

forstarchiv 82, 82-91
(2011)

DOI 10.2376/0300-
4112-82-82

© M. & H. Schaper
GmbH

ISSN 0300-4112
Korrespondenzadresse:
ulrike.talkner@nw-fva.
de

Eingegangen:
03.12.2010

Angenommen:
10.03.2011

Bewertung des Ernährungszustands eines Fichtenforsts: Möglichkeiten des DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)

Evaluating the nutritional status of a spruce forest: The potential of DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System)

ULRIKE TALKNER, KARL JOSEF MEIWES, MICHAEL MINDRUP UND RALF-VOLKER NAGEL
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstraße 2, D-37079 Göttingen

Kurzfassung

Der Ernährungszustand von Wäldern spielt für die Kalkungs- und Düngungsplanung sowie für die Beurteilung der Baumvitalität eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse chemischer Nährelementanalysen von Blattorganen können nach verschiedenen Kriterien bewertet werden. Das „Diagnosis and Recommendation Integrated System“ (DRIS) unterscheidet sich von anderen Bewertungsmethoden dadurch, dass es nicht die absoluten Elementgehalte in Blättern und Nadeln, sondern Elementverhältnisse zur Bewertung heranzieht sowie auch die Varianzen dieser Verhältnisse berücksichtigt. Als Referenz dient ein Bestand, der unter ähnlichen klimatischen und edaphischen Bedingungen wächst wie die zu bewertenden Bestände und bezüglich der Ernährung mit den betreffenden Elementen als optimal angesehen wird. Er wird als „Normpopulation“ bezeichnet. DRIS wurde für die Düngungsplanung in der Landwirtschaft entwickelt und bisher nur in Einzelfällen in Wäldern (v. a. in Plantagenwäldern) angewendet.

Die vorliegende Arbeit testet die Anwendung von DRIS in einem Nährstoffmangelversuch mit Fichte, der 1929 bei Oerrel in der Lüneburger Heide angelegt wurde. Über einen Zeitraum von mehr als 50 Jahren hinweg ist mit Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Calcium (Ca) gedüngt worden, als Volldüngung mit allen genannten Elementen sowie als Mangeldüngungen unter Auslassung jeweils eines Elements. Im Laufe des Beobachtungszeitraums sind mehrfach chemische Analysen der Nadeln durchgeführt worden. Für jedes Analysenjahr und jede Mangelvariante sowie die Kontrolle (keine Düngung) wurde die Ernährung mittels DRIS bewertet.

Je nach Auswahl der Normpopulation spiegelten die DRIS-Ergebnisse in 56 % bzw. 70 % der Fälle das Düngungsschema wider. Die Kriterien für die Auswahl der DRIS-Normpopulation waren im vorliegenden Versuch nicht alle erfüllt. Generell kann die Auswahl der Normpopulation in Wäldern mit langer Umtriebszeit ein Problem darstellen. Ferner zeigte der Vergleich verschiedener Bewertungsmethoden Widersprüche auf. Vor allem die N- und die Ca-Ernährung der untersuchten Fichten wurde heterogen bewertet. DRIS hat Ca in der Kontrolle als mangelhaft ausgewiesen. Dagegen hat die Bewertung mittels der Ernährungstufen der Forstlichen Standortaufnahme darauf hingewiesen, dass Ca während des gesamten Beobachtungszeitraums im Überschuss vorhanden war. Jedoch kann für den Anfang des Beobachtungszeitraums (1950er- und 1960er-Jahre) ein Ca-Mangel als recht gesichert gelten, da unter anderem die ertrags- und bodenkundlichen Untersuchungen auf diesen Mangel hindeuteten. Dies unterstützt die Ergebnisse der Ernährungsbewertung mittels DRIS.

Schlüsselwörter: Waldernährung, Nährstoffmangel, Düngung, Kalkung

Abstract

The nutritional status of forests plays an important role for planning liming and fertilization measures as well as for tree vitality assessment. The results of chemical analyses of leaves and needles can be evaluated according to different criteria. In contrast to other evaluation methods, the „diagnosis and recommendation integrated system“ (DRIS) does not use classes of absolute element concentrations of leaves and needles, but element ratios and considers also the coefficient of variation of these ratios. A forest stand that grows under similar climate and soil conditions as the stands that are to be assessed serves as a reference. This stand has to have an optimal nutritional status concerning the nutrients of interest. It is called a „norm“. DRIS has been developed for the planning of agricultural fertilizations. Up to now, only in several cases DRIS was applied in forests (mainly in forest plantations).

The present study evaluates the application of DRIS in a spruce forest, which was planted in 1929 as a nutrient deficiency trial in the North German Lowlands. Over a period of more than 50 years, nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and calcium (Ca) were added as fertilizer. Some plots were fertilized with all elements others only with three of the four elements (deficiency treatments) and control plots were not fertilized at all. Several times during the observation period, needles were analyzed for their chemical composition. For every year of analysis and every deficiency treatment as well as for the control (no fertilization), nutrition was evaluated using DRIS.

Two different norm populations were tested, leading to DRIS results that reflected the deficiency treatments in 56% and 70% of all cases, respectively. In the present trial, not all requested DRIS criteria for the selection of the norm were fulfilled. Generally, the selection of the norm may be problematic in forests with long rotation periods. Furthermore, the comparison of different evaluation methods of the nutritional status revealed discrepancies. Particularly, N and Ca nutrition of the studied spruce trees were evaluated heterogeneously. At the control plots, Ca was evaluated as deficient by DRIS, while the nutrition classes of the „Forstliche Standortaufnahme“ showed a Ca excess during the whole observation period. However, for the beginning of the observation period (1950s and 1960s), a Ca deficiency can be regarded as assured since i. e. the yield as well as soil surveys pointed out this deficiency. This supports the results of the nutrition evaluation by DRIS.

Key words: forest nutrition, nutrient deficiency, fertilization, liming

Einleitung

Die Bewertung des Ernährungszustands von Waldbeständen spielt schon lange eine wichtige Rolle in der Waldbewirtschaftung, um die Notwendigkeit von Kalkungen und Düngungen sowie die Vitalität von Waldökosystemen einschätzen zu können (Wehrmann 1959). Im Hinblick auf die zunehmende Biomassenutzung im Wald und die damit verbundenen Risiken des Nährstoffentzugs wird die Frage nach dem Ernährungszustand der Wälder ebenfalls gestellt (Dammann et al. 2008, Rumpf et al. 2008). Als Indikator des Ernährungszustands von Bäumen werden nach standardisierten Verfahren gewonnene Elementgehalte von Blattorganen verwendet. Für die Interpretation und Bewertung der Elementanalysen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Häufig erfolgt die Bewertung anhand der Einteilung der Elementgehalte in *Ernährungsstufen*, die den Bereich vom Nährstoffmangel bis hin zu guter Ernährung und Luxuskonsum abdecken. Die Stufenbildung basiert entweder auf den Ergebnissen von Düngungsversuchen, bei denen Zuwachs- und Vitalitätsparameter mit den Elementgehalten der Blattorgane in Beziehung gebracht werden (Ingestad 1979, Fiedler und Höhne 1984, van den Burg 1985, Fiedler und Höhne 1987, Hüttl 1992), oder auf einer Kombination aus Häufigkeitsverteilungen der Elementgehalte abgeglichen mit experimentell abgeleiteten Grenzwerten (Krauß und Heinsdorf 2005). Die Wertebereiche der einzelnen Stufen sind nicht gleich groß. Der Einfluss von Standortfaktoren auf die Elementgehalte führt dazu, dass die Grenzen zwischen den Stufen nicht starr sind, weshalb Krauß und Heinsdorf (2005) vorschlagen, von „Grenzwertbereichen“ zu sprechen. Um diesem Problem des Einflusses von Standortfaktoren zumindest teilweise zu begegnen, wurden Bewertungsstufen etabliert, die nur für bestimmte Wuchsregionen Gültigkeit haben (Fiedler und Höhne 1984, 1987). Ein anderer Bewertungsansatz besteht darin, den Abstand zu einem empirisch festgelegten optimalen Elementgehalt als Maß für den Ernährungszustand zu benutzen (Montañés et al. 1993). Dieser Ansatz wird häufig in Skandinavien verwendet (Brække und Salih 2002).

