

Neue Ernährungskennwerte für forstliche Nebenbaumarten Mitteleuropas – Eine statistische Herleitung aus VAN DEN BURG's Literaturzusammenstellung

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

(Mit 1 Abbildungen und 17 Tabellen)

A. GÖTTLEIN^{*)} und R. ZEHLE

(Angenommen März 2017)

DOI-Nummer: 10.23765/afjz0002024

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Waldernährung; Blatt- und Nadelspiegelwerte; Nährlementverhältnisse; Schwarzerle; Sandbirke; Hainbuche; Walnuss; Schwarzkiefer; Silberpappel; Schwarzpappel; Zitterpappel; Vogelkirsche; Silberweide; Korbweide; Vogelbeere; Winterlinde; Sommerlinde; Feldulme.

Forest nutrition; critical leaf and needle concentrations; nutrient ratios; *Alnus glutinosa*; *Betula pendula*; *Carpinus betulus*; *Juglans regia*; *Pinus nigra*; *Populus alba*; *Populus nigra*; *Populus tremula*; *Prunus avium*; *Salix alba*; *Salix viminalis*; *Sorbus aucuparia*; *Tilia cordata*; *Tilia platyphyllos*; *Ulmus minor*.

1. EINLEITUNG

Blatt- und Nadelspiegelwerte werden seit mehr als hundert Jahren als ein Kriterium zur Beurteilung der Nährstoffansprüche von Baumarten verwendet (EBER-MAYER, 1883; RAMANN, 1883). Sie haben sich nachfolgend zu einer wesentlichen Grundlage für die Bewertung des standortsspezifischen Ernährungszustandes (WEHR-MANN, 1959, 1963), von Umwelteinflüssen (z. B. Diagnose der S-Belastung nach STMELF, 1987) sowie für die Ableitung von Nutzungs- und Düngungsempfehlungen (MAYER-KRAPOLL, 1960) entwickelt. Für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche gibt es in der Literatur sowohl eine Vielzahl von Einzelveröffentlichungen zu ernährungskundlichen Grenzwerten (VAN DEN BURG, 1985, 1990) als auch mehrere mehr oder weniger etablierte Systeme zur Einwertung von Nadel- bzw. Blattspiegelwerten (GÖTTLEIN, 2015). Für die genannten Hauptbaumarten wurden sowohl die vorhandenen Einzeldaten ausgewertet (GÖTTLEIN et al., 2011), als auch die etablierten Systeme mittels statistischer Auswertung bearbeitet (GÖTTLEIN, 2015) und aus beiden Auswertungen jeweils neue Ernährungsgrenzwerte abgeleitet. Somit lag nun nahe, die von VAN DEN BURG (1985, 1990) mit großem Aufwand zusammengetragenen Werte der Nebenbaumarten Mitteleuropas ebenfalls zu digitalisieren und neu auszuwerten.

Die Beurteilung der Ausgewogenheit der Ernährungssituation anhand von Nährstoffverhältnissen ist ein zusätzliches Instrument der Ernährungsdiagnose (FIEDLER und HÖHNE, 1984). Nährstoffverhältnisse werden nach FLÜCKIGER und BRAUN (2003) weniger durch Verdünnungseffekte und Alterungsprozesse beeinflusst als Nährstoffkonzentrationen. 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. Berechnet man die Nährelementverhältnisse als molare Relationen, bezogen auf 100 N bzw. 100 K, so ermöglicht dies sowohl Vergleiche zwischen den Baumarten als auch zwischen den Nährelementen (GÖTTLEIN, 2016).

2. MATERIAL UND METHODEN

Die Auswahl der auswertbaren Nebenbaumarten ergab sich aus einer Zählung der in den Tabellen von VAN DEN BURG (1985, 1990) verfügbaren Werte in der am häufigsten besetzten Spalte der Normalversorgung (Spalte 6) für die Nährelemente Stickstoff, Phosphor und Kalium. Forstlich relevante Nebenbaumarten wurden nur in die Auswertung aufgenommen, wenn für alle drei genannten Nährelemente jeweils mehr als 5 Datensätze zu Spalte 6 vorhanden waren. Für die sich aus dieser Vorgabe ergebenden 15 Baumarten wurden alle 2539 aufgelisteten Datensätze EDV-technisch erfasst. Dabei wurden die Spalten 1 bis 9 der VAN DEN BURG'schen handschriftlichen Datenaufzeichnung (Tab. 1) nach dem Schema, welches schon für die Hauptbaumarten verwendet wurde (GÖTTLEIN et al., 2011) digitalisiert. Da in den Spalten 5 bis 8 sowohl Spannweiten als auch Einzelwerte angegeben sind, wurde die Datenerfassung durch Eingabefelder sowohl für Klassengrenzen als auch für Klassenmittelwerte entsprechend angepasst.

Die in Spalte 3 gemachten Angaben zu Bestandestyp, Alter oder experimentellen Rahmenbedingungen sind zum einen nicht bei jedem Datensatz vorhanden und zum anderen eher rudimentär. Trotzdem wurde bei der EDV-Eingabe versucht die wesentlichen in Spalte 3 enthaltenen Informationen soweit möglich zu erfassen. Hierzu wurden die Variablen „Alter“ (0=keine Angabe, 1=alt, 2=jung) und „Versuchsbedingungen“ (0=keine Angabe, 1=Freiland, 2=Pflanzgarten, 3=Topfexperiment, 4=Nährlösungsversuch, 5=Sandkultur, 6=Plan-

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

Tab. 1

Aufbau der handschriftlichen Datenzusammenstellung von VAN DEN BURG (1985, 1990).
Structure of the handwritten dataset of VAN DEN BURG (1985, 1990).

Spalte column	Inhalt content
1	Baumart (tree species)
2	Nährelement (element)
3	Angaben zu Bestandestyp bzw. –alter (age or type of sampled plants)
4	Mangel (deficiency) 4a sichtbare Mangelercheinungen (observed visible deficiency) 4b Wachstumsdepression (growth reduction)
5	Mangel mit positiver Düngungswirkung (deficiency range, where trees react positively to fertilisation)
6	Normalversorgung mit mittlerem bis gutem Wachstum, schwache oder keine Reaktion auf Düngung (intermediate range, where growth is medium to good, and reaction to fertilization is only small or lacking)
7	Optimum (optimum)
8	Überversorgung, aber noch nicht toxisch (surplus, but not yet toxic)
9	Toxische Überversorgung (toxic range) 9a Wachstum wird gehemmt (growth depression) 9b sichtbare Vergiftungserscheinungen (visible toxicity symptoms)
10	Literaturstelle (reference)

tage) generiert. Die Einordnung in die Altersklasse musste in den meisten Fällen jedoch aufgrund von Analogieschlüssen erfolgen (z.B. Nährlösungsversuche können nur mit jungen Pflanzen durchgeführt werden). Bei der Vorstellung der Grenzwerte für die einzelnen Baumarten wird jeweils angegeben, wie viele Datensätze in die Auswertung eingegangen sind und wie sich diese auf die Altersgruppen verteilen. Dies soll dem Leser eine Einschätzung ermöglichen, wie gut die errechneten Grenzwerte zu den von ihm zu bewertenden Pflanzen passen. Wie die Auswertung für die Hauptbaumarten zeigte, gibt es durchaus Unterschiede in den Ernährungsgrenzwerten alter und junger Bäume (GÖTTLEIN et al., 2011). Eine derartige getrennte Datenauswertung ist aufgrund der deutlich geringeren Datengrundlage für die hier vorgestellten Nebenbaumarten jedoch nicht möglich.

