AG. URL: https://www.trendmonitor.biz/kategorie/gesellschaftliches/artikel/trend-11-lebenswelten-landlust-die-ewig-junge-sehnsucht-nach-dem-idyll.html [zugegriffen am 24.03.2014].
WIEBKING, J. (2014): Junge Jagdfreunde. Der eine isst kein Fleisch, der andere schießt es selbst. FAZ: http://www.faz.net/aktuell/stil/leib-seele/in-deutschland-gibt-es-mehr-jaeger-als-je-zuvor-13078494.html [zugegriffen am 27.03.2014]
ZIEGENSPECK, S., U. HÄRDTER and U. SCHRAML (2004): Lifestyles of private forest owners as an indication of social change. Forest Policy and Economics **6**, S. 447–458.

Ableitung von Nährelementrelationen für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten aus dem Wertebereich normaler Ernährung im Vergleich zu verfügbaren Literaturdaten

Aus dem Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising

(Mit 3 Abbildungen und 3 Tabellen)

AXEL GÖTTLEIN*)

(Angenommen Januar 2017)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Nährelementrelationen; Kiefer; Fichte; Rotbuche; Stieleiche; Traubeneiche; Tanne; Lärche; Bergahorn; Esche.

Nutrient ratios; Scots pine; Norway spruce; European beech; common oak; sessile oak; silver fir; larch; sycamore maple; ash.

1. EINLEITUNG

Neben den Nährstoffgehalten der Assimilationsorgane als Instrument zur Bewertung des Ernährungszustandes anhand älterer (BMELF, 1995; STEFAN et al., 1997) oder neuerer (GÖTTLEIN et al., 2011; GÖTTLEIN, 2015) Grenzwerttabellen weisen einige Autoren auf die Vorteile der Verwendung von Nährstoffverhältnissen zur Diagnose von Ernährungsstörungen hin (FLÜCKIGER und BRAUN, 2003; FIEDLER und HÖHNE, 1984). Nährstoffverhältnisse würden weniger durch Verdünnungseffekte und Alterungsprozesse beeinflusst als Nährstoffkonzentrationen (FLÜCKIGER und BRAUN, 2003) und seien damit ein robusterer Indikator. MARSCHNER (1995) weist jedoch darauf hin, dass die alleinige Betrachtung von Nährelementverhältnissen irreführend sein kann, wenn die betrachteten Nährelemente beide im Mangel oder beide im Überschuss vorliegen. Er erachtet die Betrachtung von Nährelementrelationen besonders dann interessant, wenn beide Nährelemente nahe an der kritischen Konzentration liegen, da in diesem Fall eine geringfügige Änderung des einen Elementes eine relativ große Auswirkung auf die Wirksamkeit des anderen Elementes haben kann. Auch SUMNER (1978) stellt die alleinige Verwendung einzelner Nährelementrelationen in Frage, und führt neben dem Argument von MARSCHNER (1995) zusätzlich an, dass bei einem nicht harmonischen Nährelementverhältnis nicht entschieden werden kann, ob ein Element im Mangel oder das andere im Überschuss für die Disharmonie verantwortlich ist. Er erachtet jedoch die simultane Betrachtung mehrerer Nährelementrelationen als sehr hilfreiches Instrument, wie von BEAUFILS (1973) mit dem System „Diagnosis and Recommendation Integrated System“ (DRIS) vorgeschlagen. Dieses System wurde für landwirtschaftliche Kulturen entwickelt und verrechnet mehrere Nährelementverhältnisse zu einem Index, wobei als Referenz eine als ausgewogen ernährt anzusehende Normpopulation benötigt wird (POHL et al., 1999). Schon im landwirtschaftlichen Bereich kommt BERGMANN (1993) zu dem Schluss, dass DRIS gegenüber den üblichen Bewertungskriterien keinen Vorteil bietet, weshalb das System auch im ernährungskundlich deutlich komplexeren forstlichen Bereich, mit wenigen Ausnahmen (z. B. POHL et al., 1999), keine Verbreitung fand.

Mit der statistischen Auswertung der von VAN DEN BURG (1985, 1990) handschriftlich zusammengestellten Literaturübersicht durch GÖTTLEIN et al. (2011) wurden für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten die ernährungsdiagnostischen Grenzwerte auf eine solidere Basis

*) Korrespondierender Autor: AXEL GÖTTLEIN. Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, TU München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising.
E-Mail: goettlein@forst.tu-muenchen.de

gestellt. Zusätzlich zu den vielen hundert Datenzeilen zu Nährelementgehalten in van den Burg's Literaturzusammenstellung finden sich dort auch Angaben zu optimalen Nährelementrelationen, allerdings in sehr geringer Anzahl. Um zusätzlich zur ernährungsdiagnostischen Einwertung von Nährelementgehalten auch eine Einwertung von Nährelementrelationen zu ermöglichen wurden für den vorliegenden Beitrag die bei VAN DEN BURG (1985, 1990) hierzu verfügbaren Daten zusammengestellt, um weitere Daten ergänzt und einer schematischen Berechnung von Elementrelationen aus den Grenzen des Normalbereichs gegenübergestellt.

2. MATERIAL UND METHODEN

Getrennt nach Baumarten wurden die bei VAN DEN BURG (1985, 1990) verfügbaren Daten für die Nährelementrelationen N/P, N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca und Ca/Mg erfasst und durch weitere Literaturangaben ergänzt. Dabei wurden nur Literaturstellen aufgenommen, die ein eigenständiges Bewertungssystem enthalten und sich nicht auf die bereits von van den Burg zusammengestellten Zitate beziehen. Insgesamt war die Anzahl der zusätzlich in den Datensatz aufgenommenen Daten sehr überschaubar. Alle datenliefernden Zitate sind im Literaturverzeichnis mit einem * versehen. Da in den Tabellen VAN DEN BURG's und in den zusätzlichen Literaturstellen sowohl Spannweiten als auch einzelne Optimalwerte angegeben sind, wurden pro ausgewertetem Nährelementverhältnis die Datenspalten Untergrenze, Optimalwert, Obergrenze angelegt. Eine grafische Auswertung mit Betrachtung der Medianwerte wurde nur durchgeführt, wenn für Unter- und Obergrenze jeweils mehr als drei Eintragungen vorhanden waren (vgl. *Abb. 2*).

Zusätzlich zur Auswertung vorhandener Literaturdaten wurden aus den Nährelementgehalten des Bereichs normaler Ernährung nach GÖTTLEIN et al. (2011) Nährelementverhältnisse gerechnet. Dies erfolgte zum einen durch die kreuzweise Verrechnung von Ober- zu Untergrenze des Normalbereichs, was nach FLÜCKIGER und BRAUN (2003) eine gängige Praxis darstellt. Zum anderen wurden, bezugnehmend auf den in der Einleitung vorgestellten Kommentar von MARSCHNER (1995), auch die Relationen durch Verrechnung äquivalenter Grenzwerte (d. h. Untergrenze zu Untergrenze etc.) gebildet und deren Wertebereich ermittelt. Durch dieses Vorgehen, welches in *Abb. 1* grafisch erläutert wird, kann für jede Nährelementrelation ein Optimalbereich (aus der Einzelverrechnung) und ein harmonischer Bereich (aus der Überkreuzverrechnung) angegeben werden. Bei der Ergebnispräsentation (*Tab. 1*) ist der Optimalbereich in Fettdruck und der harmonische Bereich in Normaldruck dargestellt. Da die Berechnung von Verhältnissen numerisch relativ sensibel ist, besonders wenn im Nenner kleine Zahlen stehen, wurden für die Herleitung der Nährelementrelationen nicht die bei GÖTTLEIN et al. (2011), MELLERT und GÖTTLEIN (2012) und GÖTTLEIN (2015) veröffentlichten Tabellen verwendet. Es wurde vielmehr der hinter diesen Veröffentlichungen stehende Ursprungsdatensatz ausgewertet und so eine Verschiebung der berechneten Werte aufgrund gerundeter Tabellenwerte vermieden.

