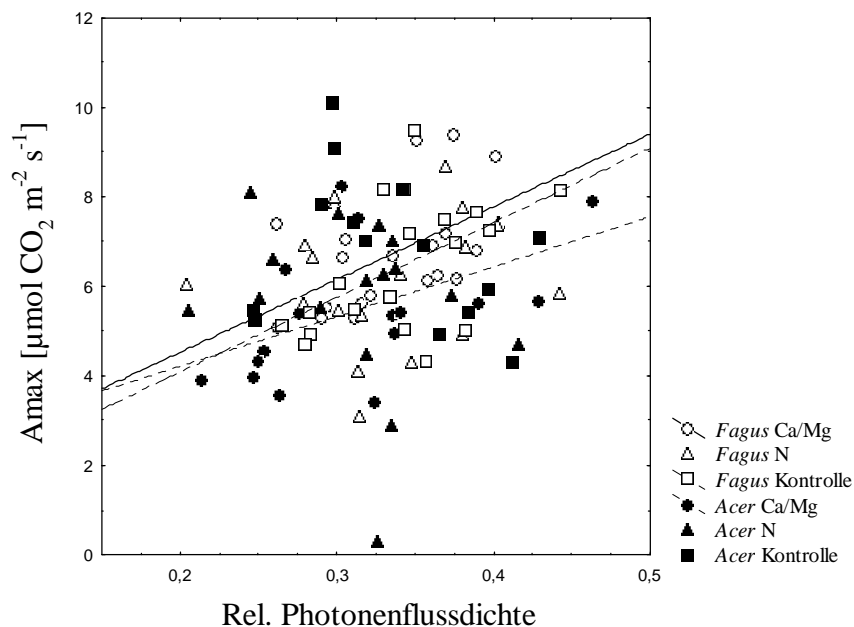
Die signifikante Steigerung der Photosynthetischen Kapazität (Amax) der Buchen im Jahr 2005 im Vergleich zum Vorjahr aber auch gegenüber den Ahornen bedeutet eine Steigerung der Kohlenstofffixierung. Dieser Anstieg der Kohlenstofffixierung und die damit verbundene Investition in Biomasse spiegeln sich in der vergrößerten Gesamtblattfläche der Buchen wieder. Die Gesamtpflanze konnte durch die vergrößerte Blattfläche in Kombination mit der gesteigerten Amax deutlich mehr Kohlenstoff pro Zeiteinheit fixieren (Tab.2).

Die Amax-Werte des Ahorns zeigten im Vergleich der Jahre einen signifikanten Rückgang. Allerdings war eine Zunahme der Blattfläche von  $0,21 \text{ m}^2$  im Jahr 2004 auf  $0,29 \text{ m}^2$  im Jahr 2005 zu verzeichnen. Die Gesamtpflanze konnte über die Zunahme der Blattfläche trotz verminderter Photosyntheseleistung mehr Kohlenstoff als im Vorjahr fixieren (Tab. 2).

Eine Düngung mit Calcium und Magnesium auf einem nährstoffarmen Standort wie in Weitra führte bei beiden Arten zu einem positiven Effekt in Bezug auf die photosynthetische Leistungsfähigkeit. Die mit Ca/Mg gedüngten Buchen hatten im Jahr 2005 verglichen mit 2004 signifikant höhere Amax-Werte, das heißt die photosynthetische Leistungsfähigkeit wurde verbessert. Von Wrangell (2005) konnte zeigen, dass mit Ca/Mg gedüngte Buchen vom zweiten bis zum vierten Jahr nach der einmaligen Düngung signifikant höhere Amax-Werte als die ungedüngten Buchen erreichten. Es ist zu erwarten, dass sich die gezeigte Erhöhung der Amax-Werte der Ca/Mg gedüngten Buchen von 2004 bis 2005 in den kommenden Jahren auf die Unterschiede zwischen den Düngevarianten auswirkt, so dass die

Ca/Mg gedüngten Pflanzen einen deutlichen und signifikanten Wachstumsvorteil gegenüber den mit Stickstoff gedüngten bzw. ungedüngten Pflanzen haben werden.

