

# Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche

Aus der Sektion Waldernährung des Deutschen Verbandes der Forstlichen Forschungs- und Versuchsanstalten (DVFFA) unter Federführung des Fachgebiets Waldernährung und Wasserhaushalt, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising

(Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen)

A. GÖTTLEIN<sup>\*)</sup>

(Angenommen Mai 2015)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Waldernährung; Ernährungsstufen; Blatt- und Nadelspiegelwerte; Wald-Kiefer; Fichte; Rotbuche; Eiche.

Forest nutrition; nutrient levels; critical leaf and needle concentrations; Scots pine; Norway spruce; European beech; oak.

## 1. EINLEITUNG

Die Bewertung des Ernährungszustandes von Bäumen anhand von Nadel- und Blattspiegelwerten ist eine gängige Praxis zur Diagnose von Nährelementmängeln und der Düngebedürftigkeit von Waldbeständen. Neben der Tatsache, dass die Nährelementgehalte der Assimilationsorgane von Jahr zu Jahr zum Teil nicht unerheblichen Schwankungen unterliegen, besonders nach klimatisch außergewöhnlichen Jahren (vgl. z.B. GÖTTLEIN et al., 2009), und damit eine zuverlässige Diagnose eigentlich erst nach mehrjähriger Beprobung möglich ist, spielt die Auswahl des Klassifikationssystems eine entscheidende Rolle bei der Bewertung von Nadel- und Blattspiegelwerten. In der Literatur finden sich mehrere Klassifikationssysteme, je nach Baumart in unterschiedlicher Anzahl, welche sich in den vorgeschlagenen Grenzwerten leider oft deutlich unterscheiden. Dies geht in einzelnen Fällen so weit, dass sich die vorgeschlagenen Wertebereiche der normalen Ernährung nicht überschneiden (MELLERT und GÖTTLEIN, 2012). Dies führt zu einer deutlich unterschiedlichen Bewertung des gleichen Messwertes, je nachdem welches Klassifikationssystem verwendet wird. Diese Situation ist für die forstliche Praxis äußerst unbefriedigend. Da es mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist herauszufinden, welches Bewertungssystem das „richtige“ ist, bzw. die „wahren“ Grenzwerte herzuleiten, bietet sich eine statistische Herangehensweise an. Unter der Prämisse, dass jedes Bewertungssystem auf wissenschaftlicher Grundlage erarbeitet wurde, ergibt sich bei der gemeinsamen Betrachtung aller Systeme für jeden ernährungskundlichen Grenzwert ein Wertebereich, der den „wahren“ Grenzwert beinhalten sollte. Die Herausarbeitung der wahrscheinlichsten Grenzwerte bzw. Grenzwertbereiche

für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten ist Gegenstand des vorliegenden Beitrages.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

Für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche wurden alle in der Literatur verfügbaren ernährungskundlichen Bewertungssysteme, welche in der Praxis auch eine gewisse Anwendung finden, datentechnisch erfasst (vgl. Tab. 3). Es wurde, soweit jeweils verfügbar, für jede Baumart pro Nährelement die obere und untere Grenze des Bereichs normaler Ernährung sowie der Grenzwert unterhalb dessen sichtbare Mangelsymptome auftreten in den Datensatz übernommen. Der Bereich zwischen Symptommengrenze und Untergrenze

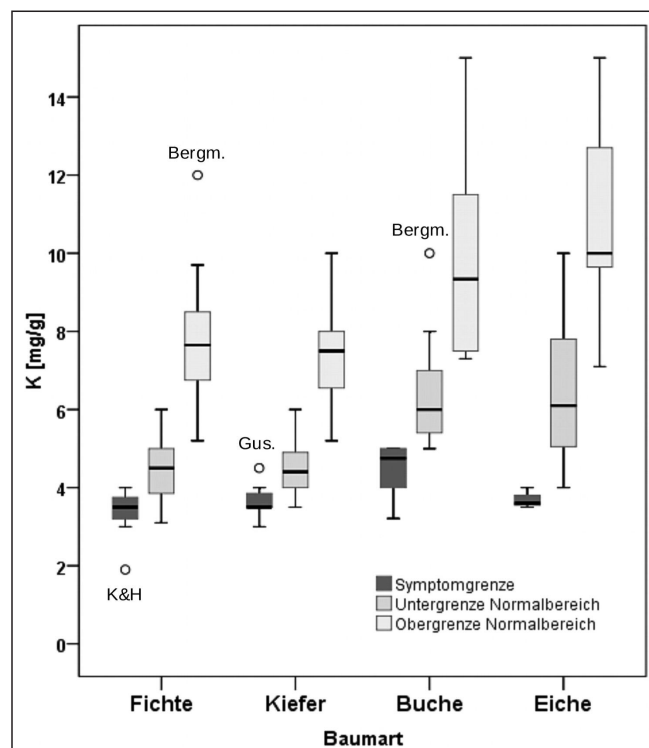


Abb. 1

Boxplot der Kalium-Grenzwerte mit Kennzeichnung der Ausreißer (Bergm.: BERGMANN (1993), Gus.: GUSSONE (1964), K&H: KRAUB und HEINSDORF (2005)) zur Veranschaulichung der Datenbasis.