Wie schon bei GÖTTLEIN et al. (2011) und GÖTTLEIN (2015) vorgenommen erlaubt es die Datenlage bei Fichte, Kiefer und Buche die Nährelementrelationen nicht nur für den Gesamtdatensatz zu berechnen, sondern auch für die Teilkollektive der als „jung" oder „alt" klassifizierten Bäume. Leider sind in den den Auswertungen

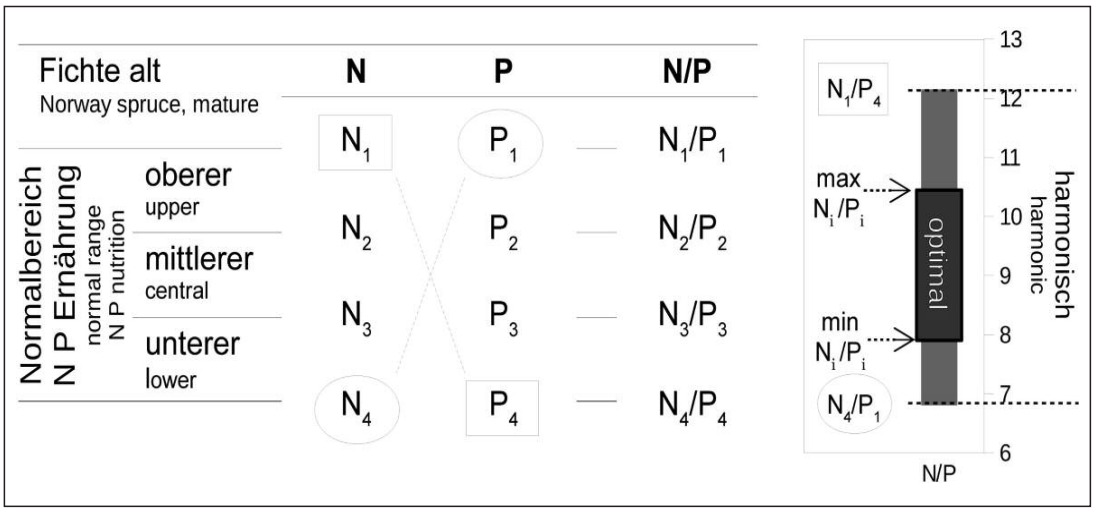

Abb. 1

Berechnungsschema der Nährelementrelationen aus den Daten für den Bereich normaler Ernährung nach GÖTTLEIN et al. (2011) am Beispiel N/P für Fichte alt; ○ □ kreuzweise Berechnung aus den Grenzen des Normalbereichs.

Scheme for the calculation of nutrient relations from data for normal nutrition according to GÖTTLEIN et al. (2011) with N/P for mature spruce as example; ○ □ calculations using the borders of the normal range.

zugrunde liegenden Aufzeichnungen von VAN DEN BURG (1985, 1990) Angaben zum Baumalter, soweit vorhanden, meist nur indirekt angegeben (z.B.: sind Nährlösungsversuche nur mit jungen Bäumen möglich). Eine Altersgrenze, ab wann ein Bestand als „alt" einzustufen ist, kann dementsprechend nicht angegeben werden. Die Auswahl der passenden Tabellenwerte bleibt daher dem Anwender überlassen, wobei für Experimente in Labor oder Gewächshaus eher die Werte für junge Bäume und für die Beurteilung von Waldbeständen bevorzugt die Werte für alte Bäume oder der Gesamtdatensatz verwendet werden sollten.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Literaturauswertung

Aufgrund der doch recht eingeschränkten Datenlage waren grafische Auswertungen der gefundenen Literaturstellen nur für die Relationen N/P, N/K und N/Mg bei Fichte und Kiefer sowie zusätzlich für K/Ca bei Fichte sinnvoll (*Abb. 2*). Bei allen anderen Relationen und Baumarten waren für die Grenzen des harmonischen Bereichs nur drei oder weniger Werte verfügbar. Bei den in *Abb. 2* dargestellten Relationen aus der Literatur zeigt sich, dass mit Ausnahme von N/Mg bei Kiefer die niedrigste Angabe für die Obergrenze unter der höchsten Angabe für die Untergrenze liegt. Mit zwei Ausnahmen (K/Ca bei Fichte; N/Mg bei Kiefer) fügt sich der Median für das Optimum zwischen den Medianen für die untere und obere Grenze ein, wobei er jedoch nur bei N/P für Kiefer nahe an der Mitte des aufgespannten Bereichs zu liegen kommt. Vergleicht man die nach *Abb. 1* getrennt für junge und alte Bäumen berechneten Bereiche mit den Literaturwerten, so zeigt sich, dass diese in keinem Fall den Wertebereich der Literaturwerte über- bzw. unterschreiten. Das 25%-Perzentil der Untergrenze wird von den berechneten Werten nur in einem Fall, nämlich bei Fichte für N/P bei jungen Bäumen unterschritten. Das 75%-Perzentil der Obergrenze wird dagegen mehrmals überschritten, nämlich bei Fichte für K/Ca bei alten Bäumen und bei Kiefer für N/K und für N/P und N/Mg bei junger Kiefer. In vielen Fällen verhält es sich so, dass der Median für die Obergrenze in den harmonischen Bereich oberhalb des Optimalbereichs und der Median für die Untergrenze in den harmonischen Bereich unterhalb des Optimalbereichs fällt. Besonders deutlich unterhalb des berechneten harmonischen Bereichs liegt jedoch der Median der Untergrenze des N/K-Verhältnisses sowohl für Fichte als auch für Kiefer. Bei der getrennten Berechnung des optimalen und des harmonischen Bereichs für alte und junge Bäume fällt auf, dass es hier doch zum Teil deutliche Verschiebungen gibt. Insbesondere ist der optimale Bereich für Altfichten für alle in *Abb. 2* dargestellten Relationen weiter als für junge Bäume. Dies gilt auch für das N/Mg-Verhältnis bei Kiefer. Die Übereinstimmung des Optimums aus der Literaturzusammenstellung mit dem optimalen Bereich aus der Berechnung ist nur selten gegeben, und zwar für N/K bei Fichte und N/P und N/K bei Kiefer. Dies liegt, wie oben bereits angedeutet, vor allem an der Qualität der Literaturdaten. Besonders auffällig sind in diesem Zusammenhang die Literaturwerte für das Optimum des K/Ca-Verhältnisses bei Fichte, welche sogar über dem Maximum der Werte für die Obergrenze liegen.

3.2 Nährelementrelationen abgeleitet aus dem Bereich normaler Ernährung

Die Tatsache, dass sich die aus den Grenzen des Normalbereichs berechneten Nährelementrelationen für die in *Abb. 2* untersuchten Relationen gut in das von Literaturwerten vorgegebene Wertespektrum eingliedern legt den Schluss nahe, dass diese Vorgehensweise auch für andere Relationen, besonders aber auch für andere Baumarten zu plausiblen Werten führen sollte. In *Tab. 1* sind daher für die Baumarten Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Buche, Eiche, Bergahorn und Esche die entsprechenden Berechnungen durchgeführt worden. Durch Verwendung des Originaldatensatzes von GÖTTLEIN et al. (2011) können für Fichte, Kiefer und Buche neben den Werten für die Baumart auch Relationen für junge und ausgewachsene Bäume angegeben werden. Bei Eiche werden die Werte sowohl getrennt für Stieleiche und Traubeneiche, als auch für beide Baumarten zusammen berechnet. Letzteres erfolgt aufgrund der Tatsache, dass in vielen Tabellenwerken und Auswertungen nicht zwischen den beiden Eichenarten unterschieden wird.