Die mit Ca/Mg-gedüngten Pflanzen beider Arten zeigten eine positive Korrelation zwischen  $A_{max}$  und PFD<sub>rel</sub>, d.h. das zur Verfügung stehende Licht kann nach Düngung deutlich besser genutzt werden. Die ungedüngten Ahornpflanzen sind nicht in der Lage dieselben Anpassungen zu erbringen. Bei ihnen zeigt sich deshalb keine Korrelation zwischen  $A_{max}$  und Licht, da die Nährstoffversorgung der ungedüngten Ahornpflanzen nicht ausreicht, den Photosyntheseapparat an die herrschenden Lichtbedingungen anzupassen. Die bessere Lichtanpassung der ungedüngten Buchen im Gegensatz zum Ahorn zeigt ihre bessere Eignung für den Voranbau auf nährstoffarmen Standorten. Die Stickstoffgabe stört hingegen das Nährstoffgleichgewicht, so dass eine Anpassung an das Lichtangebot verhindert wird (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Beziehung zwischen maximaler Photosyntheseleistung  $A_{max}$  [ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ] und der relativen Photonendichte im Jahr 2004. Signifikante Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.  
 Buche: Ca/Mg:  $y = 1,28 + 16,3 \cdot x$ ;  $r^2 = 0,28$ ,  $p < 0,05$ ; Kontrolle:  $y = 0,75 + 16,7 \cdot x$ ;  $r^2 = 0,27$ ;  $p < 0,05$ ;  
 Ahorn: Ca/Mg:  $y = 1,99 + 11,1 \cdot x$ ;  $r^2 = 0,25$ ;  $p < 0,05$

Die Buchen zeigten an deutlich weniger Blättern Spuren von nekrotischen Verfärbungen als die Ahorne. Ein Großteil der Buchen kann somit ausreichend Photosynthese betreiben, so dass Wachstumsprozesse weiter ablaufen. Beim Ahorn fanden sich häufiger Bäume mit Nekrosen. Die Ca/Mg-Düngung zögerte den Beginn der Nekrosen beim Ahorn deutlich hinaus. Die meisten mit Calcium und Magnesium gedüngten Ahornpflanzen waren nekrosenfrei. Die Stickstoffdüngung führte beim Ahorn dazu, dass fast alle Bäume in die stark nekrotische Kategorie »vier« eingeordnet wurden. Eine zusätzliche Stickstoffzufuhr wirkt sich

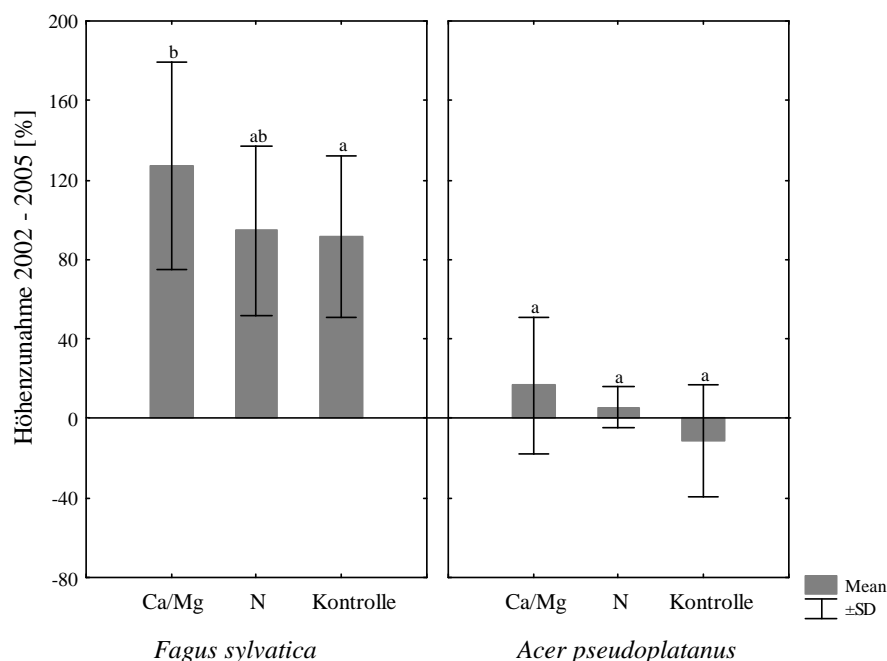
somit negativ auf die zur Photosynthese zur Verfügung stehende Gesamtblattfläche aus, da die Nekrose früher als bei den mit Ca/Mg gedüngten Ahornpflanzen einsetzt.

Beide Baumarten unterschieden sich deutlich in ihrem Zuwachs. Insgesamt zeigten die untersuchten Buchen eine Verdopplung ihrer Höhe von 2002 bis ins Jahr 2005. Die Ahorne hingegen stagnierten und konnten nur minimale Höhenzuwächse verzeichnen (Tab. 3).