Boxplot of the threshold values for potassium with identification of outliers.

<sup>\*)</sup> Korrespondierender Autor: Prof. A. GÖTTLEIN, Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, TU München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising, Tel. 08161-714749. E-Mail: [goettlein@forst.tu-muenchen.de](mailto:goettlein@forst.tu-muenchen.de)

Normalbereich repräsentiert dabei den Bereich des latenten Mangels. Dabei gab es einige Besonderheiten: Im Klassifikationssystem von BONNEAU (1995) werden jeweils für Fichte und Kiefer sowie für Buche und Eiche die gleichen Grenzwerte angegeben. Ferner wird bei Eiche, mit Ausnahme von GÖTTLEIN et al. (2011), nicht zwischen Stiel- und Traubeneiche unterschieden.

Da die nach Baumart und Element gruppierten Daten sowohl ausreißerbehaftet als auch oft nicht oder nur annähernd normalverteilt sind, wurde der klassische Mittelwert bewusst nicht verwendet. Vielmehr wurden für die Beschreibung der Daten die Kennwerte einer Boxplot-Darstellung verwendet, nämlich das 25%-Perzentil, der Median und das 75%-Perzentil (als Beispiel sind in Abb. 1 die Grenzwerte für Kalium dargestellt). Im Bereich zwischen diesen beiden Perzentilen liegen 50% aller Daten (Interquartilabstand), der Median beschreibt als Zentralwert (=50%-Perzentil) den mittleren Wert einer ausreißerbehafteten Verteilung deutlich robuster als der klassische Mittelwert (SACHS, 1997). Als Ausreißer werden Werte gekennzeichnet, welche mehr als den 1,5-fachen Interquartilabstand vom oberen bzw. unteren Ende des Interquartilbereichs entfernt liegen. Im Falle der Kaliumgrenzwerte in Abb. 1 sind dies bei Fichte die Systeme von KRAUB und HEINSDORF (2005)

bzw. BERGMANN (1993), sowie bei Kiefer GUSSONE (1964) und bei Buche BERGMANN (1993).

### 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für die Hauptnährelemente dargestellt. Dabei zeigt sich, dass sich die 25- bis 75%-Perzentilbereiche von Symptomgrenze, Untergrenze und Obergrenze des Normalbereichs in der Regel nicht überlappen. Lediglich in 3 Fällen liegt das 75%-Perzentil der Symptomgrenze über dem 25%-Perzentil der Untergrenze des Normalbereichs, und zwar für Schwefel bei Fichte und Kiefer, sowie für Calcium bei Eiche. Die Wertebereiche weichen teilweise deutlich von der Normalverteilung ab, was daran zu ersehen ist, dass sich der Median nicht in der Mitte zwischen dem 25- und 75%-Perzentil befindet, sondern näher an einer dieser Grenzen liegt (vgl. Abb. 1). Im Extremfall zeigen Median und Perzentilgrenze sogar den gleichen Wert, was in Tab. 1 mehrmals der Fall ist. Die Spannweiten des 25- bis 75%-Perzentilbereichs sind, wie am Beispiel Kalium zu sehen (Abb. 1), für die Symptomgrenze mit wenigen Ausnahmen kleiner als für die Grenzen des Normalbereichs. Dies ist darin begründet, dass Mangelsymptome klarer zu bestimmen sind als die Grenzen der „normalen“ Ernährung.

Tab. 1

**Median sowie 25 bis 75%-Perzentilbereich der Grenzwerte für die Hauptnährelemente der Baumarten Fichte (*Picea abies*), Kiefer (*Pinus sylvestris*), Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus robur* + *Quercus petraea*); SG = Symptomgrenze, UG, OG = untere und obere Grenze des Normalbereichs; alle angegebenen Werte auf fünf Zehntel gerundet; n = Anzahl der jeweils eingegangenen Literaturstellen.**

**Median and 25 to 75% percentile of threshold values for the macro nutrients of the tree species Norway spruce (*Picea abies*), Scots Pine (*Pinus sylvestris*), European beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* + *Quercus petraea*); SG = threshold value for deficiency symptoms, UG, OG = lower and upper threshold for the range of normal nutrition; all given values rounded to five tenths; n = number of respective literature values.**