Vor der weiteren Verarbeitung wurden die eingegebenen Daten einer eingehenden Plausibilitätsprüfung unterzogen, um eventuelle Eingabefehler oder die Berechnungen stark verzerrende Einzelwerte zu eliminieren. In einem ersten Schritt wurden pro Baumart, Nährelement und Ernährungsstufe (Spalten 4 bis 9 nach Tab. 1) Box-Plots erstellt. Nach TUKEY (1977) werden Werte deren Abstand von der Box mehr als die 1,5-fache Boxbreite beträgt als Ausreißer betrachtet. Diese wurden aus dem Datensatz entfernt, sofern sie sich auch außerhalb der Boxbreite der Nachbarklassen befanden (vgl. GÖTTLEIN et al. (2011)). Da dieses rein schematische Vorgehen bei geringer Klassenbesetzung nicht alle pro-

blematischen Einzelwerte zuverlässig erkennt, wurden in einem zweiten Durchgang pro Baumart und Nährelement alle verbliebenen Einzeldaten für die Ernährungsklassen graphisch aufgetragen, das sich daraus ergebende Gesamtbild nochmals gutachterlich beurteilt und auffällige Einzelwerte entfernt. Die Berechnung der ernährungskundlichen Grenzwerte wurde wie bei GÖTTLEIN et al. (2011) beschrieben durchgeführt. Dabei wurde, wie aus Abb. 1 ersichtlich, die sich aus der jeweiligen Datenlage ergebende Unsicherheit bei der Ableitung der in Tab. 2 bis 16 angegebenen Werte berücksichtigt. Dies erfolgte durch Zu- bzw. Abschlag des Standardfehlers vom jeweils errechneten Mittelwert an den Grenzen des Normalbereichs und für den Bereich des latenten Mangels. Der Standardfehler des Mittelwertes als statistische Kenngröße ist ein Maß dafür, wie weit der Mittelwert der Stichprobe vom wahren Mittelwert einer normal verteilten Grundgesamtheit entfernt sein kann (SACHS, 1997). Er wird um so größer, je kleiner die Stichprobe und je größere die Streuung deren Werte ist. Da der Normalbereich für die ernährungskundliche Einwertung von Blatt- und Nadelspiegelwerten die höchste praxisbezogene Relevanz hat, was sich auch darin ausdrückt, dass bei VAN DEN BURG für diesen Bereich die meisten Werte zu finden sind, werden die Grenzen dieses Bereichs jeweils um den Standardfehler erweitert (vgl. Abb. 1). Dies bedeutet, dass in den so errechneten Tabellen die Untergrenze des Normalbereichs tendenziell zu „vorsichtig“, die Obergrenze eher zu „großzügig“

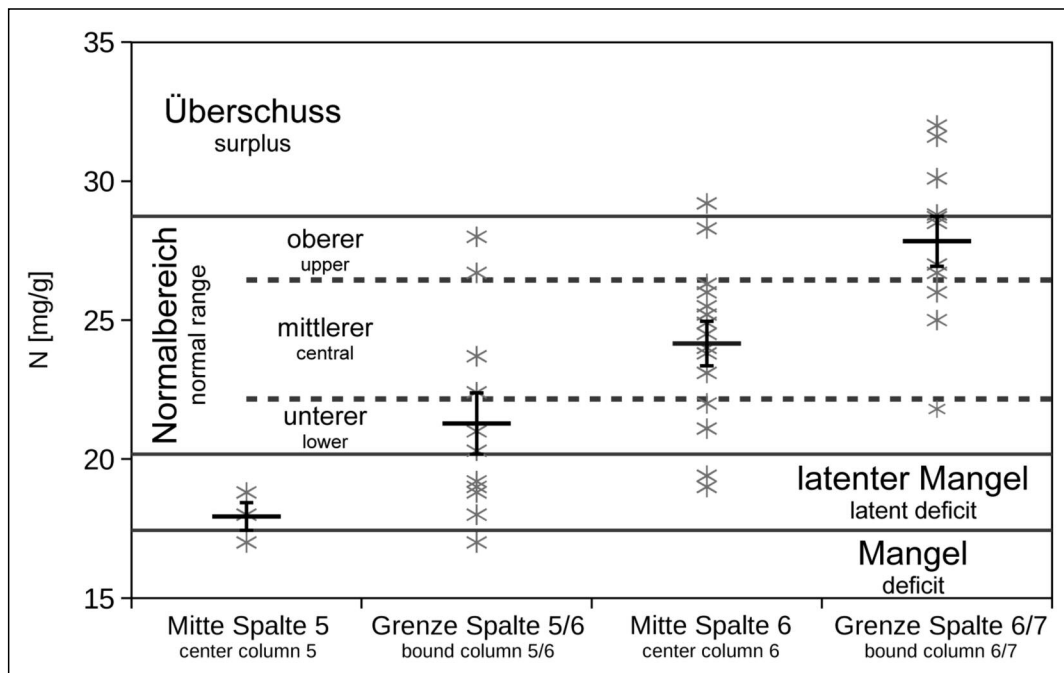


Abb. 1

Herleitung der ernährungskundlichen Grenzwerte am Beispiel der Zitterpappel (*Populus tremula*); x-Achse nach Tab. 1.

Derivation of nutritional thresholds for the example of aspen (*Populus tremula*); x-axis according to Tab. 1.

angegeben ist. Analoges gilt für die Untergrenze des latenten Mangels. Da der Normalbereich gut mit Werten belegt ist und dieser bereits früher von einem Expertengremium in drei Unterbereiche gegliedert wurde (BML, 1995), wurde diese Unterteilung auch für die Nebenbaumarten vorgenommen, was durch Halbierung der Wertespanne zwischen Unter- bzw. Obergrenze und des Klassenmittelwertes erfolgte. Lediglich für die Schwarzkiefer erlaubte es die Datenlage auch Grenzwerte für extremen Mangel und extremen Überschuss anzugeben, welche analog zu GÖTTLEIN et al. (2011) ermittelt wurden. In den Tabellen 2 bis 16 ist jeweils nur dann ein Grenzwert angegeben, wenn dieser auf mindestens 3 Datenwerten beruht. Ferner enthalten diese Tabellen eine Abschätzung der Qualität der angegebenen Werte die sich an der Größe des relativen Standardfehlers des Mittelwertes orientiert. Bei fett gedruckten Werten liegt dieser unter 10%, bei normal gedruckten Werten zwischen 10 und 25% und bei kursiv gedruckten Werten über 25%, jedoch unter 50%. Nach UNITED NATIONS (2005) gelten Werte unter 25% als verlässlich, Werte zwischen 25 und 50% sollten mit Vorsicht interpretiert werden und Werte größer 50% gelten als unzuverlässig. Bei den Hauptnährelementen können nach oben genanntem Kriterium 94% der angegebenen Werte als verlässlich eingestuft werden, bei den Mikronährelementen beträgt der Anteil verlässlicher Werte 70%.