Nach *Abb. 1* werden zur Berechnung des Optimalbereichs der Nährelementverhältnisse nicht nur die Nährelementgehalte an den Grenzen des Bereichs normaler Ernährung benötigt, sondern auch die Grenzwerte zwischen oberem, mittlerem und unterem Normalbereich. Diese Daten sind bei der systemübergreifenden Auswertung von Göttlein (2015), welche für die Bewertung der ernährungskundlichen Daten im Rahmen der BZE 2 verwendet wurde, nicht verfügbar. Auch eine Unterteilung in junge und alte Pflanzen, sowie eine getrennte Angabe für Stiel- und Traubeneiche wäre auf dieser Datenbasis nicht möglich. Die sich aus den Werten nach Göttlein (2015) ergebenden Grenzwerte für den harmonischen Bereich sind zum Vergleich aber in *Tab. 2* enthalten.

Bei der Wertespanne des **N/P**-Verhältnisses liegen die Nadelbäume Fichte, Kiefer und Tanne einerseits und andererseits Buche und Eiche nahe beieinander, wobei die beiden Laubbäume in ihrer Wertespanne höher liegen. Die Lärche gliedert sich zwischen diesen beiden Gruppen ein. Auffällig sind die Baumarten Bergahorn und Esche, die beide einen recht weiten Wertebereich aufspannen, sowohl im Optimal- als auch im Gesamtbereich, und dabei an den unteren Grenzen die Nadelbäume unterschreiten, während die oberen Grenzen in der Größenordnung der Lärche liegen. Die Unterscheidung zwischen jungen und alten Bäumen erbringt bei Kiefer keine wesentlichen Änderungen. Bei jungen Fichten liegen die Grenzen, mit Ausnahme der unteren Optimalbereichsgrenze, etwas niedriger. Bei jungen Buchen sind die Bereiche insgesamt weiter als bei alten Bäumen. Die Unterscheidung zwischen Stiel- und Traubeneiche bringt kaum Änderungen.

Die Spanne der **N/K**-Verhältnisse ist insgesamt enger und liegt wegen des generell höheren K-Gehaltes auch auf einem niedrigeren Niveau. Hier liegen alle Baum-

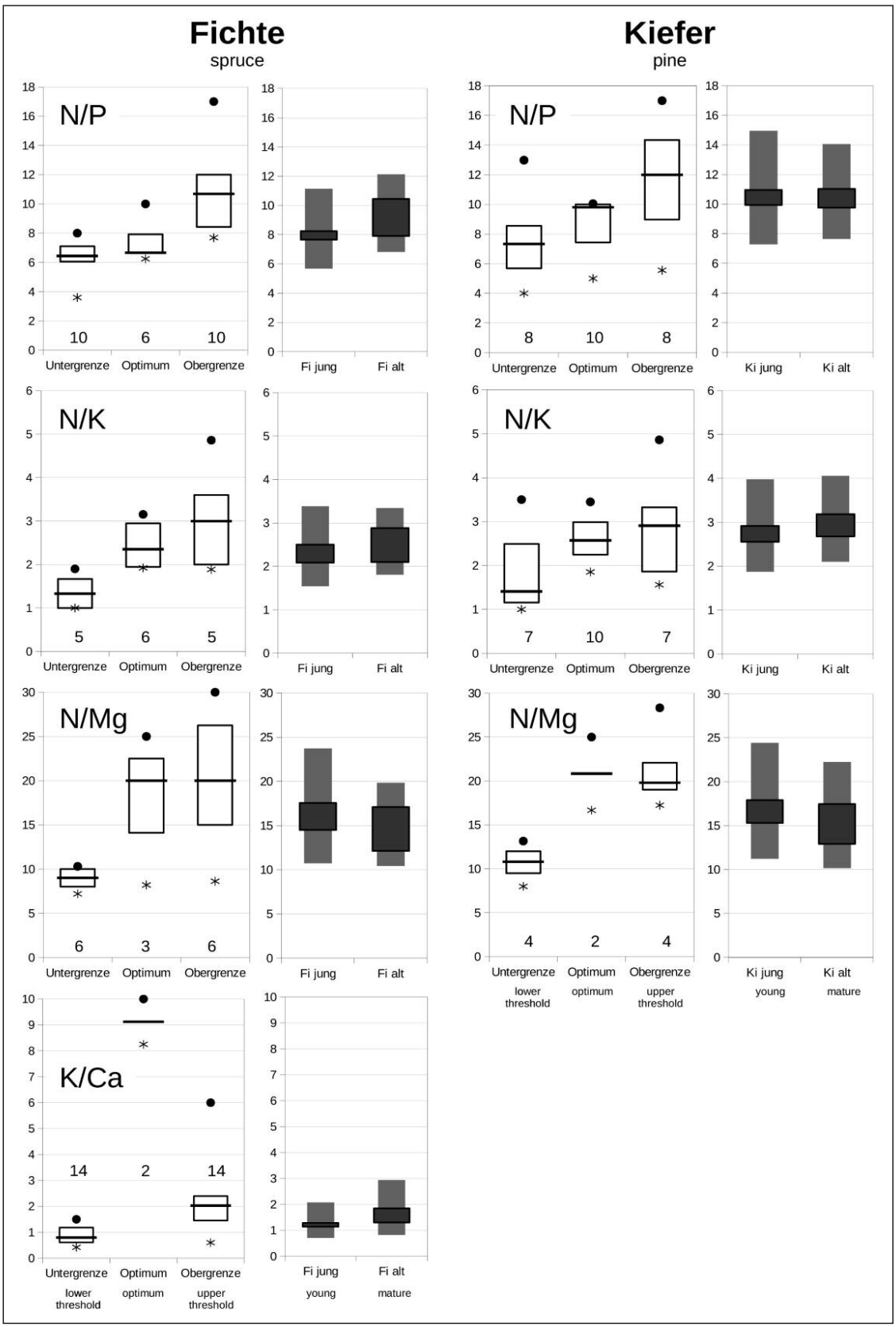

Abb. 2

Gegenüberstellung von Literaturwerten (★ = Minimum, ● = Maximum, □ = 25–75 % Perzentil, – = Median; die eingetragenen Zahlen geben die Anzahl der Literaturstellen an) und den aus den Grenzen des Normalbereichs gemäß Abb. 1 hergeleiteten Elementrelationen.

Comparison of literature data (★ = minimum, ● = maximum, □ = 25–75 % percentile, – = median; number ofcitations given) and element ratios derived by calculation from the range of normal nutrition according to Fig. 1.

Tab. 1

Bereiche ausgewogener Elementverhältnisse gemäß Schema aus Abb.1; harmonischer Bereich in Normaldruck, Optimalbereich in Fettdruck; Angabe von maximal 3 signifikanten Stellen.

Ranges of well-balanced nutrient ratios, calculated according to Fig.1; harmonic range normal print, optimal range printed in bold; maximal 3 significant digits.

