

Abschlußbericht zum FE-Vertrag  
„Bewertungsrahmen für Nadel-/Blattspiegelwerte der BZE II“

Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in  
Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus van den Burg`s

Literaturzusammenstellung

(eingereicht als Manuskript bei AFJZ)

A. Göttlein, K. H. Mellert

Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt

Wissenschaftszentrum Weihenstephan

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 285354 Freising

Zusammenfassung

Blatt- und Nadelspiegelwerte sind seit Jahrzehnten eine wichtige Grundlage zur physiologischen und ökologischen Interpretation des Ernährungszustandes von Einzelbäumen und von Waldbeständen. Van den Burg (1985, 1990) enthält die größte Datensammlung zur Ernährung mitteleuropäischer Waldbaumarten (Abb. 2), gegliedert nach der physiologischen Interpretation in Mangel-, Normal und Überschussbereiche (Abb. 3). Auf Basis der von van den Burg handschriftlich erstellten, 700 Seiten umfassenden Literaturzusammenstellung wurde zunächst für die mitteleuropäischen Hauptbaumarten eine Datenbank mit 4066 Datensätzen erstellt. Nach einer Ausreißerbereinigung (Abb. 4) wurden aus dieser Ernährungsdatenbank mit Hilfe statistischer Verfahren neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten hergeleitet.

Hierbei wurde insbesondere das Ziel verfolgt, eine im Vergleich zum Waldbodenbericht (BMELF 1997) verbesserte Referenz für die BZE II zu schaffen. Die aus dem Datensatz von van den Burg (1985, 1990) abgeleiteten Grenzwerte wurden daher mit den bisher häufig in Deutschland verwendeten Kennwerten des Waldbodenbericht (BMELF 1997) abgeglichen. Insgesamt konnten damit bisherige für die BZE I vorhandenen Grundlagen (BMELF 1997) wesentlich erweitert und präzisiert werden. In den meisten Fällen wird der Normalbereich der Baumernährung durch die von van den Burg abgeleiteten Kennwerte enger gefasst als von BMELF (1999). In vielen Fällen liegt

demnach die Werte an der Mangelgrenze höher. Daraus folgt eine vorsichtiger Interpretation der Baumernährung als bisher. Für die Hauptbaumarten Waldkiefer, Fichte und Rotbuche konnten nach Jung- und Altbäumen differenzierte Ernährungsstufen abgeleitet werden (Tab. 1 bis 3). Es zeigt sich, dass die Blatt- und Nadelspiegelwerte von Jungbäumen bei den Hauptnährelementen häufig höher liegen als bei Altbäumen (z.B. Tab. 1, Teil 1 und 2). Für die beiden Eichenarten Stiel- und die Traubeneiche konnten differenzierte Kennwerte bestimmt werden, welche mit Standortspräferenzen beider Arten korrespondieren (Tab. 5 und 6). Für die Weißtanne (Tab. 6), die Europäische Lärche (Tab. 7), den Bergahorn (Tab. 8) und die Esche (Tab. 9) stehen nun ebenfalls Ernährungskennwerte zur Verfügung.

Abschließend wird in einem Anwendungsbeispiel (Abb. 6) zu den Kaliumspiegelwerten von Fichten- und Eichenbeständen auf Schottern der Lechterrassen gezeigt, dass die neuen Ernährungsstufen tatsächlich plausiblere Bewertungen erlauben. Insgesamt soll dieser Beitrag zu einer Vervollständigung und Prüfung von Ernährungsstufen für mitteleuropäische Waldbaumarten anregen.

## Einleitung

Die Bewertung des Ernährungszustandes von Bäumen anhand von Nadel- bzw. Blattspiegelwerten ist eine seit Jahrzehnten gängige und auch diagnostisch notwendige Praxis in Forstwirtschaft und Forstwissenschaft, z.B. zur Ableitung von Düngungsempfehlungen (z. B. Strebl 1958, Heinsdorf 1965, Fiedler et al 1978, StMELF 1987). Der Ernährungszustand stellt darüber hinaus eine integrierende Zielgröße bei der Beurteilung von Standortbedingungen und Umwelteinflüssen (z.B. Bodenversauerung, Stickstoffeutrophierung, Klimawandel) sowie von Bodenschutzmaßnahmen (Bodenschutzkalkung, Kompensationsdüngung, Umbau in standortgerechte Bestände) dar (z.B. Hüttl 1992, Riek & Wolff 1999, Mellert et al. 2004).

Die bisher verwendeten Kennwerte zur Baumernährung stützen sich nur auf wenige Quellen (für Fichte, Kiefer und Buche, Hüttl, 1992; für Eiche Heinsdorf 1993 und van den Burg 1985) Aus den im Folgenden aufgeführten Gründen weisen die derzeit angewandten Grenzwerttabellen jedoch noch erhebliche Unzulänglichkeiten auf, was beispielhaft am Element Kalium aufgezeigt werden soll. So werden für dieses Element im Deutschen Waldbodenbericht (BMELF 1997) für Fichte, Kiefer, Buche und Eiche großzügig gerundete Werte angegeben, die allesamt auf „Komma-Null“ oder „Komma-fünf“ enden und daher die natürlichen Ernährungsstufen wohl kaum exakt wiedergeben. Vergleicht man die im Waldbodenbericht angeführten Werte für ausreichende

Versorgung mit denen die bei Bergmann (1993) angegeben sind, so fällt auf, dass die Bergmann'schen Werte deutlich höher liegen und sich die angegebenen Wertebereiche bei Buche und Eiche nicht einmal überlappen. Ferner ist es wenig plausibel, dass in den Tabellen von Bergmann für die Laubbaumarten Buche, Eiche, Birke, Linde und Ahorn der Bereich ausreichender Kalium-Ernährung einheitlich mit 10 – 15 mg/g angegeben wird.

Auch die praktische Anwendung der im Waldbodenbericht angegebenen Grenzwerte stößt häufig an ihre Grenzen. So zeigen z.B. auf Schottern der Lechterrassen stockende Fichten und Eichenbestände nach den derzeit gültigen Grenzwerten bezüglich des Elements Kalium, eine auffallend unterschiedliche Ernährungssituation (mittlere K-Ernährung der Eiche, K-Mangel der Fichte), welche nicht ohne weiteres zu erklären ist (Abb. 1), da beide Baumarten auf derartigen Standorten infolge des Ca-K-Antagonismus zu K-Mangel neigen.

Auch die im Rahmen des Forest Foliar Co-ordinating Centre (FFCC 1995, 1999) auf europäischer Ebene erarbeiteten Ernährungsklassen sind hinsichtlich ihrer Präzision und des abgedeckten Ernährungsspektrums noch nicht zufriedenstellend. Bei der Zusammenstellung der Ernährungsklassen wurde auf eine wertende Bezeichnung der Klassen bewusst verzichtet (Stefan et al. 1997). Andererseits schränkt ein unklarer Bezug zur Physiologie die Aussagekraft von Ernährungsklassen ein (Flückiger & Braun 2003).

Eine Möglichkeit um zu verlässlicheren ernährungskundlichen Grenzwerten zu gelangen, stellt eine umfassende Sammlung und Auswertung der in den letzten Jahrzehnten publizierten Ernährungskennwerte dar. Den größten Aufwand hierbei verursacht die Akquisition, Sichtung und Klassifizierung ernährungskundlich relevanter Literaturstellen, eine Arbeit, die für die Jahre bis 1989 von dem Holländer van den Burg (1985, 1990) durchgeführt wurde. Herr van den Burg hat handschriftlich auf über 700 Seiten für praktisch alle mitteleuropäischen Baumarten die im oben genannten Zeitraum erschienene Literatur erfasst und dokumentiert. Eine umfassende und systematische Auswertung dieser einzigartigen Datenzusammenstellung wurde jedoch bislang nicht vorgenommen und ist Inhalt des vorliegenden Beitrages. Bei der statistischen Herleitung der Ernährungskennwerte wurde insbesondere das Ziel verfolgt, eine im Vergleich zum Waldbodenbericht (BMELF 1997) verbesserte Referenz für die BZE II zu schaffen. Die aus dem Datensatz von van den Burg (1985, 1990) abgeleiteten Grenzwerte werden daher mit den bisher häufig in Deutschland verwendeten Bewertungsschema des Waldbodenberichts (BMELF 1997) abgeglichen.

