

Kausalanalyse der Wachstumslimitierung von *Oxalis acetosella* L. in einem bodensauren Fichtenbestand

Hermann Rodenkirchen

Synopsis

The forest herb *Oxalis acetosella* L. showed moderate growth and distinct leaf chlorosis in an old *Picea abies* stand with acid soil and high ammonium deposition via throughfall (Höglwald forest). Diagnostic field fertilization experiments and nutrient solution studies were conducted to discover the main eco-physiological stress factor(s). The experiments led to the conclusion that Ca deficiency was the main reason for the low vitality. The predominant ammonium absorption probably aggravated the Ca deficiency. There were neither indications for N, P, K, Mg or micronutrient (Fe, Cu, Zn, Mo) deficiency, nor Al toxicity in the Höglwald forest. Despite high Mn leaf concentrations, Mn toxicity was not confirmed.

Oxalis acetosella L., Saurer Waldboden, Ca-Mangel, Mn-Toleranz

Oxalis acetosella L., acid forest soil, Ca deficiency, Mn tolerance

1. Einleitung

In stark bodensauren, aber stickstoffreichen Altfichtenbeständen Südbayerns zeichnet sich *Oxalis acetosella* oft durch mäßiges Wachstum und ausgeprägte

Blattrand- und Interkostalchlorosen aus (RODENKIRCHEN 1992). Im Rahmen des sog. Höglwald-Experiments (KREUTZER & GÖTTLEIN 1991) reagierte diese Pflanze äußerst positiv auf dolomitische Kalkung, hingegen negativ auf saure Beregnung (RODENKIRCHEN 1991). Die Blätter von *Oxalis* aus ungekalkten Höglwald-Versuchsflächen wiesen vergleichsweise niedrige Ca-Gehalte, auffallend hohe Mn-Spiegelwerte, aber hervorragende N- und P-Versorgung auf. Dies führte zur Vermutung, daß entweder Ca-Mangel oder Mn-Toxizität vorlag (RODENKIRCHEN 1986, 1992). Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden sowohl diagnostische Freilandexperimente als auch Nährlösungsversuche im Gewächshaus durchgeführt. Ausgewählte Versuchsergebnisse sollen im Rahmen dieser Publikation dargestellt werden.

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Tabelle 1 informiert über die Bestandes-, Vegetations- und Standortseigenschaften des Untersuchungsgebiets »Höglwald«.

Im Rahmen eines umfangreichen diagnostischen Felddüngungsversuchs (Tabelle 2) wurden Ca und Mg sowohl in Sulfat- als auch Carbonatbindungsform ausgebracht, um pH-Wirkungen (z.B. H⁺, Mn²⁺-Effekte) von Nährstoffeinflüssen (Ca,

Tab. 1
Standorts-, Bestandes- und Vegetationsverhältnisse im Höglwald

Tab. 1
Characteristics of site, stand and vegetation at "Höglwald" forest

| | |
|-------------------------------------|---|
| Lage: | Oberbayerisches Tertiärhügelland (Alpenvorland), Staatswald distrikt des Bayerischen Forstamts Aichach, 540m ü. NN, Plateau |
| Klima: | Mittlerer Jahresniederschlag 800 mm, mittlere Jahrestemperatur 7,3°C |
| Ausgangsgestein: | Löß über Feinsedimenten des Obermiozäns |
| Boden: | Saure Parabraunerde mit Moderhumus, im Unterboden schwach pseudovergleyt |
| Immissionssituation: | auffallend hohe Ammoniumeinträge mit dem Bestandsniederschlag (ca. 20 kg NH ₄ ⁺ -N ha ⁻¹ a ⁻¹) |
| Bestand: | Fichte, 85 jährig (1992), sehr wüchsig, geschlossen |
| Bodenvegetation: | dichte Moosdecke (65–80 %); Krautschicht (15–30 %): <i>Oxalis acetosella</i> vorherrschend, subdominant: <i>Dryopteris dilatata</i> , <i>D. carthusiana</i> , <i>Carex brizoides</i> , <i>Picea abies</i> |
| Natürliche Waldgesellschaft: | Luzulo-Fagetum (submontane Form) |

Tab. 2
Diagnostischer Felddüngungsversuch im Höglwald

Tab. 2
Diagnostic field fertilization experiment in the Höglwald forest

Versuchsbeginn: März 1989

Laufzeit: Düngerapplikation bis August 1990; Bonitierung bis Herbst 1991

Versuchsplan: Blockversuch mit 7 Versuchsvarianten a 6 Wiederholungen (6 Versuchsblöcke); jede Wiederholung entspricht einer Kleinparzelle mit einer Fläche von 5 m²; Versuchsareal insgesamt ca. 1750 m²