	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg
Fichte spruce alle total	6,32-**7,87-9,35**-11,7	1,70-**2,12-2,69**-3,35	2,06-**2,56-4,03**-5,02	10,7-**13,3-16,9**-21,1	0,77-**1,21-1,50**-2,37	3,98-**6,29-6,38**-9,94
alt mature	6,82-**7,92-10,4**-12,1	1,81-**2,10-2,88**-3,34	2,35-**2,73-5,31**-6,16	10,4-**12,1-17,1**-19,8	0,82-**1,30-1,84**-2,94	3,63-**5,78-6,11**-9,45
jung juvenile	5,67-**7,67-8,24**-11,1	1,54-**2,09-2,50**-3,38	1,76-**2,37-3,20**-4,33	10,7-**14,5-17,5**-23,7	0,70-**1,12-1,28**-2,07	4,29-**6,88-7,01**-11,4
Kiefer pine alle total	7,55-**9,85-11,0**-14,3	2,00-**2,61-3,02**-3,95	3,62-**4,73-7,08**-9,25	10,9-**14,2-17,5**-22,9	1,20-**1,81-2,34**-3,55	3,60-**5,44-5,80**-8,78
alt mature	7,66-**9,76-11,0**-14,1	2,10-**2,68-3,18**-4,06	3,83-**4,88-8,06**-10,27	10,1-**12,9-17,5**-22,2	1,20-**1,82-2,53**-3,84	3,18-**4,82-5,48**-8,30
jung juvenile	7,29-**9,94-11,0**-15,0	1,87-**2,55-2,92**-3,98	3,37-**4,59-6,43**-8,77	11,2-**15,3-17,9**-24,4	1,15-**1,80-2,20**-3,44	3,85-**6,00-6,14**-9,57
Tanne fir	5,24-**7,24-9,89**-13,7	1,29-**1,78-2,46**-3,40	1,19-**1,64-3,49**-4,83	5,33-**7,37-13,0**-18,0	0,48-**0,92-1,42**-2,71	2,17-**4,14-5,31**-10,1
Lärche larch	6,14-**7,98-12,3**-16,0	1,49-**1,95-2,73**-3,55	2,6-**3,47-4,58**-5,95	8,21-**10,7-16,5**-21,4	0,98-**1,65-1,79**-3,07	3,00-**5,42-6,01**-11,0
Buche beech alle total	10,0-**12,4-15,2**-18,9	1,94-**2,40-3,08**-3,82	1,34-**1,66-2,81**-3,49	8,18-**10,2-17,5**-21,7	0,43-**0,69-0,91**-1,45	2,66-**4,23-5,68**-9,05
alt mature	11,9-**14,7-15,7**-19,4	1,81-**2,39-2,73**-3,60	1,42-**1,87-3,31**-4,36	9,78-**12,9-26,9**-35,4	0,52-**0,78-1,21**-1,82	3,58-**5,40-9,83**-14,8
jung juvenile	8,94-**11,1-16,4**-20,3	2,01-**2,50-3,43**-4,25	1,15-**1,43-2,56**-3,17	7,70-**9,54-14,7**-18,2	0,34-**0,57-0,74**-1,27	2,24-**3,82-4,27**-7,28
Eiche oak alle total	9,25-**12,5-14,5**-19,6	1,74-**2,36-2,74**-3,71	1,94-**2,63-3,70**-5,01	8,14-**11,0-16,1**-21,8	0,71-**1,11-1,35**-2,12	2,98-**4,67-5,88**-9,24
Stieleiche	9,08-**12,3-14,6**-19,9	1,64-**2,23-2,67**-3,63	1,85-**2,51-3,76**-5,11	7,50-**10,2-15,2**-20,7	0,69-**1,13-1,41**-2,29	2,81-**4,58-5,68**-9,26
Traubeneiche	9,16-**12,6-14,3**-20,0	1,99-**2,76-2,99**-4,18	2,06-**2,88-3,74**-5,23	9,53-**13,3-17,2**-24,1	0,69-**1,03-1,25**-1,88	3,18-**4,78-5,75**-8,64
Bergahorn maple	4,92-**6,98-11,8**-16,8	1,22-**1,73-2,17**-3,08	0,66-**0,94-1,66**-2,36	4,65-**6,59-9,15**-13,0	0,31-**0,54-0,77**-1,36	2,14-**3,80-4,21**-7,48
Esche ash	4,90-**6,98-12,3**-17,6	1,18-**1,69-2,59**-3,69	0,65-**0,93-1,60**-2,28	2,87-**4,09-7,51**-10,7	0,25-**0,55-0,62**-1,35	1,11-**2,42-2,90**-6,35

arten sehr eng beieinander. Dies ist sicherlich auch darin begründet, dass Kalium als kleinstes und nur einwertiges Kation stark der Auswaschung aus dem Kronenraum von Laub- und Nadelwäldern unterliegt (MITSCHERLICH, 1975) und damit in den Blattorganen keine größeren, eventuell baumartenspezifischen Vorräte aufgebaut werden können. Im Gegensatz hierzu zeigen sich beim **N/Ca**-Verhältnis deutliche Unterschiede. Sehr niedrige Verhältnisse mit einem recht engen Wertebereich finden sich für Bergahorn und Esche, was den höheren Anspruch dieser beiden Baumarten an den Basenhaushalt widerspiegelt (WEBER, 2000). Auf der anderen Seite finden sich die höchsten Relationen sowohl am unteren als auch am oberen Ende der Wertespanne für die Baumart Kiefer, gefolgt von der Baumart Lärche. Fichte und Tanne liegen in ihren Wertebereichen nahe beieinander, mit etwas niedrigeren Untergrenzen bei der Tanne. Bei der Buche liegen die Werte etwas niedriger als bei der Eiche, wobei sich Stiel- und Traubeneiche kaum unterscheiden. Vergleicht man die Wertespannen für junge und alte Bäume, so ergeben sich für Fichte, Kiefer und Buche an den Untergrenzen kaum Unterschiede. Bei alle drei Baumarten weisen die jungen Bäume an den Obergrenzen niedrigere Werte auf, was bedeutet, dass junge Pflanzen einen höheren Mindest-Calciumbedarf haben. Für das **N/Mg**-Verhältnis werden die eindeutig niedrigsten Werte, und damit der höchste Mg-Bedarf, für die Esche berechnet, gefolgt vom Bergahorn. Mit deutlichem Abstand folgt die Tanne. Für Lärche, Buche und Eiche liegen die Werte recht eng beieinander, mit einer Spanne für den Optimalbereich von 10,2 bis 17,5 und für den gesamten harmonischen Bereich von 8,14 bis 21,8. Fichte und Kiefer bewegen sich in einer vergleichbaren Größenordnung, jedoch mit etwas höhere Werten für die unteren Grenzen. Bei getrennter Betrachtung der Jung- und Altbäume fällt auf, dass für Fichte und Kiefer die Untergrenze des Optimalbereichs für Altbäume deutlich tiefer liegt (vgl. auch *Abb. 2*). Bei Buche ergibt sich eine sehr auffällige Situation, nämlich eine deutlich niedrigere Lage aller berechneten Relationswerte für jüngere Bäume, was bedeutet, dass diese einen generell höheren Mg-Bedarf haben, der etwa in der Größenordnung der Tanne liegt. Die Unterscheidung in Stiel- und Traubeneiche erbringt für erstere tendenziell niedrigere Werte, was sich mit dem bekanntermaßen höheren Basenanspruch der Stieleiche deckt (LEIBUNDGUT, 1991).

Bei den Relationen zu Kalium zeigt das **K/Ca**-Verhältnis sehr enge Wertespannen auf. Der hohe Ca-Bedarf von Esche und Bergahorn führt auch bei dieser Relation zu den niedrigsten Werten, dicht gefolgt von der Buche. Eiche, Tanne und Fichte bilden eine Gruppe mittlerer Relationen, gefolgt von Lärche und schließlich Kiefer mit den höchsten Relationen. Die getrennte Betrachtung junger und alter Bäume ergibt für Fichte, Kiefer und Buche jeweils leicht niedrigere Werte für das Kollektiv

der Jungbäume, was auf einen relativ höheren Calciumbedarf hindeutet. Auffällig ist in diesem Zusammenhang die Jungbuche, deren Werte sehr nahe an denen der Esche liegen, mit der Folge, dass sich die Optimalbereiche für junge und alte Buchen nicht überlappen. Beim Vergleich von Stiel- und Traubeneiche fällt auf, dass an der Untergrenze der Relationen beide Eichenarten sehr nahe beieinander liegen. An der Obergrenze, d. h. an der Minimalanforderung an die Ca-Versorgung relativ zu K, zeigt die Stieleiche jedoch höhere Werte, also einen geringeren Bedarf. Dies ist, wie ein Blick auf die Stickstoff-Relationen zeigt, nicht durch einen höheren Ca-Bedarf, sondern durch einen höheren K-Bedarf der Stieleiche begründet. Beim **K/Mg**-Verhältnis finden sich die niedrigsten Werte und damit der höchste Mg-Bedarf bei Esche, deren Optimalbereich sich sogar mit keiner anderen Baumart überlappt, wiederum gefolgt vom Bergahorn. Die übrigen Baumarten liegen in ihrem Gesamtwertebereich recht nahe beieinander, wobei bei Betrachtung des Optimalbereichs die Tanne tendenziell niedriger und die Fichte tendenziell höher liegt. Bei der getrennten Betrachtung junger und alter Bäume zeigt sich für Fichte und Kiefer, dass für die Jungbäume tendenziell höhere Werte, und damit ein geringerer relativer Mg-Bedarf berechnet wird. Bei Buche ist genau das Gegenteil der Fall. Stiel- und Traubeneiche liegen in ihren Wertebereichen eng beieinander.