[mg/g]	N			P			K			Ca			Mg			S		
	SG	Normalbereich normal range UG OG		SG	Normalbereich normal range UG OG		SG	Normalbereich normal range UG OG		SG	Normalbereich normal range UG OG		SG	Normalbereich normal range UG OG		SG	Normalbereich normal range UG OG	
<b>Fichte spruce</b>																		
75%Perc	12,50	15,00	18,00	1,13	1,40	2,05	3,65	5,00	8,25	1,25	3,25	7,65	0,65	1,00	1,50	1,00	1,20	1,85
<b>Median</b>	<b>11,70</b>	<b>13,10</b>	<b>17,00</b>	<b>1,05</b>	<b>1,30</b>	<b>2,00</b>	<b>3,50</b>	<b>4,50</b>	<b>7,65</b>	<b>1,00</b>	<b>2,00</b>	<b>5,30</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>1,40</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,60</b>
25%Perc	11,00	13,00	15,15	1,00	1,20	1,80	3,25	3,85	6,90	1,00	1,65	5,00	0,50	0,75	1,20	0,70	0,85	1,40
n	11	14	11	12	15	12	12	15	12	11	15	12	12	15	12	4	10	8
<b>Kiefer pine</b>																		
75%Perc	13,00	15,00	19,15	1,20	1,50	2,05	3,85	4,80	8,00	1,00	2,20	5,00	0,60	0,90	1,55	1,20	1,20	1,80
<b>Median</b>	<b>12,60</b>	<b>14,05</b>	<b>17,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,30</b>	<b>2,00</b>	<b>3,50</b>	<b>4,40</b>	<b>7,50</b>	<b>1,00</b>	<b>2,00</b>	<b>4,00</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>1,40</b>	<b>0,95</b>	<b>1,00</b>	<b>1,60</b>
25%Perc	12,05	13,85	17,00	1,00	1,20	1,80	3,50	4,00	6,55	0,80	1,55	3,80	0,45	0,65	1,30	0,65	1,00	1,50
n	10	14	11	11	14	11	11	14	11	11	14	11	10	14	11	4	9	7
<b>Buche beech</b>																		
75%Perc	17,85	20,00	25,00	1,00	1,35	1,80	5,00	7,00	10,75	4,00	5,80	10,30	0,80	1,05	1,90	1,40	1,70	2,40
<b>Median</b>	<b>16,65</b>	<b>19,00</b>	<b>25,00</b>	<b>0,95</b>	<b>1,20</b>	<b>1,70</b>	<b>4,75</b>	<b>6,00</b>	<b>9,35</b>	<b>4,00</b>	<b>5,00</b>	<b>8,55</b>	<b>0,70</b>	<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>1,35</b>	<b>1,50</b>	<b>2,25</b>
25%Perc	16,00	18,00	23,95	0,80	1,11	1,70	4,15	5,40	7,50	3,00	4,00	8,40	0,70	0,90	1,40	1,35	1,40	2,15
n	6	9	8	6	8	8	6	9	8	5	9	8	6	7	7	2	5	4
<b>Eiche oak</b>																		
75%Perc	18,00	20,10	28,85	0,95	1,45	2,40	3,80	7,70	12,70	3,35	5,10	10,00	0,95	1,30	2,95	–	1,35	3,30
<b>Median</b>	<b>16,70</b>	<b>20,00</b>	<b>26,00</b>	<b>0,90</b>	<b>1,35</b>	<b>2,00</b>	<b>3,60</b>	<b>6,10</b>	<b>10,00</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>8,00</b>	<b>0,90</b>	<b>1,20</b>	<b>2,60</b>	<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	<b>2,30</b>
25%Perc	15,00	18,20	25,30	0,85	1,10	1,90	3,55	5,10	9,65	2,50	3,00	8,00	0,80	1,05	2,15	–	1,05	2,15
n	5	8	7	3	8	7	3	8	7	3	8	7	4	7	6	1	4	3

Tab. 2

**Median sowie 25 bis 75%-Perzentilbereich der Grenzwerte für die Mikronährelemente der Baumarten Fichte (*Picea abies*), Kiefer (*Pinus sylvestris*), Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus robur* + *Quercus petraea*); SG = Symptommgrenze, UG, OG = untere und obere Grenze des Normalbereichs; n = Anzahl der jeweils eingegangenen Literaturstellen; es werden maximal drei gültige Stellen angegeben.**

**Median and 25 to 75% percentile of threshold values for the micro nutrients of the tree species Norway spruce (*Picea abies*), Scots Pine (*Pinus sylvestris*), European beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* + *Quercus petraea*); SG = threshold value for deficiency symptoms, UG, OG = lower and upper threshold for the range of normal nutrition, n = number of respective literature values; values given with maximum three valid digits.**

[µg/g]	Fe			Mn			Cu			Zn			B		
	SG	Normalbereich normal range		SG	Normalbereich normal range		SG	Normalbereich normal range		SG	Normalbereich normal range		SG	Normalbereich normal range	
		UG	OG		UG	OG		UG	OG		UG	OG		UG	OG
<b>Fichte spruce</b>															
75%Perc	30	50	350	20	164	3000	2	4	10	13	20	61	8	15	42
<b>Median</b>	<b>21</b>	<b>42</b>	<b>190</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>2000</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>30</b>
25%Perc	20	20	125	16	25	1140	2	2	7	10	15	51	6	11	30
n	9	9	8	11	11	10	9	11	9	8	11	9	3	6	5
<b>Kiefer pine</b>															
75%Perc	30	53	366	20	72	2000	2	4	10	12	28	70	8	15	45
<b>Median</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>200</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>800</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>70</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
25%Perc	23	20	168	8	20	620	2	2	7	9	15	60	5	9	30
n	6	8	7	9	11	9	8	10	9	6	10	9	6	7	6
<b>Buche beech</b>															
75%Perc	38	86	358	-	89	2490	-	6	13	-	30	50	-	26	63
<b>Median</b>	<b>35</b>	<b>60</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>2000</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>55</b>
25%Perc	33	58	175	-	60	2000	-	5	10	-	15	50	-	19	48
n	2	4	4	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	2	2
<b>Eiche oak</b>															
75%Perc	55	88	213	-	78	2130	-	7	20	-	22	71	-	25	81
<b>Median</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>200</b>	-	<b>66</b>	<b>1270</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	-	<b>15</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>70</b>
25%Perc	45	65	200	-	54	435	-	5	12	-	15	50	-	18	55
n	2	3	3	0	4	4	1	5	5	0	4	4	1	3	3