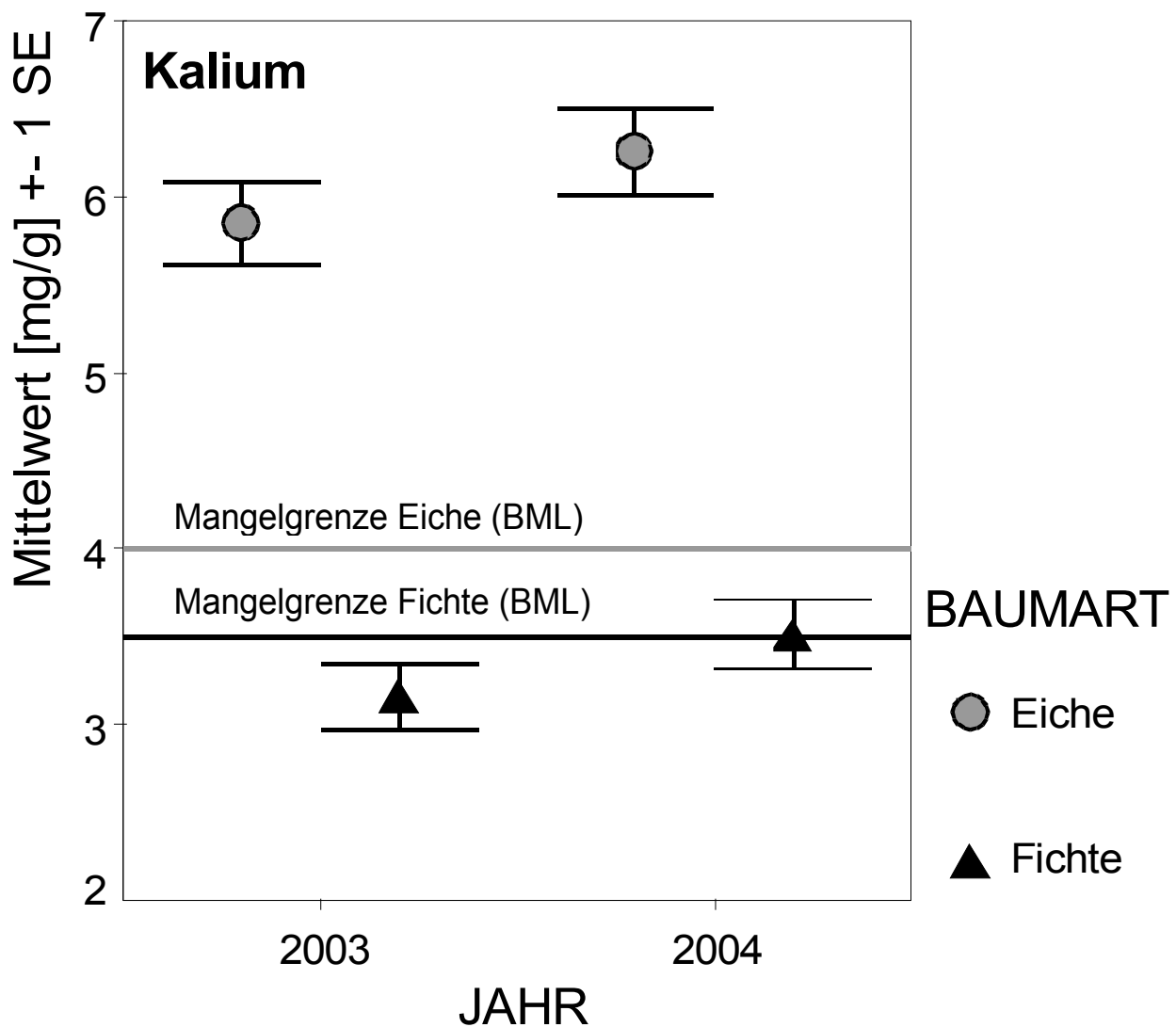


Abb.1: Einwertung des Kalium-Ernährungszustandes je eines Fichten- und Eichenbestandes auf den Lechterassen im städtischen Forstamt Landsberg/Lech nach den im Waldbodenbericht angegebenen Grenzwerten

### **Material und Methoden**

Aus der Literaturzusammenstellung von van den Burg (1985, 1990) wurde eine Datenbank für die Nadelbaumarten Fichte (*Picea abies*), Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Weiß-Tanne (*Abies alba*), Europäische Lärche (*Larix decidua*) und für die Laubbaumarten Rotbuche (*Fagus sylvatica*) Stieleiche (*Quercus robur*), Traubeneiche (*Quercus petraea*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*) von 4066 Datenzeilen aufgebaut. Der Aufbau der Datenbank und die Auswertung erfolgte in drei Schritten:

1. Datenerfassung, Ausreißerkontrolle und Bereinigung des Datensatzes
2. Beschreibung und Abgleich der bei van den Burg (1985, 1990) angegebenen Ernährungsstufen, mit den bei der BZE I verwendeten Bewertungsschema
3. Statistische Herleitung der Grenzwerte für die einzelnen Ernährungsstufen aus dem Datensatz nach van den Burg (1985, 1990)

*Datenerfassung, Ausreißerkontrolle und Bereinigung des Datensatzes*

Van den Burg (1985, 1990) hat seine Literaturzusammenstellungen handschriftlich verfasst (Abb. 2).

Für die statistische Auswertung wurden die Aufzeichnungen van den Burg's in einer Datenbank erfasst. Dabei haben die Spaltennummern in Abb. 2 folgende Bedeutung:

Datensatzbeschreibung:

1. Baumart (tree species)
2. Nährelement (Element)
3. Angaben zu Bestandestyp bzw. -alter (age or type of sampled plants)

ernährungskundliche Grenzwerte (threshold values):

4. Mangel (deficiency)
  - 4a sichtbare Mangelerscheinungen (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 Sichtbaren Vergiftungserscheinungen (visible toxicity symptoms)
10. Literaturstelle (reference)

Da in den Tabellen van den Burg's sowohl Spannweiten als auch nur Einzelwerte ausgegeben sind, musste die digitale Erfassung der Datenlage entsprechend angepasst werden. Es wurden daher die Spaltenmittelwerte bei Vorhandensein nur eines Wertes (Variablenname z.B. Mitte\_6), als auch die Grenzen zwischen zwei Spalten, bei Angabe einer Wertespanne (Variablenname z.B. 5\_nach\_6), erfasst. Die Zuordnung der erfassten Daten zu einer ernährungskundlichen Optimumskurve ist

schematisch in Abb. 3 dargestellt. Da in den Spalten 4a und 4b bzw. 9a und 9b nur wenig Daten vorhanden waren, wurden diese zu den Variablen Mitte\_4 bzw. Mitte\_9 zusammengefasst. Ferner wurden für jede Spalte die Werte „Mitte\_x“ berechnet, sofern die Grenzwerte zu den benachbarten Spalten vorhanden waren.

1	2	3	a	4 b	5	6	7	8	a	9 b	10	
Quercus robur L.	N	young plantations	1.6			2.29					3.38	Trechner & Albert 1988 Huss & Küthe 1974 Bonneau 1988 Van der Burg & Kopinga 1988 Bonneau & Delmas 1985 Bonneau 1988 Van der Burg & Osterbaan 1988 Fleischer 1986 Bemestingsadvies 1988
		plantations			< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5					
		"				3.03						
		stands				2.37 - 2.77						
		"			1.8	1.8 - 2.3	2.3 - 2.8	> 2.8				
		"			1.8	1.8 - 2.0	2.0 - 2.8	> 2.8				
	amenity trees				2.18 - 2.70							
	P	young plantations				0.14 - 0.16						Huss & Küthe 1974 Bonneau 1988 Van der Burg & Kopinga 1988 Bonneau & Delmas 1985 Bonneau 1988 Van der Burg & Osterbaan 1988 Fleischer 1986 Bemestingsadvies 1988
		plantations			< 0.13	0.13 - 0.15	> 0.15					
		"				0.21						
		"				0.12 - 0.16						
		"		0.10	0.10 - 0.13	0.14 - 0.17	> 0.17					
		"		0.10	0.10 - 0.13	0.15 - 0.21	> 0.17					
	K	young plantations				0.44 - 0.46						Huss & Küthe 1974 Bonneau 1988 Van der Burg & Kopinga 1988 Bonneau & Delmas 1985 Bonneau 1988 Van der Burg & Osterbaan 1988 Fleischer 1986 Bemestingsadvies 1988
		plantations			< 0.6	0.6 - 0.8	> 0.8					
		"				0.96						
		"				0.87 - 1.22						
		"		0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.8	> 0.8					
"			0.4	0.4 - 0.6	0.70 - 0.90	> 0.8						
Ca	young plantations				0.67 - 1.03						Huss & Küthe 1974 Van der Burg & Kopinga 1988 Bonneau & Delmas 1985 Bonneau 1988 Fleischer 1986	
	plantations				0.50							
	"				0.58 - 0.84							
	"				0.5 - 0.8							
						1.01 - 2.97						

Abb.2: Auszug aus der Literaturzusammenstellung von den Burg's (1985)

Die bei van den Burg in Spalte 3 gemachten Angaben zu Bestandestyp, Bestandesalter und experimentellen Randbedingungen wurden im Zuge der Dateneingabe klassifiziert und den Variablen „Alter“ (0= keine Angabe, 1= alt, 2= jung) und Studienmaterial (0= keine Angabe, 1= Freiland, 2= Pflanzgarten, 3= Topfexperiment, 4= Nährlösungsversuch, 5= Sandkultur, 6= Plantage) erfasst. Leider sind die Angaben zum Alter der untersuchten Pflanzen oft nicht oder nur indirekt gemacht, so dass in den meisten Fällen die Zuordnung zur Altersklasse aufgrund von Analogieschlüssen erfolgen musste (Topfexperimente und Nährlösungsversuche können nur mit jungen Pflanzen durchgeführt werden).

