

Auswirkungen der Waldkalkung auf die Krautschicht eines Fichtenforstes – Eine Fallstudie aus dem Hunsrück

Willy Werner

Synopsis

A fertilizing experiment with lime and potassium application was established in 1990 in a spruce forest on acid soil in the Hunsrück mountains (Idar Oberstein). Each of the two 10 m * 10 m large plots was fertilized with 3 t/ha ground magnesium rich lime (dolomite), 360 kg/ha potassium (as potassium sulfate) and a combination of 3 t/ha lime and 360 kg/ha potassium.

The aim of the investigation is to monitor (i) changes in the ion concentration (K, Ca, Mg, Al, Fe, H, NH₄, NO₃, SO₄ and Cl) of the soil solution in the humus layer with the aid of lysimeters, (ii) changes in cation exchange saturation, (iii) changes in biomass and «productive effort» by means of numbers of inflorescences and nutrition state of the dominant species *Deschampsia flexuosa*, (iv) changes in species composition of the herb layer, in the sequence of several years. Interrelations between all of these parameters should be demonstrated.

Liming increased the vitality of *Deschampsia flexuosa* as indicated by increasing biomass and the trend of increasing numbers of inflorescences. Fertilizing with potassium sulfate caused an acidification of soil solution in response to application and a decrease of biomass and inflorescences of *D. flexuosa*. Liming had a direct influence on increasing magnesium contents of *D. flexuosa* and in increasing nitrification in the humus layer. Nitrogen was fixed by the plant biomass, pointed out by no output of nitrate with seepage water and a higher nitrogen amount of biomass of *D. flexuosa*.

Species composition changed markedly, which could be seen by the germination of some nitrogen indicators (e.g. *Epilobium angustifolium*, *Senecio sylvaticus*, *Stellaria media*, *Dactylis glomerata* and other) which have their main phytosociological distribution in clear cutting communities (Epilobietea), weed- and grassland communities. Most of the approaching species grew very poor and did not flower because of the lack of light, so that most of them died within the vegetation period. The germination of nitrogen indicators recognized as a consequence of changes in nitrogen and base budget within the upper soil layers.

To minimize ecological impacts of nitrogen losses to groundwater it is very important to find simple indicators for evaluating nitrogen utilization before

liming of extensive areas for compensation of acid deposition can occur.

Walddüngung, Kompensationskalkung, Krautschicht, Artengefüge, Dauerquadrate, Stickstoffnachlieferung

forest fertilizing experiment, liming, herb layer, species composition, permanent plots, nitrogen mineralization

1. Einleitung

Das Bewußtsein, daß saure Deposition zur Bodenversauerung und den damit verbundenen Nachteilen wie Nährstoffverluste des Bodens und das Auftreten potentiell toxischer Kationen in der Bodenlösung führt, hat zur Forderung der »Kompensationskalkung« geführt, welche die saure Deposition neutralisieren soll. Diese Vorstellung hat zur Folge, daß die Immissionen, welche die saure Deposition verursachen, nicht reduziert werden müssen.

Als Folge von Luftschadstoffeinträgen sind in den letzten Jahren Veränderungen im Artengefüge der Krautschicht von Waldökosystemen aufgetreten (WITTIG & al. 1985, WITTIG & WERNER 1986, WILMANS & BOGENRIEDER 1986, FALKENGREN-GRERUP 1986, KUHN et al. 1987, ROST-SIEBERT & JAHN 1988, FALKENGREN-GRERUP & TYLER 1991). Da die Krautschicht von Wäldern gut geeignet ist, um bodenchemische Änderungen anzuzeigen, ist anzunehmen, daß das Artengefüge der Krautschicht auch mit einer Veränderung auf eine Kompensationskalkung reagiert. Denn eine Kalkung führt zu modifizierten bodenchemischen Verhältnissen und stellt einen massiven direkten Eingriff in den Ionenhaushalt unserer Wälder dar.

Eine Veränderung des Artengefüges kann durch verschiedene Wirkungswege verursacht werden. Wird sie durch Kalkung verursacht, sind zwei wichtige Wirkungswege zu berücksichtigen, einmal eine direkte Wirkung auf die Pflanzen durch eine verbesserte Basenversorgung und zum anderen indirekte Wirkungen, die sich aus einer verbesserten Leistung der Zersetzer und Mineralisierer ergeben und sich in erhöhter Mineralisations- und Nitrifikationsrate ausdrücken (ULRICH & KEUFFEL 1970, BEESE & LANG 1985, BEESE 1986, LANG 1986).

Ein Monitoring des Artengefüges der Krautschicht, das die Gründe der Veränderung nicht außer Acht lassen will, muß an der ökophysiologischen Schnittstelle zwischen Pflanzenernährung und Bodenchemie ansetzen und die zeitliche Abfolge der im Bodenwasser gelösten Ionenkonzentrationen mit betrachten.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es:

- Auswirkungen der Kalkung auf die Vitalität der Pflanzen zu erfassen,
- die veränderte Ernährung mit Mineralstoffen zu charakterisieren,
- Veränderungen des Artengefüges aufzuzeigen
- und zu evaluieren, ob die zu beobachtenden Veränderungen tolerierbar sind.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde im Hunsrück in der Nähe der Umweltmeßstation Idar-Oberstein (Forstamt Leisel) in einem bodensauren Fichtenforst ein Düngungsversuch auf jeweils 10 m * 10 m großen Flächen angelegt. Bei Kalkungsversuchen im Gewächshaus mit Stickstoffzeigern auf Böden aus Fichtenforsten und Buchenwäldern aus Rheinland-Pfalz fiel der Kalium-Mangel des Standortes Idar-Oberstein auf (WERNER 1990). Aus diesem Grunde wurde bei der Anlage eines Kalkungsversuches auch gleichzeitig die Untersuchung der Auswirkung einer Kalium-Düngung angestrebt.