Obwohl bei den Mikronährelementen (Tab. 2) die Datenlage deutlich schlechter ist, gibt es auch hier nur drei Fälle, in denen sich die Perzentilbereiche überlappen, und zwar die Bereiche der Symptommgrenze und der Untergrenze des Normalbereichs für Eisen bei Fichte und Kiefer sowie für Zink bei Buche. Besonders gering sind die verfügbaren Daten für die beiden Laubbaumarten und hier besonders für die Symptommgrenze. So gibt es bei Buche und Eiche jeweils nur ein Bewertungssystem, welches einen Wert zur Symptommgrenze für Mangan, Kupfer, Zink und Bor liefert, bei Eiche ist für Mangan und Zink überhaupt kein Wert verfügbar. Für Kupfer fällt auf, dass die Werte der Symptommgrenze sehr nahe bzw. identisch den unteren Grenzwerten des Normalbereichs sind. Dies ist neben der geringen Datenverfügbarkeit auch der Tatsache geschuldet, dass für Kupfer das physiologische Optimum sehr eng ist, d.h. nur ein geringer Abstand zwischen Mangelgrenze und Toxizitätsschwelle besteht (MARSCHNER, 1995). Die mit wenigen Daten hinterlegten Werte der Tabelle 2 sind daher mit der gebotenen Zurückhaltung anzuwenden und zu interpretieren. Für die Mikronährelemente sind die Spannweiten des 25- bis 75%-Perzentilbereiches für die Symptommgrenze stets kleiner als für die Grenzen des Normalbereichs, wobei dies zusätzlich zu dem oben genannten Grund auch auf den vor allem bei Buche und

Eiche geringeren Datenumfang für die Symptommgrenze zurückzuführen ist.

Um die Qualität der in die Auswertung eingeflossenen Klassifikationssysteme vergleichend zu bewerten, wurde für die Makronährelemente für jedes System ermittelt, wie oft es Werte im Bereich des jeweiligen 25 bis 75%-Perzentils vorgibt (Tab. 3). Besonders oft außerhalb des zentralen Wertebereichs (mehr als 2/3 der Werte) liegen die Bewertungssysteme von BERGMANN (1993) für Buche und Eiche, BRAEKKE und SALIH (2002) sowie KRAUB und HEINSDORF (2005) für Fichte und Kiefer sowie BMELF (1995) für Eiche und GUSSONE (1964) für Kiefer. Schon in der Auswertung von MELLERT und GÖTTLEIN (2012) zeigte sich, dass die Systeme von KRAUSS und HEINSDORF (2005) sowie von BERGMANN (1993) in ihren Wertebereichen des öfteren Auffälligkeiten zeigen. Im Gegenzug werden Bewertungssysteme als positiv bewertet, wenn mehr als zwei Drittel ihrer vorgeschlagenen Grenzwerte innerhalb der jeweils zentralen Wertebereiche liegen. Dies trifft für Fichte und Kiefer für das auf der Datenbasis von VAN DEN BURG (1985, 1990) aufbauende System von GÖTTLEIN et al. (2011) zu. Positiv fällt in diesem Zusammenhang auf, dass die Übereinstimmung der Grenzwerte für Altbäume deutlich besser ist als die der Grenzwerte für Jungbäume. Dies deutet darauf hin, dass eine Unterscheidung zwischen jungen und adulten

Pflanzen durchaus Sinn macht, wobei diese auf Grund der Datenlage jedoch leider meist nicht möglich ist. Für Fichte zeigen auch die Klassifikationssysteme des BMELF (1995) und von CROISE et al. (1999) eine hohe Wertezahl innerhalb des zentralen Wertebereichs. Bei Kiefer trifft dies für das Klassifikationssystem des ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003) zu. Bei Buche liegen die Grenzwerte von HÜTTL (1992) und EVERS (unveröffentlicht) besonders häufig im zentralen Bereich. Auffällig ist, dass für diese Baumart das auf 281 Datensätzen von VAN DEN BURG (1985, 1990) aufbauende System von GÖTTLEIN et al. (2011) relativ schlecht abschneidet. Aus diesem Grund wurde der entsprechende Datensatz nochmals eingehend analysiert und eine Altersdifferenzierung für die Hauptnäherelemente durchgeführt (siehe Anhang). Für Schwefel und die Mikro-nährelemente war dies aufgrund der Datenlage jedoch nicht sinnvoll, weshalb hier weiterhin die Auswertung des entsprechenden Gesamtdatensatzes zu verwenden ist. Setzt man für Buche bei der Auswertung zu Tab. 3 die neu abgeleiteten Werte für Altbäume ein, so liegen

nun 9 von 15 Grenzwerten im zentralen Bereich. Es wird daher empfohlen, bei der VAN DEN BURG-Auswertung für die Hauptnäherelemente bei Buche nicht mehr die bei GÖTTLEIN et al. (2011) aufgeführte Gesamttabelle zu verwenden, sondern statt dessen die im Anhang zur Verfügung gestellte, nach Altersklassen aufgesplittete Tabelle. Bei Eiche liegen das System von CROISE et al. (1999) und die Werte für Stieleiche von GÖTTLEIN et al. (2011) sehr oft im zentralen Bereich. Letzteres findet seine Begründung darin, dass bei undifferenzierter Betrachtung der Baumart Eiche die Stieleiche zahlenmäßig überwiegt.