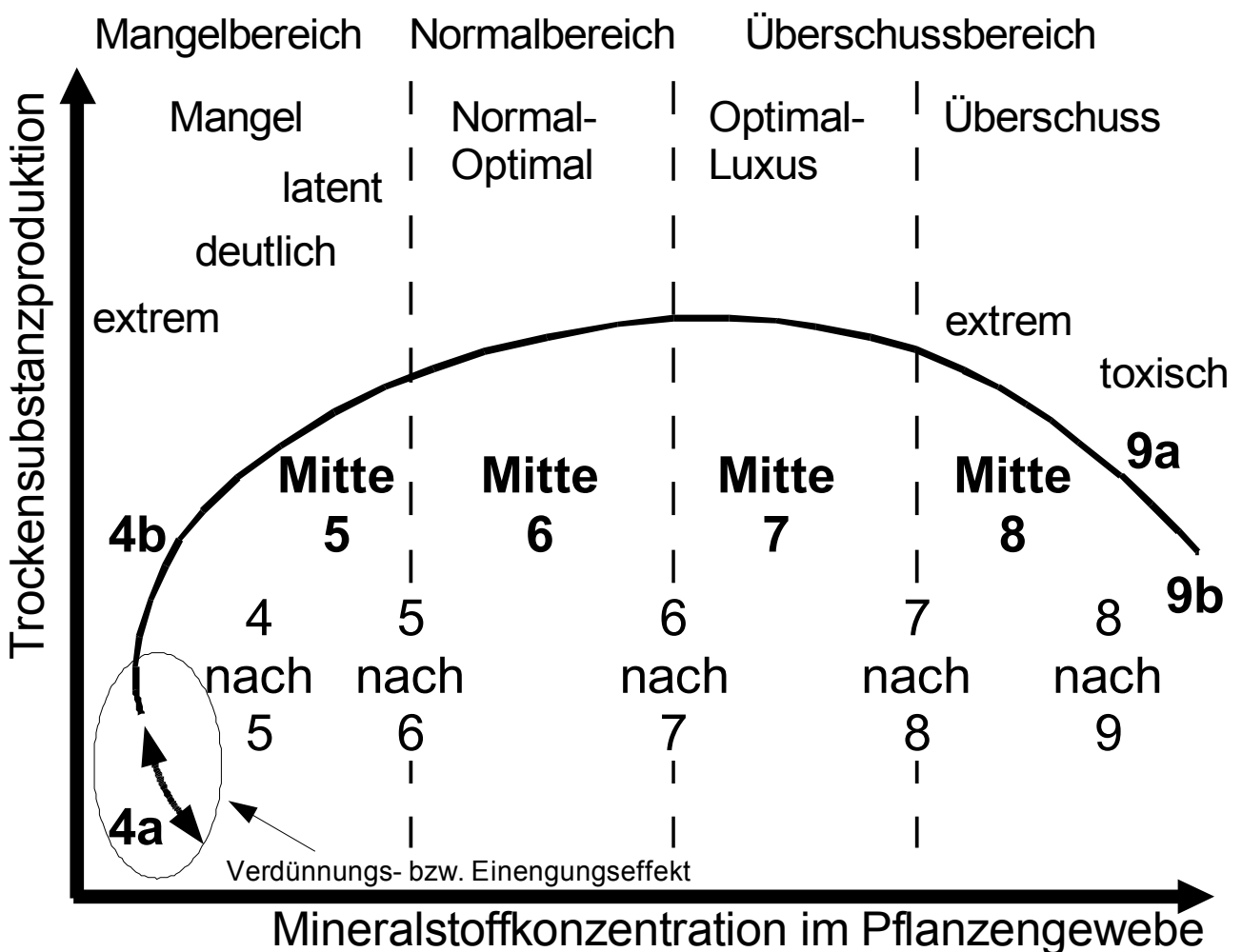


Abb.3: Einordnung der Werte von den Burg's in die ernährungskundliche Optimumskurve (in Anlehnung an Larcher 1994)

Vor der eigentlichen Auswertung wurde der Gesamtdatensatz einer intensiven Plausibilitätsprüfung unterzogen, um Tippfehler und unplausible Eintragungen zu eliminieren. In den im Ergebnisteil aufgeführten Tabellen sind Werte nur dann eingetragen, wenn mindestens 3 Datenwerte für die jeweilige Ernährungsstufe vorhanden waren. Die Ausreißerkontrolle erfolgte mit Boxplots, nach einer gängigen Methode der Ausreißerdefinition (Tukey 1977). Danach werden als Ausreißer Werte definiert, die mehr als die 1,5 fache Breite des Interquartilabstands unter bzw. über dem 1. Quartil bzw. 3. Quartil liegen. Bei dieser Kontrolle wurden Ausreißer außerhalb der in den Boxplots definierten Grenzen entfernt, z.B. die beiden Ausreißer in Abb. 4 (links) in der Klasse B56. Werte, die innerhalb der Box der Nachbarklasse lagen wurden dagegen toleriert (Abb. 4. rechts).

Als Grundlage für die Ausreißerkontrolle wurden 284 Grafen mit Boxplot über alle Schwellenwerte für die höchste Stratifizierungsstufe (Baumart+Alter+Nährelement) und 109 für die Stratifizierung nach Baumart+Nährelement erstellt. Die Ausreißeridentifizierung erfolgt auf der höchsten Stratifizierungsstufe. Bei einer Klassenbesetzung von  $\geq 10$  wurde die beschriebene Ausreißerbereinigung streng schematisch angewendet. Bei Stichproben mit einem N zwischen 3

und 10 wurde gutachterlich nach Plausibilität entschieden. Insgesamt wurden 156 Ausreißer-Werte entfernt.

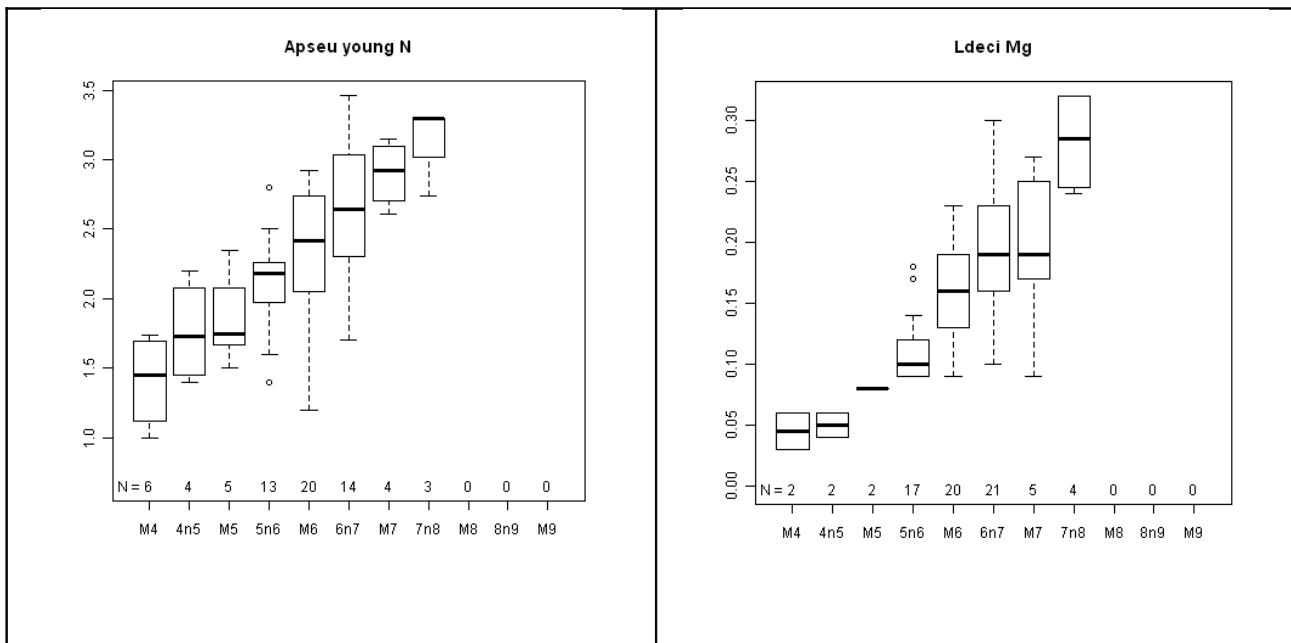


Abb. 4: Beispiel für die Ausreißererkenung und –bereinigung bei Bergahorn (Apseu, links) und Europäischer Lärche (rechts). Die Extremwerte der Spalte 5n6 bei Stickstoff, Bergahorn (schwarze Pfeile) wurden entfernt; die Extremwerte der Spalte 5n6 bei Magnesium, Lärche (weiße Pfeile) wurden belassen, da sie innerhalb des Interquartilabstands (Box), der benachbarten Klasse (M6) liegen.

Dieses Vorgehen, bei dem auch die Nachbarklassen einbezogen werden, hat gegenüber einer isolierten, streng klassenweisen Ausreißerbereinigung den Vorteil, dass hierbei dem Umstand Rechnung getragen wird, dass Klassengrenzen mehr oder weniger willkürlich entlang eines kontinuierlichen Gradienten gesetzt werden. Allein dadurch sind schon gewisse Unschärfen an den Klassengrenzen unausweichlich. Die Tolerierung sehr starker Abweichungen hätte aber zur Folge, dass die Mittelwerte als Ausgangspunkt der Ableitung ernährungskundlicher Grenzwerte verzerrt werden würden.

#### *Statistische Herleitung der Grenzwerte für die einzelnen Ernährungsstufen*

Abb. 5 zeigt am Beispiel des Elements Phosphor bei jungen Kiefernbeständen das Ergebnis der Datenauswertung, sowie die Zuordnung ernährungskundlicher Grenzwerte. Die meisten Daten sind für den Bereich der Normalversorgung (Spalte 6) vorhanden. Dieser Bereich wird in unserer Auswertung, wie schon von der Expertengruppe des BMELF (vgl. StMELF 1987, FFCC 1995, 1999) in drei Unterbereiche unterteilt, welche mit den Bereichen “gering- mittel - hoch“ des



Waldbodenberichtes (BMELF 1996) korrespondieren. Um die Spanne der Normalversorgung mit großer Sicherheit abzudecken, wurde als Untergrenze des Normalbereichs der Mittelwert von „5\_nach\_6“ abzüglich seines Standardfehlers und als Obergrenze der Mittelwert von „6\_nach\_7“ zuzüglich des Standardfehlers gewählt. Die Unterteilung in drei Unterbereiche erfolgte durch Halbierung des Wertebereiches zwischen der festgelegten Ober- bzw. Untergrenze und dem Mittelwert von „Mitte\_6“.