Der Dolomitkalk und das K_2SO_4 wurden als Pulver oberflächlich auf den Boden in folgenden Düngergaben aufgebracht:

- Kalk-Gabe (Ca+Mg) von 3 t/ha Dolomitkalk (Wellener Kalk, Hubschrauberqualität),
- Kalium-Gabe (K) von 360 kg Kalium/ha (aufgetragen als K_2SO_4),
- Kalk- und Kalium-Gabe (K+Ca+Mg) von 3 t/ha Dolomitkalk und 360 kg Kalium /ha sowie
- Kontrolle (Kon.) ohne jegliche Düngung.

Bei dem Versuch sollen die eintretenden Veränderungen in der Ernährung und Vitalität der dominierenden Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) sowie im Artengefüge der Krautschicht über mehrere Jahre hinweg beobachtet werden. Dazu ist es notwendig, in gewissen Zeitabständen Pflanzen und Bodenproben zu entnehmen. Da eine solche Entnahme immer mit einer Störung verbunden ist, wurden zwei verschiedene Kategorien von Flächen pro Düngungsstufe angelegt. Zum einen jeweils eine Fläche, auf der destruktive Methoden zugelassen werden und zum anderen je eine Fläche, die nicht betreten werden darf, sondern auf der lediglich Beobachtungen, Zählungen und die Entnahme von Bodensickerwasserproben durchgeführt werden. Die Fläche für die

destruktiven Methoden wurde vor Beginn der Untersuchungen in 400 Quadrate à 0.50 m x 0.50 m unterteilt und die so entstandenen Raster durchnummeriert. Per Zufallszahlengenerator wurden dann für 5 Jahre im voraus 125 Rasternummern (25 pro Jahr) gezogen, die beerntet werden und in denen nach der Ernte Bodenproben entnommen werden sollen. Falls ein Baum oder Baumstumpf auf dem Raster stand, wurde keine Probe genommen. Fehlte die Bedeckung mit der Drahtschmiele, wurde nur die Bodenprobe entnommen. So ist es möglich, daß nicht für alle Untersuchungsjahre 25 Parallelproben vorhanden sind. Durch diese Vorgehensweise ist jedoch gewährleistet, daß Zufallsstichproben entnommen werden. Auf den Flächen wurden seit 1991 fortlaufend folgende Untersuchungs- und Probenahmemethoden durchgeführt:

- Fortlaufende Gewinnung (mit Ausnahme der Wintermonate) von Bodensickerwasser aus dem von der Krautschicht intensiv durchwurzelten Humuskörper des Bodens, mit Hilfe von Lysimetern (vgl. MEIWES & al. 1984 b). Die Unterdruck-Kleinlysimeteranlage besteht aus Plattenlysimetern (mit Wurzelzutritt) und Trichterlysimetern (vegetationsfrei), Sammelflaschen und einer batteriebetriebenen Vakuumpumpe. Die Lysimeter sind unterhalb des Ah-Horizontes eingebaut. Aus der Differenz der Ionengehalte der Trichter- und Plattenlysimeter läßt sich die Konzentration kalkulieren, die von den Pflanzen aufgenommen wird.
- Ernte der oberirdischen Biomasse der dominierenden Krautschichtart *Deschampsia flexuosa* auf den Flächen für destruktive Methoden jeweils Anfang August zum Zeitpunkt der optimalen Biomasseentwicklung (vgl. EBER in ELLENBERG & al. 1986). Dazu wurde das zur Ernte vorgesehene Raster eingemessen und der oberirdische Aufwuchs in 0.5 m * 0.5 m großen Rahmen direkt an der Bodenoberfläche mit einer Schere abgeschnitten (25 Wiederholungen pro Düngungsstufe und Jahr). Das Erntegut wurde im Labor per Hand von anhaftender Nadelstreu und von Holzresten befreit und bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen.
- Zählung der von *Deschampsia flexuosa* angelegten Halme zur Charakterisierung der generativen Vitalität jeweils Anfang August auf allen Flächen.
- Vegetationsaufnahme und kleinräumige Kartierung aller in der Krautschicht vorkommenden Arten zur Charakterisierung des Artengefüges jeweils Anfang August auf allen Flächen.
- Entnahme von Proben aus den Schichten der organischen Auflage und des Ah-Horizontes zur Charakterisierung der Kationenaustauscher-Belegung im Jahr 1990 vor der Kalkung und 1992 nach der Ernte der oberirdischen Biomasse der

Drahtschmiele auf den für destruktive Methoden vorgesehenen Flächen (25 Wiederholungen pro Dünungsstufe und Probenahme).

Im Bodensickerwasser der Platten- und Trichterlysimeter wurden fortlaufend im 14-tägigem Abstand die Kationen-Konzentrationen von NH₄, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn und H sowie die Anionen-Konzentrationen von Nitrat, Sulfat und Chlorid mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie (Ca, Mg, Fe und Mn) bzw. der Ionenchromatographie (Ammonium, Kalium, Nitrat, Sulfat und Chlorid) gemessen. Die H-Ionen-Konzentration im Sickerwasser wurden mit einer Einstabgaselektrode festgestellt.

Für die chemischen Analysen des Pflanzenmaterials wurde das trockene Pflanzenmaterial staubfein gemahlen. Der Nachweis von K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al und Zn erfolgte nach Aufschluß mit konzentrierter HNO₃ in Druckbomben und anschließender Messung am Atomabsorptionsspektrometer. Die Bestimmung der Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalte geschah mit einem Elementaranalysator (CHN-Rapid, Heraeus). Die Bodenproben wurden auf ihre Kationenaustauschkapazität und Kationenbelegung (K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn und H) mit Hilfe des NH₄Cl-Perkolationsverfahrens (MEIWES & al. 1984 a) untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ionenkonzentrationen in der Bodenlösung und Kationen-Austauscherbelegung