Das bisher bundesweit verwendete Klassifikationssystem des BMELF (1995), welches auch zur Auswertung der BZE\_1 verwendet wurde, zeigt außer bei Fichte doch eine erhebliche Anzahl von Werten, besonders bei Eiche, die außerhalb des 25%- bis 75%-Perzentils des jeweils elementspezifischen Gesamtkollektivs liegen. Es stellt sich daher die Frage, ob dieses Klassifikationssystem zukünftig weiter verwendet werden soll. Ähnliches gilt für das europäische Klassifikationssystem von STEFAN (1997).

Tab. 3

**Anteil der Werte innerhalb der in Tab. 1 jeweils angegebenen Bereiche für die verschiedenen Klassifikationssysteme; Werte <33,3% kursiv, Werte >66,7% fett.**  
**Proportion of values for different classification systems within the respective ranges given in Tab. 1; values <33,3% in italics, values >66,7% in bold.**

	Fichte <i>Picea abies</i>	Kiefer <i>Pinus sylvestris</i>	Buche <i>Fagus sylvatica</i>	Eiche <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus robur</i>
ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003)	8 von 12 (66,7%)	<b>9 von 12</b> <b>(75,0%)</b>		
BERGMANN (1993)	5 von 10 (50,0%)	5 von 10 (50,0%)	2 von 10 (20,0%)	2 von 10 (20,0%)
BMELF (1995)	<b>11 von 16</b> <b>(68,8%)</b>	11 von 18 (61,1%)	10 von 17 (58,8%)	5 von 17 (29,4%)
BONNEAU (1995)	8 von 17 (47,1%)	11 von 17 (64,7%)	4 von 9 (44,4%)	3 von 9 (33,3%)
BRAEKKE u. SALIH (2002)	3 von 12 (25,0%)	3 von 12 (25,0%)		
CROISE et al. (1999)	<b>11 von 12</b> <b>(91,7%)</b>	8 von 12 (66,7%)	6 von 10 (60,0%)	<b>10 von 11</b> <b>(90,9%)</b>
EVERS (unveröffentlicht)	10 von 18 (55,6%)	12 von 18 (66,7%)	<b>14 von 18</b> <b>(77,8%)</b>	
GÖTTLEIN et al. (2011) alte Bäume	<b>15 von 17</b> <b>(88,2%)</b>	<b>15 von 17</b> <b>(88,2%)</b>		
GÖTTLEIN et al. (2011) junge Bäume	8 von 17 (47,1%)	11 von 17 (67,7%)		
GÖTTLEIN et al. (2011) * Alter undifferenziert			5 von 15 (33,3%)	9 v. 14 (64,3%) <b>8 v. 11 (72,7%)</b>
GUSSONE (1964)	5 von 10 (50,0%)	2 von 8 (25,0%)		
HÜTTL (1992)	8 von 15 (53,3%)	8 von 15 (53,3%)	<b>12 von 15</b> <b>(80,0%)</b>	
KNABE (1984)	7 von 15 (46,7%)			
KRAUSS u. HEINSDORF (2005)	2 von 15 (13,3%)	3 von 15 (20,0%)	9 von 15 (60,0%)	8 von 15 (53,3%)
STEFAN et al. (1997)	6 von 12 (50,0%)	6 von 12 (50,0%)	7 von 12 (58,3%)	4 von 12 (33,3%)
STMELF (1987)	8 von 15 (53,3%)	6 von 15 (40,0%)		

\* Getrennte Angabe für beide Eichenarten.

Es wurde davon ausgegangen, dass alle in die Betrachtung eingeflossenen Klassifikationssysteme nach seriösen wissenschaftlichen Grundsätzen erarbeitet wurden. Die Gültigkeit der einzelnen Systeme wird daher nicht hinterfragt, obwohl einzelne Werte als klare Ausreißer detektiert wurden. Die Art der Herleitung der Grenzwerte ist bei den meisten Klassifikationssystemen leider nicht oder nur ansatzweise dokumentiert. Detaillierte Angaben machen KRAUß und HEINSDORF (2005), die aus der Häufigkeitsverteilung entsprechender Nährstoffanalysenwerte durch die Berechnung von Probit-Geraden fünf Ernährungsstufen ableiten. Dieser stark auf die Werteverteilung fokussierte Ansatz hat offensichtlich teilweise Probleme, den durch die ernährungskundliche Optimumskurve mit dem im niedrigen Konzentrationsbereich möglichen Verdünnungseffekt vorgegebenen Zusammenhang zwischen Nährelementspiegelwert und Baumreaktion zutreffend abzubilden. Auch GÖTTLEIN et al. (2011) legen den Weg der Herleitung ihrer Grenzwerte offen. Die als Datengrundlage verwendete Literaturzusammenstellung von VAN DEN BURG (1985, 1990) verknüpft die Nadel- bzw. Blattspiegelwerte mit der physiologischen Reaktion des Baumes, d.h. dem Auftreten von Mangelsymptomen und der Wachstumsreaktion. Diese Vorgehensweise führt im Vergleich der betrachteten Klassifizierungssysteme zu relativ guten Aussagen (vgl. Tab. 3). Dies bestätigt exemplarisch auch die Studie von MELLERT und GÖTTLEIN (2013), die für die Baumart Fichte den aus VAN DEN BURG abgeleiteten Grenzwert für das derzeit am stärksten limitierend wirkende Element Phosphor durch die Anwendung moderner Maschinenlernverfahren auf einen Teil des bundesweiten BZE-Datensatzes verifizieren konnten.