Bei den Buchen wurde die relative Höhenzunahme von 2002 bis 2005 durch die Düngung mit Calcium und Magnesium signifikant beeinflusst. Die Ca/Mg gedüngten Buchen waren signifikant größer als die ungedüngten Kontrollpflanzen (Abb. 2).

**Tabelle 3:** Mittelwerte und Standardabweichung der Gesamthöhe [cm] von *Fagus sylvatica* und *Acer pseudoplatanus* in den Jahren 2002 bis 2005. Signifikante Unterschiede sind mit Sternchen gekennzeichnet: \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$ .

	Höhe 2002 [cm]	Höhe 2003 [cm]	Höhe 2004 [cm]	Höhe 2005 [cm]
<i>F. sylvatica</i>	48,5 ± 6,4 ***	66,0 ± 12,4 ***	81,4 ± 19,0 ***	98,2 ± 23,4 n.s.
<i>A. pseudoplatanus</i>	96,2 ± 9,7	98,1 ± 14,2	96,8 ± 22,5	99,7 ± 26,7



**Abbildung 2:** Prozentuale Zu- bzw. Abnahme der Pflanzenhöhe von Versuchsbeginn bis ins Jahr 2005. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Arten (getestet mit „Unequal N HSD“).

Hager et al. (1998) konnten bei Buchen im Voranbau im zweiten Jahr nach einer Magnosol-Düngung signifikant längere Terminaltriebe finden. V. Wrangell (2005) konnte an den gleichen Pflanzen im siebten Jahr nach der Düngung eine signifikant größere Gesamthöhe der gedüngten gegenüber den ungedüngten Buchen messen.

Für den Ahorn zeigte sich tendenziell, dass sich eine Düngung mit Ca/Mg positiv auf den Zuwachs auswirkt. Für den ungedüngten Ahorn wurden negative Zuwächse, als Folge des Absterbens der Terminaltriebe, verzeichnet. Die Düngung mit Ca/Mg reduzierte das Absterben der Terminaltriebe (s. Abb. 2).

Die Zunahme des Wurzelhalsdurchmessers der Buchen war größer als die der Ahornpflanzen. Bereits im zweiten Untersuchungsjahr haben die Buchen die Durchmesser der Ahorne erreicht (Tab. 4). Die prozentuale Zunahme des Wurzelhalsdurchmessers über den gesamten Untersuchungszeitraum (Abb. 3a) zeigt, dass sich die einmalige Düngung mit Calcium und Magnesium positiv auf das Durchmesserwachstum beider Arten auswirkt. Sowohl bei der Buche als auch beim Ahorn lag der relative Zuwachs nach der Ca/Mg-Düngung signifikant über dem Zuwachs nach der Stickstoffdüngung. Einen ähnlichen Zusammenhang konnte für Ca/Mg-gedüngte und ungedüngte Buchen entlang eines Lichtgradienten aufgezeigt werden (v. Wrangell 2005). Sieben Jahre nach der Düngung hatten die gedüngten Buchen einen signifikant größeren Wurzelhalsdurchmesser als die ungedüngten Kontrollpflanzen.

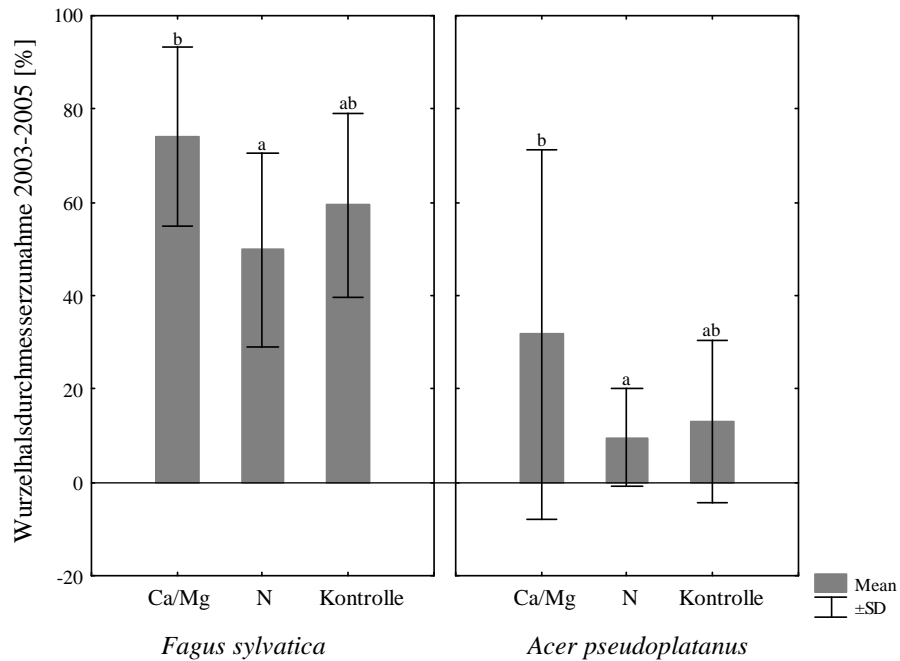
**Tabelle 4:** Mittelwerte und Standardabweichung der Wurzelhalsdurchmesser auf einer Höhe von 10 cm von *Fagus sylvatica* und *Acer pseudoplatanus* in den Jahren 2002 bis 2005. Signifikante Unterschiede sind mit Sternchen gekennzeichnet: \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,001$ .