Aus den Grenzwerten der normalen Ernährung lassen sich auch Nährelementrelationen ableiten. Nach dem Berechnungsschema von GÖTTLEIN (2016) wird der har-

monische Bereich durch kreuzweise Verrechnung der Grenzen des Bereichs normaler Ernährung ermittelt. Der Optimalbereich der Nährelementrelationen ergibt sich aus der Wertespanne bei Verrechnung sich entsprechender Grenzwerte.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Grenzwertberechnungen

3.1.1 Laubbäume

Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)

Die Ernährungsstufen der Schwarzerle (Tab. 2) sind mit insgesamt 295 Datenzeilen belegt, wovon sich 201 auf Jungpflanzen, 34 auf Altbestände und 60 auf Versuchsreihen ohne ableitbare Altersklasse beziehen. 42 Quellen führten ihre Untersuchungen an Topf-, Nährlösungs- und Sandkulturversuchen durch. Lediglich für das Makronährelement Schwefel sind nicht ausreichend Werte vorhanden um Grenzwerte angeben zu können. Als heimische stickstoff-fixierende Baumart (LYR et al., 1992) zeigt die Schwarzerle erwartungsgemäß auffallend hohe N-Grenzwerte im Mangelbereich und unteren Normalbereich. An der Grenze zum Überschuss gibt es jedoch Baumarten, deren Grenzwerte in vergleichbarer Größenordnung liegen, wie z.B. Birke, Walnuss oder Korbweide.

Birke (*Betula pendula*)

Für die Sandbirke (*Betula pendula*) konnten 297 Datensätze ausgewertet werden (Tab. 3), wovon 165 auf

Tab. 2

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Schwarzerle,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Alnus glutinosa*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Schwarzerle (<i>Alnus glutinosa</i>)						
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]	24,3	27,1	28,6	31,3	32,5	
P [mg/g]	1,2	1,6	1,8	2,2	2,5	
K [mg/g]		7,4	8,9	12,3	14,2	
Ca [mg/g]		9,2	10,8	14,7	16,9	
Mg [mg/g]	1,0	1,9	2,4	3,3	3,7	
Fe [µg/g]		106	155	218	231	
Mn [µg/g]		62	139	278	340	
Cu [µg/g]		9	12	17	21	
Zn [µg/g]		65	113	228	296	
B [µg/g]		38	52	80	95	

Tab. 3

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Birke,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler >25%.

Nutritional threshold values for *Betula pendula*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error >25%.

Birke (<i>Betula pendula</i>)						
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]	19,2	24,6	25,8	30,2	33,4	
P [mg/g]	1,3	1,9	2,4	3,5	4,2	
K [mg/g]	5,4	7,2	8,9	11,9	13,1	
Ca [mg/g]		4,4	6,2	9,5	11,1	
Mg [mg/g]	1,2	2,0	2,5	3,5	4,1	
S [mg/g]	1,4	1,9	2,0	2,6	3,1	
Fe [µg/g]		74	94	140	166	
Mn [µg/g]		<i>168</i>	<i>389</i>	783	954	
Cu [µg/g]		5	6	8	9	
Zn [µg/g]		147	360	773	973	
B [µg/g]	57	26	38	53	56	

Jungpflanzen, 10 auf Altbäume und 122 auf Untersuchungen ohne Altersangabe entfallen. Die Grenzwerte der Birke wurden in ausführlicherer Form bereits bei JOCHNER et al. (2013) veröffentlicht. Durch eine nochmalige strengere Qualitätskontrolle haben sich bei den Mikronährelementen einige Verschiebungen im Vergleich zur Erstveröffentlichung ergeben. Für die Moorbirke (*Betula pubescens*) ist die Datenlage für die Errechnung neuer Grenzwerte leider nicht ausreichend. Die Daten zu Birke wurden aus Gründen der Vollständigkeit in vorliegende Veröffentlichung aufgenommen, ferner sind die für diese Baumart berechneten Nährelementrelationen (Tab. 17) bislang noch nicht publiziert. BERGMANN (1993) setzt für die Makronährelemente P, K, Ca und Mg für Birke (nicht nach Arten unterschieden) die gleichen Grenzwerte für den Bereich normaler Ernährung an wie für Buche und Eiche. Zum einen unterscheiden sich die beiden letztgenannten Baumarten in ihren Nährelementgrenzwerten (GÖTTLEIN et al., 2011), zum anderen führt dies besonders bei Kalium zu einer deutlich anderen Einschätzung des Bereichs normaler Ernährung. Lediglich bei Stickstoff gibt BERGMANN (1993) mit 25–40 mg/g einen im Vergleich zu den anderen in dieser Quelle aufgelisteten Baumarten ebenfalls recht hohen Bereich der normalen Ernährung an, der sich an der Untergrenze sehr gut mit dem Wert aus

Tab. 3 deckt. Auch KRAUSS und HEINSDORF (2005) geben Ernährungsgrenzwerte für *Betula pendula* an. In dieser Auswertung sticht die Birke jedoch nicht mit deutlich höheren Stickstoffwerten im Normalbereich hervor. Insgesamt läßt sich feststellen, dass bei KRAUSS und HEINSDORF (2005) die Obergrenze des Bereichs normaler Ernährung für die dort aufgelisteten Hauptnährelemente durchwegs niedriger liegt als die in Tab. 3 angegebenen Werte. Dies gilt auch für die Untergrenze des Normalbereichs und die Grenze zwischen latentem und echtem Mangel für N, P, K und Mg. Für Birke stehen daher mehrere Bewertungssysteme nebeneinander, wobei an dieser Stelle nicht entschieden werden kann, welches davon das „richtigere“ ist. Mit Vorsicht zu verwenden ist auch der durch die Datengrundlage zwar gut abgesicherte, aber im Vergleich zum Normalbereich auffällig hohe Mangelgrenzwert für Bor.

Hainbuche (*Carpinus betulus*)

Von den 78 für Hainbuche vorhandenen Datensätzen stammen 12 aus Altbeständen, 39 von Jungpflanzen, davon 6 aus Topfversuchen, und 27 sind ohne Altersangabe. Die verfügbaren Daten reichen nicht für die Angabe von Grenzwerten für die Mikronährelemente und Schwefel. KRAUSS und HEINSDORF (2005) geben

Tab. 4

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Hainbuche,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Carpinus betulus*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	13,3	16,2	18,4	22,3	24
P [mg/g]		1,5	1,9	2,8	3,2
K [mg/g]		6,7	8,0	10,7	12,2
Ca [mg/g]		4,4	5,9	8,7	10,1
Mg [mg/g]	0,5	1,1	1,3	1,8	2,0

ebenfalls Grenzwerte für Hainbuche an, wobei deren Grenzwerte des Normalbereichs, mit Ausnahme der Untergrenze von Mg, stets innerhalb der Grenzen des Normalbereichs von Tab. 4 liegen. Die Intervallgrößen des Normalbereichs nach KRAUSS und HEINSDORF (2005) betragen für N, P und Mg ca. die Hälfte, für K und Ca gut zwei Drittel der neu erarbeiteten Werte.

Walnuss (*Juglans regia*)

Für Walnuss standen 55 Datenzeilen, 13 aus Altbeständen, 1 für Jungpflanzen und 41 undefinierten Alters zur Verfügung (Tab. 5). Mit Ausnahme von S und Fe konnten für alle Nährelemente Grenzwerte für den Bereich normaler Ernährung berechnet werden. Im Vergleich zu den anderen bearbeiteten Nebenbaumarten ergeben sich für Walnuss auffallend hohe Ca- und Mg-Grenzwerte. Die Grenze zum N-Überschuss liegt überraschenderweise sogar höher als die der Schwarzerle. Diese Ergebnisse belegen die Bedeutung von tiefgründig nährstoff- und basenreichen Böden (AAS, 2008) für den Anbau dieser Baumart.