Im Mangelbereich werden ebenfalls drei Unterbereiche ausgeschieden. Extremer Mangel liegt vor, wenn die Pflanze sichtbare Mangelercheinungen zeigt und starke Wuchsdepressionen aufweist. Bei extremen Mangelsituationen ist in manchen Fällen der in der Pflanzenernährung bekannte Verdünnungseffekt zu beobachten. Dieser bewirkt, dass bei geringer Nährstoffzugabe das Pflanzenwachstum überproportional zunimmt, und damit die Nährelementgehalte absinken (Larcher 1994). Umgekehrt bedeutet dies, dass Pflanzen mit extremem Mangel durch einen Konzentrationseffekt höhere Nährstoffgehalte aufweisen können (sog. „Hungerstadien“), wie dies in Abb. 5 für Kiefer aus den Daten von den Burg's auch zum Ausdruck kommt. In diesen Fällen sollten nach Möglichkeit auch die Nadel- bzw. Blattgewichte berücksichtigt werden. Als Grenzwert für extremen Mangel wird der Wert der Variable „Mitte\_4“ zuzüglich des Standardfehlers gewählt. Der übrige Mangelbereich wird noch einmal zweigeteilt, wobei die Grenze zwischen latentem Mangel und Mangel beim Mittelwert der Variablen „Mitte\_5“ abzüglich des Standardfehlers festgelegt wird.

Der Überschussbereich (Spalten 7 bis 9 nach van den Burg (1985, 1990)) wird zweigeteilt, wobei die Grenze zwischen Luxuskonsum und extremer Überversorgung beim Mittelwert der Variablen „7\_nach\_8“ zuzüglich dessen Standardfehler gezogen wird. Der toxische Bereich ist kaum mit Daten belegt und wird daher in den Tabellen nicht ausgewiesen.

Die innerhalb der von van den Burg (1985, 1990) definierten Ernährungsstufen ermittelten Werte wurden den folgenden Bereichen von BMELF (1999) zugeordnet.

extremer Mangel	→ entspricht „sehr gering“
Mangel	→ entspricht „sehr gering“
latenter Mangel	→ entspricht „sehr gering“
unterer Normalbereich	→ entspricht „gering“
mittlerer Normalbereich	→ entspricht „mittel“
oberer Normalbereich	→ entspricht „hoch“
Luxus	→ entspricht „sehr hoch“
extremer Überschuss	→ entspricht „sehr hoch“

Diese Zuordnung spiegelt die Tatsache wider, dass BMELF (1999) v. a. den Normalbereich der Ernährung beschreibt. In Fällen, bei denen BMELF keine Angaben zu Schwellenwerten (Ca für die Eichen) oder keine undifferenzierte Angaben für die Kiefer enthält (K und Mg) wurde auf Werte aus BMELF (1995) zurückgegriffen.

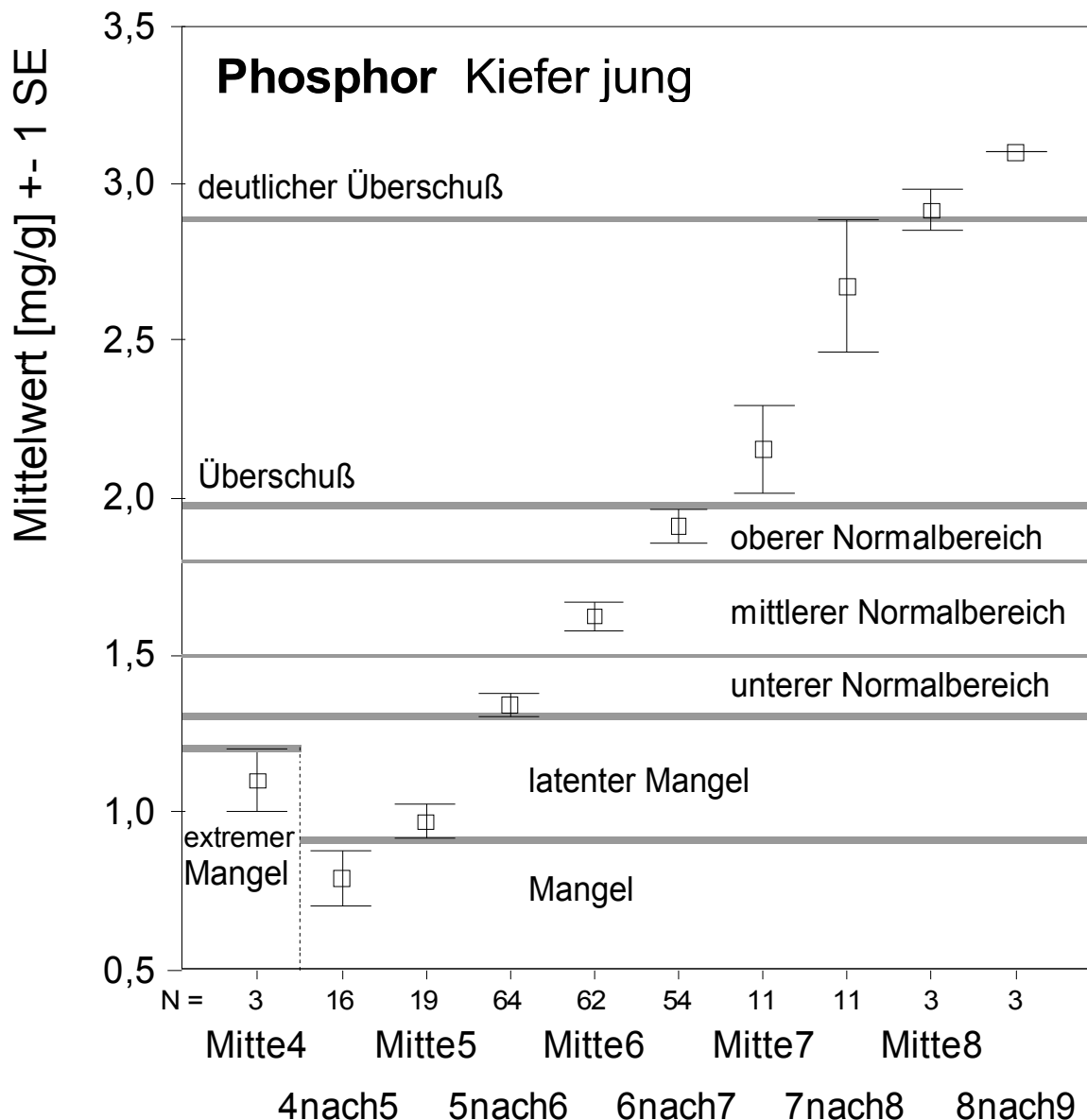


Abb.5: Datenauswertung für Phosphor Kiefer jung und Zuordnung der Grenzwerte

### Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die aus der Literatursammlung von van den Burg (1985, 1990) hergeleiteten Ernährungsstufen für zehn wichtige forstliche Baumarten dargestellt. Die Waldbaumarten werden in Reihenfolge der Datenqualität behandelt. Für die Kiefer, die Fichte und die Buche konnten die Ernährungsstufen nach Baumalter differenziert dargestellt werden. An den Stellen, an denen für junge bzw. alte Bäume weniger als drei Werte vorlagen, im Gesamtdatensatz jedoch mindestens drei Werte vorhanden waren, wurden letztere für die Eintragung in die Ernährungstabelle verwendet

und durch Kursivdruck gekennzeichnet (siehe z.B. Tab. 1 für die Kiefer). Die Grenzwerte aus BMELF (1999) wurden für den Vergleich mit den aus van den Burg's Literaturzusammenstellung ermittelten Werten den oben beschriebenen acht Ernährungsbereichen zugeordnet. Für die Baumarten Weiß-Tanne, Lärche, Bergahorn und Esche wurden zum Vergleich die von Bergmann (1993) angegebenen Grenzwerte des Normalbereichs herangezogen, da für diese Baumarten keine Angaben von BMELF (1999) vorliegen.

### **Kiefer (*Pinus sylvestris*)**

Für Kiefer liegen 1087 Datenzeilen vor, wobei 558 Datensätze auf die Altersklasse jung und 498 Datensätze auf die Altersklasse alt entfielen. 115 Datensätze stammen aus Topf-, Nährlösungs- oder Sandkultur. Da sich für die Elemente K, Ca und Fe signifikante Unterschiede an den Grenzen des Normalbereichs für junge und alte Kiefern ergaben wurden in Tab.1 die Grenzwerte für beide Kollektive getrennt angegeben. Insgesamt zeigt sich sowohl an der oberen als auch an der unteren Grenze des Normalbereichs, daß die Versorgungsansprüche bei den Hauptnährelementen (mit Ausnahme von S) junger Kiefern tendenziell bis signifikant höher sind als die älterer Kiefern. Bei den Elementen N und P kommt auch der bereits erwähnte Verdünnungseffekt zum Ausdruck, da hier die errechneten Grenzwerte bei extremem Mangel, d.h. beim Vorliegen visueller Mangelsymptome, höher liegen als im Mangelbereich ohne sichtbare Symptome.

Ein Vergleich der aus der Literaturzusammenstellung van den Burg's abgeleiteten Bereichen ausreichender Ernährung mit den Kennwerten des Waldbodenberichts (BMELF 1997) zeigt folgendes Bild: Für N und P liegen die abgeleiteten Mangelgrenzen sehr nahe an den von BMELF angegebenen Werten. Auch für Ca und Mg ist die Übereinstimmung mit den Grenzwerten des BMELF gut. Für K hingegen ergibt sich nach den neuen ernährungskundlichen Kennwerten eine deutlich höhere Mangelgrenze. Auffällig ist, daß der aus den van den Burg-Daten abgeleitete Normalbereich meist enger gefasst wird als der nach BMELF (1999) und dies, obwohl wir den Normalbereich um die Standardfehler erweitert haben.