Die Wirkung und der Verbleib des K-Düngers läßt sich am besten an dem plötzlichen Anstieg der Leitfähigkeit der Bodenlösung direkt nach der Gabe und dem allmählichen Absinken im Jahr nach der Düngung ablesen. Das leichtlösliche K₂SO₄ trat sehr schnell in die Bodenlösung über und verursachte hier

eine pH-Absenkung von pH 3.5 in der Bodenlösung der Kontrollfläche bis auf pH 3.1 bzw 2.9 in der Bodenlösung der K-Düngungsvarianten, vermutlich weil viele H⁺-Ionen und andere säurebildende Kationen gegen Kaliumionen ausgetauscht wurden und ihrerseits in die Bodenlösung übertraten. Durch die hohe Löslichkeit des Kalium nahm dieser Effekt im Laufe des Jahres ab, bis die Leitfähigkeit durch Auswaschung von K und anderen in der Bodenlösung der Humusschicht vorhandenen Ionen wieder Größenordnungen wie auf der Kontrollfläche erreichte. 1992 und 1993 zeigte sich die K-Konzentration auf einem niedrigerem Niveau, jedoch war die Abstufung der einzelnen Dünungsstufen noch zu erkennen. In den Untersuchungsjahren stand den Pflanzen in der K+Ca+Mg-Dünungsstufe und der K-Dünungsstufe das meiste Kalium zur Verfügung, gefolgt von der Kontrolle. Die geringsten K-Konzentrationen wurden immer in der Bodenlösung der Ca+Mg-Variante gemessen.

Im Jahr 1992 war keine erhöhte K-Sättigung des Kationenaustauschers mehr festzustellen. Die Nachhaltigkeit einer als leicht wasserlösliches Kaliumsalz aufgetragenen K-Düngung ist also sehr gering. Auch MATZNER (1985) beschreibt nach einer K-Düngung hohe Verluste durch Auswaschung und nur einen geringen Verbleib von K-Ionen in der austauschbaren Fraktion im Unterboden.

Der Dolomitmalk lag dagegen zum größten Teil noch drei Jahre nach der Gabe als Ca- und Mg-Karbonat in den Auflage-Humusschichten fest. Eine Tiefenverlagerung war kaum festzustellen (WERNER 1994, 1995).

Die Ca- und Mg-Konzentrationen der Bodenlösungen waren in der K-Düngungsvariante und der Kontrolle am niedrigsten. Bei Dolomitmalkung wurden die höchsten Mg-Konzentrationen gemessen. In der Kombinations-Dünungsstufe (K+Ca+Mg) war erst im Jahre 1993 ein starker Anstieg der Mg-Kon-

	Kontrolle		Ca+Mg		K+Ca+Mg		K	
	Platte	Trichter	Platte	Trichter	Platte	Trichter	Platte	Trichter
1991								
NH ₄ -N	1.05	8.92	1.11	9.80	0.96	7.13	0.55	4.46
NO ₃ -N	2.19	19.39	2.89	21.46	6.64	12.02	2.09	5.32
N _{min}	3.24	28.31	4.00	31.26	7.60	19.15	2.64	9.78
%NO ₃	67.5	68.5	72.3	68.6	87.4	62.8	79.2	54.4
1992								
NH ₄ -N	0.64	1.83	0.56	1.54	0.91	1.83	0.41	0.59
NO ₃ -N	1.83	13.67	3.60	14.56	4.64	9.09	1.80	6.79
N _{min}	2.47	15.50	4.16	16.10	5.55	10.92	2.21	7.38
%NO ₃	74.1	88.2	86.5	90.4	83.6	83.2	81.4	92.0
1993								
NH ₄ -N	0.99	1.33	0.57	0.86	0.78	1.52	0.59	0.89
NO ₃ -N	8.25	16.03	4.57	19.52	7.83	14.86	0.96	13.80
N _{min}	9.24	17.06	5.14	20.38	8.61	16.38	1.55	14.69
%NO ₃	89.3	94.0	88.9	95.8	90.9	90.7	61.9	93.9

Tab. 1
Mittlere Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung der Platten- und Trichter-Lysimeter in mg/l u. Woche (gemittelt wurde jeweils eine Periode von Anfang April bis Ende November).

Tab. 1
Mean nitrogen concentrations (mg/l and week) in the soil solutions of different lysimeter types. The mean is calculated from a period beginning in april and ending in november.

zentrationen der Bodenlösung der Trichterlysimeter zu registrieren. Aus dem späten Anstieg ist zu folgern, daß bei kombinierter Kalium-Düngung und Kalkung das Mg später freigesetzt wird, als bei einer reinen Dolomitmalkung, bei der sich eine Verbesserung der Mg-Versorgung schon 1991 einstellte.

Die Kalkung mit Dolomit (Ca+Mg-Variante) hat ein erhöhtes N-Angebot in der Humusaufgabe zur Folge. In allen Untersuchungsjahren wurden in der Bodenlösung aus den Trichterlysimetern der Ca+Mg-Variante die höchsten Nitrat- und Mineralstickstoff (Nmin)-Konzentrationen gemessen (Tab. 1). Die niedrigsten Nmin-Konzentrationen stellten sich dagegen in den Bodenlösungen der K-Düngungsvarianten ein. Möglicherweise ist durch den Versauerungsschub, ausgelöst durch die K-Düngergabe, die Aktivität der Mikroorganismen beeinträchtigt worden. Aus der Differenz zwischen den Konzentrationen der Trichter- und Plattenlysimeter ist zu erkennen, daß das Nitrat die wichtigere N-Quelle für den Pflanzenbestand darstellt. Nur 1991 schien in der K-Variante das Ammonium zu überwiegen. Dies war jedoch 1992 und 1993 nicht festzustellen. Möglicherweise sind die Messungen aus dem Jahr 1991 bedingt durch die frisch eingebauten und vielleicht noch ungenügend konditionierten Lysimeterplatten als Artefakte zu bewerten. Die Nitrataufnahme aus der Bodenlösung der Humusaufgabe war in der Dolomitmalkungsstufe 1991 mit 18.6 mg NO₃ / l und Woche am höchsten. 1992 und 1993 war sie niedriger und nicht mehr wesentlich von der Kontrolle und den K-Düngungsvarianten (K und K+Ca+Mg) zu unterscheiden.