Silberpappel (*Populus alba*), Schwarzpappel (*Populus nigra*) und Zitterpappel (*Populus tremula*)

Für die Silberpappel (Tab. 6) waren 95 Datenzeilen vorhanden, 4 für Altbäume, 55 für Jungbäume und 36 ohne Altersangabe. Aus Topf- und Sandkulturexperi-

Tab. 5

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Walnuss,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Juglans regia*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Walnuss (<i>Juglans regia</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	22,5	23	25,4	30,9	34
P [mg/g]		1,15	1,5	2,4	2,8
K [mg/g]	9,8	11,3	13,9	23,2	30
Ca [mg/g]		9,5	13,1	20,9	25
Mg [mg/g]		2,1	3,6	7,1	9,2
Mn [µg/g]		26	72	182	247
Cu [µg/g]		5	8	16	20
Zn [µg/g]		18	40	<i>102</i>	<i>144</i>
B [µg/g]		21	83	235	324

Tab. 6

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Silberpappel,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Populus alba*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Silberpappel (<i>Populus alba</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	15,8	19,6	22,1	26,8	29,0
P [mg/g]	1,3	1,9	2,1	2,5	2,7
K [mg/g]	6,0	7,6	9,2	12,8	14,7
Ca [mg/g]		7,1	9,1	14	17
Mg [mg/g]		2,5	3	3,6	3,8
Fe [µg/g]		95	149	<i>301</i>	<i>401</i>
Mn [µg/g]		29	59	138	185
Cu [µg/g]		6	9	14	18

Tab. 7

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Schwarzpappel, abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von VAN DEN BURG; ÜS = Überschussbereich;
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Populus nigra* as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Schwarzpappel (<i>Populus nigra</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	22,1	22,4	24,2	27,8	29,5
P [mg/g]	1,4	1,9	2,2	2,7	2,9
K [mg/g]		10,6	13,1	18	20,4
Ca [mg/g]		10,0	13,6	20,4	23,6
Mg [mg/g]		2,1	2,9	4,4	5,2
Fe [µg/g]		76	103	172	214
Mn [µg/g]		37	64	115	140

Tab. 8

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Zitterpappel, abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von VAN DEN BURG; ÜS = Überschussbereich;
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Populus tremula* as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Zitterpappel (<i>Populus tremula</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	17,4	20,2	22,2	26,4	28,7
P [mg/g]	1,1	1,6	1,9	2,4	2,6
K [mg/g]	4,7	8,9	11,1	15,2	17,1
Ca [mg/g]		9,1	11,4	16,2	18,7
Mg [mg/g]		1,9	2,3	3,4	3,9
Fe [µg/g]		72	137	339	478
Mn [µg/g]		107	299	753	1014
Cu [µg/g]		11	12	15	17

menten entstammen 15 Datenzeilen. Für die Schwarzpappel (Tab. 7) waren 88 Datensätze aufgelistet. Der Anteil an Altbeständen beträgt 10 Zeilen, an Jungpflanzen 48 Zeilen und an Pflanzen unbestimmten Alters 30 Zeilen. Gut ein Viertel der Quellen (24 Datenzeilen) beschreibt Versuchsergebnisse aus Topf-, Nährlösungs- und Sandkulturexperimenten. Mit 108 Datenzeilen ist die Datenlage für die Zitterpappel (Tab. 8) am besten. Jeweils knapp die Hälfte der Datenzeilen stammen von Jungpflanzen (52) bzw. haben keine Altersangabe (51). Nur 5 Datenzeilen stammen von älteren Bäumen.

Für N und P liegen die errechneten Grenzwerte des Normalbereichs der drei Pappelarten recht nahe beieinander. Tendenziell gilt diese Aussage auch für Mg. Deutliche Unterschiede ergeben sich jedoch für K und Ca. Für diese beiden Nährelemente lässt sich eine Reihung aufstellen, mit den niedrigsten Werten für die Silberpappel und den höchsten für die Schwarzpappel. Für die Pappel, nicht nach Arten differenziert, finden sich auch Vergleichswerte bei BERGMANN (1993). Für N, P und auch Mg liegen diese Werte in der Größenordnung von Tab. 6 bis 8. Für K wird die Untergrenze des Normalbereichs jedoch höher und für Ca deutlich niedriger angesetzt. KRAUSS und HEINSDORF (2005) geben Ernährungskennwerte für die Balsampappel (*Populus balsamifera*) an. Diese Werte liegen in ihren Spanneiten für den Normalbereich in den Größenordnungen von Tab. 6 bis 8, sodass Abweichungen durchaus auf die Unterschiede zwischen den Arten zurückzuführen sein können.

Innerhalb einer Gattung kann man bei einem Artenvergleich aus dem Bereich normaler Ernährung näherungsweise den relativen Anspruch an die Nährelementversorgung ableiten, da die Blattmorphologie und -physiologie innerhalb einer Gattung in der Regel geringeren Schwankungen unterworfen sind als zwischen Gattungen. Beim Vergleich der drei Pappelarten fallen diesbezüglich für Calcium und Kalium steigende Werte in der Reihenfolge Silberpappel, Zitterpappel, Schwarzpappel auf. Diese Reihenfolge deckt sich nur bedingt mit den für diese Arten ermittelten ökologischen Zeigerwerten der Reaktions- und Nährstoffzahl (LANDOLT, 1977), in denen der Zitterpappel (jeweils Zeigerwert 3) ein geringerer Anspruch an die Basen- und Nährstoffverfügbarkeit zugewiesen wird als den beiden anderen Pappelarten (jeweils Zeigerwert 4). Die im Vergleich zu den anderen Pappeln hohen Manganwerte der Zitterpappel sind mit Vorsicht zu verwenden, da die der Berechnung zu Grunde liegenden Daten hier jeweils eine deutlich zweipipfelige Häufigkeitsverteilung aufweisen.

Vogelkirsche (*Prunus avium*)

Zur Vogelkirsche weist VAN DEN BURG (1985, 1990) 72 Datensätze auf. Der Großteil stammt mit 53 Zeilen aus Versuchen ohne Altersbezug, nur 5 Datenzeilen beziehen sich auf ältere Bestände. Erwähnenswert ist der von allen hier bearbeiteten Arten höchste K-Wert an der Untergrenze des Bereichs normaler Ernährung. Dies

Tab. 9

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Vogelkirsche,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%,
Kursivdruck: Standardfehler >25%.

Nutritional threshold values for *Prunus avium*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error >25%.