Es können auch *Elementverhältnisse* zur Ernährungsbewertung herangezogen werden. Da Stoffwechselprozesse geregelt ablaufen, sind Elementverhältnisse innerhalb einer gewissen Spanne konstant. So lassen sich Bereiche optimaler Nährelementverhältnisse ausscheiden; häufig ist Stickstoff (N) das Bezugsэлеment. Optimale Elementverhältnisse wurden aus Düngungsversuchen abgeleitet (Ingestad 1979, Fiedler und Höhne 1984, 1987) wie auch aus Beobachtungen zu Schäden durch Insekten- und Pilzbefall (Flückiger und Braun 2003).

Es ist schwierig, anhand von Ernährungsstufen oder Nährelementverhältnissen, Nährstoffe, die als wachstumslimitierend anzusehen sind, zu identifizieren und eine Rangliste der Nährelemente bezüglich ihres Mangels aufzustellen. Hierbei könnte das ursprünglich für die Landwirtschaft entwickelte „Diagnosis and Recommendation Integrated System“ (DRIS; Beaufils 1973) eine Hilfe sein. Hinter dem DRIS steht die Beobachtung, dass für optimales Pflanzenwachstum Nährstoffverhältnisse wichtiger sind als die absoluten Nährstoffgehalte (Walworth und Sumner 1987, Oren et al. 1988, Linder 1995). Ferner streuen die Nährstoffverhältnisse in Nadeln bzw. Blättern von ertragreichen Beständen weniger als die von schlecht wachsenden Beständen (Beaufils 1973, Walworth und Sumner 1987, Drechsel 1994). Deshalb werden der Bewertung mit DRIS Nährstoffverhältnisse sowie deren Varianzen zugrunde gelegt. Mittels DRIS kann eine Rangliste der Nährelemente entsprechend ihrem relativen Mangel aufgestellt werden. Außerdem können mithilfe von DRIS Nährstoffungleichgewichte aufgedeckt werden, auch wenn keiner der Nährstoffe absolut im Mangel ist (Mourão Filho 2004). Dies spielt in der Düngungs- und Kalkungsberatung eine wichtige Rolle. Die Berech-

nung der dafür benötigten Indizes ist einfach und benötigt keine speziellen (Statistik-)Programme. Allerdings wurde DRIS bisher fast ausschließlich in der Landwirtschaft eingesetzt (siehe Walworth und Sumner 1987) und für Bäume hauptsächlich in Plantagen getestet (Kopp und Burger 1990, Needham et al. 1990, Arnold et al. 1992, Drechsel 1994). Uns sind nur wenige Anwendungen von DRIS mit Baumarten der temperaten Wirtschaftswälder bekannt (Riitters et al. 1991, Paré et al. 1993, Pohl et al. 1999, Kallweit 2001). Die Anwendbarkeit von DRIS kann in Düngungsversuchen unabhängig von anderen Bewertungsmethoden überprüft werden, wenn sich die Versuchsbehandlungen hinsichtlich ihres Wachstums und ihres Ernährungszustands ausreichend unterscheiden.

Im Folgenden wird die Anwendung von DRIS auf einen Nährstoffmangelversuch in Nordwestdeutschland (Forstamt Oerrel in der Lüneburger Heide; Seibt et al. 1968, Mindrup et al. 2001) getestet und diskutiert. In dem 1929 begründeten Versuch mit Fichten wurde über die Jahre hinweg mit Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Calcium (Ca) gedüngt, als Volldüngung mit allen genannten Elementen sowie als Mangeldüngungen unter Auslassung jeweils eines Elements. Ziel dieser Publikation ist es, die verschiedenen Mangeldüngungsvarianten mithilfe von DRIS abzubilden und die Beurteilung des Ernährungszustands nach DRIS mit den Ergebnissen anderer Bewertungsmethoden zu vergleichen.

Material und Methoden

Versuchsflächen

Der 1929 gepflanzte Fichtenbestand (*Picea abies* Karst.) liegt in Nordwestdeutschland in der Lüneburger Heide nahe dem Ort Lintzel und gehört zum Forstamt Oerrel (52° 58' 59" N, 10° 14' 5" E). Der Boden besteht aus grundwasserfernen, silikartern Sand bis Sand mittleren Silikatgehalts des Munster-Breloher Sanders aus dem Warthestadium (Standortsziffer 42.3-.3.1t der Niedersächsischen Landesforsten). Der langjährige jährliche Niederschlag betrug 702 mm, die langjährige Jahresmitteltemperatur 8,3 °C (Seibt et al. 1968). Weitere Details zum Standort finden sich in Seibt und Wittich (1965).

Der Bestand wurde als Nährstoffmangelversuch angelegt. Es wurden eine Kontrolle und sechs Düngungsvarianten als randomisiertes Blockdesign mit drei Wiederholungen etabliert: (1) Nulldüngungsvariante (Kontrolle), (2) Volldüngungsvariante (NPKCa), (3) Lupinenvariante (LupPKCa), (4) N-Mangelvariante (_PKCa), (5) P-Mangelvariante (N_KCa), (6) K-Mangelvariante (NP_Ca), (7) Ca-Mangelvariante (NPK_). In der Zeit zwischen 1929 und 1986 wurde in unregelmäßigen Abständen mit unterschiedlichen Düngemitteln gedüngt (Tabelle 1). Ca wurde in Form von Carbonatkalk verabreicht. Bei den Düngungen wurden die verschiedenen Düngungsvarianten immer berücksichtigt, d. h., die Kontrolle wurde nie gedüngt, und die Mangelvarianten haben mit den Düngungen nie das „Mangelement“ erhalten. Es gibt zwei Volldüngungen, zum einen die Volldüngungsvariante mit mineralischem Stickstoff plus P, K, Ca, zum anderen die Lupinenvariante mit Lupinensaat in der Kultur als Stickstoffdüngerersatz plus ebenfalls P, K, Ca.

Die N-, P-, K- und Ca-Gehalte der Nadeln des ersten Jahrgangs wurden mehrmals im Laufe von 38 Jahren gemessen (1961, 1964/66, 1971, 1976, 1994). Bis 1976 wurden die Proben für die Bestimmung von K, Ca und P trocken verascht, 1994 mit HNO₃ in Druckkammern aufgeschlossen. K und Ca wurden 1964/66 und 1971 flammenfotometrisch, 1976 mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) und 1994 zusammen mit P mittels ICP-AES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) bestimmt. P wurde von 1961 bis 1976 kolorimetrisch bestimmt. Für die N-Analyse wurde von 1961 bis 1976 nach Kjeldahl aufgeschlossen, 1961

Tab. 1. Düngungen im Nährstoffmangelversuch Oerrel. Fertilizations in the nutrient deficiency trial Oerrel.

Jahr	Dünger	N	kg ha ⁻¹		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1929	Kohlensaurer Kalk	-	-	-	1400
1929	Rhenaniaphosphat	-	100	-	140
1930	<i>Lupinus polyphyllus</i> ¹	-	-	-	-
1930	<i>Lupinus luteus</i> ¹	-	-	-	-
1932	Kalidüngesalz	-	-	20	-
1932	Kalkammonsalpeter	20	-	-	-
1938	Kalidüngesalz	-	-	100	-
1938	Leunamontan	50	-	-	-
1948	Kalkammonsalpeter	6	-	-	-
1948	Patentkali	-	-	9	-
1949	Kalkammonsalpeter	41	-	-	-
1956	Schwefelsaurer Ammoniak	100	-	-	-
1956	Rhenaniaphosphat	-	96	-	160
1956	Patentkali	-	-	21	-
1956	Kohlensaurer Kalk	-	-	-	1000
1958	Patentkali	-	-	21	-
1970	Kalkammonsalpeter	100	-	-	-
1970	Kalidüngesalz mit MgO	-	-	90	-
1983	Kohlensaurer Kalk	-	-	-	1600
1986	Kalkammonsalpeter	100	-	-	-
1986	Novaphos	-	100/200 ²	-	-
1986	Kaliumsulfat	-	-	100	-

¹Lupine als Beisat in der Kultur als N-Düngerersatz.