3.2 Populationsentwicklung und Nährstoffgehalte von *Deschampsia flexuosa*

Die oberirdische Biomasse von *Deschampsia flexuosa* variieren von Jahr zu Jahr. Im Jahr 1993 waren für alle Varianten die höchsten Vorräte festzustellen (Abb. 1). Durch Varianzanalysen ist zu belegen, daß im Mittel in der Ca+Mg-Variante signifikant die höchsten Biomassen auftreten. Die anderen Varianten lassen sich statistisch nicht differenzieren.

Noch höhere jährliche Unterschiede als bei den oberirdischen Biomassevorräten sind in der Zahl der Blütenstände zwischen den Untersuchungsjahren festzustellen (Abb. 2). Jedoch ist auch an diesem Parameter zweifelsfrei der Trend einer höheren Halmzahl durch Dolomitmalkung (Ca+Mg) zu erkennen. Daraus ist abzuleiten, daß die Population des Säurezeigers *Deschampsia flexuosa* durch die Kalkung in ihrem Wachstums und ihrem Reproduktionsverhalten positiv beeinflusst wird.

Dies tritt vermutlich durch die verbesserte Basen- (insbesondere Magnesiumversorgung) und Stickstoffversorgung ein. Die Mg-Gehalte der oberirdischen Biomasse lagen in der gekalkten Variante immer am höchsten (Abb. 3), was sich mit dem besseren Mg-Angebot, charakterisiert durch höhere Mg-Konzentrationen der Bodenlösung und einer höheren Mg-Sättigung des Kationenaustauschers, deckt. Das gleiche trifft auch für die Ca-Gehalte der Drahtschmiele und die Ca-Sättigung des Kationenaustauschers der Humusaufgabe zu. Die höchsten K-Gehalte in der Drahtschmiele wurden in den mit Kalium gedüngten

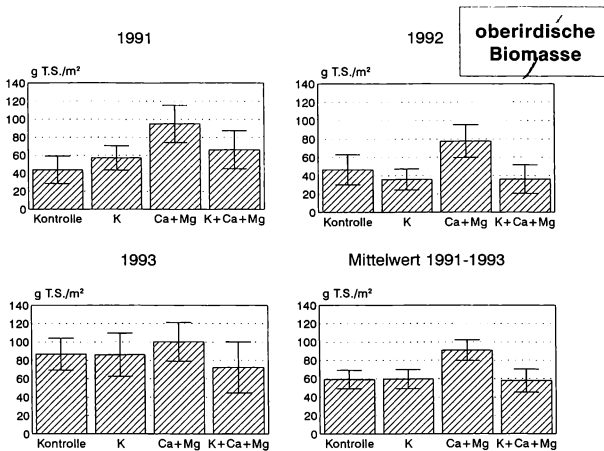


Abb. 1
Oberirdische Biomasse von *Deschampsia flexuosa* in g TS * m⁻². Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Fig. 1
Above ground biomass of *Deschampsia flexuosa* (g dry matter * m⁻²). Means were presented by columns and bars represent 95% confidence interval of mean.

Varianten gefunden (K und K+Ca+Mg), die niedrigsten in der Dolomitskalk-Variante (Ca+Mg). Jedoch waren die Gehalte im Jahr 1993 nicht mehr signifikant unterschieden.

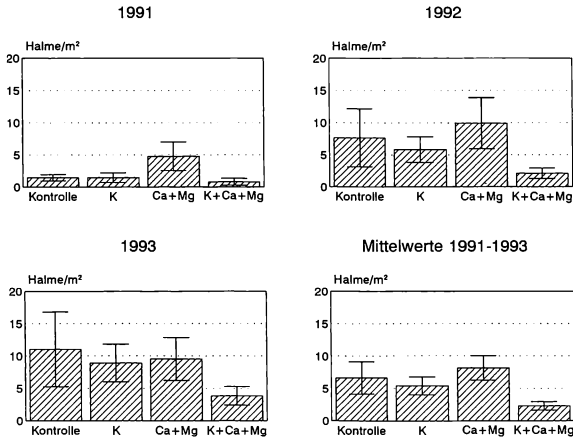


Abb. 2 Anzahl der Halme pro m² von *Deschampsia flexuosa*. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 20 Teilflächen à 10 m²) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Fig. 2 Number of spears per m² of *Deschampsia flexuosa*. Means (calculated from 20 sectors of 10 m²) were presented by columns and bars represent 95% confidence interval of mean.

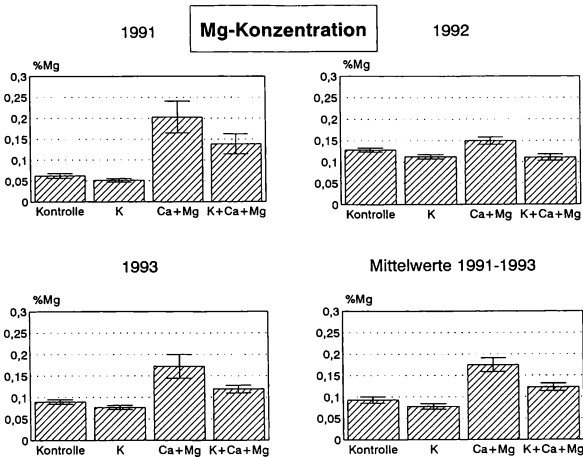


Abb. 3 Mg-Konzentration in % der Trockensubstanz der oberirdischen Biomasse von *Deschampsia flexuosa*. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Fig. 3 Mg-concentration (in % of drymatter) of the above ground biomass of *Deschampsia flexuosa*. Means were presented by columns and bars represent 95% confidence interval of mean.