### **Fichte (*Picea abies*)**

Die meisten Eintragungen gibt es mit 1264 Datenzeilen für Fichte. Hierbei entfallen 683 Datensätze auf Altbestände und 547 Datensätze auf junge Pflanzen. Topf-, Nährlösungs- oder Sandkulturexperimente sind mit 163 Datensätzen vertreten. Signifikante Unterschiede zwischen den Kollektiven alter und junger Fichten für die Mangelgrenze ergeben sich bei N, P, K, Ca (5%-Signifikanzniveau) und Mg (10%- Signifikanzniveau), wobei die höheren Grenzwerte stets bei den jungen Fichten errechnet wurden (Tab.2). In der Tendenz gilt dies auch für S, Fe und Mn. Für Cu

und B liegen die oberen Grenzen des Normalbereichs bei Altbäumen dagegen signifikant höher als bei Jungbäumen.

Im Vergleich zum Waldbodenbericht (BMELF 1997) liegen die Untergrenzen des Normalbereichs für Altbestände bei den erfassten Nährelementen mit Ausnahme von Cu nach van den Burg (1985, 1990) höher. Für K, Zn, Fe, Ca, Mn, S liegen die Untergrenzen sehr deutlich (mehr als 25% bezogen auf van den Burg) über denen von BMELF (1999). Die Obergrenze des Normalbereichs wird dagegen von BMELF (1999) gemessen an van den Burg (1985, 1990) meist überschätzt. Im Falle von Fe und Mn um mehr als 100% (bezogen auf van den Burg).

### **Buche (*Fagus sylvatica*)**

Von den 281 Datenzeilen zu Buche entfallen 116 auf Altbestände und 139 auf Jungpflanzen wobei bei letzteren 28 Datensätze aus Topf-Versuchen stammen. Getrennte Tabellen für junge (Tab. 3 a) und alte Bäume (Tab. 3 b) wurden aufgrund der spärlichen Datenlage bei den Spurenelementen und bei S nur für die gut besetzten Hauptnährelemente berechnet. Für die Spurenelemente und S wurde eine Tabelle basierend auf dem Gesamtdatensatz erstellt (Tab. 3 c)

Signifikant höhere Kennwerte bei jungen Bäumen ergeben sich an der Untergrenze des Normalbereichs für Mg, an der Obergrenze des Normalbereichs liegen die Grenzen z. T. ebenfalls höher (P und Mg). Bei der Buche liegen aber die Grenzwerte bei den Altbäumen signifikant höher als bei Jungbäumen. Für N ergeben sich erhöhte Werte an beiden Grenzen des Normalbereichs (10%-Signifikanzniveau) für K nur an der Mangelgrenze.

Bei N und P weichen die Grenzen nach van den Burg (1985, 1990) im Vergleich zu den Kennwerten von BMELF (1999) kaum voneinander ab (Unterschied < 10%, gemessen an van den Burg). Eine Ausnahme bildet die Mangelgrenze von P. Diese liegt bei BMELF (1999) um ein Viertel niedriger als bei van den Burg (1985, 1990). Bei den übrigen Hauptnährelementen (K, Ca, Mg) sind die Grenzen bei BMELF allesamt um ein Viertel bis ein Drittel niedriger. Die Ausnahme bildet hier die Mangelgrenzen bei Mg, bei der eine gute Übereinstimmung besteht.

### **Stieleiche (*Quercus robur*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*)**

Für Stieleiche ist mit 320 Datensätzen eine deutlich bessere Datengrundlage gegeben als für Traubeneiche mit 147 Datensätzen. Dabei stammt für die Stieleiche die Mehrzahl der Datensätze von Jungpflanzen (223 Datensätze, davon 26 aus Topf- und Sandkultur), wogegen bei Traubeneiche mehr Altbestände (83 Datensätze) vertreten sind. Für die Stieleiche wurde eine Tabelle (Tab. 4 a) für Hauptnähr- und Spurenelemente erstellt. Aufgrund der wenigen Angaben zu Spurenelementen und S bei der Traubeneiche wurde für diese Baumart nur eine Tabelle (Tab. 4 b) für die

entsprechenden Hauptnährelemente erstellt. Eine getrennte Auswertung für Alt- und Jungbäume wurde bei den Eichen und den übrigen Baumarten aufgrund der Datenlage nicht mehr durchgeführt, die Tabelle 4 gibt daher die Schwellenwerte auf der Basis des Gesamtdatensatzes wieder.

Es zeigt sich, dass offenbar an der Unter- als auch der Obergrenze der Normalversorgung artspezifische Unterschiede der Schwellenwerte bei beiden Eichenarten existieren. Die Stieleiche zeigt signifikant höhere Kennwerte für N, K, Ca (für Ca nur an der Obergrenze) und Mg. Dieser Befund korrespondiert mit den geringeren Nährstoffansprüchen der Traubeneiche an den Standort (Otto 1996, Leibundgut 1991).

Sowohl bei der Stieleiche als auch bei der Traubeneiche liegen die Schwellenwerte der Baumernährung bei van den Burg (1985, 1990) in den meisten Fällen höher als bei BMELF (1999). Dies gilt aber v. a. für die Untergrenzen des Normalbereichs sowie der Grenze vom latenten Mangel zum deutlichen Mangel. Die Schwellenwerte zum Überschussbereich liegen bei beiden Baumarten dagegen bei BMELF (1999) mit Ausnahme von K bei der Stieleiche höher als bei van den Burg (1985, 1990). Die Abweichungen der beiden Referenzen sind bei N und P insgesamt geringer als bei K und Mg.

### **Weiß-Tanne (*Abies alba*)**

Für Tanne existieren 113 Datensätze 36 davon für Jungpflanzen, wovon wiederum 6 aus Topfkulturen stammen. In Tab. 5 sind die ernährungskundlichen Grenzwerte nach van den Burg (1985, 1990) für die Hauptnähr- (ohne S) und Spurenelemente (ohne B) zusammen gefasst. BMELF (1999) stellt für diese Baumart keine Ernährungsstufen zur Verfügung. Die entsprechenden Schwellenwerte der Makronährelemente liegen bei Bergmann (1993) regelmäßig über denen nach van den Burg. Vor allem die Obergrenzen des Normalbereichs liegen z .T. sehr deutlich mehr als beim anderthalbfachen bei P und rund beim 1,75-fach bei Mg. Bei Mg ist auch der untere Werte des Normalbereichs bei Bergmann deutlich höher (1,66-fach). Bei den übrigen Makronährelementen liegen die Abweichungen stets unter 20%.

### **Europäische Lärche (*Larix decidua*)**

Für die Lärche stehen aus der Sammlung von van den Burg (1985, 1990) 46 Datensätze für Altbäume zur Verfügung, 146 für Jungpflanzen (32 davon aus Topfkulturen), für 18 Datensätze fehlt eine Altersangabe. Die Ernährungsstufen nach van den Burg (1985, 1990) gibt Tab. 6 wieder. Ein Vergleich mit BMELF (1999) entfällt, da in dieser Referenz für diese Baumart keine Angaben gemacht werden. Im Vergleich zu den Ernährungsstufen von Bergmann gibt es bei der Lärche sowohl positive als auch negative Abweichungen. Am stärksten weichen die Grenzen des

Normalbereichs bei Ca und Mg ab. Bei Ca liegen die Werte rund 1,5 über van den Burg, beim Mg liegt nur die obere Grenze des Normalbereichs (ca. 1,5-fach) oberhalb der aus van den Burg ermittelten Grenze, der untere Wert weicht kaum ab. Geringe Werte des Normalbereichs im Vergleich zu van den Burg liegen beim K vor. Hier liegt die Grenze zum latenten Mangel 20% tiefer als bei van den Burg. Die übrigen Schwellenwerte der Makronährelemente weichen weniger als 10% voneinander ab.

### **Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)**

Für den Bergahorn existieren nur 12 Datensätze für Altbäume. 142 Datensätze beziehen sich auf Jungpflanzen, 37 davon stammen aus Topf- und Nährlösungskulturen. Keine Altersangabe liegt für 46 Datensätze vor. Die Ernährungskennwerte nach van den Burg (1985, 1990) zeigt Tab. 7. Auch für den Bergahorn liegen keine Kennwerte aus BMELF (1999) vor. Bergmann (1993) liefert Werte nur für die Gattung *Acer* und nicht speziell für den Bergahorn. Insofern erstaunt es nicht, dass sich gerade beim Ca und Mg eklatante Abweichungen zu den aus van den Burg für den Bergahorn ermittelten Schwellenwerten ergeben, da dieser im Gegensatz zum Spitzahorn, dem zweiten häufigen Vertreter der Gattung *Acer* in Mitteleuropa, deutlich stärker basenreiche Standorte bevorzugt (z.B. Leibundgut 1991). Die Grenzen des Normalbereichs liegen bei van den Burg mindestens doppelt so hoch wie nach den Angaben von Bergmann für die Gattung *Acer*. Beim Bergahorn müssen also deutlich vorsichtiger (höhere) Ernährungsgrenzen beachtet werden als bei der Gattung *Acer* als Ganzem. Die in einer neueren Studie (Webe-Blaschke et al. 2008) angegebene Untergrenze für Mg, die für ein ausreichend gutes Wachstum und ein dauerhaftes Überleben notwendig ist, stimmt gut mit der aus van den Burg abgeleiteten Mangelgrenze überein.

### **Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*)**

Die Datensammlung von van den Burg (1985, 1990) enthält für erwachsene Eschen ebenfalls nur 12 Datensätze. 90 Datensätze enthalten Angaben für Jungpflanzen, für 47 existieren keine Angaben zum Alter. Die Grenzwerte der Ernährung sind in Tab. 8 zusammengefasst. Angaben zu dieser Baumart fehlen bei BMELF (1999). Bei Bergmann (1993) wird der Normalbereich der Makronährelemente grundsätzlich niedriger angesetzt als nach unserer Auswertung von van den Burg's Literatursammlung. Eine Ausnahme bildet lediglich die Untergrenze des Normalbereichs bei K, die bei Bergmann anderthalbmal höher liegt. Am stärksten unterscheiden sich die Grenzwerte wieder beim Ca. Hier liegen die Grenzen des Normalbereichs bei van den Burg mehr als doppelt so hoch, wie bei Bergmann. Die in Webe-Blaschke et al. (2008) angegebenen Untergrenzen für die Hauptnährelemente stimmen gut mit den neuen ernährungskundlichen Kennwerten überein und

belegen insbesondere die verglichen mit Buche und Eiche hohen Ansprüche an die Basenverfügbarkeit dieser Baumart.