Vogelkirsche (<i>Prunus avium</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]		20,4	23,0	28,1	30,5
P [mg/g]		1,4	1,7	2,4	2,9
K [mg/g]	8,9	12,8	15,1	21	24,5
Ca [mg/g]		6,7	11,4	21,3	26,5
Mg [mg/g]		2,4	3	4	4,3
Mn [µg/g]		25	<i>64</i>	<i>172</i>	<i>240</i>
Zn [µg/g]		16	24	<i>46</i>	<i>61</i>
B [µg/g]		20	29	<i>49</i>	<i>60</i>

Tab. 10

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Silberweide,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%,
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Salix alba*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Silberweide (<i>Salix alba</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	19,6	21,9	24,9	28,5	29,6
P [mg/g]	1,5	1,7	2,1	3,1	3,6
K [mg/g]	7,2	8,9	11,2	15,9	18,4
Ca [mg/g]		12,3	14,9	20,6	23,7
Mg [mg/g]		2,6	3,4	5	5,8
Fe [µg/g]		77	135	237	281
Mn [µg/g]		<i>30</i>	<i>77</i>	<i>127</i>	<i>130</i>
Cu [µg/g]		5	7	<i>14</i>	<i>19</i>
Zn [µg/g]		<i>74</i>	<i>125</i>	<i>239</i>	<i>303</i>

Tab. 11

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Korbweide,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%,
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Salix viminalis*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Korbweide (<i>Salix viminalis</i>)					
	Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range		
	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper
N [mg/g]	17,9	20,9	25,4	31,4	33,0
P [mg/g]		2,1	2,8	3,5	3,7
K [mg/g]		9,6	12,2	17,3	19,7
Ca [mg/g]		5,6	7,7	10,0	10,2
Mg [mg/g]		2,3	3,2	5,3	6,5

deckt sich mit den Tabellen von BERGMANN (1993), in denen die Kirsche (Süß- und Sauerkirsche) nach der Aprikose den höchsten K-Gehalt aller Obst- und Waldbaumarten an der Untergrenze des Normalbereichs aufweist.

Silberweide (*Salix alba*) und Korbweide (*Salix viminalis*)

Für die Silberweide (Tab. 10) sind 96 Datenzeilen in der Literaturzusammenstellung vorhanden, 58 von Jungpflanzen und 31 Zeilen ohne Altersangabe. Für die Korbweide (Tab. 11) finden sich 54 Datensätze, welche sich aus 23 ohne Altersangabe und 31 für Jungpflanzen zusammensetzen. Beim Vergleich der beiden Weidenarten fällt an der Untergrenze des Normalbereichs der deutlich höhere Ca-Wert der Silberweide auf. Nach ihren Zeigerwerten (LANDOLT, 1977) unterscheiden sich diese beiden Weidenarten zwar nicht in ihrem Basenanspruch (beide Reaktionszahl 4), jedoch in ihrem Nährstoffanspruch (Korbweide Nährstoffzahl 3, Silberweide Nährstoffzahl 4).

Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*)

Die Vogelbeere ist mit 65 Datenzeilen vertreten, wobei 7 Altbestände und 32 ohne Altersangabe vorhanden sind. Aus den 26 Zeilen mit der Angabe „jung“ stammt über die Hälfte (16) aus Topf-, Nährlösungs- und Sandkulturversuchen. Die Vogelbeere hat eine weite Standortsamplitude, von relativ nährstoffarmen bodensauren Standorten bis zu reinen Kalkstandorten (ERLBECK, 1998). Entsprechend zeigen sich keine erwähnenswerten Auffälligkeiten bei den Nährstoffgrenzwerten.

Tab. 12

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Vogelbeere,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Sorbus aucuparia*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Vogelbeere (<i>Sorbus aucuparia</i>)					
Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]	12,2	18,3	19,4	21,8	23,1
P [mg/g]		1,3	1,5	1,9	2,1
K [mg/g]		9,6	12,2	16,5	18,1
Ca [mg/g]		7,6	10,6	14,3	15,0
Mg [mg/g]		<i>1,7</i>	<i>2,6</i>	<i>4,2</i>	<i>4,8</i>

Tab. 14

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Sommerlinde,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Tilia platyphyllos*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Sommerlinde (<i>Tilia platyphyllos</i>)					
Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]		21,9	24,0	28,1	30,1
P [mg/g]		1,3	1,8	3,0	3,8
K [mg/g]		7,2	9,7	15,7	19,1
Ca [mg/g]		6,5	<i>12,6</i>	<i>29,1</i>	<i>39,4</i>
Mg [mg/g]		<i>1,3</i>	<i>2,4</i>	<i>5,4</i>	<i>7,3</i>

Winterlinde (*Tilia cordata*)
 und Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*)

Insgesamt 82 Datensätze sind bei VAN DEN BURG (1985, 1990) für die Winterlinde angegeben, 17 für Altbäume, 35 für junge Bäume und 30 ohne Altersangabe. Die Sommerlinde ist mit nur 39 Datenzeilen vertreten, wobei

Tab. 13

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Winterlinde,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Tilia cordata*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Winterlinde (<i>Tilia cordata</i>)					
Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]	19	21,1	23,6	28,3	30,6
P [mg/g]	<i>1,4</i>	1,6	2,1	2,9	3,2
K [mg/g]	8,1	9,2	11,0	13,7	14,6
Ca [mg/g]		6,9	10,7	17,4	20,4
Mg [mg/g]		1,3	1,7	2,7	3,2

sich die meisten Datensätze auf Altbäume bezogen. Insgesamt gab es hier nur 6 Datensätze für junge Pflanzen und 7 Datensätze für Bäumen undefinierten Alters.

Bei BERGMANN (1993) finden sich Vergleichswerte für die Gattung Linde. Während für N, P, K und Mg die Unterschiede an der Untergrenze der Normalernährung nicht gravierend sind, fallen die bei BERGMANN (1993) angegebenen Werte für Ca deutlich aus dem Rahmen. Hier wird der Normalbereich so niedrig angesetzt, dass dessen Obergrenze in den unteren Normalbereich der *Tabellen 13* und *14* fällt. Diese niedrig angesetzte Untergrenze für Ca (2,0 mg/g) wird auch von KRAUSS und HEINSDORF (2005), die Werte für die Winterlinde angeben, nicht bestätigt. Deren Werte liegen an der Untergrenze des Normalbereichs nahe an denen der *Tabelle 13*. Bei der Obergrenze des Normalbereichs liegen die Werte der *Tab. 13* jedoch für N und Ca deutlich höher.

Vergleicht man die Grenzwerte der beiden Lindenarten, so fällt auf, dass an der Untergrenze des Normalbereichs die Winterlinde höhere Grenzwerte für K aufweist, wogegen an der Obergrenze des Normalbereichs für die Sommerlinde bei K, Ca und Mg deutlich höhere Grenzwerte errechnet werden. Nach den ökologischen Zeigerwerten für Bodenreaktion und Nährstoffanspruch (LANDOLT, 1977) ist die Sommerlinde anspruchsvoller (Reaktionszahl 4, Nährstoffzahl 3) als die Winterlinde (Reaktionszahl 3, Nährstoffzahl 2). Dies legt den Schluss nahe, dass die Zeigerwerte eher den Bereich der ökologischen Potenz einer Baumart widerspiegeln und weniger deren minimalen Standortsanspruch. Diese Aussage ist jedoch mit der gebotenen Vorsicht zu treffen, da die Sommerlinde die einzige Baumart ist, bei der ein Großteil der errechneten Makronährelementwerte eine hohe Unsicherheit aufweisen (Kursivdruck in *Tab. 14*).

Tab. 15

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Feldulme,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von
 VAN DEN BURG; **ÜS = Überschussbereich;**
Fettdruck: Standardfehler <10%;
Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Ulmus minor*
as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
sp = range of surplus; bold type: standard error <10%;
normal type: standard error 10–25%;
italic type: standard error 25–50%.