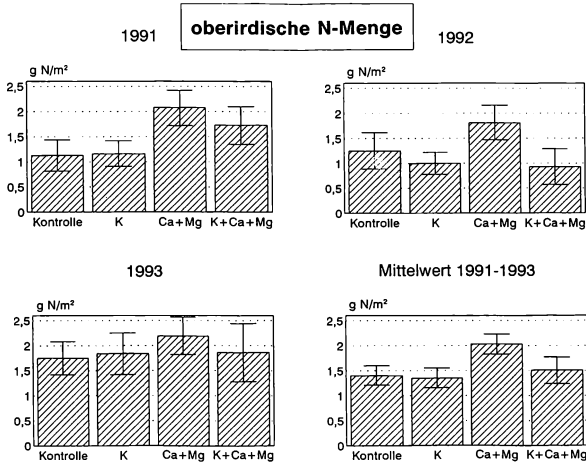


Abb. 4

N-Menge (g N*m⁻²), die in der oberirdischen Biomasse von *Deschampsia flexuosa* festgelegt ist. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 25 Stichproben) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Fig. 4

Nitrogen amount (in g N*m⁻²) of the above ground biomass of *Deschampsia flexuosa*. Means were presented by columns and bars represent 95% confidence intervals of mean.

Das erhöhte Stickstoffangebot in der Bodenlösung der gekalkten Variante drückt sich nicht in einer höheren N-Konzentration in der oberirdischen Biomasse von *Deschampsia flexuosa* aus. Die Stickstoffkonzentrationen der Drahtschmiele waren in allen Düngungsvarianten gleich groß. Betrachtet man aber die in der oberirdischen Biomasse der Drahtschmiele festgelegte N-Menge, dann tritt die Ca+Mg-Variante hervor (Abb. 4). Das bedeutet, daß das erhöhte Stickstoff-Angebot von der Drahtschmiele ausgenutzt und in eine höhere Biomasse umgesetzt wurde.

3.3 Veränderung des Artengefüges der Krautschicht

Am auffälligsten waren Veränderungen im Artengefüge (Artenzusammensetzung und Massenverteilung) der Krautschicht durch die Anwendung von Dolomitskalk. Auf den gekalkten Flächen traten seit 1991 eine Reihe neuer Arten hinzu (Tab. 2), die sonst z.B. auf Kahlschlägen (*Epilobium angustifolium* und *Senecio sylvaticus*), stickstoffreichen Unkrautfluren (*Stellaria media*), in Waldsäumen (*Moehringia trinervia*) bzw. im Grünland (*Tarxacum officinale*, *Dactylis glomerata*, *Agrostis capillaris*) ihren pflanzensoziologischen Verbreitungsschwerpunkt haben. Sie erreichten keine hohe Deckung oder Individuenzahl, auffällig war jedoch ihre Existenz nur in den gekalkten (Ca+Mg und K+Ca+Mg) Varianten.

Alle neu hinzugetretenen Arten lassen sich anhand der Zeigerwerte ihres ökologischen Verhaltens als Zeiger für mäßig stickstoffreiche Standorte bis ausgesprochene Stickstoffzeiger bzw. als Mäßigsäurezeiger bis Schwachbasenzeiger einordnen (ELLENBERG & al. 1992). Ihr ökologisches Spektrum zeigt deutlich stickstoff- und basenreichere Bedingungen bei meistens höheren Lichtansprüchen an. Diese Arten erlangten keine hohe Dominanz und Biomasse, sie erreichten meistens nur das Stadium eines Keimlings oder einer kümmernden Jungpflanze. *Senecio sylvaticus* war die einzige Art, die es bei kümmerndem Wuchs in den Jahren 1993 und 1994 mit wenigen Individuen bis zur Samenreife brachte.

Daraus ist zu schließen, daß der Energie- und Stoffhaushalt für diese Arten nicht so gut ist, daß sie lange überdauern oder sich vermehren können. Jedoch sind ökologische Bedingungen erreicht worden, welche die Keimruhe der Diasporen auf den gekalkten Flächen aufhebt.

Die Veränderungen im Artengefüge der Krautschicht lassen sich auch flächenhaft darstellen (Abb. 5) und demonstrieren so im einzelnen eindrucksvoll die eingetretenen Änderungen. Dabei werden auch die Populationsschwankungen der Arten dokumentiert, die sich z. B. in einem häufigerem Auftreten von *Galium saxatile* und *Vaccinium myrtillus* im Jahr 1994 im Vergleich zu 1991 äußern. Dieser Effekt ist auch auf den Kontrollparzellen zu beobachten.

Tab. 2

Pflanzensoziologische Tabelle des Düngungsversuches. Sie enthält die Artnamen (b), Zeigerwerte nach ELLENBERG & al. (1992) (a) und die Deckungsgrade der Arten geschätzt nach der Skala von BRAUN-BLANQUET (c); I – Fläche für destruktive Methoden, II – Fläche für nicht destruktive Methoden in den verschiedenen Untersuchungsjahren (1-1991, 2-1992, 3-1993, 4-1994). Nomenklatur der Arten nach ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1993).