Versuchsvarianten:

- Kontrolle
- CaCO₃: 1,8 t Calcit/ha + 0,3 t Naturkalk/ha verteilt auf 3 Düngetermine (1989)
- CaSO₄ · 2 H₂O: 3,61 t/ha verteilt auf 7 Düngetermine (1989: 1,55 t/ha; 1990: 2,06 t/ha; Ca-Menge wie bei CaCO₃; insges. 840 kg/ha)
- MgCO₃/Mg(OH)₂: MgCO₃: 0,6 t/ha Magnesit + 1,43 t/ha Hydromagnesit, verteilt auf 3 Düngetermine (1989; Neutralisationskraft annähernd vergleichbar mit jener von CaCO₃)
- MgSO₄ · H₂O (Kieserit): 3,08 t/ha verteilt auf 12 Düngetermine (1989: 1,24 t/ha; 1990: 1,84 t/ha; Mg-Menge wie bei MgCO₃/Mg(OH)₂; insges. 541 kg/ha)
- MnSO₄·H₂O/MnO₂: insges. 255 kg Mn/ha (zu je 50%) verteilt auf 8 Düngetermine (1989: 120 kg Mn/ha; 1990: 135 kg Mn/ha)
- Kieselsäure (gefällt, Merck 657): 4 t/ha verteilt auf 5 Düngetermine (1989: 2 t/ha; 1990: 2 t/ha)

Mg) zu separieren; darüberhinaus wurden Mn und Si (Kieselsäure gefällt) appliziert, um mögliche Wirkungen einer Mn-Toxizität zu verstärken bzw. abzumildern.

In zusätzlichen Kleinversuchen wurde der mögliche Düngungseffekt weiterer Nährelemente (K, Zn, Fe, Mo) überprüft. Durch zeitlich gestaffelte Zufuhr von (NH₄)₂SO₄ konnte eine Verschärfung des Immissionsinflusses simuliert werden.

Bei der Durchführung von Nährlösungsversuchen im Gewächshaus (Tabelle 3) mit adulten Pflanzen aus dem Höglwald wurden die Grundnährlösung, die Lichtverhältnisse und die relative Luftfeuchtigkeit den Freilandbedingungen soweit wie möglich angepaßt. Bei konstantem pH-Wert wurden die Effekte einer Ca- bzw. Mn-Steigerungsreihe überprüft. Desweiteren erfolgte ein Wirkungsvergleich der an Ammonium reichen Grundnährlösung und einer reinen Nitratvariante (bei gleicher Gesamtstickstoffkonzentration).

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse des **Diagnostischen Felddüngungsversuchs** (vgl. Abb. 1, Tab. 4) bestätigten die Vermutung, daß das Wachstum und die vegetative Vermehrung des Waldsauerklees im Höglwald durch Ca-Mangel und nicht durch tiefen pH-Wert eingeschränkt war. Es ergaben sich keine klaren Belege für Mg-Mangel oder Mn-Toxizität. Sowohl nach CaCO₃ als auch nach MgCO₃-Zufuhr war die Mn-Aufnahme der Blätter pH-bedingt stark abgesunken (Tab. 4; pH-Anhebung im Wurzelraum bis auf 6,5). Auch im zweiten Experimentaljahr (1990) war nach massiver Mn-Zufuhr noch keine negative Reaktion der Pflanze erkennbar. Nach Kieselsäurezufuhr mit nachweislich erhöhter Si-Aufnahme stiegen zwar die Deckungsgrade ähnlich stark an wie nach Ca-Applikation, jedoch verbesserten sich die Einzelblatt-Wachstumsgrößen nur unwesentlich und die Blattchlorosen blieben in gleicher Ausprägung erhalten wie auf den Kontrollflächen.

Weder K- noch Spurenelementmangel (Fe, Cu, Zn, Mo) konnte experimentell nachgewiesen werden. Nach (NH₄)₂SO₄-Applikation verschlechterten sich die Wachstumskennwerte des Waldsauerklees deutlich. Dies korrelierte mit einem starken Rückgang der Ca-Aufnahme (RODENKIRCHEN 1992).