	Wurzelhalsdurchmesser bei 10 cm - 2003 [cm]	Wurzelhalsdurchmesser bei 10 cm - 2004 [cm]	Wurzelhalsdurchmesser bei 10 cm - 2005 [cm]
<i>F. sylvatica</i>	0,83 ± 0,15 ***	1,1 ± 0,18 n.s.	1,3 ± 0,24 ***
<i>A. pseudoplatanus</i>	0,96 ± 0,17	1,0 ± 0,23	1,1 ± 0,30

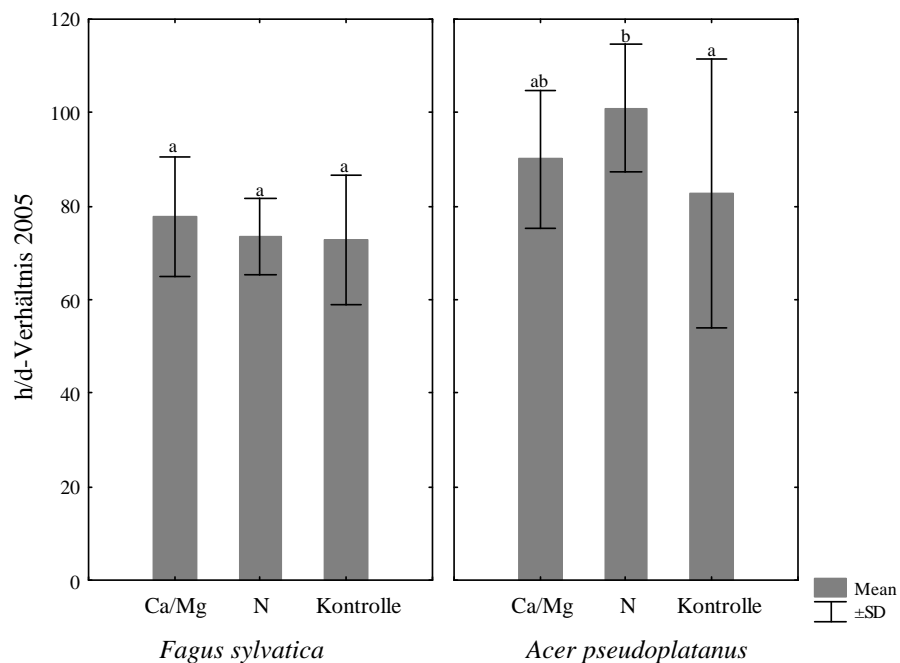
Die Buchen zeigten in ihren „Höhe-zu-Wurzelhalsdurchmesser-Verhältnissen“ (h/d-Verhältnis) keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngebehandlungen (Abb. 3 b). Eine Wurzelhalsdurchmesserzunahme geht somit bei den Buchen mit einer Höhenzunahme einher. Die Ahornpflanzen zeigten signifikante Veränderungen des h/d-Verhältnisses nach den unterschiedlichen Düngergaben. Die mit Stickstoff gedüngten Ahornpflanzen zeigen im Vergleich mit den ungedüngten Kontroll-

pflanzen bei gleicher Höhe dünnere Wurzelhalse. Die Stickstoffgabe veränderte somit nachteilig das h/d-Verhältnis beim Ahorn.

a)



b)



**Abbildung 3:** Prozentuale Zunahme des Wurzelhalsdurchmessers in 10 cm Höhe von Versuchsbeginn bis ins Jahr 2005 (a) und Höhe/Wurzelhalsdurchmesserverhältnis im Jahr 2005 (h/d-Verhältnis) (b). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Arten.