Zur Einordnung der hergeleiteten Werte sind diese in *Tab. 2* den bei STEFAN et al. (1997) angegebenen Werten gegenübergestellt. Diese Autoren geben als einzige Wertebereiche für alle wesentlichen Relationen für die vier Hauptbaumarten an. Zusätzlich wurden in *Tab. 2* auch Wertespannen aus der kreuzweisen Verrechnung des bei GÖTTLEIN (2015) angegebenen Normalbereichs berechnet. Dies ist darin begründet, dass diese Grenzwerte aus einer umfassenden Literaturstudie abgeleitet wurden und nunmehr als Referenz für die Auswertung der BZE2 dienen (RIEK et al., 2016). Insgesamt zeigt sich, dass der aus den van den Burg-Daten abgeleitete Bereich harmonischer Ernährung in den gefundenen Größenordnungen gut mit dem aus einer Vielzahl von Bewertungssystemen hergeleiteten Bereich nach GÖTTLEIN (2015) übereinstimmt. Auffällige Unterschiede gibt es bei Buche, wo die Wertespannen N/Ca und N/Mg aus *Tab. 1* tendenziell niedriger liegen. Da bei Buche die Unterschiede zwischen jungen und alten Bäumen bei diesen Verhältnissen besonders groß sind, sind hier auch größere Diskrepanzen bei der Betrachtung verschiedener Systeme zu erwarten, da bei der Herleitung der entsprechenden Werte nicht bekannt ist wie hoch der Anteil der einzelnen Baumalter ist. Für das N/Ca-Verhältnis ist bei Fichte der aus *Tab. 1* entnommene Bereich etwas enger, während er bei Kiefer etwas weiter gefasst ist.

Ein Vergleich mit den bei STEFAN et al. (1997) angegebenen Bereichen harmonischer Ernährung zeigt, dass diese Autoren in allen Fällen an der Obergrenze den höchsten Wert angeben. Dies bedeutet, dass der Minimalbedarf des im Nenner aufgeführten Nährelements im Verhältnis zu dem im Zähler angegebenen Element bei Verwendung dieser Werte regelmäßig unterschätzt wird. Bei der Untergrenze sind die Werte von STEFAN et al. (1997) für Fichte, Kiefer und Eiche stets die niedrig-

Tab. 2

Gegenüberstellung der Bereiche harmonischer Verhältnisse.
Comparison of ranges of harmonic nutrition.

	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg
Fichte spruce						
aus Tab.1	6,32 – 11,7	1,70 – 3,35	2,06 – 5,02	10,7 – 21,1	0,77 – 2,37	3,98 – 9,94
GÖTTLEIN (2015)	6,55 – 13,08	1,71 – 3,78	2,47 – 8,50	9,36 – 21,25	0,85 – 3,83	3,21 – 9,56
STEFAN et al. (1997)	6,0 – 17,0	1,33 – 4,86	2,0 – 11,33	8,0 – 28,33	0,58 – 6,0	2,33 – 15,0
RIEK et al. (2016)	– 12,2	– 3,6	– 7,8	– 22,0		
Kiefer pine						
aus Tab.1	7,55 – 14,3	2,00 – 3,95	3,62 – 9,25	10,9 – 22,9	1,20 – 3,55	3,60 – 8,78
GÖTTLEIN (2015)	7,03 – 13,08	1,87 – 3,86	3,51 – 5,00	10,04 – 21,25	1,10 – 3,75	3,14 – 9,38
STEFAN et al. (1997)	6,0 – 17,0	1,2 – 4,86	3,0 – 11,33	8,0 – 28,33	0,88 – 6,67	2,33 – 16,67
RIEK et al. (2016)	– 14,2	– 4,3	– 8,9	– 22,8		
Buche beech						
aus Tab.1	10,0 – 18,9	1,94 – 3,82	1,34 – 3,49	8,18 – 21,7	0,43 – 1,45	2,66 – 9,05
GÖTTLEIN (2015)	11,18 – 20,58	2,03 – 4,17	2,22 – 5,00	12,67 – 25,00	0,70 – 1,87	4,00 – 9,34
STEFAN et al. (1997)	10,59 – 25,0	1,8 – 5,0	2,25 – 6,25	12,0 – 25,0	0,63 – 2,5	3,33 – 10,0
RIEK et al. (2016)	– 19,7	– 4,0	– 4,7	– 23,5		
Eiche oak						
aus Tab.1	9,25 – 19,6	1,74 – 3,71	1,94 – 5,01	8,14 – 21,8	0,71 – 2,12	2,98 – 9,24
GÖTTLEIN (2015)	10,00 – 19,26	2,00 – 4,26	2,50 – 5,20	7,69 – 21,67	0,76 – 2,00	2,35 – 8,33
STEFAN et al. (1997)	8,33 – 25,0	1,5 – 5,0	1,88 – 8,33	6,0 – 25,0	0,63 – 3,33	2,0 – 10,0
RIEK et al. (2016)	– 19,8	– 4,5	– 5,6	– 23,5		

sten. Somit gibt dieses Bewertungssystem für die genannten Baumarten stets den höchsten relativen Nährelementbedarf an.

Im Rahmen der Auswertung der BZE2 wurden aus dem ernährungskundlichen Datensatz diejenigen Stickstoff-Relationen abgeleitet, oberhalb derer bei dem jeweiligen Element mit latentem Nährstoffmangel zu rechnen ist (RIEK et al., 2016). Auch diese Daten wurden in *Tab. 2* eingetragen, wobei sich zeigt, dass diese recht nahe an den aus *Tab. 1* oder aus GÖTTLEIN (2015) abgeleiteten Werten liegen, oft sogar zwischen diesen beiden Werten, was wiederum bestätigt, dass die von STEFAN et al. (1997) angegebenen Obergrenzen des harmonischen Bereichs eher zu hoch gegriffen sind.

3.3 Baumartenvergleich auf der Basis molarer Elementrelationen

Nimmt man die Obergrenze des Optimalbereichs der Nährelementrelationen aus *Tab. 1* als ein Maß für den Anspruch an die Versorgung mit dem im Nenner aufgeführten Element, so lässt sich hieraus eine Rangfolge des Nährelementbedarfs der betrachteten Baumarten ableiten (*Abb. 3*). Um eine echte Vergleichbarkeit der in *Abbildung 3* dargestellten Relationen zu ermöglichen wurden diese nicht wie üblich auf Gewichtsbasis angegeben, sondern auf molare Basis umgerechnet und auf 100 Atome Stickstoff bzw. Kalium normiert. Dies erlaubt zum einen den direkten Vergleich der dargestellten Relationen untereinander, zum anderen kann aus der Skala der x-Achse direkt abgelesen werden, wie viele Atome des jeweiligen Nährelements pro 100 Atome Stickstoff bzw. Kalium für eine optimale Ernährung mindestens zur Verfügung stehen sollten.