Der **Nährlösungsversuch** ließ eine straffe Ca-Dosis-Wirkungsbeziehung erkennen: mit steigenden Ca-Konzentrationen verbesserten sich das Wachstum (vgl. Abb.2) und die Vitalität der Pflanze. Nur bei schwacher Ca-Versorgung traten Blattchlorosen auf, die mit jenen im Freiland übereinstimmten. Die zur Zeit der Fruchtreife beernteten Pflanzen wiesen bei maximalem Wachstum Ca-Gehalte von >12 mg g Tr.S⁻¹ auf (vgl. Höglwald: 4–6,5 mg Ca g Tr.S⁻¹).

Im Rahmen des Mn-Steigerungsversuchs (vgl. Tab. 5) trat maximale Trockensubstanzproduktion bei einer mittleren Mn-Konzentration von 100 µM auf; dies war mit einem Mn-Gehalt der Blätter von 3300 µg g Tr.S⁻¹ verbunden (vgl. Höglwald: 1800–2800 µg g Tr.S⁻¹). Der »kritische Mn-Toxizitätslevel«, d.h. jener Mn-Gehalt der Blattspreiten bei dem ein Produktionsverlust von 10% gegenüber dem Maximum registriert wurde (vgl. MARSCHNER 1986), lag bei ca. 4400 µg g Tr.S⁻¹. Die Ca-Aufnahme war erst bei Mn-Konzentrationen von >350 µM in der Nährlösung beeinträchtigt.

Das Wachstum der Versuchspflanzen erhöhte sich bei reiner Nitraternährung signifikant gegenüber dem Vergleichswert der ammoniumreichen Grundnährlösung (RODENKIRCHEN 1992); auch verschwanden die Blattchlorosen vollständig. Bei vermehrter Nitrataufnahme verbesserte sich die Ca-Ernährung der Blätter von 4,6 auf 8,3 mg g Tr.S⁻¹.

Tab. 3
Nährlösungsversuche im Gewächshaus

Tab. 3
Nutrient solution studies in the greenhouse

1. Voranzucht:

Laufzeit: 27.2.–12.4.1990

Pflanzenmaterial: durch Teilung gebildete »Einzelpflanzen« aus dem Höglwald (insges. 2400 Stück); zu Beginn nur wenige, junge Blattknospen (jedoch vorjährige Blätter)

Substrat: Quarzsand (2/3) + Höglwaldhumus (1/3; LO_{f1} + Of₂)

Voranzucht in Pikierschalen (anfänglich mit Folie), aufgestellt im Höglwald

2. Eigentliche Nährlösungsversuche

Laufzeit: 12.4.–7.6.1990

Pflanzenmaterial: gezielte Auswahl möglichst vergleichbarer Einzelpflanzen ohne sichtbare Schadsymptome aus der Voranzucht; 12 Pflanzen pro Versuchsgefäß

Phänologie zu Versuchsbeginn: erste junge Blätter, Beginn der Blütenbildung;

Phänologie zu Versuchsende: Blattwachstum weitgehend abgeschlossen, Fruchtreihe

Ökologische Randbedingungen: tagsüber ca. 1500–5000 Lux (Schattierung); relativ hohe Luftfeuchtigkeit und Verdunstungskühlung infolge täglicher Befeuchtung einer Filzmatte; Lufttemperatur in Höhe der Versuchstöpfe (tagsüber): 16–22°C (meist 18–20°C)

Versuchsgefäße: 13,5 l (schwarzes PE)

Versuchsanlage: 11 Versuchsvarianten a 5 Wiederholungen (Versuchstöpfe in Blöcken angeordnet, innerhalb der Blöcke Zufallsverteilung)

Nährlösungen mit Dauerbelüftung und pH Korrektur (alle 3–5 Tage);

Nährlösungswechsel alle 10–14 Tage

Grundnährlösung: pH 4,0; (µM): NH₄NO₃:150, (NH₄)₂SO₄:100, KH₂PO₄:60, K₂SO₄:80, MgSO₄·7H₂O:40, CaSO₄·2H₂O:125, MnSO₄·H₂O:35, Fe-EDDHA (Sequestren):10, CuSO₄·5H₂O:0,2, ZnSO₄·7H₂O:1, H₃BO₃:10, Na₂MoO₄·2H₂O:0,2

Versuchsvarianten (pH 4,0):

Ca-Steigerungsreihe: 20, 50, 125, 500, 1250, 5000 µmol Ca²⁺/l als CaSO₄·2H₂O

Mn-Steigerungsreihe: 5, 35, 100, 350, 1000 µmol Mn²⁺/l als MnSO₄·H₂O

Nitratvariante: i.G. zur Grundnährlösung kein NH₄⁺-Salz, jedoch gleiche N-Konzentration; Ca(NO₃)₂·4H₂O: 125,

Mg(NO₃)₂·6H₂O:40, KNO₃:160, HNO₃:10 (µM)

4 Diskussion

Die verschiedenen Experimente lassen übereinstimmend die Schlußfolgerung zu, daß eine unzureichende Ca-Ernährung für das mäßige Blatt-, Wurzel- und Ausläufer-Wachstum und die Chlorosen im Höglwald verantwortlich war.