Vorliegende Auswertung versucht pro Baumart und Element den besten Wert bzw. Wertebereich herauszufiltern, wohl wissend, dass dieser Wert nicht der „richtige“ sein muss. Dies gilt vor allem für die Mikronährelemente der beiden Laubbaumarten, für die nur relativ wenig Einzelwerte zur Verfügung standen. Als Querschnittsauswertung über mehrere Klassifikationssysteme eignen sich die als Median abgeleiteten Grenzwerte vor allem für überregionale Auswertungen. Etliche berücksichtigte Klassifikationssysteme stützen sich auf eine vorwiegend regional erhobene Datenbasis, wie z.B. KRAUß und HEINSDORF (2005) auf das Gebiet der ehemaligen DDR, BRAEKKE und SALIH (2002) auf Skandinavien, CROISE et al. (1999) und BONNEAU (1988) auf Frankreich, KNABE (1984) auf Daten aus Nordrhein-Westfalen oder EVERS (unveröffentlicht) auf Daten aus Baden-Württemberg. Für räumlich begrenzte Studien können diese regional abgegrenzten Klassifikationssysteme durchaus einen passenderen Bewertungsrahmen liefern. Dies ist im Einzelfall vom Anwender abzuklären. Auch für detailliertere Aussagen, z.B. zur Grenze zwischen Luxuskonsum und Überernährung, sind einzelne Klassifikationssysteme heranzuziehen, wie z.B. KRAUß und HEINSDORF (2005) oder GÖTTLEIN et al. (2011), da auf Grund der hierzu stark limitierten Datengrundlage eine systemübergreifende Auswertung nicht sinnvoll ist. Auch sollten, wie die Auswertung in Tab. 3 zeigt, die neu hergeleiteten Grenzwerte nur für ältere Bäume Verwendung finden. Für die ernährungskundliche Bewertung von Sämlingen und Jungpflanzen bieten sich, soweit

vorhanden, die entsprechenden Tabellen aus GÖTTLEIN et al. (2011) an, oder einschlägige Spezialliteratur.

#### 4. FAZIT

Die gemeinsame Betrachtung verschiedener ernährungskundlicher Bewertungssysteme eröffnet die Möglichkeit, einen Bereich anzugeben, in dem der „wahre“ Grenzwert mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Durch die vorliegende Auswertung ist man nicht mehr auf die Anwendung eines einzigen Bewertungssystems mit dessen spezifischen Unzulänglichkeiten angewiesen, sondern der Median aller zur Verfügung stehenden Bewertungssysteme kann als jeweils „wahrscheinlichster“ Grenzwert verwendet werden. Leider ist eine derartige Vorgehensweise für alle anderen Baumarten aufgrund unzureichend vorhandener Klassifikationssysteme nicht möglich.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche wurden die gängigerweise verwendeten ernährungskundlichen Klassifikationssysteme zusammengeführt und elementspezifisch in Form von Perzentilen ausgewertet. Dabei wurde mit dem 25%- bis 75%-Perzentil sowohl ein Wertebereich und mit dem Median (50%-Perzentil) der Zentralwert für die Symptommarge, d.h. den Wert unterhalb dessen sichtbare Mangelsymptome zu erwarten sind, sowie für die obere und untere Grenze der normalen Ernährung ermittelt. Die in Tab. 1 und Tab. 2 aufgeführten Grenzwerte bzw. Grenzwertbereiche repräsentieren somit die jeweils wahrscheinlichsten Werte aus den berücksichtigten Systemen, ohne jedoch deren Gültigkeit belegen zu können. Die Anwendung dieser neu hergeleiteten Grenzwerte, z.B. bei der bevorstehenden Auswertung der Datenbasis der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE\_2), wird im Vergleich zu den bisher gebräuchlichen Systemen zeigen, ob sich hierdurch plausiblere Einwertungen der Nährelementversorgung unserer Hauptbaumarten ergeben.

#### 6. DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei folgenden Mitgliedern der DVFFA-Sektion Waldernährung für die Mithilfe bei der Datenaquisition bedanken: K. J. MEIWES, NW-FVA Göttingen; K. H. MELLERT, LWF Freising; J. SCHÄFFER, FVA Freiburg.