### **Tabellen 1 bis 9**

Die statistische Ableitung von Ernährungsstufen aus der Literatursammlung von van den Burg (1985, 1990) für wichtige Waldbaumarten erweitert und präzisiert die bestehende Hauptreferenz für die Ernährung deutscher Waldbäume (BMELF 1997). Insbesondere sind die Grenzen zum Mangelbereich i. d. R. gut mit Daten unterlegt. Die van den Burg'schen Werte erlauben aber häufig auch eine Bewertung über die Grenzen des Normalbereichs hinaus, vom visuellen Mangelzustand bis zur Luxusversorgung.

Bezüglich des in der Einleitung vorgestellten Beispiels zu den Kaliumspiegelwerten von Fichten- und Eichenbeständen auf Schottern der Lechterrassen (Abb. 1) kann gezeigt werden, dass sich aus den van den Burg'schen Ernährungsstufen tatsächlich plausiblere Bewertungen ergeben (Abb. 6). Beide Baumarten befinden sich bezüglich der Kaliumernährung auf diesen carbonathaltigen Standorten in einer vergleichbaren Ernährungssituation im Bereich des latenten Mangels. Bei Fichte kann aufgrund der besseren Datenlage noch gefolgert werden, dass sie sich an der Grenze vom latenten zum deutlichen Mangel bewegt.

Es sei aber darauf hingewiesen, dass auch die aus der umfangreichsten Datensammlung zur Ernährung von Waldbäumen (van den Burg 1985, 1990) abgeleiteten Grenzwerte natürlich auch mit Unsicherheiten verbunden sind. Verzerrungen ergeben sich durch die Tatsache, dass die Werte aus der Literatursammlung selbstverständlich hinsichtlich wichtiger Randbedingungen unsystematisch sind und auf einer unbalancierten Datengrundlage beruhen. Beispielsweise überwiegen Untersuchungen zum Nährstoffmangel im Vergleich zu Nährstoffüberschüssen. Es ist zudem anzunehmen, dass manche Autoren die Grenzwerte aus früheren eigenen oder fremden Veröffentlichungen übernommen haben. Demzufolge ist damit zu rechnen, dass eine unbekannte Anzahl von Schwellenwerten mehrfach aufgeführt und daher in unserer Auswertung stärker gewichtet worden ist. Hinzu kommen genetisch bedingte Unterschiede in den Nährstoffansprüchen (Bergmann 1993, S. 44 ff.) z.B. verschiedener Ökotypen bzw. Provenienzen. Demzufolge stellen die errechneten Grenzwerte statistische Mittelwerte einer verzerrten Datengrundlage dar und sollten daher mit der gebotenen Sorgfalt angewendet werden sowie nach Möglichkeit ergänzt und abgesichert werden.

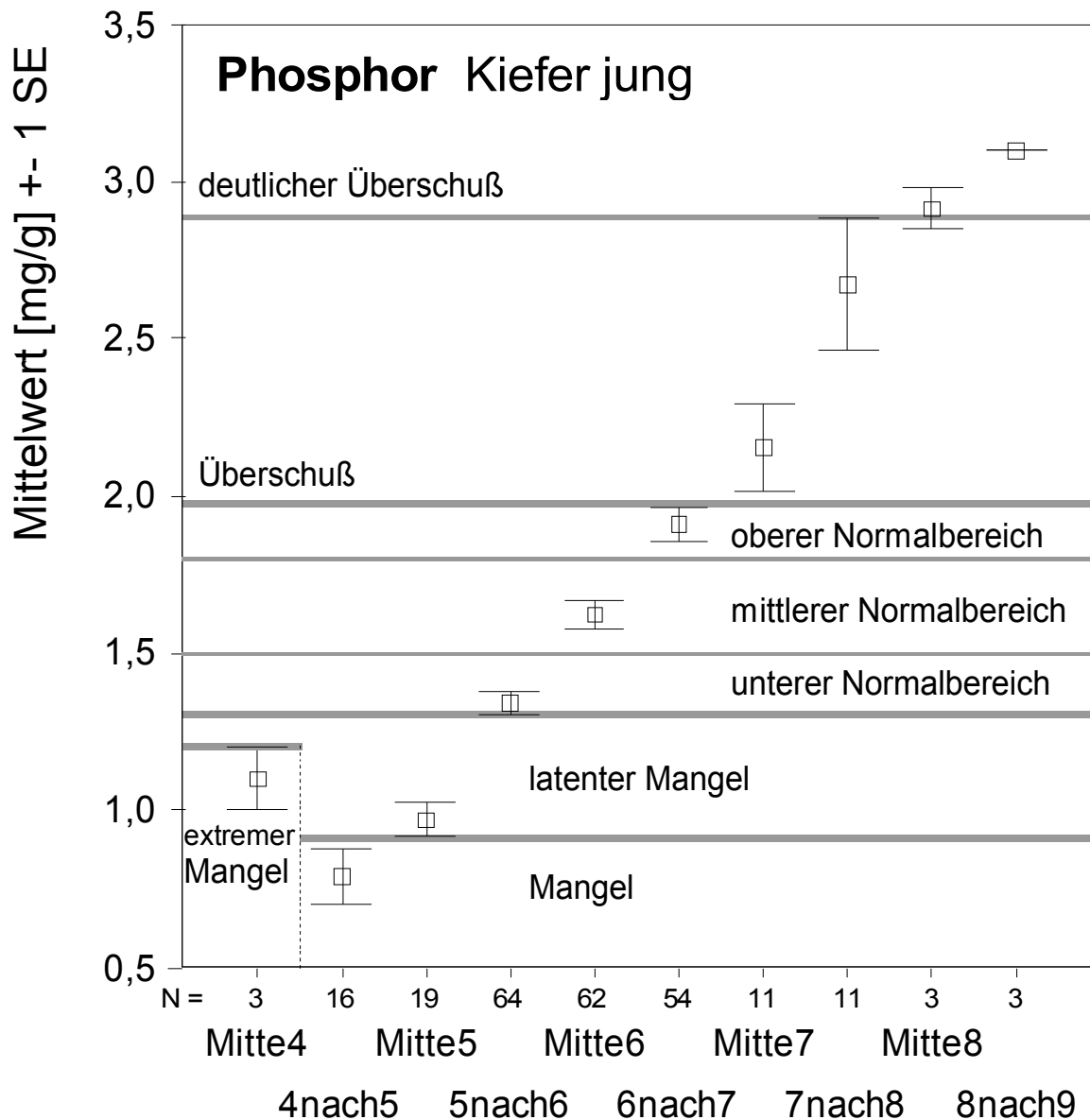


Abb. 6: Einwertung des Kalium-Ernährungszustandes je eines Fichten- und Eichenbestandes auf den Lechterassen im städtischen Forstamt Landsberg/Lech nach den aus der Literaturzusammenstellung von den Burg's abgeleiteten Grenzwerten

### Schlussfolgerungen

Im Vergleich zu einer der wichtigsten bisherigen Referenzen zu Ernährungskennwerten in Deutschland (BMELF 1997) erweitern die im Rahmen der vorliegenden Studie statistisch aus der Datensammlung von van den Burg (1985, 1990) abgeleiteten Werte sowohl das Spektrum der



Ernährungsstufen als auch den Umfang der beschriebenen Baumarten. Die breite Datengrundlage für die wichtigsten forstlichen Baumarten (Kiefer, Fichte, Buche) dürfte zudem zu einer erheblichen Verbesserung der Güte von Schwellenwerten beitragen. Für die beiden in Deutschland beheimateten Eichenarten existierten bislang nach BMELF (1999) nur gemeinsame Schwellenwerte. Aus den Daten von van den Burg (1985, 1990) konnten nun plausibel differenzierte Grenzwerte für beide Arten abgeleitet werden. Bei den genannten Baumarten wird der Normalbereich der Baumernährung in den meisten Fällen durch die aus van den Burg abgeleiteten Kennwerte enger gefasst als von BMELF (1999). In vielen Fällen liegen die Werte an der Mangelgrenze höher. Daraus folgt eine vorsichtiger Interpretation der Baumernährung als bisher.

Für die übrigen Baumarten (Tanne, Lärche, Bergahorn, Esche) stehen nun für die bundesweite Auswertung im Rahmen der BZE II erstmals aus mehreren Quellen kompilierte Ernährungsstufen zur ökologischen Einordnung der Befunde zur Verfügung.

Die Anwendung der Ernährungsstufen im Rahmen des Umweltmonitorings und in der Düngeberatungspraxis stellt eine Bewährungsprobe für die neuen Schwellenwerte dar. In diesem Sinne soll die Nutzbarmachung der Schwellenwerte nach van den Burg (1985, 1990) zu einer weiteren Vervollständigung und Prüfung von Ernährungsstufen für mitteleuropäische Waldbaumarten anregen.

### **Danksagung**

Die Durchführung dieser Studie erfolgte mit finanzieller Unterstützung durch das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Waldökologie und Waldinventuren (WOI), Eberswalde.

### **Literatur**

Bergmann, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3.Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena.835 S.