Tab. 2

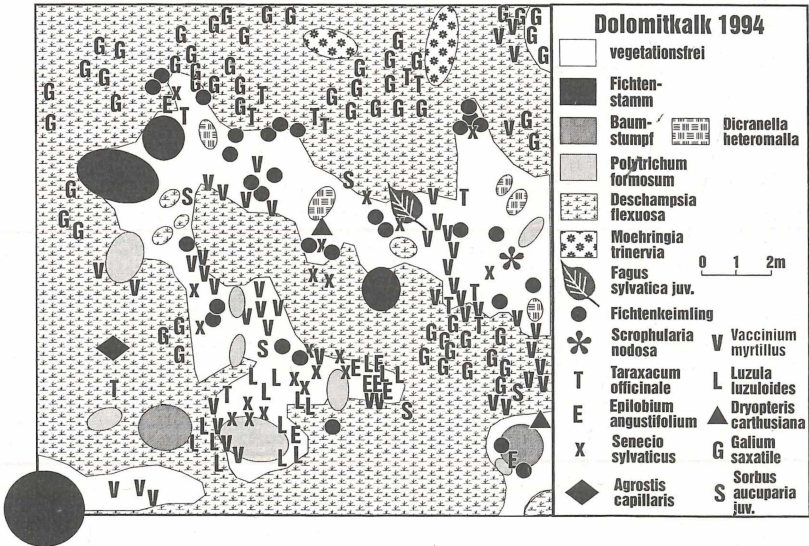
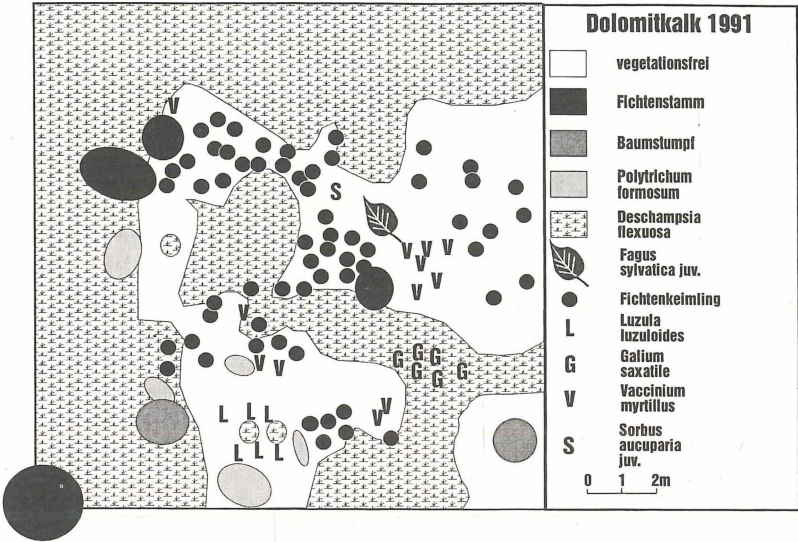
Table of relevés of the herb layer of the fertilizing experiment, containing names of species (b), indicator values after ELLENBERG al. (1992) (a) and cover of the species, estimated according BRAUN-BLANQUET scale (c); I – investigation area for destructive sampling methods, II – investigation area for non destructive observing methods in different years (1-1991, 2-1992, 3-1993, 4-1994). (Species names after ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 1993).

a						b						c																									
												Kontrolle				K				Ca+Mg				K+Ca+Mg													
						Jahre						I		II		I		II		I		II		I		II											
L	T	K	F	R	N	Artnamen						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
6	x	2	x	2	3	<i>Deschampsia flexuosa</i>						5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
5	x	5	x	2	3	<i>Vaccinium myrtillus</i>						1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
4	x	4	5	3	4	<i>Luzula luzuloides</i>						+	1	1	1	..	..	..	..	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
7	5	2	5	2	3	<i>Galium saxatile</i>						+	1	1	1	+	+	+	+	+	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
5	x	3	x	4	3	<i>Dryopteris carthusiana</i>						+	1	1	1	+	+	+	+	+	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
6	x	x	x	4	x	<i>Sorbus aucuparia</i> juv.						..	..	+	+	..	..	..	..	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	3	6	x	x	x	<i>Picea abies</i> Klg.						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
3	5	2	5	x	x	<i>Fagus sylvatica</i> Klg.						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	5	2	5	x	x	<i>Fagus sylvatica</i> juv.						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	6	6	x	x	x	<i>Quercus robur</i> Klg.						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	x	5	5	5	8	<i>Epilobium angustifolium</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	6	3	5	5	8	<i>Senecio sylvaticus</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	5	2	5	3	6	<i>Digitalis purpurea</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	5	3	5	6	7	<i>Moehringia trinervia</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	6	2	5	x	6	<i>Mycelis muralis</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	5	3	6	6	7	<i>Scropularia nodosa</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	x	3	x	4	4	<i>Agrostis capillaris</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	x	x	5	x	7	<i>Taraxacum officinale</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	x	3	5	x	6	<i>Dactylis glomerata</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	6	x	4	x	5	<i>Conyza canadensis</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	x	x	x	7	8	<i>Stellaria media</i>						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
						<i>Rubus fruticosus</i> agg.						..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Moose:																																					
4	2	5	6	2		<i>Polytrichum formosum</i>						2	1	1	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5	4	5	4	2		<i>Dicranella heteromalla</i>						..	..	..	..	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

4. **Schlußfolgerungen**

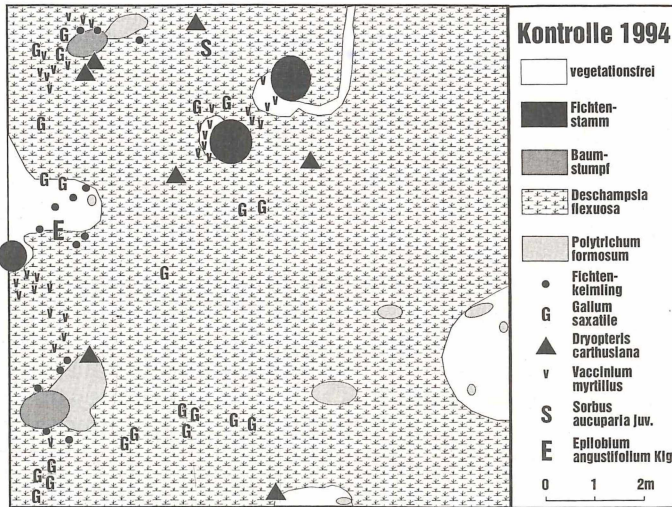
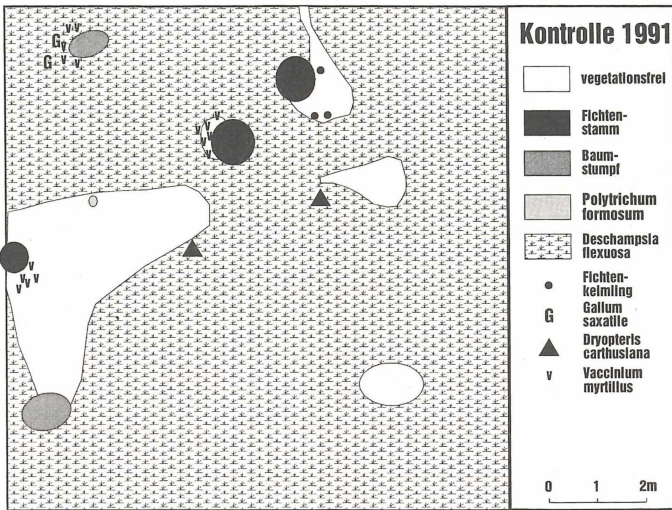
Die Veränderungen des Artengefüges in der Krautschicht sind zwar auffällig, aber nicht so schwerwiegend, daß eine Störung der Biozöosen zu erwarten ist. Einige ausdauernde Arten konnten sich nicht im Bestand etablieren (*Epilobium angustifolium*, *Taraxacum officinale*) und traten nur deshalb auf, weil sie