#### 7. SUMMARY

Title of the paper: *Ranges of threshold values for the nutritional assessment of the main tree species spruce, pine, oak and beech.*

For the four main central European tree species spruce, pine, beech and oak all commonly used nutritional classification systems were compiled and evaluated for each element by calculating percentiles. With this procedure a range (25% to 75% percentile) as well as the central value (50% percentile = median) were chosen to characterise the threshold values for deficiency symptoms, as well as the lower and upper threshold for the range of normal nutrition. The values given in Tab. 1 (macro elements) and Tab. 2 (micro elements) thus represent for each element and species the most probable

range respectively value derived from the different classification systems. However, the validity of these values cannot be proved. As a rule, with only few exceptions, the range of the 25 to 75 % percentile is more narrow for the threshold defining symptoms than for the border of normal nutrition. This is mainly due to the fact, that it is much more easy to detect symptoms than to evaluate "normal" nutrition. In *Tab. 3* the quality of the different classification systems is checked by determining the proportion of the values of each system falling into the ranges given in *Tab. 2*. The classifications systems of BMELF (1995) and CROISE et al. (1999) show a good accordance for spruce, ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003) for pine, EVERS (unpublished) and HÜTTL (1992) for beech and CROISE et al. (1999) for oak. With the exception of beech also the system of GÖTTLEIN et al. (2011), which is based on the large dataset of VAN DEN BURG (1985, 1990), provides a high number of values within the most probable range. Splitting the dataset of beech into values for young and adult trees (data given as appendix) clearly improves its quality. For spruce, pine and beech the values for adult trees match better to the overall evaluation than those for young trees, indicating, that the newly derived threshold values should only be applied for mature trees.

The practical application of the new values, derived by a meta-analysis, in comparison to the existing classification systems will indicate, whether they enable a more plausible evaluation of the nutritional status of our main tree species.

## 8. RÉSUMÉ

Titre de l'article: *Domaines des valeurs limites pour l'évaluation de l'alimentation des espèces ligneuses épicéa, pin sylvestre, chêne, hêtre.*

Pour les espèces ligneuses épicéa, pin sylvestre, hêtre et chêne, les systèmes de classification sur l'alimentation, utilisés couramment, ont été compilés et évalués pour chaque élément en calculant les pourcentages. Avec cette procédure il a été calculé, dans une fourchette de 25 à 75 pour cent, aussi bien la valeur centrale (50% = milieu) que des valeurs seuils, c'est-à-dire les valeurs au-dessous desquelles les symptômes de carence apparaissent, comme les limites supérieures et inférieures pour l'alimentation normale. Les valeurs limites mentionnées dans le *Tableau 1* et le *Tableau 2*, respectivement les domaines de valeurs limites, représentent par conséquent les valeurs probables des systèmes considérés respectivement, sans pouvoir pourtant prouver leur validité. L'application de ces nouvelles valeurs limites dérivées, par exemple avec l'exploitation prochaine de la base de données du deuxième relevé d'état du sol (BZE\_2), montrera, en comparaison avec les systèmes utilisés jusqu'ici, si les évaluations de l'approvisionnement en éléments nutritifs pour nos espèces ligneuses principales en découlent.

## 9. LITERATUR

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortsaufnahme. 6. Aufl., IHW-Verlag, Eching.  
BERGMANN, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena. 835 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, BMELF (1995): Interne Expertise „Preparation for the 3. Foliar Expert Panel“.  
BONNEAU, M. (1995): Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. ENGREF, Nancy. ISBN 2-85710-041-8.  
BRAEKKE, F. H. und N. SALIH (2002): Reliability of foliar analysis of Norway spruce stands in a nordic gradient. *Silva Fennica* **36** (2): 489–504.  
EVERS, (unveröffentlicht): Referenzwerte der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.  
GÖTTLEIN, A., H. RODENKIRCHEN, K. H. HÄBERLE und R. MATYSSEK (2009): Nutritional effects triggered by the extreme summer 2003 in the free air ozone fumigation experiment at the Kranzberger Forst. *Eur. J. For. Res.* **128**, 129–134.  
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**, 173–186.  
CROISE, L., C. CLUZEAU, H. ULRICH, M. LANIER und A. GOMEZ (1999): RENECOFOR – Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau de 1993 à 1997 et premières évaluations interdisciplinaires. Éditeur: Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, Fontainebleau. ISBN 2-84207-189-1.  
GUSSONE, H. A. (1964): Faustzahlen für die Düngung im Walde. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München.  
HÜTTL, R. F. (1992): Die Blattanalyse als Diagnose- und Monitoringinstrument in Waldökosystemen. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen* **30**, 31–59.  
KNABE, W. (1984): Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 847–848.  
KRAUB, H. H. und D. HEINSDORF (2005): Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. *Beitr. Forstwirtschaft u. Landschaftsökologie* **39**, 172–179.  
MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. 2. Aufl., Academic Press, London.  
MELLERT, K. H. und GÖTTLEIN, A. (2012): Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from VAN DEN BURG's literature compilation with established central European references. *Eur. J. For. Res.* **131**, 1461–1472.  
MELLERT, K. H. und GÖTTLEIN, A. (2013): Identifikation und Validierung von Schwellenwerten und limitierenden Ernährungsfaktoren der Fichte unter Anwendung neuer Ernährungskennwerte sowie moderner Regressionsverfahren. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* **184**, 197–203.  
SACHS, L. (1997): *Angewandte Statistik*. 8. Aufl., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.  
STEFAN, K., A. FÜRST, R. HACKER und 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.  
STMELF (1987): Grundsätze für die Düngung im Wald. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.  
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.