Die Interpretation der Elementgehalte oder Elementrelationen im Sinne von Bedarf oder Anspruch muss mit Vorsicht vorgenommen werden, da Standort und Bestockung eigentlich nicht voneinander unabhängig betrachtet werden können. Esche und Bergahorn haben zum Beispiel einen höheren Anspruch an die Verfügbarkeit von Ca und Mg, was sich auch in den Ellenberg-Diagrammen zeigt, in denen Bergahorn und Esche ihren Potenzbereich nicht auf saure Standorte ausdehnen können (ELLENBERG, 1996). Andererseits ist es aber auch sicher so, dass diese beiden Baumarten höhere Ca-Werte haben, eben weil sie auf basenreicheren Standorten stehen. Dieses „Henne/Ei-Dilemma“ lässt sich leider nicht befriedigend lösen.

Bei den vorgestellten auf 100N bzw. 100K normierten Elementrelationen werden die Baumarten relativ zueinander verglichen und nicht absolut bewertet. Wenn im Text das Wort Bedarf verwendet wird, so ist dies so zu interpretieren, dass eine Baumart relativ zu einer anderen Baumart bezogen auf 100N bzw. 100K höhere bzw. niedrigere Elementwerte im optimalen Ernährungsbereich aufweist.

Bei den Relationen zu Stickstoff fällt zunächst auf, dass die Spannweite zwischen den Baumarten für Phosphor deutlich geringer ist als bei den anderen Relationen. Pro 100 Stickstoffatome werden hier zwischen 3,0 Atomäquivalente Phosphor bei Buche und 4,8 Atomäquivalente bei Fichte benötigt. In vergleichbarer Größenordnung liegt auch der Magnesiumbedarf der meisten

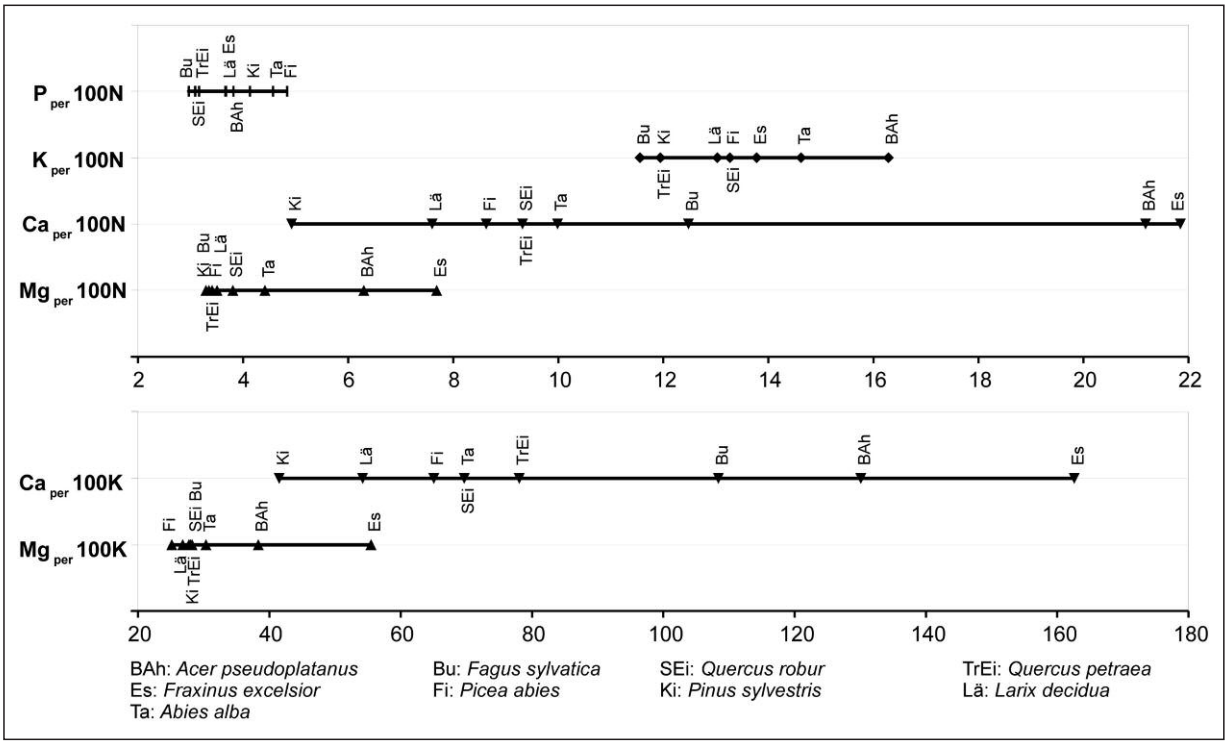

Abb. 3

Stickstoff-Element-Relationen und Kalium-Element-Relationen auf molarer Basis.

Nitrogen-element-ratios and Potassium-element-ratios calculated on molar basis.

Tab. 3

Bereiche ausgewogener Elementverhältnisse als molare Relation normiert auf 100N bzw. 100K; harmonischer Bereich in Normaldruck, Optimalbereich in Fettdruck; Angabe von maximal 3 signifikanten Stellen.

Ranges of well-balanced nutrient ratios calculated as molar ratios on the basis of 100N or 100K; harmonic range normal print, optimal range printed in bold; maximal 3 significant digits.

	P_{per} 100N	K_{per} 100N	Ca_{per} 100N	Mg_{per} 100N	Ca_{per} 100K	Mg_{per} 100K
Fichte spruce alle total	3,88-**4,83-5,75**-7,15	10,7-**13,3-16,9**-21,1	6,96-**8,66-13,6**-17,0	2,74-**3,41-4,32**-5,38	41,2-**65,0-80,6**-127	16,2-**25,2-25,6**-40,4
alt mature	3,73-**4,33-5,71**-6,63	10,7-**12,4-17,1**-19,8	5,67-**6,59-12,8**-14,9	2,90-**3,37-4,75**-5,52	33,2-**52,9-75,0**-120	17,02-**26,3-27,8**-44,4
jung juvenile	4,06-**5,49-5,90**-7,98	10,59-**14,3-17,2**-23,2	8,08-**10,9-14,7**-19,9	2,43-**3,29-3,97**-5,37	47,06-**76,3-87,1**-139	14,16-**22,9-23,4**-37,5
Kiefer pine alle total	3,16-**4,13-4,59**-6,00	9,07-**11,9-13,7**-18,0	3,78-**4,94-7,38**-9,65	2,52-**3,29-4,06**-5,31	27,5-**41,6-53,8**-81,4	18,3-**27,7-30,0**-44,7
alt mature	3,22-**4,10-4,63**-5,90	8,83-**11,3-13,4**-17,0	3,40-**4,33-7,16**-9,12	2,59-**3,30-4,46**-5,68	25,4-**38,5-53,7**-81,1	19,4-**29,4-33,4**-50,5
jung juvenile	3,02-**4,13-4,55**-6,20	9,01-**12,3-14,0**-19,2	3,99-**5,44-7,61**-10,4	2,36-**3,22-3,75**-5,15	28,4-**44,3-54,2**-84,5	16,8-**26,2-26,8**-41,8
Tanne fir	3,31-**4,57-6,24**-8,63	10,6-**14,6-20,1**-27,8	7,24-**10,0-21,3**-29,4	3,20-**4,42-7,82**-10,8	36,0-**68,6-106**-202	15,9-**30,3-38,9**-74,2
Lärche larch	2,82-**3,67-5,67**-7,37	10,1-**13,1-18,5**-24,0	5,87-**7,64-10,1**-13,1	2,70-**3,51-5,40**-7,02	31,8-**54,6-59,0**-100	14,6-**26,8-29,7**-53,5
Buche beech alle total	2,39-**2,97-3,64**-4,51	9,37-**11,6-14,9**-18,5	10,0-**12,4-21,1**-26,2	2,65-**3,29-5,68**-7,04	67,1-**107-141**-225	17,8-**28,3-38,1**-60,6
alt mature	2,34-**2,88-3,08**-3,79	9,94-**13,1-15,0**-19,8	8,01-**10,6-18,7**-24,6	1,63-**2,14-4,47**-5,89	53,5-**80,6-125**-188	10,9-**16,4-29,8**-44,9
jung juvenile	2,23-**2,76-4,08**-5,06	8,42-**10,4-14,4**-17,8	11,0-**13,7-24,5**-30,4	3,17-**3,93-6,04**-7,49	76,9-**131-171**-291	22,1-**37,7-42,1**-71,7
Eiche oak alle total	2,31-**3,13-3,61**-4,89	9,65-**13,1-15,2**-20,6	6,97-**9,45-13,3**-18,0	2,64-**3,58-5,22**-7,08	45,9-**72,2-87,5**-137	17,4-**27,4-34,4**-54,1
Stieleiche	2,27-**3,09-3,66**-4,98	9,86-**13,4-16,1**-21,9	6,84-**9,30-13,9**-18,9	2,79-**3,80-5,65**-7,68	42,5-**69,4-86,5**-141	17,4-**28,3-35,1**-57,3
Traubeneiche	2,26-**3,16-3,58**-4,94	8,57-**12,0-13,0**-18,0	6,69-**9,34-12,2**-17,0	2,40-**3,35-4,33**-6,05	52,0-**78,1-94,4**-142	18,6-**28,0-33,6**-50,5
Bergahorn maple	2,70-**3,82-6,48**-9,18	11,6-**16,5-20,7**-29,3	14,8-**21,0-37,1**-52,6	4,44-**6,30-8,74**-12,4	71,7-**128-179**-319	21,5-**38,2-42,3**-75,2
Esche ash	2,57-**3,67-6,48**-9,23	9,70-**13,8-21,3**-30,3	15,3-**21,8-37,7**-53,7	5,38-**7,67-14,1**-20,1	72,0-**158-177**-388	25,3-**55,5-66,4**-145