²Die Lupinenvariante hat 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ erhalten, die anderen Varianten erhielten 100 kg P₂O₅ ha⁻¹.

bis 1964/66 wurde N titrimetrisch, 1971 und 1976 kolorimetrisch bestimmt. 1994 erfolgte die N-Bestimmung mittels Elementaranalyse. (Reemtsma 1964, König und Fortmann 1996a, b, c)

DRIS

Auf den Beobachtungen aufbauend, dass für optimales Pflanzenwachstum die Einhaltung von bestimmten Nährstoffverhältnissen wichtiger ist als die von absoluten Nährstoffgehalten und die Verhältnisse in Blattorganen von ertragreichen Beständen weniger streuen als die von schlecht wachsenden Beständen, wird eine sogenannte Normpopulation ausgewählt. Diese sollte drei Kriterien erfüllen: (1) der Ertrag sollte höher sein als der der zu bewertenden Bestände, (2) die Varianzen der Nährstoffverhältnisse sollten kleiner sein als die der zu bewertenden Bestände und (3) der Ertrag der Normpopulation aufgetragen gegen die Nährstoffverhältnisse sollte einer Normalverteilung entsprechen. Die Nährstoffverhältnisse dieser Normpopulation werden als optimal angenommen und zur Bewertung des Ernährungszustands der zu untersuchenden Bestände herangezogen. Für jeden betrachteten Nährstoff wird ein Index berechnet, in den sowohl die Nährstoffverhältnisse der Normpopulation als auch deren Variationskoeffizienten eingehen:

$$A \text{ index} = [f(A/B) + f(A/C) + \dots + f(A/N)]/z$$

$$B \text{ index} = [-f(A/B) + f(B/C) + \dots + f(B/N)]/z$$

mit

$$f(A/B) = [(A/B)/(A_N/B_N) - 1] * 1000 / CV_N \text{ falls } A/B \geq A_N/B_N$$

oder

$$f(A/B) = [1 - (A_N/B_N)/(A/B)] * 1000 / CV_N \text{ falls } A/B < A_N/B_N$$

A/B: Nährstoffverhältnis (z. B. N/P) des zu bewertenden Bestands

A_N/B_N: Nährstoffverhältnis der Normpopulation

CV_N: Variationskoeffizient der Nährstoffverhältnisse der Normpopulation

z: Anzahl der Funktionen f

Der Index für einen Nährstoff hat einen Wert nahe null, wenn dieser Nährstoff in einem optimalen Verhältnis zu den anderen Nährstoffen steht. Ein negativer Index bedeutet, dass der betrachtete Nährstoff relativ zu den anderen Nährstoffen im Mangel, ein positiver, dass er im Überschuss vorliegt. Für weitere Details zur Berechnung der DRIS-Indizes siehe Walworth und Sumner (1987).

Ergebnisse

Auswahl der Normpopulation

Dem Versuchsdesign zufolge sollten die Volldüngungsvariante und die Lupinenvariante am besten ernährt sein. Deshalb wurden diese beiden Varianten als Normpopulationen herangezogen. Im Folgenden wird geprüft, ob die beiden Varianten die Anforderungen, die DRIS an eine Normpopulation stellt, erfüllen.

1) *Höchster Ertrag* (Abbildung 1)

Die Volldüngungsvariante hatte im Jahr 1958 einen signifikant (α = 0,05) größeren Volumenzuwachs als die Nulldüngungsvariante und die K-Mangelvariante und im Jahr 1981 als die Lupinenvariante und die K-Mangelvariante. Die Lupinenvariante stach im Jahr 1958

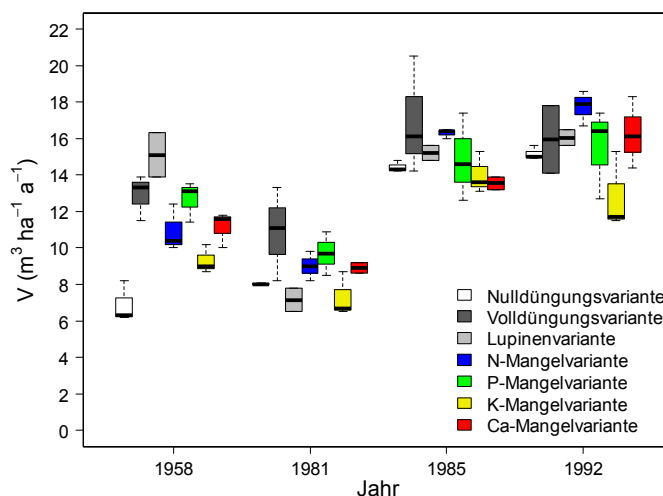


Abb. 1. Jährlicher Volumenzuwachs im Nährstoffmangelversuch Oerrel. Horizontale Linie: Median des Volumenzuwachses; unteres und oberes Ende der Boxen: 25. und 75. Perzentil; Balken: Die Länge ist maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands; Punkte: Messwerte, die außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands liegen („Ausreißer“).

Yearly volume increment in the nutrient deficiency trial Oerrel. Horizontal line: median volume increment; bottom and top of the box: 25th and 75th percentiles; whiskers: 1.5 times the interquartile range of the data; points: data points more than 1.5 times the interquartile range above and below the boxes (“outliers”).

Tab. 2. Varianzen der Nährstoffverhältnisse für die Volldüngungsvariante, die Lupinenvariante und alle Mangelvarianten im Nährstoffmangelversuch Oerrel; für jedes Nährstoffverhältnis sind der Median sowie der Minimal- und der Maximalwert aller Jahre angegeben.
 Variances of the nutrient ratios of the complete-fertilization treatment, the lupin treatment and all deficiency treatments in the nutrient deficiency trial Oerrel; for every nutrient ratio the median as well as the minimum and the maximum of all years are given.

Nährstoff- verhältnis	Volldüngungsvariante			Lupinenvariante			Mangelvarianten		
	Min	Median	Max	Min	Median	Max	Min	Median	Max
N/P	0,07	0,44	1,74	0,10	0,88	1,81	1,12	1,86	4,00
N/K	0,01	0,16	0,73	0,01	0,30	1,36	0,01	0,22	1,35
N/Ca	0,00	0,09	0,28	0,01	0,13	0,27	0,12	0,53	4,24
P/K	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02
P/Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06
K/Ca	0,02	0,04	0,10	0,00	0,05	0,08	0,02	0,14	1,25

klar hervor, mit einem signifikant ($\alpha = 0,05$) größeren Volumenzuwachs als die Nulldüngungsvariante sowie die N-, K- und Ca-Mangelvarianten. In den anderen Jahren unterschieden sich die Volldüngungs- und die Lupinenvariante nicht signifikant von den anderen Varianten. Auch durch eine Erhöhung des Signifikanzniveaus auf $\alpha = 0,10$ änderte sich nichts an der Tatsache, dass weder die Volldüngungs- noch die Lupinenvariante eine klare Zuwachsüberlegenheit gegenüber den anderen Varianten zeigten.

2) *Kleine Varianz der Nährstoffverhältnisse* (Tabelle 2)

Die Varianzen der Nährstoffverhältnisse der Volldüngungs- und der Lupinenvariante sollen kleiner sein als die der Mangeldüngungsvarianten. Die Varianzen der Volldüngungsvariante waren in 19 % der Fälle signifikant kleiner als die der Mangeldüngungsvarianten ($\alpha = 0,05$); die der Lupinenvariante in 25 % der Fälle. Bei einer Erhöhung des Signifikanzniveaus auf $\alpha = 0,10$ war die Bedingung für die Volldüngungsvariante in 36 %, für die Lupinenvariante in 42 % der Fälle signifikant erfüllt.

3) *Normalverteilung von Ertrag gegen Nährstoffverhältnisse* (Abbildung 2)

Aufgrund der geringen Anzahl an Datenpunkten war es unmöglich zu beurteilen, ob für die Normpopulation das Holzvolumen als Maß für den Ertrag aufgetragen gegen die Nährstoffverhältnisse einer Normalverteilung entspricht. Deshalb sind in Abbildung 2 nicht nur die Normpopulation, sondern auch alle anderen Varianten eingezeichnet. Doch auch im erweiterten Fall war es schwierig, eine Normalverteilung nachzuweisen. Dies gilt sowohl für die Volldüngungsvariante als auch für die Lupinenvariante als Normpopulation.