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

BMELF (1999): Deutscher Waldbodenbericht. Bd.1, 2.Aufl., Bundesministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Bonn

Forest Foliar Coordination Centre (FFCC) (1999): Classification Values for European Foliage Data. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=2888>.

Heinsdorf, D. (1965): Über den Ernährungszustand von Kiefernkulturen auf Sandböden in Jahren mit unterschiedlichen Niederschlägen (1961-1963), Archiv für Forstwesen Bd. 15, 1966

- Hüttl, R.F. 1992 Die Blattanalyse als Diagnose- und Monitoringinstrument in Waldökosystemen. Freiburger Bodenkundl. Abhandlungen 30, 31-59.
- Krauß, H.H., Heinsdorf, D. 2005 Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. Beitr. Forstwirtschaft u. Landschaftsökologie 39, 172-179.
- Larcher, W. 1994 Ökophysiologie der Pflanzen. 5. Aufl., Ulmer Verlag Stuttgart.
- Leibundgut H. (1991): Unsere Waldbäume. Verlag Paul Haupt, Bern Stuttgart.
- Riek W. U. Wolff B. (1999): Integrierende Auswertung bundesweiter Waldzustandsdaten; Abschlußbericht zum Projekt Integrierende Auswertungen bundesweiter Waldschadens-, Bodenzustands-, Klima- und Immissionsdaten. Arbeitsbericht des Instituts für Forstökologie und Walderfassung 99/2, 141 S.
- Mellert K.H., Prietzel, J., Straussberger R., Rehfuss K.E. (2004): Long-term nutritional trends of conifer stands in Europe – Results from the RECOGNITION project. European Journal of Forest Research 123: 305-319.
- Otto H.-J. (1996): Waldökologie. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.
- Stefan, K., Fürst, A., Hacker, R. & Bartels, U. (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 f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, München.
- Strebel, O. (1958): Mineralstoffernährung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) in Bayern, Forstwiss. Cbl., 79 17- 42
- Tukey J. W. (1977): Exploratory data analysis. Addison-Wesley, ISBN 0-201-07616-0.
- 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.
- Weber-Blaschke G., Heitz R., Blaschke M., Ammer C. (2008): Growth and nutrition of young European ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) on sites with different nutrient and water statuses. European Journal of Forest Research (2008) 127, 465–479
- Wehrmann, J (1961); Die Auswirkung der Trockenheit von 1959 auf die Nährelementversorgung bayerischer Kiefernbestände, Forstwiss. Cbl. 80

## Tabellen

Tab.1: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Kiefer; aufgegliedert nach jungen und alten Bäumen; Werte in Kursivdruck wurden aus dem Gesamtdatensatz der Baumart abgeleitet; Signifikanzniveaus an den Grenzen des Normalbereichs: 10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt+fett

Tab.2: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Fichte; aufgegliedert nach jungen und alten Bäumen; Werte in Kursivdruck wurden aus dem Gesamtdatensatz der Baumart abgeleitet; Signifikanzniveaus an den Grenzen des Normalbereichs: 10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt+fett

Tab.3: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Buche; für die Makronährelemente aufgegliedert nach jungen und alten Bäumen; Werte in Kursivdruck wurden aus dem Gesamtdatensatz der Baumart abgeleitet; Signifikanzniveaus an den Grenzen des Normalbereichs: 10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt+fett

Tab. 4: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Stieleiche; Signifikanzniveaus für Unterschiede zwischen den beiden Eichenarten: 10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt+fett

Tab. 5: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Traubeneiche; Signifikanzniveaus für Unterschiede zwischen den beiden Eichenarten: 10% = grau hinterlegt, 5% = grau hinterlegt+fett

Tab. 6: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Tanne

Tab. 7: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Lärche

Tab. 8: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Bergahorn

Tab. 9: aus dem Datensatz van den Burg's abgeleitete ernährungskundliche Grenzwerte für die Baumart Esche

Tab.1; Teil 1

Wald-Kiefer, jung (Pinus sylvestris, 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)	< 15,2	< 11,6	11,6 - 14,1	14,1 - 15,4	15,4 - 18	<b>18 - 19,3</b>	19,3 - 25,5	> 25,5
P (mg/g)	< 1,2	< 0,9	0,9 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,8	1,8 - 1,9	1,9 - 2,8	> 2,8
K (mg/g)	< 3,3	< 3,6	3,6 - 4,9	<b>4,9 - 5,5</b>	5,5 - 6,8	6,8 - 7,6	7,6 - 9,4	> 9,4
Ca (mg/g)	< 0,7	< 0,8	0,8 - 2,2	<b>2,2 - 2,7</b>	2,7 - 3,7	3,7 - 4,2	4,2 - 6	> 6
Mg (mg/g)	< 0,5	< 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,6	> 1,6
S (mg/g)			< 1	1 - 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,4	> 1,4	> 1,8
Fe (µg/g)	< 45		< 66	66 - 85	85 - 129	129 - 155	155 - 289	> 289
Mn (µg/g)	< 8	< 8	< 164	164 - 253	253 - 481	481 - 620	> 620	> 830
Cu (µg/g)	< 2	< 2	< 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	> 6	> 15
Zn (µg/g)			< 30	30 - 40	40 - 60	60 - 70	> 70	> 120
B (µg/g)	< 7	< 10	10 - 14	14 - 17	17 - 24	24 - 28	28 - 38	> 38

Tab.1; Teil 2

Wald-Kiefer, alt (Pinus sylvestris, 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)	< 12,2	< 12,2	12,2 - 13,8	13,8 - 14,6	14,6 - 16,5	16,5 - 17,6	17,6 - 23	> 23
P (mg/g)	< 1	< 1	1 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,7	1,7 - 1,8	1,8 - 2,6	> 2,6
K (mg/g)	< 3,4	< 3,7	3,7 - 4,3	4,3 - 4,9	4,9 - 6	6 - 6,6	6,6 - 8,2	> 8,2
Ca (mg/g)	< 1	< 0,8	0,8 - 1,7	1,7 - 2,4	2,4 - 3,3	3,3 - 3,6	3,6 - 4,4	> 4,4
Mg (mg/g)	< 0,6	< 0,5	0,5 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,2	1,2 - 1,4	1,4 - 1,5	> 1,5
S (mg/g)			< 1	1 - 1,1	1,1 - 1,4	1,4 - 1,6	1,6 - 1,7	> 1,7
Fe (µg/g)	< 39		< 62	62 - 99	99 - 184	184 - 232	> 232	> 307
Mn (µg/g)	< 8	< 8	< 94	94 - 270	270 - 534	534 - 623	> 623	> 830
Cu (µg/g)	< 2	< 2	< 3	3 - 5	5 - 7	7 - 8	8 - 16	> 16
Zn (µg/g)			< 36	36 - 47	47 - 68	68 - 78	> 78	> 120
B (µg/g)	< 5	< 8	< 10	10 - 17	17 - 26	26 - 30	> 30	> 36

Tab.2; Teil 1:

Fichte, jung (Picea abies, 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)	< 10,2	< 11,7	11,7 - 14,9	<b>14,9 - 16,2</b>	16,2 - 18,8	<b>18,8 - 20,2</b>	20,2 - 23,3	> 23,3
P (mg/g)	< 0,9	< 1	1 - 1,8	<b>1,8 - 2</b>	2 - 2,4	<b>2,4 - 2,6</b>	2,6 - 3,3	> 3,3
K (mg/g)	< 2,9	< 3,1	3,1 - 6	<b>6 - 6,8</b>	6,8 - 8,6	<b>8,6 - 9,7</b>	9,7 - 11,2	> 11,2
Ca (mg/g)	< 2,6	< 0,8	0,8 - 4,7	<b>4,7 - 5,8</b>	5,8 - 7,7	<b>7,7 - 8,5</b>	8,5 - 7	> 7
Mg (mg/g)	< 0,4	< 0,6	0,6 - 0,9	<b>0,9 - 1</b>	1 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,8	> 1,8
S (mg/g)			< 0,9	0,9 - 1,2	1,2 - 1,5	1,5 - 1,6	> 1,6	> 1,6
Fe (µg/g)		< 21	< 49	49 - 63	63 - 95	95 - 113	> 113	> 239
Mn (µg/g)	< 26	< 19	19 - 184	184 - 416	416 - 839	839 - 1031	> 1031	> 3725
Cu (µg/g)	< 2	< 2	2 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	> 4	> 74
Zn (µg/g)		< 13	< 19	19 - 26	26 - 42	42 - 51	> 51	> 135
B (µg/g)	< 6		< 13	13 - 16	16 - 23	23 - 29	29 - 30	> 30

Tab.2; Teil 2

Fichte, alt (Picea abies, 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)	< 10,1	< 11,7	11,7 - 13,2	13,2 - 13,7	13,7 - 14,7	14,7 - 15,3	15,3 - 18,1	> 18,1
P (mg/g)	< 0,9	< 1	1 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,8	1,8 - 1,9	1,9 - 2	> 2
K (mg/g)	< 2,7	< 3,5	3,5 - 4,6	4,6 - 5,4	5,4 - 6,7	6,7 - 7,3	7,3 - 9,6	> 9,6
Ca (mg/g)	< 1,2	< 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 3,3	3,3 - 4,8	4,8 - 5,6	5,6 - 8,6	> 8,6
Mg (mg/g)	< 0,4	< 0,5	0,5 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,7	> 1,7
S (mg/g)			< 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,2	1,2 - 1,4	1,4 - 1,7	> 1,7
Fe (µg/g)		< 21	< 42	42 - 64	64 - 107	107 - 129	129 - 239	> 239
Mn (µg/g)	< 14	< 17	17 - 143	143 - 475	475 - 1143	1143 - 1479	1479 - 3725	> 3725
Cu (µg/g)	< 2	< 2	< 2	2 - 3	3 - 5	<b>5 - 6</b>	> 6	> 74
Zn (µg/g)		< 13	< 21	21 - 31	31 - 51	51 - 61	> 61	> 135
B (µg/g)	< 5		< 18	18 - 23	23 - 35	<b>35 - 42</b>	> 42	> 56