Baumarten (3,3 bei Kiefer und Buche bis 4,4 bei Tanne). Lediglich Bergahorn und Esche stechen mit einem höheren Magnesiumbedarf von 6,3 bzw. 7,7 Atomäquivalenten pro 100 N hervor. Auch bei Calcium haben diese beiden Baumarten einen Bedarf, der mit mehr als 21 Atomen Ca pro 100 N weit über den der anderen Baumarten hinausgeht. Insgesamt gesehen ergibt sich für Calcium die größte Differenzierung zwischen den Baumarten mit Werten von 4,9 bis 8,6 für Kiefer, Lärche, Fichte und 9,3 bis 12,5 für Eiche, Tanne und Buche. Der Kaliumbedarf bewegt sich in einem Bereich von 11,6 bis 16,3 Atomäquivalenten pro 100 N. Einen relativ niedrigen Kaliumbedarf haben Buche, Traubeneiche und Kiefer, im mittleren Bereich (13,0 bis 14,6) liegen Lärche, Fichte, Stieleiche, Esche und Tanne, wogegen sich der Bergahorn mit dem höchsten Kaliumbedarf deutlich von den andern Baumarten abhebt.

Bei den Relationen zu Kalium zeigt wiederum Calcium die höchste Wertespanne auf, wobei die Reihenfolge der Baumarten mit Ausnahme von Eiche und Tanne derjenigen des Stickstoff-Verhältnisses entspricht. Die Baumarten Buche, Bergahorn und Esche benötigen sogar mehr Calcium als Kalium. Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Esche mit ihrem hohen Calciumbedarf bei der Relation zu Kalium deutlicher von den anderen Baumarten abhebt. Dies gilt auch für den Magnesiumbedarf, wo die Esche mit 55,5 Atomäquivalenten pro 100 K nahezu doppelt so viel Magnesium benötigt wie die anderen Baumarten (25,1 bei Fichte bis 30,0 bei Tanne). Lediglich der Bergahorn hat mit 38,3 Mg pro 100 K einen etwas höheren Magnesiumbedarf.

Der hohe Bedarf von Bergahorn und Esche an Calcium und Magnesium spiegelt sich, wie bereits erwähnt, in den Baumarten-Ökogrammen von ELLENBERG (1996) wider. Dementsprechend finden sich in Bayern auch keine Waldgesellschaften (WALENTOWSKI et al., 2006), in denen Bergahorn und Esche auf Standorten mit tiefgründig niedriger Basensättigung (Basenverlaufstyp 5 nach KÖLLING 1996) vorkommen. Auch der etwas höhere Basenanspruch der Tanne im Vergleich zur Fichte (ELLENBERG, 1996) sowie der Stieleiche im Vergleich zur Traubeneiche (AID 2007) lässt sich aus den Stickstoff-Relationen der *Abb. 3* ablesen.

KRAUSS und HEINSDORF (2005) setzen die Nährelementgehalte der Assimilationsorgane in der Versorgungsstufe „ausreichend bis optimal" den Nährstoffansprüchen der Baumarten gleich und leiten so aus den Gehalten Rangfolgen des Nährstoffanspruchs der Baumarten ab. Da die verschiedenen Baumarten, insbesondere Laubbäume versus Nadelbäume, sich in der Morphologie der Assimilationsorgane und damit im Anteil der nichtmineralischen Gerüstsubstanz unterscheiden (BECKER-DILLINGEN, 1939), sind die aus den Gesamtgehalten abgeleiteten Rangfolgen von diesem Einfluss überprägt. Durch den Bezug auf das mengenmäßig wichtigste Nährelement Stickstoff bzw. auf das Nährelement

Kalium spiegeln die in Abb.3 dargestellten Rangfolgen deutlich besser den physiologischen Nährelementbedarf der einzelnen Baumarten wider. Da, wie *Abb. 3* zeigt, die auf 100 N bzw. 100 K normierten molaren Elementrelationen sowohl für den Vergleich der Relationen untereinander als auch für den Vergleich der Baumarten zueinander sehr vorteilhaft sind, wird vorgeschlagen zukünftig bevorzugt diese Art der Darstellung für die Bewertung von Nährelementrelationen zu verwenden. Aus diesem Grund wurden die Werte der *Tab. 1* entsprechend umgerechnet und in *Tab. 3* zur Verfügung gestellt.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Bewertung des Ernährungszustandes werden neben den Blatt- und Nadelspiegelwerten auch Nährelementrelationen verwendet. Der vorliegende Beitrag leitet zum einen Nährelementrelationen aus den Ernährungsgrenzwerten für den Bereich normaler Ernährung ab, zum anderen werden die so hergeleiteten Relationen mit Literaturdaten verglichen, soweit diese in ausreichender Zahl verfügbar sind. Bei den Literaturdaten zeigt sich, dass diese in der Regel einen ziemlich großen Wertebereich aufspannen, was dazu führt, dass für den Bereich harmonischer Elementverhältnisse der niedrigste Literaturwert für die Obergrenze oftmals niedriger liegt als der höchste Wert für die Untergrenze. Die aus den Daten normaler Ernährung abgeleiteten Nährelementrelationen fügen sich gut in den von den Literaturwerten aufgespannten Wertebereich ein, wobei aufgrund des verwendeten Berechnungsschemas für alle Baumarten und alle Elementrelationen ein harmonischer und ein enger gefaßter optimaler Bereich angegeben werden kann.

Nimmt man die Obergrenze des Optimalbereichs der Elementrelationen als ein Maß für den Mindestanspruch einer Baumart an ein Nährelement, relativ zu N bzw. K, und berechnet einen molaren Quotienten, so lassen sich die Baumarten hinsichtlich ihres Nährelementanspruchs gut miteinander vergleichen. Es zeigt sich, dass die mitteleuropäischen Hauptbaumarten hinsichtlich ihres P-Anspruchs eng beieinander liegen, während bei Mg und besonders bei Ca der Anspruch von Esche und Bergahorn deutlich über dem der anderen Baumarten liegt. Da die auf 100 N bzw. 100 K normierten molaren Elementrelationen gegenüber den bisher verwendeten Relationen deutliche Vorteile bieten wird vorgeschlagen künftig verstärkt diese Art der Berechnung zu verwenden.