jede Vegetationsperiode erneut keimen. Beständige Individuen der Arten *Stellaria media*, *Moehringia trinervia*, *Dactylis glomerata* und *Agrostis capillaris* wurden aber schon über zwei bis drei Vegetationsperioden beobachtet. Vermutlich treten alle auf den mit Dolomitskalk behandelten Flächen neu hinzukommenden Arten auf, weil ihre Samenruhe unter anderem durch chemische Faktoren (Nitrat- und Basen-



gehalte der Bodenlösung) gesteuert wird (KARSEN & HILHORST 1992). Die Arten der Kahlschlagflora können sich aber nicht lange halten, da die Lichtverhältnisse im Fichtenforst nicht ausreichend sind. Wegen des schlechten Wachstums der neu hinzugeetretenen Stickstoffzeiger, die vermutlich einen höheren N-Bedarf haben, ist es kaum vorstellbar, daß die Krautschicht in der Lage ist, das vermehrt anfallende

Nitrat besser auszunutzen und im Ökosystem zurückzuhalten (WERNER 1995); besonders weil der Anteil der Bäume am N-Umsatz des Ökosystems wesentlich höher ist als der der Krautschicht (WERNER 1995). Die Krautschicht hat in Form ihres Artengefüges dagegen einen diagnostischen Wert zur Beurteilung der Nährstoffverhältnisse, der durch weitere andauernde Beobachtungen in seinem Bedeu-



b

Abb. 5
Vegetationskarten des Kalkungsversuches in den Jahren 1991 und 1994.
a: gekalkte Variante (Ca+Mg)
b: Kontrolle.

Fig. 5
Detailed vegetation maps of the fertilizing experiment in the years 1991 and 1994.
a: limed investigation area (Ca+Mg)
b: control investigation area.

tung noch gründlicher untersucht werden muß. Das Hinzutreten von Arten ist nicht als eine großräumige Veränderung und langanhaltende bzw. endgültige Veränderung unserer Waldgesellschaften anzusehen, sondern ist als Indikator für die verbesserte Basenversorgung und Mineralisationsbedingungen in basenarmen, humosen Oberböden zu werten.

Die Veränderungen im Artengefüge werden so lange anhalten, bis keine keimfähigen Diasporen mehr vorhanden sind oder die bodenchemischen Bedingungen insbesondere das Nitratangebot sich wieder so verändern, daß die vorhandenen Samen nicht mehr keimen. Die Nachhaltigkeit einer auf die Bodenoberfläche aufgetragenen Kalkung wird sich zeitlich in etwa mit der Zeitspanne des biologischen Umsatz der organischen Humusaufgabe decken, d. h. in wenigen Jahren bis Jahrzehnten liegen. Deshalb wird die Kompensationskalkung auch weiterhin für die »Ruderalisierung« gekalkter Waldökosysteme sorgen. Während andere Düngungsmaßnahmen mit leicht wasserlöslichen Salzen in Wäldern nicht nachhaltig sind und negative Auswirkungen haben können.

In dem vorliegenden Fallstudie wird das durch die Kalkung vermehrt anfallende Nitrat vollständig ausgenutzt. Nitrat tritt nicht im Sickerwasser (1,50 m Tiefe) des Ökosystem auf (BLOCK 1995). Die Stickstoffausnutzung läßt sich unter anderem an der höheren Biomasse der Drahtschmiele und vermutlich auch in einer vermehrten N-Aufnahme der Fichte ablesen.

Zu einer ökologischen Gefährdung kommt es, wenn durch großflächige Kalkungen Nitrat aus den Ökosystemen ausgewaschen wird, weil der Pflanzenbestand den angebotenen Stickstoff nicht mehr vollständig ausnutzt (Stickstoff-Sättigung). Es ist wahrscheinlich, daß solche Fälle bei den zur Zeit hohen Stickstoffoxideinträgen immer öfter zu erwarten sind. Eine Kalkung sollte unterbleiben, wenn das Ökosystem das dadurch freigesetzte Nitrat nicht verwerten kann. Deshalb müssen dringend Kriterien und Indikatoren entwickelt werden, mit deren Hilfe man die Stickstoffausnutzung einer Phytozönose beurteilen kann, ohne jahrelang mit hohem Aufwand Ionenflüsse messen zu müssen.

Die in der vorliegenden Arbeit aufgezeigten Ergebnisse sind nicht auf alle Wälder zu übertragen. Sie gelten nur für Wälder mit saueren humosen Oberböden (Humusform Moder bis Rohhumus), in denen durch die Kalkung das Mineralisationsgeschehen in Richtung erhöhte Nitratnachlieferung verschoben wird und Stickstoff insbesondere in seiner anionischen Form ein Mangelfaktor ist. Bevor weitere großflächige Waldkalkungen vorgenommen werden, von denen auch andere Standortstypen als der vorgestellte betroffen werden, bedarf es weiterer Untersuchungen, die darauf abzielen, Indikatoren wie z. B. die Artenzusammensetzung der Krautschicht aufzu-

finden, mit deren Hilfe abgeschätzt werden kann, wie der Stickstoff in der Phytozönose ausgenutzt wird. Hier liegt ein großer Forschungsbedarf, der die Zusammenhänge zwischen Nitratausnutzung und Artengefüge der Krautschicht aufdeckt.