Die Volldüngungs- und die Lupinenvariante unterschieden sich also untereinander kaum in der Erfüllung der drei an eine Normpopulation gestellten Bedingungen. Deshalb werden im Folgenden die Ergebnisse der DRIS-Bewertung sowohl mit der Volldüngungs- als auch mit der Lupinenvariante als Normpopulation vorgestellt.

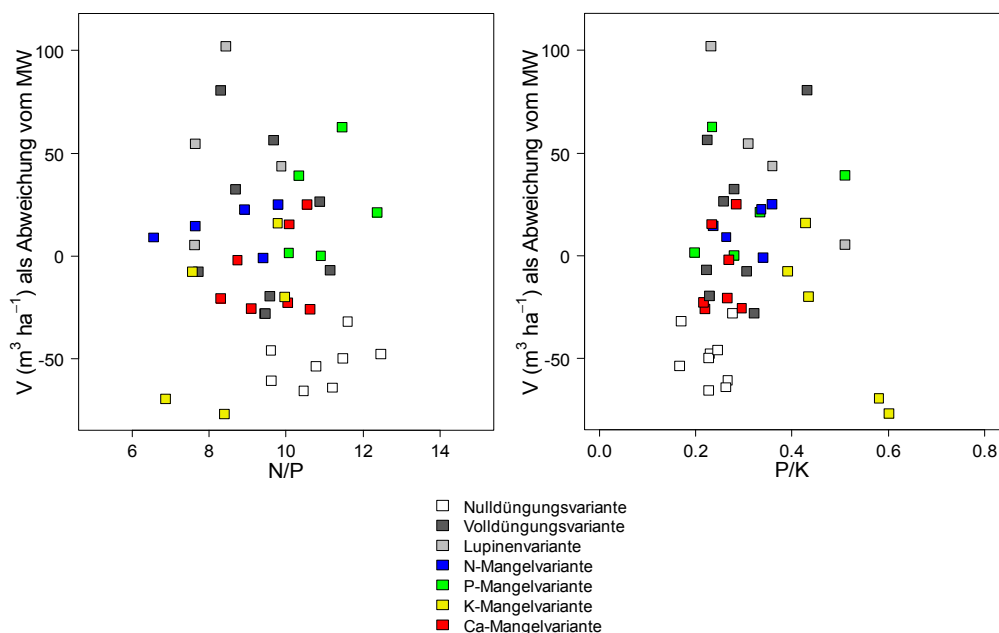


Abb. 2. Holzvolumen der Varianten in jedem Untersuchungsjahr (als Differenz vom Mittelwert (MW) des Holzvolumens aller Varianten) aufgetragen gegen das Nährstoffverhältnis im Nährstoffmangelversuch Oerrel, exemplarisch für (a) N/P bzw. (b) P/K.

Wood volume of the treatments in every year (as difference of the mean wood volume of all treatments) versus the nutrient ratio in the nutrient deficiency trial Oerrel, exemplarily for (a) N/P, (b) P/K.

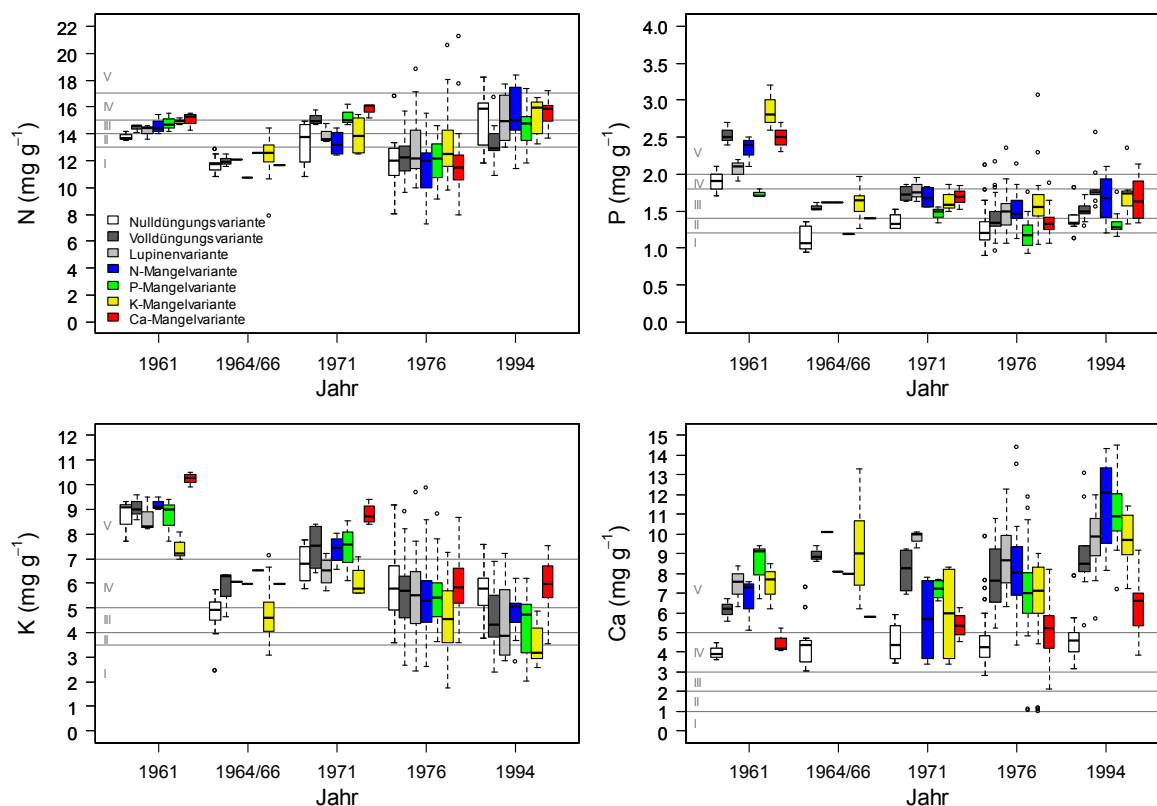


Abb. 3. Nährstoffgehalte von einjährigen Fichtennadeln der verschiedenen Varianten im Nährstoffmangelversuch Oerrel. Horizontale Linie: Median des Nährstoffgehalts; unteres und oberes Ende der Boxen: 25. und 75. Perzentil; Balken: Die Länge ist maximal das 1,5-fache des Interquartilsabstands; Punkte: Messwerte, die außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands liegen („Ausreißer“). Die Ernährungsstufen der Forstlichen Standortsaufnahme (Arbeitskreis Standortkartierung 2003) sind eingezeichnet (I-V). Nutrient contents in one-year old spruce needles of the different treatments in the nutrient deficiency trial Oerrel. Horizontal line: median nutrient content; bottom and top of the box: 25th and 75th percentiles; whiskers: 1.5 times the interquartile range of the data; points: data points more than 1.5 times the interquartile range above and below the boxes (“outliers”). The nutrition classes of the “Forstliche Standortsaufnahme” (Arbeitskreis Standortkartierung 2003) are plotted (I-V).

DRIS-Indizes

Um DRIS anhand eines Düngungsversuchs testen zu können, muss sichergestellt werden, dass die Düngungsvarianten von den Nadelgehalten widergespiegelt werden, d. h., dass die Düngungen erfolgreich waren. Dies ist im vorliegenden Versuch für alle Elemente außer für N der Fall (Abbildung 3).

Die DRIS-Indizes der verschiedenen Mangelvarianten spiegelten in 14 von 20 Fällen das Versuchsdesign wider, wenn die Volldüngungsvariante als Normpopulation verwendet wurde (Tabelle 3). Das heißt zum Beispiel, dass für die P-Mangelvariante (keine P-Düngung) P von DRIS mit dem negativsten Index versehen wurde, was bedeutet, dass P relativ zu den Nährstoffen N, K und Ca im Mangel vorliegt. Am häufigsten wurde die N-Mangelvariante von den DRIS-Indizes nicht widergespiegelt, sondern ein anderer Nährstoff als N wurde als am stärksten im Mangel befindlich ausgewiesen. In den Jahren 1971 und 1976 passten die DRIS-Indizes nicht zu den Düngungsvarianten. In diesen beiden Jahren wurde sehr häufig Ca als der Nährstoff, der im Vergleich zu den anderen am stärksten im Mangel ist, ausgewiesen. Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn die Lupinenvariante als Normpopulation verwendet wird (Tabelle 4). Leider wurde die Lupinenvariante nicht in allen Jahren ausreichend beprobt, sodass nur für vier Jahre DRIS-Indizes berechnet werden konnten.