## Schlußfolgerung

Auf Böden mit niedriger Basensättigung wie in Weitra ist eine Ca/Mg-Düngung sinnvoll, da sie die einsetzende Nekrose der Ahornblätter hinausgezögert und somit die Vegetationsperiode des Ahorns verlängert wird. Die Buche kann darüber hinaus nach der Ca/Mg-Gabe den ausreichend vorhandenen Stickstoff besser nutzen. Von einer Stickstoffdüngung des Ahorns ist auf den Flächen in Weitra abzuraten, da sie zu einer frühzeitigen Nekrose des Ahorns führte und somit die nutzbare Vegetationsperiode deutlich verkürzte.

Nach der Ca/Mg-Düngung zeigten beide Arten eine enge Korrelation zwischen Photosyntheseleistung und verfügbarem Licht. Eine einmalige Ca/Mg-Gabe verbessert die Anpassungsmöglichkeiten beider Arten an die herrschenden Lichtbedingungen was den potentiellen Kohlenstoffgewinn beider Arten optimiert.

Die Ca/Mg-Düngung steigerte das Durchmesserwachstum bei beiden Arten gegenüber der Stickstoffdüngung. Die Ca/Mg-Düngung führte bei den Buchen zusätzlich zu einer größeren Höhenzunahme verglichen mit den Kontrollpflanzen. Der optimierte Kohlenstoffgewinn nach der Ca/Mg-Gabe resultiert somit in einem größeren Biomassezuwachs.

## Literatur

- Büttner, G. und Wagner, S. 1996. Auswirkung einer Volldüngergabe nach Pflanzlochkalkung im Rahmen von Buchen-Voranbauten unter Fichte. *AFZ* 14/1996: 798-801
- Deffner, G. 2000. Forstwirtschaft in stürmischen Zeiten. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Bayerische Staatsforstverwaltung. *LWF aktuell* 26
- Emmer, I. M., Fanta, J., Kobus, A. T., Kooijman, A., Sevink, J. 1998. Reversing borealization as a means to restore biodiversity in central-European mountain forests: An example from the Krkonose Mountains, Czech Republic. *Biodiv. & Cons.* (7) 229-247
- Fleder, W. 1991. Erfahrungen mit Unterbau und Voranbau der Buche in Unterfranken. *AFZ* 6/1991: 307-309
- Hager, H., Kazda, M., Pichler, M., Kraus, T., Schmid, I. und Wagner, C. 1998. Wachstum von Laubholzvoranbau in sekundären Nadelholzbeständen. *GZ*: 56810/17-VA2b/95

- Hatzfeldt, H. (Hrsg.) 1996. Ökologische Waldwirtschaft – Grundlagen – Aspekte – Beispiele. *Stiftung Ökologie & Landbau / C.F. Müller Verlag*
- Kazda, M., Salzer, J., Schmid, I. und v. Wrangell, P. 2004. Importance of mineral nutrition for photosynthesis and growth of *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* planted under norway spruce canopy. *Plant and Soil* (264) 25-34
- Leder, B. 2002. Struktureiche Dauerwälder lösen Nadelbaum-Reinbestände ab. *LÖBF-Mitteilungen* (2) 25-33
- Mayer, H. 1980. Waldbau. *Gustav Fischer Verlag - Stuttgart - New York*
- Nykvist, N. 1977. Changes in the amounts of inorganic nutrients in the soil after clearfelling. *Silva fenica* (11) 201-257
- Pichler, M., Hager, H. und Kazda, M. 2001. Beitrag zur Lichtökologie und zum Wachstum junger Voranbaupflanzen (*Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* und *Acer pseudoplatanus*). *Cbl. Ges. Forstw.* (118) 175-192
- Sauter, U. 1988. Ergebnisse aus einem fünfjährigen Versuch zum Voranbau der Douglasie mit Startdüngung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* (159) 125-132
- v. Wrangell, P. 2005. Entwicklung von gedüngten und ungedüngten Buchen entlang eines Lichtgradienten unter dem Schirm eines Kiefern – Fichten Altbestandes. *Dissertation Universität Ulm*
- Vonhoff, W. 1997. Buchen-Vorbau auf der Ostalb. *Allg. Forstztg.* (24) 1298-1299
- Weilharter, R. 1991. Wiederaufforstung auf Problemstandorten der Harzhochlagen. *Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme Univ. Göttingen A102*