Feldulme (<i>Ulmus minor</i>)					
Mangelbereich deficiency range		Normalbereich normal range			ÜS sp
Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	
N [mg/g]		22,0	23,1	27,5	30,7
P [mg/g]		2,1	2,6	3,8	4,6
K [mg/g]		12,5	13,9	16,6	18,1
Ca [mg/g]		17,4	19,3	25,3	29,3
Mg [mg/g]		2,5	3,1	4,3	4,8

Feldulme (*Ulmus minor*)

Mit insgesamt nur 34 Datensätzen ist die Auswertungsbasis bei der Feldulme am geringsten. Die Daten stammen nahezu ausschließlich von Freilandversuchen und beziehen sich zu gut der Hälfte (19 Datensätze) auf Jungpflanzen, für 11 Datensätze ist keine Alterszuordnung möglich. An der Untergrenze des Normalbereichs fallen die hohen Grenzwerte für K und Ca auf, was auch die hohen Standortsansprüche der Feldulme (Schütt et al., 2006) belegt. Der hier benötigte K-Gehalt liegt in der Größenordnung der K-bedürftigen Vogelkirsche, der zu fordernde Ca-Gehalt sogar noch über dem der Esche (GÖTTLEIN et al., 2011). Dementsprechend sticht die Ulme auch bei den Nährelementrelationen der Tab. 17 hervor.

3.1.2 Nadelbäume

Schwarzkiefer (*Pinus nigra*)

Als einzige auswertbare Nadel-Nebenbaumart ist die Schwarzkiefer mit vergleichsweise vielen Versuchsergebnissen vertreten (insgesamt 325 Zeilen). Hier beschreibt VAN DEN BURG (1985, 1990) in seiner Literatursammlung drei verschiedene Unterarten (*Pinus nigra* var. *maritima*, – var. *nigra* und – var. *pallasiana*), deren Werte sehr nahe beieinander liegen, weshalb die auf-

Tab. 16

Ernährungskundliche Grenzwerte für die Schwarzkiefer,
abgeleitet aus der Datenzusammenstellung von VAN DEN BURG;
Fettdruck: Standardfehler <10%; Normaldruck: Standardfehler 10–25%;
Kursivdruck: Standardfehler 25–50%.

Nutritional threshold values for *Pinus nigra* as derived from the dataset of VAN DEN BURG;
bold type: standard error <10%; normal type: standard error 10–25%; italic type: standard error 25–50%.

Schwarzkiefer (<i>Pinus nigra</i>)								
	Mangelbereich deficiency range			Normalbereich normal range			Überschussbereich surplus	
	extrem extreme	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	Luxus luxury	extrem extreme
N (mg/g)	< 9,1	< 10,3	10,3 - 11,3	11,3 - 12,2	12,2 - 14,9	14,9 - 16,6	16,6 - 24,4	> 24,4
P (mg/g)	< 1	< 1	1 - 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,6	1,6 - 1,7	1,7 - 4,7	> 4,7
K (mg/g)	< 3	< 3,2	3,2 - 4,9	4,9 - 5,7	5,7 - 7,2	7,2 - 7,9	7,9 - 14,5	> 14,5
Ca (mg/g)	< 0,6	< 0,8	0,8 - 1,5	1,5 - 2	2 - 2,7	2,7 - 2,9	2,9 - 4	> 4
Mg (mg/g)	< 0,3	< 0,35	0,35 - 0,7	0,7 - 0,9	0,9 - 1,1	1,1 - 1,2	1,2 - 1,5	> 1,5
Fe (µg/g)			< 45	45 - 81	81 - 154	154 - 191	> 191	
Mn (µg/g)			< 43	43 - 114	114 - 267	267 - 349	> 349	
Cu (µg/g)			< 5	5 - 6	6 - 8	8 - 9	> 9	
Zn (µg/g)			< 31	31 - 41	41 - 60	60 - 70	> 70	
B (µg/g)			< 10	10 - 13	13 - 18	18 - 21	> 21	

geführten Unterarten gemeinsam ausgewertet wurden. Nur 25 Datensätze hiervon beziehen sich auf ältere, 184 auf junge Bäume und 116 Datensätze sind ohne Altersangabe. 38 Datensätze stammen aus Topf-, Nährlösungs- und Sandkulturversuchen. Die gute Datenlage bei den Hauptnährelementen erlaubt es für die Schwarzkiefer, wie bei den Hauptbaumarten (GÖTTLEIN et al., 2011), auch Grenzwerte für den extremen Mangel anzugeben und den Bereich des Überschusses in Luxuskonsum und extremen Überschuss zu differenzieren (Tab. 16). Im Vergleich zu den Grenzwerten von KRAUSS und HEINSDORF (2005) fällt an der für die Ernährungsdiagnostik wichtigen Untergrenze des Normalbereichs auf, dass für N, P und Mg die Werte nahe beieinander liegen, während KRAUSS und HEINSDORF (2005) für K und Ca höhere Grenzwerte ermitteln. Auch VIEN (1988) bietet ernährungskundliche Kennwerte zur Schwarzkiefer. Auffällig sind hier die im Vergleich zu Tab. 16 stets höher ausfallenden Grenzwerte für den Normalbereich, mit Ausnahme der Obergrenzen für N und P.

3.2 Nährstoffverhältnisse

Für die Bewertung des Ernährungszustandes werden neben den Blatt- und Nadelspiegelwerten zusätzlich auch Nährelementrelationen herangezogen (FIEDLER und HÖHNE, 1984). Da die auf 100 N bzw. 100 K normierten molaren Elementrelationen gegenüber den bisher verwendeten Relationen deutliche Vorteile bieten (GÖTTLEIN, 2017) wurden diese in Tab. 17 auch für alle in Kapitel 3.1 aufgeführten Nebenbaumarten berechnet.

Einen vergleichsweise geringen Bedarf an P (bezogen auf die Untergrenze des Optimalbereichs des $P_{\text{per } 100N}$ -Verhältnisses) haben Schwarzerle, Walnuss und Sommerlinde, während Hainbuche, Silberpappel, Korbweide und Schwarzkiefer durch einen relativ hohen Bedarf auffallen. Auch bei Kalium fallen Schwarzerle und Sommerlinde mit relativ geringen Werten an der Untergrenze des Optimalbereichs auf. Den mit Abstand größten auf N bezogenen Kaliumbedarf hat Vogelkirsche, gefolgt von Feldulme, Vogelbeere und Walnuss. Ein auffällig

Tab. 17

**Bereiche ausgewogener Elementverhältnisse als molare Relation
bezogen auf 100N bzw. 100K gemäß GÖTTLEIN (2016);
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; according to GÖTTLEIN (2016); harmonic range normal print,
optimal range printed in bold; maximum 3 significant digits.**