Unabhängig von der Normpopulation wurde für die Nulldüngungsvariante (Kontrolle) immer Ca als relativ zu den anderen Elementen im Mangel ausgewiesen; in wenigen Jahren hatte auch P

einen negativen DRIS-Index. Die Ernährungssituation wurde von DRIS als mit den Jahren zunehmend besser bewertet, was sich in absolut geringeren Index-Werten äußert.

Die Düngungen führten nicht zu einer ausgeglicheneren Ernährungssituation, d. h., die absoluten Werte der DRIS-Indizes waren in den Jahren nach den Düngungen (1961: fünf Jahre, 1971: ein Jahr nach der jeweils letzten Düngung) nicht kleiner als in den Jahren, die zeitlich einen größeren Abstand zur jeweils letzten Düngung hatten.

Andere Bewertungsmethoden

Mit den im Folgenden genannten anderen Bewertungsmethoden ist es schwieriger als mit DRIS, zu überprüfen, ob Düngungsvarianten widergespiegelt werden. Deshalb liegt der Schwerpunkt hier auf der allgemeinen Ernährungsbewertung und nicht wie im vorangegangenen Abschnitt auf der Überprüfung der Düngungsvarianten.

Ernährungsstufen

Nach den Ernährungsstufen der Forstlichen Standortsaufnahme (Arbeitskreis Standortkartierung 2003; Stufen in Abbildung 3 eingezeichnet) wurden die Elementgehalte der untersuchten Fichtennadeln als sehr gering bis hoch für N, gering bis sehr hoch für P und K sowie hoch bis sehr hoch für Ca bewertet. Wendet man die Ernährungsstufen von Krauß und Heinsdorf (2005) auf die Daten an, kommt man zu dem Schluss, dass die untersuchten Fichten ausreichend bis luxuriös mit P und K ernährt waren. Bei N reichte die

Tab. 3. DRIS-Indizes für N, P, K, Ca im Nährstoffmangelversuch Oerrel; die Volldüngungsvariante jedes Jahres wurde als Normpopulation für das entsprechende Jahr verwendet.

DRIS-indices for N, P, K, Ca in the nutrient deficiency trial Oerrel; for every year, the complete-fertilization treatment was used as norm for the respective year.

Jahr	Variante	N-Index	P-Index	K-Index	Ca-Index
1961	Nulldüngung	43	-35	36	-43
1961	Lupine	7	-46	4	35
1961	N-Mangel	5	-21	7	8
1961	P-Mangel	27	-105	15	63
1961	K-Mangel	2	34	-57	22
1961	Ca-Mangel	20	-1	32	-51
1964/66	Nulldüngung	153	11	11	-175
1964/66	Lupine	-17	-4	0	20
1964/66	N-Mangel	-12	16	5	-9
1964/66	P-Mangel	39	-38	16	-17
1964/66	K-Mangel	11	3	-26	11
1964/66	Ca-Mangel	64	14	14	-92
1971	Nulldüngung	16	1	15	-32
1971	Lupine	-10	3	-11	18
1971	N-Mangel	0	17	13	-31
1971	P-Mangel	11	-13	5	-3
1971	K-Mangel	10	14	-2	-23
1971	Ca-Mangel	11	3	20	-34
1976	Nulldüngung	14	5	15	-34
1976	Lupine	-2	0	-3	5
1976	N-Mangel	-5	5	-1	1
1976	P-Mangel	11	-2	8	-17
1976	K-Mangel	19	21	3	-43
1976	Ca-Mangel	8	7	12	-28
1994	Nulldüngung	17	-4	13	-25
1994	Lupine	1	6	-6	-1
1994	N-Mangel	2	-5	-2	5
1994	P-Mangel	9	-12	-5	8
1994	K-Mangel	6	5	-13	2
1994	Ca-Mangel	8	1	9	-17

Spanne von mangelhaft bis luxuriös, je nach Untersuchungsjahr. Die Ca-Ernährung der Fichten war nach diesem Einstufungssystem luxuriös bis stark überernährt. Vergleicht man die Elementgehalte der Volldüngungsvariante mit denen der Lupinenvariante, fanden sich kaum Unterschiede für die Elemente N, P und K. Die Ca-Gehalte der Lupinenvariante waren allerdings höher als die der Volldüngungsvariante.

Nährstoffverhältnisse

Die N/P- und N/K-Verhältnisse lagen größtenteils in dem Bereich (N/P: 7,0-12,0; N/K: 1,9-3,6), den Flückiger und Braun (2003) als angemessen für eine gute Ernährungssituation ansehen (Tabelle 5). Es war jedoch ein Trend zu weiteren N/P- und N/K-Verhältnissen zu sehen. Die N/Ca-, P/Ca- und K/Ca-Verhältnisse der Nulldüngungsvariante und der Ca-Mangelvariante waren weiter als die der anderen Varianten, was auf eine mangelhafte Ca-Ernährung hindeutet (oder N, P, K waren im Überschuss vorhanden, was eher unwahrscheinlich ist). Die Volldüngungs- und die Lupinenvariante unterschieden sich kaum in ihren Nährstoffverhältnissen. Die Varianz in den Nährstoff-

Tab. 4. DRIS-Indizes für N, P, K, Ca im Nährstoffmangelversuch Oerrel; die Lupinenvariante jedes Jahres wurde als Normpopulation für das entsprechende Jahr verwendet.

DRIS indices for N, P, K, Ca in the nutrient deficiency trial Oerrel; for every year, the lupin treatment was used as norm for the respective year.

Jahr	Variante	N-Index	P-Index	K-Index	Ca-Index
1961	Nulldüngung	18	5	17	-39
1961	Volldüngung	-13	28	0	-15
1961	N-Mangel	-6	14	3	-11
1961	P-Mangel	18	-30	3	9
1961	K-Mangel	-11	49	-33	-5
1961	Ca-Mangel	-3	28	19	-44
1971	Nulldüngung	89	15	54	-158
1971	Volldüngung	28	-1	18	-46
1971	N-Mangel	52	48	49	-149
1971	P-Mangel	56	-25	29	-59
1971	K-Mangel	65	38	23	-125
1971	Ca-Mangel	81	19	64	-164
1976	Nulldüngung	12	0	17	-29
1976	Volldüngung	1	-1	3	-3
1976	N-Mangel	-4	5	2	-3
1976	P-Mangel	11	-6	12	-17
1976	K-Mangel	16	18	2	-36
1976	Ca-Mangel	7	3	15	-25
1994	Nulldüngung	13	-11	29	-30
1994	Volldüngung	-2	-6	7	0
1994	N-Mangel	-1	-10	5	7
1994	P-Mangel	4	-16	1	10
1994	K-Mangel	3	0	-6	3
1994	Ca-Mangel	5	-6	22	-20

verhältnissen der Nadeln war in den Jahren nach den Düngungen (1961: fünf Jahre, 1971: ein Jahr nach der jeweils letzten Düngung) deutlich kleiner als in den Jahren, die zeitlich einen größeren Abstand zur jeweils letzten Düngung hatten; die einzige Ausnahme bildeten die Ca-Verhältnisse.

Mehrnährstoffrelationen

Fiedler und Höhne (1987) haben für Fichtennadeln eine optimale N/P/K-Relation von 67/8/25 empirisch ermittelt. Bewertet man die Ernährungssituation der Fichten des Nährstoffmangelversuchs Oerrel nach Fiedler und Höhne (1987), war sie am Anfang des Beobachtungszeitraums unausgeglichen. N nahm im Laufe der Jahre relativ zu den anderen Elementen zu, was zu einer verbesserten N-Versorgung führte; P blieb auf einem guten Niveau, wohingegen K relativ gesehen abnahm (Tabelle 6). Fiedler und Höhne (1987) beobachteten ebenfalls einen Anstieg der N-Gehalte begleitet von einer Abnahme der K-Gehalte mit zunehmendem Alter von Fichten. Das heißt, die Ernährungssituation der Fichten wurde nach diesem Bewertungssystem im Laufe der Zeit besser. Ingestad (1979) ermittelte eine optimale N/P/K/Ca-Relation von 59/9/29/3 in Nadeln von Fichtensämlingen, die in Hydrokultur wuchsen. Vergleicht man die Mehrnährstoffrelationen der Fichten des Nährstoffmangelversuchs Oerrel mit diesem empirisch bestimmten Optimum, zeigt sich vor allem, dass Ca über den ganzen Beobachtungszeitraum und alle Varianten hinweg relativ zu den anderen Elementen im Überschuss vorhanden war (Tabelle 6).