Tab. 3; Teil 1:

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

Tab. 3; Teil 2:

Rotbuche, alt ( <i>Fagus sylvatica</i> , mature)								
	Mangelbereich (deficiency)			Normalbereich (normal range)			Überschussbereich (surplus)	
	extrem	Mangel	latent	unterer	mittlerer	oberer	Luxus	extrem
	(extreme)	(deficiency)	(latent)	(lower)	(central)	(upper)	(luxury)	(extreme)
N (mg/g)	< 17	< 18,2	18,2 - 19,1	19,1 - 20,8	20,8 - 23,9	23,9 - 25,2	25,2 - 27	> 27
P (mg/g)		< 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,5	1,5 - 1,6	1,6 - 2	> 2
K (mg/g)	< 4,6	< 4,7	4,7 - 7	<b>7 - 7,7</b>	7,7 - 9,4	9,4 - 10,5	10,5 - 13	> 13
Ca (mg/g)			< 5,8	5,8 - 7	7 - 10,8	10,8 - 13,4	> 13,4	
Mg (mg/g)	< 0,7		< 0,7	0,7 - 1	1 - 1,6	1,6 - 2	> 2	

Tab. 3; Teil 3:

Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )								
	Mangelbereich (deficiency)			Normalbereich (normal range)			Überschussbereich (surplus)	
	extrem	Mangel	latent	unterer	mittlerer	oberer	Luxus	extrem
	(extreme)	(deficiency)	(latent)	(lower)	(central)	(upper)	(luxury)	(extreme)
S (mg/g)			< 1,4	1,4 - 1,7	1,7 - 2,4	2,4 - 2,7	> 2,7	
Fe (µg/g)			< 162	162 - 225	225 - 411	411 - 533	> 533	
Mn (µg/g)			< 89	89 - 573	573 - 1773	1773 - 2489	> 2489	
Cu (µg/g)			< 6	6 - 8	8 - 11	11 - 13	> 13	
Zn (µg/g)			< 46	46 - 59	59 - 96	96 - 119	> 119	

Tab. 4

Stieleiche (Quercus robur)								
	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)	< 18,5	< 18	18 - 20,3	<b>20,3 - 22,4</b>	22,4 - 26	<b>26 - 27,7</b>	27,7 - 31,3	> 31,3
P (mg/g)		< 0,9	0,9 - 1,4	1,4 - 1,6	1,6 - 2	2 - 2,2	> 2,2	
K (mg/g)			< 7,6	<b>7,6 - 8,9</b>	8,9 - 11,3	<b>11,3 - 12,4</b>	> 12,4	
Ca (mg/g)			< 5,4	5,4 - 7	7 - 9,8	<b>9,8 - 11</b>	11 - 19,8	> 19,8
Mg (mg/g)			< 1,3	<b>1,3 - 1,7</b>	1,7 - 2,4	<b>2,4 - 2,7</b>	> 2,7	
S (mg/g)			< 1,1	1,1 - 1,6	1,6 - 3,2	3,2 - 4,3	> 4,3	
Fe (µg/g)	< 104		< 105	105 - 134	134 - 194	194 - 226	> 226	
Mn (µg/g)	< 13		< 71	71 - 210	210 - 448	448 - 546	> 546	
Cu (µg/g)			< 7	7 - 9	9 - 14	14 - 16	> 16	
Zn (µg/g)			< 41	41 - 59	59 - 105	105 - 133	> 133	
B (µg/g)			< 20	20 - 39	39 - 74	74 - 91	> 91	

Tab. 5

Traubeneiche ( <i>Quercus petraea</i> )								
	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)		< 18,6	< 18,6	18,6 - 20,5	20,5 - 24,2	24,2 - 26	> 26	> 26
P (mg/g)		< 1	1 - 1,3	1,3 - 1,6	1,6 - 1,9	1,9 - 2	> 2	> 2
K (mg/g)			< 6,2	6,2 - 7,2	7,2 - 8,8	8,8 - 9,3	> 9,3	
Ca (mg/g)			< 5	5 - 6,1	6,1 - 8,1	8,1 - 9	> 9	
Mg (mg/g)	< 1,3		< 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,8	1,8 - 2	> 2	

Tab. 6:

Weißtanne ( <i>Abies alba</i> )								
	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)			< 12,3	12,3 - 13,1	13,1 - 15,5	15,5 - 17	> 17	
P (mg/g)			< 1,2	1,2 - 1,4	1,4 - 2	2 - 2,3	> 2,3	
K (mg/g)	< 3,4		< 5	5 - 5,9	5,9 - 8,2	8,2 - 9,5	> 9,5	
Ca (mg/g)			< 3,5	3,5 - 4,9	4,9 - 8,3	8,3 - 10,3	> 10,3	
Mg (mg/g)	< 0,3		< 0,9	0,9 - 1,2	1,2 - 1,9	1,9 - 2,3	> 2,3	
S (mg/g)								
Fe (µg/g)			< 40	40 - 60	60 - 109	109 - 138	> 138	
Mn (µg/g)			< 379	379 - 914	914 - 2402	2402 - 3356	> 3356	
Cu (µg/g)			< 4	4 - 5	5 - 12	12 - 16	> 16	
Zn (µg/g)			< 18	18 - 26	26 - 42	42 - 50	> 50	

Tab. 7:

Europäische Lärche ( <i>Larix decidua</i> )								
	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)		< 14,4	14,4 - 17,3	17,3 - 18,8	18,8 - 21,4	21,4 - 22,4	22,4 - 25,3	> 25,3
P (mg/g)		< 0,9	0,9 - 1,4	1,4 - 1,8	1,8 - 2,5	2,5 - 2,8	2,8 - 4	> 4
K (mg/g)	< 2,6	< 4	4 - 6,3	6,3 - 7,4	7,4 - 10	10 - 11,6	11,6 - 14,1	> 14,1
Ca (mg/g)			< 3,8	3,8 - 4,5	4,5 - 5,8	5,8 - 6,5	6,5 - 8,7	> 8,7
Mg (mg/g)			< 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,9	1,9 - 2,1	2,1 - 3,1	> 3,1
S (mg/g)			< 1,5	1,5 - 1,7	1,7 - 2,2	2,2 - 2,4	> 2,4	
Fe (µg/g)			< 131	131 - 182	182 - 300	300 - 368	> 368	
Mn (µg/g)			< 172	172 - 468	468 - 1043	1043 - 1322	1322 - 2789	> 2789
Cu (µg/g)			< 3	3 - 4	4 - 6	6 - 7	> 7	
Zn (µg/g)			< 28	28 - 39	39 - 65	65 - 79	> 79	

Tab. 8:

Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )								
	Mangelbereich (deficiency)			Normalbereich (normal range)			Überschussbereich (surplus)	
	extrem	Mangel	latent	unterer	mittlerer	oberer	Luxus	extrem
	(extreme)	(deficiency)	(latent)	(lower)	(central)	(upper)	(luxury)	(extreme)
N (mg/g)	< 15,9	< 17	17 - 19,4	19,4 - 20,9	20,9 - 25	25 - 27,5	27,5 - 33	> 33
P (mg/g)		< 1	1 - 1,6	1,6 - 2,2	2,2 - 3,3	3,3 - 3,9	3,9 - 5,4	> 5,4
K (mg/g)	< 7,7	< 7,7	7,7 - 8,9	8,9 - 10,5	10,5 - 13,9	13,9 - 15,9	> 15,9	
Ca (mg/g)			< 11,7	11,7 - 15,7	15,7 - 24,5	24,5 - 29,2	> 29,2	
Mg (mg/g)	< 1,5		< 2,1	2,1 - 2,6	2,6 - 3,6	3,6 - 4,2	> 4,2	
S (mg/g)				< 2	2 - 3,7	> 3,7		
Fe (µg/g)			< 78	78 - 103	103 - 154	154 - 181	> 181	
Mn (µg/g)	< 13	< 7	7 - 10	10 - 20	20 - 43	43 - 57	> 57	
Cu (µg/g)			< 4	4 - 5	5 - 9	9 - 10	> 10	
Zn (µg/g)			< 46	46 - 75	75 - 150	150 - 196	> 196	
B (µg/g)			< 33	33 - 55	55 - 105	105 - 133	> 133	



Tab. 9:

Gewöhnliche Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )								
	Mangelbereich (deficiency)			Normalbereich (normal range)			Überschussbereich (surplus)	
	extrem (extreme)	Mangel (deficiency)	latent (latent)	unterer (lower)	mittlerer (central)	oberer (upper)	Luxus (luxury)	extrem (extreme)
N	< 17,9	< 19,1	19,1 - 20	20 - 22,2	22,2 - 26,4	26,4 - 28,5	> 28,5	
P		< 1,2	1,2 - 1,6	1,6 - 2,2	2,2 - 3,4	3,4 - 4,1	> 4,1	
K		< 4,4	4,4 - 7,7	7,7 - 10	10 - 14,6	14,6 - 16,9	> 16,9	
Ca			< 12,5	12,5 - 17	17 - 26,1	26,1 - 30,7	> 30,7	
Mg			< 2,7	2,7 - 3,7	3,7 - 5,9	5,9 - 7	> 7	
S								
Fe			< 94	94 - 119	119 - 179	179 - 213	> 213	
Mn			< 13	13 - 18	18 - 29	29 - 35	> 35	
Cu			< 6	6 - 8	8 - 14	14 - 16	> 16	
Zn			< 27	27 - 35	35 - 55	55 - 66	> 66	
B			< 22	22 - 26	26 - 35	35 - 40	> 40	