	$P_{\text{per } 100N}$	$K_{\text{per } 100N}$	$Ca_{\text{per } 100N}$	$Mg_{\text{per } 100N}$	$Ca_{\text{per } 100K}$	$Mg_{\text{per } 100K}$
Schwarzerle <i>Alnus glutinosa</i>	2,23- 2,67-3,46 -4,15	8,13- 9,76-15,6 -18,7	9,84- 11,8-18,1 -21,8	3,41- 4,09-6,58 -7,90	63,1- 116-121 -223	21,8- 41,9-43,2 -81,0
Birke <i>Betula pendula</i>	2,83- 3,84-5,97 -8,11	9,03- 12,3-18,6 -25,2	4,88- 6,63-11,6 -15,8	3,46- 4,70-7,08 -9,62	26,3- 54,1-63,7 -129	18,7- 38,1-38,4 -78,5
Hainbuche <i>Carpinus betulus</i>	2,87- 4,24-6,10 -9,02	10,1- 14,9-18,3 -27,0	6,48- 9,56-12,7 -21,7	2,62- 3,87-4,86 -7,18	35,5- 64,4-80,5 -146	14,3- 26,0-26,6 -48,3
Walnuß <i>Juglans regia</i>	1,52- 2,25-3,78 -5,60	11,9- 17,6-31,6 -46,7	9,77- 14,4-25,7 -38,0	3,61- 5,34-15,5 -23,0	30,9- 81,3-92,4 -217	11,4- 30,4-49,2 -131
Silberpappel <i>Populus alba</i>	2,94- 4,22-4,35 -6,23	9,37- 13,8-18,1 -26,7	8,57- 12,6-20,6 -30,3	4,94- 7,29-7,82 -11,1	47,3- 91,5-113 -219	27,3- 41,6-52,8 -80,6
Schwarzpappel <i>Populus nigra</i>	2,85- 3,75-4,45 -5,86	12,8- 16,9-24,7 -32,6	11,8- 15,6-28,0 -36,8	4,08- 5,37-10,1 -13,4	47,7- 92,2-113 -218	16,5- 31,8-41,0 -79,2
Zitterpappel <i>Populus tremula</i>	2,51- 3,57-4,12 -5,86	11,0- 15,7-21,3 -30,3	11,0- 15,7-22,7 -32,3	3,76- 5,35-7,92 -11,3	51,8- 99,8-107 -206	17,6- 34,1-37,2 -71,8
Vogelkirsche <i>Prunus avium</i>	2,09- 3,13-4,32 -6,47	15,0- 22,5-28,8 -43,1	7,71- 11,5-30,4 -45,5	4,50- 6,74-8,21 -12,3	26,8- 51,3-106 -202	15,6- 28,5-31,9 -54,6
Silberweide <i>Salix alba</i>	2,65- 3,58-5,48 -7,39	10,7- 14,5-22,3 -30,1	14,5- 19,6-28,0 -37,8	5,05- 6,83-11,2 -15,2	65,1- 126-135 -260	22,7- 47,1-50,4 -104
Korbweide <i>Salix viminalis</i>	2,94- 4,64-5,11 -8,00	10,5- 16,5-21,4 -33,7	5,93- 9,35-11,1 -17,0	4,07- 6,42-11,4 -18,0	27,7- 50,3-61,7 -103	19,0- 38,9-53,3 -109
Vogelbeere <i>Sorbus aucuparia</i>	2,46- 3,09-4,07 -5,13	14,9- 18,8-28,2 -35,5	11,4- 14,4-22,9 -28,5	4,21- 5,30-12,1 -15,2	40,6- 76,5-84,7 -152	15,0- 28,2-42,9 -80,7
Winterlinde <i>Tilia cordata</i>	2,40- 3,47-4,73 -6,84	10,8- 15,6-17,3 -24,7	7,87- 11,4-23,3 -33,7	2,41- 3,48-6,05 -8,76	46,3- 73,2-137 -216	14,1- 22,4-35,5 -56,2
Sommerlinde <i>Tilia platyphyllos</i>	1,96- 2,70-5,76 -7,79	8,55- 11,7-22,7 -31,2	7,55- 10,4-45,8 -62,9	2,40- 3,30-13,9 -19,1	33,2- 88,3-202 -535	10,6- 28,1-61,3 -163
Feldulme <i>Ulmus minor</i>	3,13- 4,38-6,76 -9,45	14,6- 20,4-21,7 -29,4	19,8- 27,6-33,3 -46,5	4,64- 6,48-9,08 -12,7	94,0- 135-158 -227	22,0- 31,7-43,1 -62,1
Schwarzkiefer <i>Pinus nigra</i>	3,07- 4,52-4,76 -6,80	10,6- 15,6-17,4 -25,0	3,09- 4,54-6,29 -9,04	2,43- 3,57-4,18 -5,90	18,2- 29,0-36,3 -57,8	14,3- 22,9-24,1 -37,8

geringer Ca-Bedarf errechnet sich für die Schwarzkiefer, für welche die Obergrenze des harmonischen Bereichs sogar niedriger liegt als die entsprechende Untergrenze etlicher Baumarten. Auch Birke, Hainbuche und Korbweide kommen mit vergleichsweise niedrigen Ca-Werten zurecht. Einen recht hohen auf N bezogenen Ca-Bedarf hat die Feldulme, gefolgt von Silberweide, Schwarz- und Zitterpappel. An der Untergrenze der harmonischen und optimalen $\text{Ca}_{\text{per } 100\text{N}}$ -Relationen errechnen sich für die Feldulme sogar Werte die über denen der sehr Ca-bedürftigen Esche (GÖTTLEIN, 2016) liegen. Bei den $\text{Mg}_{\text{per } 100\text{N}}$ -Werten liegen die Baumarten viel enger beieinander als bei den entsprechenden Ca-Werten, wobei die Feldulme hier nicht mehr aus dem Kollektiv der anderen Baumarten heraussticht. Die niedrigsten Werte an der Untergrenze von harmonischem und Optimalbereich berechnen sich für die beiden Lindenarten und die Schwarzkiefer, wogegen sich relativ hohe Werte für Silberpappel, Silberweide und Vogelkirsche ergeben. Bezieht man Ca und Mg auf K als Indizelement, so fällt auch hier bei Ca wieder die Schwarzkiefer mit sehr niedrigen Werten auf.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Bestimmung der physiologischen Verfassung von Bäumen und zur Bewertung des Waldzustandes ist die Erhebung von Blatt- und Nadelspiegelwerten eine grundlegende Methode. Während für die Hauptbaumarten ältere und auch neuere Bewertungssysteme veröffentlicht sind, gibt es diesbezüglich für die Nebenbaumarten kaum brauchbare Bewertungsschemata. Aus diesem Grund wurden auf der Basis der umfangreichen Literaturzusammenstellung VAN DEN BURG's (1985, 1990), nach dem methodischen Ansatz der von GÖTTLEIN et al. (2011) für die Hauptbaumarten angewandt wurde, auch für Nebenbaumarten Bewertungstabellen abgeleitet. Die Datenlage ermöglichte dies für insgesamt 15 Baumarten, darunter 3 Pappelarten, 2 Weidenarten, die beiden heimischen Lindenarten, sowie für die Schwarzkiefer als einzige Nadelbaumart. Für alle Baumarten konnten die Grenzwerte des Bereichs normaler Ernährung für die Hauptnährelemente N, P, K, Ca und Mg hergeleitet werden. In vielen Fällen erlaubte es die Datenlage jedoch nicht, die Grenze vom latenten zum echten Mangel zu berechnen. Auch für die Mikronährelemente war die Datenlage deutlich geringer, sodass, wenn überhaupt, nur Grenzwerte für den Bereich normaler Ernährung hergeleitet werden konnten. Ferner wurden nach dem Berechnungsschema von GÖTTLEIN (2016) für alle 15 Baumarten auch die Nährelementrelationen für den Bereich harmonischer und optimaler Ernährung berechnet. Zumindest für die oben genannten Hauptnährelemente kann somit für den Bereich der normalen bzw. harmonischen Ernährung ein einigermaßen abgesichertes Bewertungssystem zur Verfügung gestellt werden.