Tab. 5. Mittlere Nährstoffverhältnisse der verschiedenen Varianten und Jahre im Nährstoffmangelversuch Oerrel.
Mean nutrient relations of the different treatments and years in the nutrient deficiency trial Oerrel.

Jahr	Variante	N/P	N/K	N/Ca	P/K	P/Ca	K/Ca
1961	Nulldüngung	7,26	1,59	3,45	0,22	0,48	2,18
1961	Volldüngung	5,70	1,59	2,34	0,28	0,41	1,47
1961	Lupine	6,87	1,64	1,91	0,24	0,28	1,17
1961	N-Mangel	6,26	1,59	2,19	0,25	0,35	1,38
1961	P-Mangel	8,54	1,70	1,76	0,20	0,21	1,04
1961	K-Mangel	5,21	2,01	2,00	0,39	0,38	1,00
1961	Ca-Mangel	6,01	1,47	3,34	0,24	0,56	2,27
1964/66	Nulldüngung	11,08	2,00	2,12	0,18	0,19	1,06
1964/66	Volldüngung	7,69	1,91	0,81	0,25	0,10	0,42
1964/66	Lupine	7,76	2,02	0,79	0,26	0,10	0,39
1964/66	N-Mangel	6,69	1,79	0,85	0,27	0,13	0,48
1964/66	P-Mangel	11,79	1,98	0,75	0,17	0,06	0,38
1964/66	K-Mangel	7,01	2,18	0,70	0,31	0,10	0,32
1964/66	Ca-Mangel	8,52	1,88	1,54	0,22	0,18	0,82
1971	Nulldüngung	10,39	1,64	2,58	0,16	0,25	1,57
1971	Volldüngung	9,31	1,89	1,01	0,20	0,11	0,54
1971	Lupine	7,73	1,92	0,85	0,25	0,11	0,45
1971	N-Mangel	7,79	1,60	1,29	0,21	0,17	0,81
1971	P-Mangel	12,01	1,99	1,29	0,17	0,11	0,65
1971	K-Mangel	8,82	2,36	1,51	0,27	0,17	0,64
1971	Ca-Mangel	9,92	1,77	2,12	0,18	0,21	1,20
1976	Nulldüngung	9,76	1,83	1,89	0,19	0,19	1,03
1976	Volldüngung	9,14	1,95	1,26	0,21	0,14	0,64
1976	Lupine	8,81	1,88	0,73	0,21	0,08	0,39
1976	N-Mangel	6,83	1,75	0,87	0,26	0,13	0,50
1976	P-Mangel	12,24	2,14	1,15	0,18	0,09	0,54
1976	K-Mangel	8,50	2,69	1,24	0,32	0,15	0,46
1976	Ca-Mangel	10,10	1,84	1,79	0,18	0,18	0,98
1994	Nulldüngung	12,19	2,69	3,33	0,22	0,27	1,24
1994	Volldüngung	9,38	3,00	1,20	0,32	0,13	0,40
1994	Lupine	8,76	3,40	1,29	0,39	0,15	0,38
1994	N-Mangel	9,40	2,89	1,19	0,31	0,13	0,41
1994	P-Mangel	12,25	3,51	1,22	0,29	0,10	0,35
1994	K-Mangel	9,43	4,24	1,12	0,45	0,12	0,26
1994	Ca-Mangel	10,54	2,62	2,62	0,25	0,25	1,00

Diskussion

Auswahl der Normpopulation

Der erste Schritt zur Bewertung der Ernährungssituation mit DRIS ist die Definition einer Normpopulation, die als Referenz für ausgewogene Nährstoffverhältnisse dient. Da es sich bei dem Versuch in Oerrel um einen nährstoffarmen Standort handelt (Seibt und Wittich 1965), kann davon ausgegangen werden, dass die Volldüngungsvariante und die Lupinenvariante verglichen mit den anderen Varianten besser mit Nährstoffen versorgt waren, wenn auch vielleicht nicht optimal. Aus diesem Grund wurde getestet, ob diese beiden Düngungsvarianten die Bedingungen, die DRIS an eine Normpopulation stellt, erfüllen. Es zeigte sich, dass es schwierig ist, die verschiedenen Varianten hinsichtlich ihres Wachstums voneinander zu trennen: Auch die Mangelvarianten wiesen ähnliche Zuwächse auf wie die beiden voll gedüngten Varianten. Seit den 1950er-Jahren hat die N-Deposition in Deutschland stark zugenommen, bis sie in den 1980er-Jahren ein Maximum erreichte und seitdem langsam ab-

nimmt (Schöpp et al. 2003). Die Zunahme der N-Deposition und die damit erfolgte indirekte N-Düngung könnte zu der beobachteten Egalisierung des Zuwachses der verschiedenen Varianten geführt haben (Hättenschwiler et al. 1996, Prietzel et al. 2008). Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass die Abgrenzung einer Normpopulation bezüglich des Wachstums im Laufe des Beobachtungszeitraums erschwert wurde. Tendenziell hatte die Lupinenvariante am Anfang des Beobachtungszeitraums (1950er-Jahre) den größten jährlichen Zuwachs; sie wurde jedoch im Laufe der Zeit von der Volldüngungsvariante überholt. Dies steht im Einklang mit den Ertragsuntersuchungen von Seibt und Wittich (1965), die Kulturschäden in der Volldüngungsvariante beschreiben, welche sich noch in den 1950er Jahren auf die Ertragswerte auswirkten. Zusammenfassend bleibt für die Normpopulation festzuhalten, dass das Kriterium (1) des höchsten Ertrags nur am Anfang des Beobachtungszeitraums erfüllt war, die Bedingung (2) der kleinen Varianzen gut erfüllt und das Kriterium (3) der Normalverteilung kaum überprüfbar war.

Tab. 6. Mittlere N/P/K- und mittlere N/P/K/Ca-Relation der verschiedenen Varianten und Jahre im Nährstoffmangelversuch Oerrel; N+P+K = 100 bzw. N+P+K+Ca = 100. Mean N/P/K and mean N/P/K/Ca relation of the different treatments and years in the nutrient deficiency trial Oerrel; N+P+K = 100 and N+P+K+Ca = 100, respectively.

Jahr	Variante	N/P/K	N/P/K/Ca
1961	Nulldüngung	57/8/35	49/7/30/14
1961	Volldüngung	55/10/35	45/8/28/19
1961	Lupine	57/8/35	44/6/27/23
1961	N-Mangel	56/9/35	45/7/28/20
1961	P-Mangel	59/7/34	44/5/26/25
1961	K-Mangel	59/11/30	45/9/23/23
1961	Ca-Mangel	54/9/37	46/8/32/14
1964/66	Nulldüngung	67/6/27	54/5/21/20
1964/66	Volldüngung	62/8/30	42/6/20/32
1964/66	Lupine	61/8/31	41/5/20/34
1964/66	N-Mangel	58/9/33	40/6/23/31
1964/66	P-Mangel	62/6/32	45/4/23/28
1964/66	K-Mangel	66/9/25	45/6/17/32
1964/66	Ca-Mangel	62/7/31	47/6/24/23
1971	Nulldüngung	62/6/32	52/5/26/17
1971	Volldüngung	62/7/31	47/5/23/25
1971	Lupine	63/8/29	43/6/20/31
1971	N-Mangel	59/8/33	48/6/26/20
1971	P-Mangel	63/6/31	48/5/24/23
1971	K-Mangel	64/8/28	51/6/22/21
1971	Ca-Mangel	60/7/33	50/5/28/17
1976	Nulldüngung	63/7/30	51/5/25/19
1976	Volldüngung	64/7/29	46/5/20/29
1976	Lupine	65/8/27	44/5/19/32
1976	N-Mangel	63/8/29	43/6/20/31
1976	P-Mangel	65/6/29	47/5/21/27
1976	K-Mangel	68/8/24	51/6/18/25
1976	Ca-Mangel	62/7/31	48/6/25/21
1994	Nulldüngung	68/6/26	56/5/21/18
1994	Volldüngung	69/8/23	47/5/16/32
1994	Lupine	71/9/20	49/6/14/31
1994	N-Mangel	71/7/22	46/5/15/34
1994	P-Mangel	72/7/21	47/4/14/35
1994	K-Mangel	75/8/17	51/6/12/31
1994	Ca-Mangel	68/7/25	53/6/20/21