Vermutlich spielen für die Entstehung von Ca-Mangel bei *Oxalis* neben ungenügendem Ca-Angebot in sauren Böden auch ein relativ hoher Ca-Bedarf für optimales Wachstum eine wichtige Rolle. Ein Großteil des aufgenommenen Calciums wird als schwerlösliches Oxalat ausgefällt (RODENKIRCHEN 1992). Auch andere Autoren konnten die Anfälligkeit von Oxalalpflanzen für Ca-Mangel nachweisen (LÖTSCHE 1969, BORNKAMM 1965, BRUMAGEN & HIATT 1966).

Mehrere Indizien sprechen für eine Ammoniumdominanz bei der Stickstoffaufnahme der Pflanze im Höglwald (RODENKIRCHEN 1992). Dieser Umstand beeinträchtigt entsprechend der experimentellen Befunde die Ca-Aufnahme und verschärft die Mangelsituation (vgl. BERGMANN 1988).

Direkte Al-Toxizität oder antagonistische Wirkungen von Al³⁺ auf die Ca-Aufnahme waren für die Wachstumslimitierung im Höglwald nicht verantwortlich. Die Pflanze wurzelt sehr flach in den obersten Zentimetern der organischen Auflage, wo die Aktivität freien, monomeren Aluminiums sehr gering ist (SCHIERL & al. 1986).

Trotz auffallend hoher Mn-Gehalte der Blätter im Höglwald ergaben sich weder experimentelle Belege für direkte Mn-Toxizität noch für einen Mn/Ca-Aufnahmeantagonismus. Die hohe Mn-Gewebetoleranz der Blätter beruht vermutlich auf einer bevorzugten Akkumulation von Mn in der Vakuole und im Apoplasten (RODENKIRCHEN 1992).

Ungeklärt blieb die Ursache der partiellen Vitalisierung von *Oxalis* nach verstärkter Si-Aufnahme (Kieselsäurezufuhr). Zur Klärung bedarf es weiterer Experimente. Möglicherweise basierte diese Wirkung auf einem verbesserten Wasserversorgungsstatus (EMADIAN & NEWTON 1989).

| | Ca | Mg | Mn |
|-------------------|------|------|-----|
| Kontrolle | 6,1 | 5,1 | 2,6 |
| CaCO ₃ | 17,8 | 4,4 | 0,8 |
| CaSO ₄ | 13,5 | 2,9 | 1,9 |
| MgCO ₃ | 4,6 | 15,3 | 0,9 |
| MgSO ₄ | 4,2 | 11,5 | 1,7 |
| Mn | 4,6 | 4,0 | 4,9 |
| Kieselsäure | 6,5 | 5,1 | 3,1 |

Tab. 4

Durchschnittliche Ca-, Mg- und Mn-Gehalte (mg g Tr.S⁻¹) der Blattspreiten von *Oxalis acetosella* L. nach unterschiedlicher Behandlung im Rahmen des Diagnostischen Felddüngungsversuchs (August 1990)

Tab. 4

Mean concentrations of Ca, Mg and Mn (mg g d.m.⁻¹) in leaf blades of *Oxalis acetosella* effected by different treatments of the diagnostic field fertilization experiment (August 1990)

Tab. 5

Mittlere relative Trockensubstanzproduktion (% von Maximum) der Blätter und durchschnittliche Mn- und Ca-Gehalte der Blattspreiten bei unterschiedlichen Mn-Konzentrationen in der Nährlösung

Tab. 5

Effects of different Mn concentrations in the nutrient solution on the average relative dry matter production (% of maximum) of leaves and mean foliar Mn and Ca concentrations

| | Mn-Konzentrationen (µM) | | | | |
|--|-------------------------|-----|-----|-----|------|
| | 5 | 35 | 100 | 350 | 1000 |
| relative Produktion an Blattmasse (%) | 73 | 67 | 100 | 70 | 15 |
| Mn-Gehalte der Blätter am Ende des Versuchs (mg g Tr.S ⁻¹) | 0,6 | 1,6 | 3,3 | 4,9 | 6,3 |
| Ca-Gehalte der Blätter am Ende des Versuchs (mg g Tr.S ⁻¹) | 5,1 | 4,6 | 5,0 | 3,5 | 2,7 |