5. SUMMARY

Title of the paper: *New nutritional threshold values for less common tree species of central Europe – A statistical derivation from VAN DEN BURG's literature compilation.*

The determination of nutritional values of leaves and needles is a basic method for the evaluation of physiological conditions of trees and for the assessment of forest health. While for the main tree species older and also more recent nutritional evaluation systems are published, there are hardly any useful assessment schemes for less common tree species. For this reason, on the basis of the extensive literature compilation made by VAN DEN BURG (1985, 1990) also for secondary tree species nutritional threshold values were calculated. This was done using the same methodological approach as developed for the main tree species by GÖTTLEIN et al. (2011). Data availability allowed to calculate threshold values for 15 tree species, including 3 poplar species, 2 species of willow trees, the two native lime trees, and for black pine as the only conifer. For all trees species, the thresholds for normal nutrition for the main nutrients N, P, K, Ca and Mg could be calculated. In many cases, however, data availability did not allow to calculate the threshold between latent and real deficiency. For micro-elements data availability was relatively small, so that, if at all, only thresholds for the range of normal nutrition could be derived. The thresholds given in *Tables 2 to 16* are classified according to the quality of the specified values, based on the relative standard error (rSE) of the mean value. Bold print is used for values with rSE lower than 10%, in the case of normal printed rSE is between 10 and 25%, and in italics, a rSE above 25% is indicated. According to UNITED NATIONS (2005), values with a rSE below 25% can be regarded as reliable, values with rSE between 25% and 50% should be interpreted with caution, and values having a rSE greater than 50% are considered as unreliable. Furthermore, according to the calculation scheme of GÖTTLEIN (2016) the nutrient element relations for the range of harmonious and optimal nutrition were calculated for all 15 tree species (Tab. 17). Thus also for some less common tree species, at least for the main nutrient elements, a generally secured evaluation system could be derived providing thresholds for the range of normal nutrition and ranges for harmonious nutrient relations.

6. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Nouveaux paramètres nutritionnels pour les espèces ligneuses forestières d'accompagnement en Europe centrale – Une dérivation statistique issue de la bibliographie de VAN DEN BURG.*

Pour la détermination des besoins physiologiques des arbres et pour l'évaluation de la santé de la forêt, un relevé de données foliaires est une méthode de base. Alors que d'anciens et de nouveaux systèmes d'évaluation sont publiés pour les espèces ligneuses principales, il n'existe pratiquement pas de schéma d'évaluation utilisable pour les espèces ligneuses d'accompagnement. Pour cette raison, sur la base d'une très large revue bibliographique de VAN DEN BURG (1985, 1990), d'après l'approche de GÖTTLEIN et al. (2011), des tables d'évaluation pour les espèces ligneuses d'accompagnement ont été construites. Les données ont permis de calculer ces valeurs pour 15 espèces ligneuses au total, dont 3 espèces de peupliers, 2 de saules, les deux espèces de

tilleuls indigènes, de même que pour le pin noir, unique conifère. Pour toutes les espèces, des valeurs limites ont pu être établies dans le domaine de l'alimentation normale pour les éléments principaux N, P, K, Ca et Mg. Dans beaucoup de cas les données n'ont pas permis de calculer la limite entre un manque latent et un véritable manque. Les données ont été également nettement plus réduites pour les oligo-éléments de sorte qu'on n'a pu calculer que les valeurs limites pour le domaine d'une alimentation normale. En outre, les relations entre les éléments nutritifs pour 15 espèces ligneuses ont été calculées pour le domaine de l'alimentation harmonieuse et optimale, à partir du schéma de calcul de Göttlein (2016). Au moins, pour les éléments essentiels cités ci-dessus, un système d'évaluation à peu près sûr peut être mis à disposition pour le domaine de l'alimentation normale, respectivement harmonieuse.

7. LITERATUR

- AAS, G. (1995): Die Walnuss (*Juglans regia*): Systematik, Verbreitung und Morphologie. LWF-Wissen **60**, S. 5–10.
- BERGMANN, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena. 835 S.
- BML (1995): Interne Expertise "Preparation for the 3. Foliar Expert Panel". Bundesministerium für Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- EBERMAYER, E. (1883): Untersuchungen und Studien über die Ansprüche der Waldbäume an die Nährstoffe des Bodens. Forstl. Naturw. Zeitschr. **2**, S. 220–244.
- ERLBECK, R. (1998): Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) – ein Porträt des Baum des Jahres 1997. LWF-Wissen **17**, S. 2–14.
- FIEDLER, H. J. und H. HÖHNE (1984): Das NPK-Verhältnis in Kiefernadeln als arteigene Erscheinung und Mittel zur Ernährungsdiagnose. Beitr. Forstwirtschaft **18**, S. 128–132.
- GÖTTLEIN, A. (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. Allg. Forst- u. J.-Ztg. **186**, S. 110–116.
- GÖTTLEIN, A. (2016): Ableitung von Nährelementrelationen für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten aus dem Wertebereich normaler Ernährung im Vergleich zu verfügbaren Literaturdaten. Allg. Forst- u. J.-Ztg. **187**, S. 237–246.
- 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.
- JOCHNER, S., J. HÖFLER, I. BECK, A. GÖTTLEIN, D. P. ANKERST, C. TRIDL-HOFFMANN und A. MENZEL (2013): Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? J. Exp. Bot. **64**, S. 2081–2092.
- KRAUSS, H. H. und D. HEINSDORF (2005): Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. Beitr. Forstwirtschaft u. Landschaftsökologie **39**, S. 172–179.
- LANDOLT, E. (1977): Ökologische Zeigerwerte der Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Heft **64**, Stiftung Rübel, Zürich.
- LYR, H., H. J. FIEDLER und W. TRANQUILLINI (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- MARSCHNER, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2. Aufl., Academic Press, London.
- MAYER-KRAPOLL, H. (1960): Die Düngung im Walde. Schriften der Land- und Forstwirtschaftlichen Abteilung der Thomasphosphatfabriken. Düsseldorf.
- RAMANN, E. (1883): Untersuchungen über den Mineralstoffbedarf der Waldbäume und über die Ursachen seiner Verschiedenheit. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **15**, S. 1–17.
- SACHS, L. (1997): Angewandte Statistik. 8. Aufl., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- SCHÜTT, P., H. WEISGERBER, H. J. SCHUCK, U. M. LANG, B. STIMM und A. ROLOFF (2006): Enzyklopädie der Laubbäume. Sonderausgabe, Nikol Verlagsgesellschaft, Hamburg.
- STMELF (1987): Grundsätze für die Düngung im Wald. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- TUKEY, J.W. (1977): Exploratory data analysis. Adison Wesley, ISBN 0-201-07616-0.
- UNITED NATIONS (2005): Guide to producing statistics on time use: Measuring paid and unpaid work. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, New York. ISBN 92-1-161471-6.
- 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 land-schapsbouw „de Dorschkamp“, Wageningen, Niederlande.
- VAN DEN BURG, J. (1990): Foliar analysis for determination of tree nutrient status – compilation of literature data; 2. Literature 1985–1989. „de Dorschkamp“ Institute for Forestry and Urban Ecology, Wageningen, Niederlande.
- VIEN, N.V. (1988): Beitrag zur Ernährungsphysiologie und Ernährung der Schwarzkiefer. Dissertation TU Dresden.
- WEHRMANN, J. (1959): Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. Forstw. Centralbl. **78**, S. 77–97.
- WEHRMANN, J. (1963): Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. Landw. Forsch. **160**, S. 130–145.