DRIS-Indizes

Die DRIS-Indizes spiegelten die Düngungsvarianten in 70 % (Normpopulation = Volldüngungsvariante) bzw. in 56 % (Normpopulation = Lupinenvariante) der Fälle wider. Für die Abweichungen gibt es Erklärungsansätze. So hat die zunehmende N-Deposition vermutlich dazu geführt, dass sich die N-Ernährung auch in den Varianten, die keine N-Düngung erhalten haben, im Laufe des Beobachtungszeitraums verbessert hat (Flückiger und Braun 1998, Priezel et al. 2008, Thimonier et al. 2010) und somit N auch in der N-Mangeldüngungsvariante von DRIS selten als das Element, das am stärksten im Mangel ist, ausgewiesen wurde. In den Jahren 1971 und 1976 wurden nicht nur die N-, sondern auch die P- und die K-Mangeldüngungsvariante nicht von den DRIS-Indizes widerspiegelt, sondern es wurde fast durchgängig Ca als das Element,

das am stärksten im Mangel ist, ausgewiesen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass 1970 mit N und K gedüngt, aber nicht gekalkt wurde, sodass Ca relativ zu den anderen Nährstoffen in Mangel geraten sein könnte.

Anhand der Nulldüngungsvariante können Aussagen darüber gemacht werden, wie DRIS unabhängig von den Düngungen die Ernährungssituation in Oerrel bewertet. Für die Nulldüngungsvariante wurde durchgängig Ca mit dem negativsten Index versehen, was auf einen relativen Ca-Mangel der Bestände in Oerrel hinweist. Frühe Bodenuntersuchungen am Standort zeigten, dass die Ca-Ausstattung der Böden sehr schlecht war (Seibt und Wittich 1965). Für den Zeitraum von 1939 bis 1959 haben Seibt und Wittich (1965) eine Minderleistung im Kreisflächenzuwachs der Ca-Mangeldüngungsvariante gegenüber der Volldüngungsvariante von 21 % festgestellt. Diese Befunde unterstützen die DRIS-Bewertung zumindest für das Jahr 1961. Die DRIS-Indizes der Nulldüngungsvariante der 1970er- und 1990er-Jahre sind vor dem Hintergrund der erhöhten Säuredeposition in den 1970er- und 1980er-Jahren ebenfalls plausibel. Die Säuredeposition hat bekanntlich zu einer Versauerung vieler Waldböden und zu einem Rückgang der Ca-Verfügbarkeit geführt (Ulrich 1991), weshalb eine Verbesserung der mangelhaften Ca-Ernährung in Oerrel sehr unwahrscheinlich erscheint.

Die Summe der Beträge der DRIS-Indizes wurde für alle Varianten im Laufe der Jahre kleiner, was darauf hindeutet, dass die Ernährung des gesamten Bestands mit der Zeit ausgewogener wurde. Diese Verbesserung der Ernährungssituation kann darauf zurückzuführen sein, dass es sich um einen ehemaligen Heidestandort handelt, der zu Beginn der Aufforstung sicherlich sehr nährstoffarm gewesen ist und dessen Nährstoffhaushalt sich im Laufe der schonenden forstlichen Bewirtschaftung (keine Beweidung, keine Streunutzung, nur Derbholznutzung) verbessert hat (Glatzel 1991).

Andere Bewertungsmethoden

Anhand der Ernährungsstufen können nur Aussagen zum absoluten Mangel eines Elements gemacht werden, und es ist schwierig, eine Reihenfolge der Elemente bezüglich ihres relativen Mangels aufzustellen. Es kann lediglich eine grobe Einteilung der Elemente vorgenommen werden (wie z. B.: N fällt in die Stufe I (Mangel), wohingegen P in die Stufe II fällt, folglich dürfte die N-Ernährung schlechter als die P-Ernährung sein). Fallen allerdings mehrere Elemente in dieselbe Stufe, ist die Reihenfolge der Elemente bezüglich ihres Mangels unklar. Mit DRIS hat man hingegen ein stufenloses Bewertungsinstrument, das differenziertere Aussagen zulässt.

Bei der Ernährungsbewertung mithilfe von Nährstoffverhältnissen und Mehrnährstoffrelationen können zwar keine Aussagen über den absoluten Mangel, dafür aber über den relativen Mangel im Vergleich zu den anderen betrachteten Elementen getroffen werden. Die Bestimmung der Reihenfolge der Elemente bezüglich ihres Mangels ist folglich recht leicht, jedoch ist die Ergebnisdarstellung nicht so eingängig wie bei DRIS. Ferner geht DRIS bei der Bewertung einen Schritt weiter und berücksichtigt neben den Elementgehalten auch deren Varianzen, was bei der Bewertung mittels Elementverhältnissen ausbleibt. Mit all diesen Methoden ist es schwieriger als mit DRIS, zu überprüfen, ob die Düngungsvarianten wiederspiegelt werden.

Vergleicht man nun im Rahmen des Möglichen die Bewertung der Ernährungssituation in Oerrel mittels DRIS mit der Bewertung anhand der herkömmlichen Methoden (Ernährungsstufen, Nährstoffverhältnisse und Mehrnährstoffrelationen), so fallen vor allem bei der Bewertung der N- und der Ca-Ernährung Diskrepanzen auf. Nach den DRIS-Indizes war N in der Nulldüngungsvariante im Vergleich zu den anderen Elementen ausreichend bis im Überschuss vorhanden, wohingegen N in eine schlechte Ernährungsstufe fiel und auch von den Mehrnährstoffrelationen als mangelhaft ausgewiesen wurde. Es besteht also ein Widerspruch zwischen der Bewertung der

Ernährungssituation in Oerrel nach den herkömmlichen Methoden und der Bewertung mit DRIS. Seibt und Wittich (1965) berichten von einer sehr schlechten N-Ausstattung der Böden und von einer Minderleistung im Kreisflächenzuwachs der N-Mangelvariante gegenüber der Volldüngungsvariante von 14 %. Das heißt, N scheint zumindest am Anfang des Beobachtungszeitraums tatsächlich im Mangel gewesen zu sein, sodass die hohen DRIS-Indizes nicht erklärbar sind.

Ca wurde für die Nulldüngungsvariante von DRIS als das Element mit dem größten relativen Mangel ausgewiesen, wohingegen Ca in die Ernährungsstufe IV (hohe Ca-Gehalte) fiel und auch nach der N/P/K/Ca-Relation von Ingestad (1979) als im Überschuss vorhanden zu bewerten war. Von ähnlichen Diskrepanzen in der Ca-Ernährungsbewertung berichten Pohl et al. (1999). Es ist mit den vorhandenen Informationen nicht möglich, zu klären, welche Bewertung die richtige ist, allerdings gibt es einige Indizien, die für die DRIS-Bewertung sprechen. Ertrags- und bodenkundliche Untersuchungen am Standort bestätigen den Ca-Mangel am Anfang des Beobachtungszeitraums (Seibt u. Wittich 1965). Die Ca-Gehalte sowohl der Nulldüngungsvariante als auch der Ca-Mangelvariante waren deutlich geringer als die der anderen Varianten, das heißt, die Ca-Düngung (Kalkung) führte zu deutlich erhöhter Ca-Aufnahme, was gegen eine Ca-Luxusernährung spricht. Die N/Ca-, P/Ca- und K/Ca-Verhältnisse der Nulldüngungsvariante und der Ca-Mangelvariante waren weiter als die der anderen Varianten, was auf eine mangelhafte Ca-Ernährung hindeutet.