5. SUMMARY

Itle of the paper: *Nutrient ratios for the main tree species of central Europe derived from the range of normal nutrition in comparison to available literature data.*

For the assessment of the nutritional status of trees in addition to the foliar nutrient concentrations also nutrient ratios can be used. In this paper nutrient ratios were derived from the thresholds of the range of normal nutrition, and, as far as possible, compared with literature data. Literature data for harmonic element ratios show a fairly wide range of values, causing that the lowest literature value for the upper limit is often lower than the highest value for the lower limit (*Fig. 2*). Nutrient relations derived from the threshold data of normal nutrition fit well in the range spanned by literature values (*Fig. 2*). The used calculation scheme (*Fig. 1*) allows to specify for all species and all nutrient relations a harmonic range and a more close optimum range (*Tab. 1*).

Taking the upper limit of the optimum range of the element ratios as a measure of the minimum requirement of a tree for a nutrient element, relative to N or K, and calculating a molar ratio, tree species can be compared with respect to their nutrient demand (*Fig. 3*). It turns out, that the main tree species of central Europe are close together in terms of their P-demand, while for Mg and especially for Ca the demand of ash and sycamore is well above that of other tree species. Because the molar ratios on the basis of 100 N resp. 100 K have advantages as compared to the up to now calculated ratios they should be preferred as calculation and evaluation scheme (*Tab. 3*).

6. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Déduction des relations entre éléments nutritifs pour les espèces ligneuses principales d'Europe centrale étudiées dans la gamme de valeurs d'une alimentation normale, en comparaison avec les données disponibles de la littérature.*

Pour l'évaluation de l'état alimentaire, on utilise également, à côté des valeurs reflétées par les feuilles et d'aiguilles, les relations entre éléments nutritifs. La présente étude déduit les relations entre éléments nutritifs à partir de valeurs-limites alimentaires pour le cas d'une alimentation normale, et par ailleurs les relations ainsi obtenues sont comparées avec les données de la littérature pour autant que celles-ci soient accessibles en nombre suffisant. Au niveau des données de la littérature, il apparaît que celles-ci s'étendent en règle générale sur une gamme de valeurs assez large, ce qui conduit à ce que, dans le cas de relations harmonieuses entre les éléments, la plus petite valeur de la littérature pour la limite supérieure se retrouve souvent en-dessous de la plus haute valeur pour la limite inférieure. Les relations entre éléments nutritifs, déduites de données d'alimentation normale, s'insèrent bien dans les fourchettes larges des valeurs de la littérature, dans lesquelles, en raison du schéma de calcul utilisé pour toutes les espèces ligneuses et toutes les relations entre éléments, un secteur harmonieux et circonscrit étroitement de manière optimale peut être spécifié.

Si l'on prend la limite supérieure du domaine optimal des relations entre éléments comme une mesure pour la plus petite exigence d'une espèce ligneuse vis-à-vis d'un élément nutritif, relativement à N et respectivement K, et si l'on calcule un quotient molaire, les espèces ligneuses se laissent ainsi bien comparer entre elles en ce qui concerne leurs exigences en éléments nutritifs. Il apparaît que les espèces ligneuses principales en Europe centrale se situent très proches les unes des autres en ce qui concerne leurs exigences en P alors que pour le Mg et particulièrement pour le Ca l'exigence du frêne et de

l'érable sycomore se situe nettement au-dessus de celle des autres espèces ligneuses. Comme les relations entre éléments, normées molaires, sur 100 N jusqu'à 100 K, offrent des avantages clairs par rapport aux relations utilisées jusqu'ici, il est conseillé d'utiliser à l'avenir, de manière renforcée, ce type de calcul.

7. DANKSAGUNG

Ich danke Frau Dr. Ulrike Talkner (NWFVA) und Frau Dr. Sabine Braun (IAP Schönenbuch) für die Unterstützung bei der Datenaquisition, sowie den Gutachtern für die hilfreichen Kommentare zum Manuskript.

8. LITERATUR

(Die mit * versehenen Zitate lieferten Daten zur Zusammenstellung der Literaturwerte).

AID (2007): Standortsansprüche der wichtigsten Baumarten. 9. Aufl. AID Infodienst, Bonn.

Beaufils, E. R. (1973): Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Soil Sci. Bull. 1., University of Natal, Pietermaritzburg.

Becker-Dillingen, J. (1939): Die Ernährung des Waldes. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Berlin.

Bergmann, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena.

BMELF (1995): Interne Expertise „Preparation for the 3. Foliar Expert Panel". Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.

Braekke, F. H. und N. Salih (2002): Reliability of foliar analysis of Norway spruce stands in a nordic gradient. Silva Fennica **36(2)**: S. 489–504. *

Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., Ulmer Verlag

Fiedler, H. J. und H. Höhne (1984): Das NPK-Verhältnis in Kiefernnadeln als arteigene Erscheinung und Mittel zur Ernährungsdiagnose. Beitr. Forstwirtschaft **18**, S. 128–132.

Flückiger, W. und S. Braun (2003): Critical limits for nutrient concentrations and ratios for forest trees – a comment. in: Achermann, B., Bobbink, R. (Hrsg.) Empirical critical loads for nitrogen. Additional Documents – Working group presentations. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Bern, S. 273–280. *

Göttlein, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. Allg. Forst- u. J.-Ztg. **186**, S. 110–115.

Göttlein, A., R. Baier und K. H. Mellert (2011): Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus van den Burg's Literaturzusammenstellung. Allg. Forst- u. J.-Ztg., **182**, S. 173–186.

Hüttl, R. F. (1992): Die Blattanalyse als Diagnose und Monitoringinstrument in Waldökosystemen. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen **30**, S. 31–59. *

Kölling, C., M. Hoffmann und H. J. Gulder (1996): Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **159**, S. 69–77.

Krauss, H. H. und D. Heinsdorf (2005): Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch. ökol. **39**, S. 172–179.

Leibundgut, H. (1991): Unsere Waldbäume. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart.

Mellert, K. H. and A. Göttlein (2012): Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. Eur. J. Forest Res. **131**, S. 1461–1472.

Mitscherlich, G. (1975): Wald, Wachstum und Umwelt. 3. Band: Boden, Luft und Produktion. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.

Pohl, H. N., R. Vandré und M. Kaupenjohann (1999): Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) zur Interpretation des Ernährungsstatus von Waldbäumen. Forstw. Cbl. **118**, S. 287–293.

Riek, W., U. Talkner, I. Dammann, M. Kohler, K. J. Meiwes und A. Göttlein (2016): Kapitel 8: Waldernährung. *In:* Wellbrock, N., A. Bolte und H. Flessa (Hrsg.): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Thünen Report **43**, S. 245–291.

Stefan, K., A. Fürst, R. Hacker and U. Bartels (1997): Forest foliar condition in Europe. Results of large-scale foliar chemistry surveys. European Commission – United Nations/ Economic Commission for Europe, Brussels, Geneva, Vienna. *

Sumner, M. E. (1978): Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. Communications in Soil Science and Plant Analysis **9(4)**, S. 335–345.

van den Burg, J. (1985): Foliar analysis for determination of tree nutrient status – A compilation of literature data. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw „de Dorschkamp", Wageningen, Niederlande. *

van den Burg, J. (1990): Foliar analysis for determination of tree nutrient status – A compilation of literature data; 2. Literature 1985–1989. „de Dorschkamp" Institute for Forestry and Urban Ecology, Wageningen, Niederlande. *

Walentowski, H., J. Ewald, A. Fischer, C. Kölling und T. Türk (2006): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. 2. Aufl. Geobotanica Verlag, Freising.

Weber, G. und B. Bahr (2000): Eignung bayerischer Standorte für den Anbau von Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.). Forstw. Cbl. **119**, S. 263–275.

Herausgeber: Prof. Dr. Karl-Reinhard Volz, Freiburg i. Br. – Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Bad Orb

Gesamtherstellung: PPPP Norbert Wege e. K., Gladenbach – Printed in Germany

© J. D. Sauerländer's Verlag, Bad Orb, 2016