## 10. ANHANG

Für die Hauptelemente nach Altersklassen getrennte Auswertung der bei VAN DEN BURG (1985, 1990) verfügbaren Datensätze zu Buche als Supplement zu GÖTTLEIN, A., R. BAIER und K. H. MELLERT (2011):  
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 182, 173–186; Signifikanzniveaus an den Grenzen des Normalbereichs:  
10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt + fett.

Threshold values for the main nutrients of European beech derived from the dataset of VAN DEN BURG (1985, 1990), split for juvenile and mature trees, as a supplement to GÖTTLEIN, A., R. BAIER und K. H. MELLERT (2011):  
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 182, 173–186; significance levels at the borders of the normal range:  
10% = grey shaded, 5% = grey shaded + bold.

Buche jung ( <i>Fagus sylvatica</i> , juvenile)								
	Mangelbereich deficiency			Normalbereich normal range			Überschussbereich surplus	
	extrem extreme	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	Luxus luxury	extrem extreme
N [mg/g]	<16,7	<17,6	17,6 – 18,3	18,3 – 19,5	19,5 – 21,7	21,7 – 22,7	22,7 – 29,0	>29
P [mg/g]		<1,0	1,0 - 1,1	1,1 – 1,3	1,3 – 1,8	1,8 – 2,1	>2,1	
K [mg/g]		<2,5	2,5 – 5,3	5,3 – 6,3	6,3 – 8,2	8,2 – 9,1	>9,1	
Ca [mg/g]			<7,2	7,2 – 9,4	9,4 – 13,8	13,8 – 15,9	>15,9	
Mg [mg/g]			<1,3	<b>1,3 – 1,5</b>	1,5 – 2,1	2,1 – 2,4	>2,4	

Buche alt ( <i>Fagus sylvatica</i> , mature)								
	Mangelbereich deficiency			Normalbereich normal range			Überschussbereich surplus	
	extrem extreme	Mangel deficiency	latent latent	unterer lower	mittlerer central	oberer upper	Luxus luxury	extrem extreme
N [mg/g]		<18,2	18,2 – 19,1	19,1 – 20,8	20,8 – 23,9	23,9 – 25,2	25,2 – 27,0	>27,0
P [mg/g]		<1,1	1,1 - 1,3	1,3 – 1,4	1,4 – 1,5	1,5 – 1,6	1,6 – 2,0	>2,0
K [mg/g]	<4,6	<4,7	4,7 – 7,0	<b>7,0 – 7,7</b>	7,7 – 9,4	9,4 – 10,5	10,5 – 13,0	>13,0
Ca [mg/g]			<5,8	5,8 – 7,0	7,0 – 10,8	10,8 – 13,4	>13,4	
Mg [mg/g]	<0,7		<0,7	0,7 – 1,0	1,0 – 1,6	1,6 – 2,0	>2,0	

## Faustmann und der Einfluss von Steuern

(Mit 2 Abbildungen und 4 Tabellen)

FRANK HECHTNER<sup>1)</sup>, LUTZ KRUSCHWITZ<sup>1)</sup>, ANDREAS LÖFFLER<sup>1),\*</sup> und TORSTEN MÖLLMANN<sup>1)</sup>

(Angenommen Juni 2015)

### SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Faustmann-Modell; Einkommensteuer.*

*Gaustmann-calculus; personal income tax.*

<sup>1)</sup> FRANK HECHTNER, LUTZ KRUSCHWITZ und ANDREAS LÖFFLER sind Professoren an der Freien Universität Berlin, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Boltzmannstraße 20, D-14195 Berlin. TORSTEN MÖLLMANN ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Forstökonomie und Forsteinrichtung der Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 3, D-37077 Göttingen.

\*) Korrespondierender Autor: ANDREAS LÖFFLER.  
E-Mail: [AL@wacc.de](mailto:AL@wacc.de).

Die Autoren danken den Teilnehmern des 46. Forstökonomischen Kolloquiums in Dresden, den Teilnehmern des Festkolloquiums zum 75. Geburtstag von Professor KARL LOHMANN in Freiberg.

### 1. EINFÜHRUNG

Die Frage nach der optimalen Umtriebszeit ist ein klassisches forstwirtschaftliches Entscheidungsproblem. Da das Problem zweifellos eine langfristige Perspektive besitzt, sind vereinfachende Annahmen unvermeidlich. Bisher wurde das Thema nur selten unter Einbeziehung steuerlicher Aspekte diskutiert.

Wer Steuern in ökonomische Modelle einbauen will, muss eine Reihe weit reichender Entscheidungen treffen. Zunächst muss man sich auf einen bestimmten Staat festlegen, weil jedes Land sein eigenes Steuerrecht besitzt. Wir konzentrieren uns im Folgenden auf die gegenwärtigen Verhältnisse in Deutschland. Sodann muss man entscheiden, welche Steuerarten man bei der