Schlussfolgerung

Das „Diagnosis and Recommendation Integrated System“ (DRIS) ergänzt die vorhandenen Bewertungsmethoden, indem es zum einen den optimalen Ernährungszustand vor Ort bestimmt (über die Normpopulation) und somit Variationen im Klima und in den Bodenverhältnissen minimiert, außerdem werden auch die Varianzen der Elementgehalte in die Bewertung einbezogen. Zum anderen bietet die Ergebnisdarstellung den Vorteil, dass sie sehr schnell zu überblicken ist und die Elemente entsprechend ihrem relativen Mangel sortiert werden können.

Die Bedingung, dass eine Normpopulation vorhanden sein muss, birgt allerdings auch Probleme bei der Anwendung von DRIS im Wald. Es kann schwierig sein, eine Normpopulation zu finden, die unter den gleichen klimatischen und edaphischen Verhältnissen gewachsen ist und ferner die gleiche forstliche Behandlung erfahren hat wie die zu bewertenden Bestände. Gelänge es jedoch, die Ernährungsbewertung mittels DRIS anhand weiterer Düngungsversuche zu validieren, so wäre diese Methode eine Planungshilfe für Kalkungen und Düngungen sowie bei der Steuerung von Energieholznutzungen.

Danksagung

Wir danken der Europäischen Kommission für die Förderung des Projekts „Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System“ (LIFE07 ENV/DE/00218 „FutMon“) im Rahmen von Life+.

Literatur

Arbeitskreis Standortskartierung. 2003. Forstliche Standortsaufnahme – Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 6. Aufl. IHW-Verlag, Eching bei München

Arnold R.J., Jett J.B., Allen H.L. 1992. Identification of nutritional influences on cone production in Fraser fir. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 586-591

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

Brække F.H., Salih N. 2002. Reliability of foliar analyses of Norway spruce stands in a Nordic gradient. *Silva Fenn.* 36, 489-504

Dammann I., Mindrup M., Schönfelder E. 2008. Entwicklung der Kalium-, Calcium- und Magnesium-Nährstoffversorgung von Waldbeständen in Niedersachsen und ihre Bedeutung für die Biomassennutzung. *Forst u. Holz* 63, 41-44

Drechsel P. 1994. DRIS – Diagnosis and recommendation integrated system. Bayreuther Bodenkundliche Berichte Bd. 34

Fiedler H.J., Höhne H. 1984. Das NPK-Verhältnis in Kiefernadeln als arteilene Erscheinung und Mittel zur Ernährungsdiagnose. *Beitr. Forstwirtschaft.* 18, 128-132

Fiedler H.J., Höhne H. 1987. Relationen der Kernnährstoffe in Fichtenadeln und ihre Abhängigkeit von biologischen Faktoren. *Beitr. Forstwirtschaft.* 21, 17-21

Flückiger W., Braun S. 1998. Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification. *Environ. Pollut.* 102, 69-76

Flückiger W., Braun S. 2003. Critical limits for nutrient concentrations and ratios for forest trees – a comment. In: *Empirical critical loads for nitrogen – Proceedings. SAEFL, Bern, 273-280*

Glatzel G. 1991. The impact of historic land use and modern forestry on nutrient relations of Central European forest ecosystems. *Fertil. Res.* 27, 1-8

Hätenschwiler S., Schweingruber F.H., Körner C. 1996. Tree ring responses to elevated CO₂ and increased N deposition in *Picea abies*. *Plant Cell Environ.* 19, 1369-1378

Hüttl R.F. 1992. Die Blattanalyse als Diagnose- und Monitoringinstrument in Waldökosystemen. *Freibg. bodenk. Abh.* 30, 31-59

Ingestad T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiol. Plant.* 45, 373-380

Kallweit R. 2001. Inventuren des Ernährungszustandes der Kiefer im Basisnetz der ökologischen Waldzustandskontrolle (ÖWK, Level I) und Entwicklung des Ernährungszustandes an EU-Dauerbeobachtungsflächen Level II. In: Landesforstanstalt Eberswalde (Hrsg.) *Forstliche Umweltkontrolle – Ergebnisse aus zehnjährigen Untersuchungen zur Wirkung von Luftverunreinigungen in Brandenburgs Wäldern.* Hendrik Bäfler Verlag, Berlin, 162-194

König N., Fortmann H. 1996a. Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs-Methoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme, Teil 1: Elementbestimmungsmethoden A-M. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 46*

König N., Fortmann H. 1996b. Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs-Methoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme, Teil 2: Elementbestimmungsmethoden N-Z und Sammelanhänge. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 47*

König N., Fortmann H. 1996c. Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs-Methoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabor II des Forschungszentrums Waldökosysteme, Teil 4: Probenvorbereitungs- und Untersuchungsmethoden, Qualitätskontrolle und Datenverarbeitung. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 49*

Kopp V.A., Burger J.A. 1990. Applying Diagnosis and Recommendation Integrated System to Fraser fir christmas trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 453-456

Krauß H.H., Heinsdorf D. 2005. Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. *Beitr. Forstwirtschaft. Landsch.ökol.* 39, 172-179

Linder S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecol. Bull.* 44, 178-190

Mindrup M., Meiwes K.J., Khanna P.K. 2001. Long-term nutrient dynamics of a spruce stand fertilised periodically for more than 50 years. In: Horst W.J. (Hrsg.) *Plant nutrition – Food security and sustainability of agroecosystems.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 908-909

Montañés L., Heras L., Abadía J., Sanz M. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). *J. Plant Nutr.* 16, 1289-1308

Mourão Filho F.A.A. 2004. DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Sci. Agric.* 61, 550-560

Needham T.D., Burger J.A., Oderwald R.G. 1990. Relationship between Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) optima and

- foliar nutrient critical levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 883-886
- Oren R., Schulze E.D., Werk K.S., Meyer J. 1988. Performance of two *Picea abies* (L.) Karst. stands at different stages of decline VII. Nutrient relations and growth. *Oecologia* 77, 163-173
- Paré D., Meyer W.L., Camiré C. 1993. Nutrient availability and foliar nutrient status of sugar maple saplings following fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1107-1114
- Pohl H.N., Vandr  R., Kaupenjohann M. 1999. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) zur Interpretation des Ern hrungsstatus' von Waldb umen. *Forstwiss. Centralbl.* 118, 287-293
- Prietzl J., Rehfuess K.E., Stetter U., Pretzsch H. 2008. Changes of soil chemistry, stand nutrition, and stand growth at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in Central Europe during 40 years after fertilization, liming, and lupine introduction. *Eur. J. Forest Res.* 127, 43-61
- Reemtsma J.B. 1964. Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljahrgänge und der Streu. Dissertation Univ. Göttingen
- Riitters K.H., Ohmann L.F., Grigal D.F. 1991. Woody tissue analysis using an element ratio technique (DRIS). *Can. J. Forest Res.* 21, 1270-1277
- Rumpf S., Khanna P.K., Bauhus J., Meiwes K.J., Kohler M., Schönfelder E. 2008. Phosphor-Versorgung – Zustand und Tendenzen sowie ihre Bedeutung für die Energieholznutzung. *Forst u. Holz* 63, 37-40
- Sch pp W., Posch M., Mylona S., Johansson M. 2003. Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 7, 436-446
- Seibt G., Wittich W. 1965. Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Bd. 27. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Seibt G., Knigge W., Reemtsma J.B., Ulrich B. 1968. Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Düngungsmaßnahmen auf Ertragsleistung, Holzeigenschaften, nadelanalytische Merkmale und Bodenzustand des Fichtenbestandes im Düngungsversuch Oerrel-Lintzel. *Allg. Forst- u. Jagd-Ztg.* 139, 25-37
- Thimonier A., Graf Pannatier E., Schmitt M., Waldner P., Walthert L., Schleppi P., Dobbertin M., Kräuchi N. 2010. Does exceeding the critical loads for nitrogen alter nitrate leaching, the nutrient status of trees and their crown condition at Swiss Long-term Forest Ecosystem Research (LWF) sites? *Eur. J. Forest Res.* 129, 443-461
- Ulrich B. 1991. Folgerungen aus 10 Jahren Wald kosystem- und Waldschadensforschung. *Forst u. Holz* 46, 575-588
- 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
- Walworth J.L., Sumner M.E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6, 149-188
- Wehrmann J. 1959. Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbest nden. *Forstwiss. Centralbl.* 78, 77-97