Wesentlich wichtiger ist es jedoch, die Ursachen der sauren Deposition, die in den letzten Jahren immer stärker mit einer Stickstoff-Eutrophierung unserer Ökosysteme verbunden ist, zu bekämpfen bzw. wenigstens abzuschwächen, als weiterhin großräumig den Ionen- und damit Naturhaushalt unserer noch am wenigsten direkt durch den Menschen beeinflussten Ökosysteme zu stören.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz durchgeführt. Mein Dank gilt den studentischen Hilfskräften Jutta Busse, Stefan Hausmann und Uta Peters, die an der Durchführung des Projektes beteiligt waren.

Literatur

- BEESE, F., 1986: Parameter des Stickstoffumsatzes in Ökosystemen mit Böden unterschiedlicher Acidität. Göttinger Bodenkundl. Berichte 90: 344 S.
- BLOCK, J., 1995: Stoffbilanzen ungekalkter und gekalkter Teilareale der Waldökosysteme an den Umweltkontrollstationen Merzalben und Idar-Oberstein. Mitt. aus der Forst. Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz: (im Druck).
- EBER, W., 1986: Jahresrhythmus und Produktion der Kraut- und Moosschicht. In: ELLENBERG, H., MAYER, R. & J. SCHAUCHERMANN, 1986 [Hrsg.]: Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966–1986: 127–136.
- ELLENBERG, H., WEBER, H., DÜLL, R. WIRTH, V., WERNER, W. & D. PAULIBEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica XVIII, 2. Aufl.: 258 S.
- FALKENGREN-GRERUP, U., 1986: Soil acidification and vegetation changes in deciduous forests in southern Sweden. Oecologia 70: 339–347.
- FALKENGREN-GRERUP, U. & G. TYLER, 1991: Dynamic floristic changes of swedish beech-forest in relation to soil acidity and stand management. Vegetatio 95: 149–158.
- KARSSSEN, C.M. & H.W.M. HILHORST, 1992: Effect of chemical environment on seed germination. In FENNER, M., 1992 [ed.]: Seeds. The ecology of regeneration in plant communities. C A B International (Wallingford): 327–348.
- KUHN, N., AMIET, R. & N. HUFSCHEID, 1987: Veränderungen in der Waldbodenvegetation der

- Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. Allg. Forst u. J. Ztg. 158: 77–84.
- LANG, E., 1986: Heterotrophe und autotrophe Nitrifikation untersucht an Bodenproben von drei Buchenstandorten. Göttinger Bodenkundl. Ber. 89: 199S.
- LANG, E. & F. BEESE, 1985: Die Reaktion der mikrobiellen Bodenpopulation eines Buchenwaldes auf Kalkungsmaßnahmen. Allgemeine Forst Zeitschrift 43: 1166–1169.
- MATZNER, E., 1985: Auswirkungen von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in zwei Waldökosystemen im Solling. Allgemeine Forst Zeitschrift 43: 1143–1147.
- MEIWES, K.J., KÖNIG, N., KHANA, P.K., PRENZEL, J. & B. ULRICH, 1984 a: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen 7: 1–67.
- MEIWES, K.J., HAUHS, M., GERKE, H., ASCHE, N., MATZNER, E. & N. LAMMERSDORF, 1984 b: Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen – Konzept und Methodik. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen 7: 68–139.
- ROST-SIEBERT, K. & G. JAHN, 1988: Veränderung der Waldvegetation während der letzten Jahrzehnte – Eignung zu Bioindikation von Immissionswirkungen? Forst und Holz 43: 75–81.
- ULRICH, B. & W. KEUFFEL, 1970: Auswirkungen einer Bestandeskalkung zu Fichte auf den Nährstoffhaushalt des Bodens. Forstarchiv 41: 30–35.
- WERNER, W., 1990: Wirkung von Kalkung auf das Wachstum und die Vitalität von Eutrophierungs- und Ruderalisierungszeigern in der Krautschicht von Wäldern. Ergebnisbericht für die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz: 65 S.
- WERNER, W., 1994: Rechnergestützte Kartographie als Werkzeug zur Durchführung und Auswertung von Umweltmonitoring in Forschung und Lehre. In: BOLLMANN, J., BRÄUNINGER, T., MÜLLER, R. & P. TAINZ, 1994 [Hrsg.]: Beiträge zur kartographischen Informationsverarbeitung, Sonderband »Umweltinformation und Karte« zum 43. Deutschen Kartographentag Trier 1994: 271–290.
- WERNER, W., 1995: Untersuchungen zur Wirkung von Dolomit-Kalkung und Kalium-Düngung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität der Krautschicht des Waldökosystems an der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein. Berichte der Forstl. Versuchsanst. Rheinland-Pfalz: (Im Druck).
- WILMANS, O. & A. BOGENRIEDER, 1986: Veränderungen der Buchenwälder des Kaiserstuhls im Laufe von vier Jahrzehnten und ihre Interpretation – Pflanzensoziologische Tabellen als Dokumente. Abh. Landesmuseum Naturkde. Münster/Westf. 48 (2–3): 55–88.
- WITTIG, R. & W. WERNER, 1986: Beiträge zur Belastungssituation des Flattergras-Buchenwaldes der Westfälischen Bucht. – Eine Zwischenbilanz. Düsseldorf Geobot. Kolloq. 3: 33–70.
- WITTIG, R., BALLACH, H.-J. & C.J. BRANDT, 1985: Increase of number of acid indicators in the herb layer of the Millet Grass Beech-Forest of the Westphalian Bight. Angew. Bot. 59: 219–232.
- ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 1993: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland (vorläufige Fassung). Floristische Rundbriefe Beiheft 3 Zeitschrift für floristische Geobotanik, Populationsökologie und Systematik. Goltze Verlag (Göttingen): 1–480.

Adresse

PD Dr. rer. nat. habil. Willy Werner
 Universität Trier
 Fachbereich VI/Geobotanik
 D-54286 Trier

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [24_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Werner Willy

Artikel/Article: [Auswirkungen der Waldkalkung auf die Krautschicht eines Fichtenforstes - Eine Fallstudie aus dem Hunsrück 343-353](#)