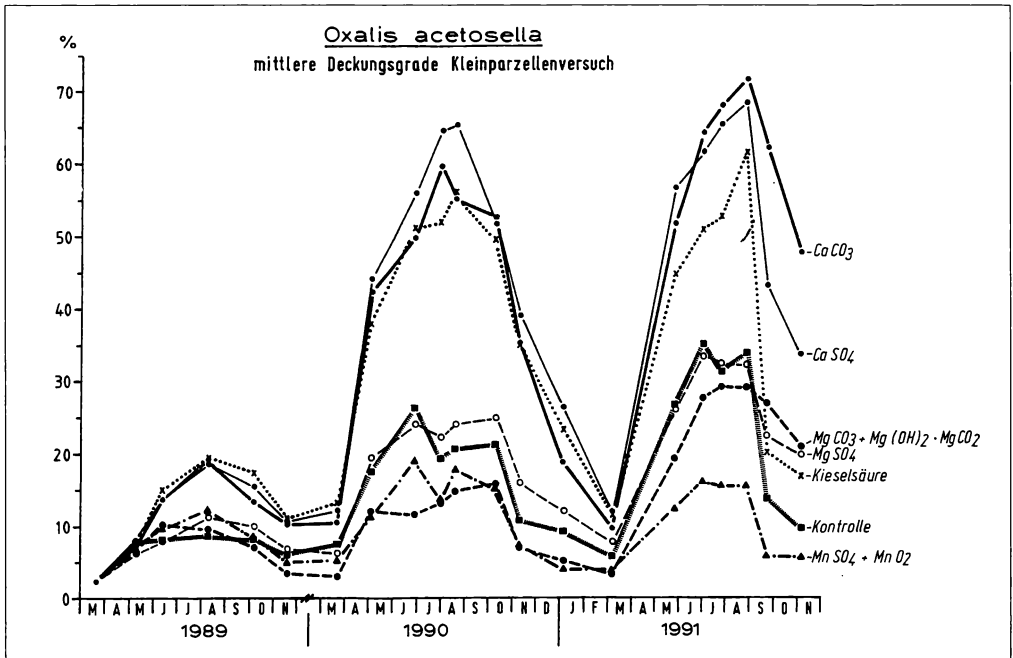


Abb. 1

Mittlere Deckungsgrade (%) von *Oxalis* nach unterschiedlicher Behandlung im Diagnostischen Felddüngungsversuch (1989-1991)

Fig. 1

Average cover (%) of *Oxalis* effected by different treatments of the diagnostic field fertilization experiment during 1989 to 1991

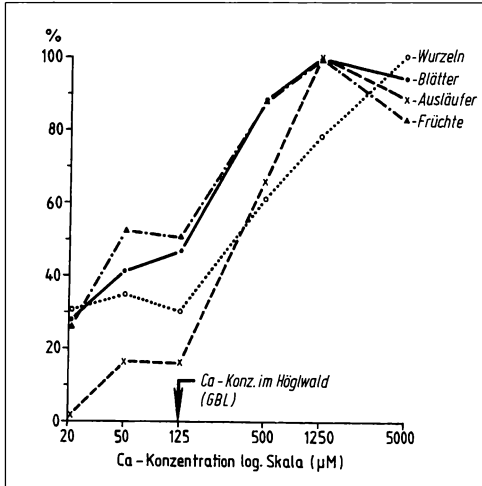


Abb. 2
Mittlere, relative Trockensubstanzproduktion (% von Maximum) verschiedener Organe während der 2-monatigen Versuchslaufzeit bei unterschiedlicher Ca-Konzentration in der Nährlösung

Fig. 2
Average relative dry matter production (% of maximum) of different organs during the two month long experiment, using different Ca concentrations in the nutrient solution

Dank

Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung der diagnostischen Experimente (Projekt Ro 759/1-1).

Literaturverzeichnis

- BERGMANN, W., 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. – G. Fischer, Jena: 762 S.
- BORNKAMM, R., 1965: Die Rolle des Oxalats im Stoffwechsel höherer grüner Pflanzen. – Flora (Abt. A) 156: 139–171.
- BRUMAGEN, D. M. & A. J. HIATT, 1966: The relationship of oxalic acid to the translocation and utilization of calcium in *Nicotiana tabacum*. – Plant and Soil 24: 239–249.
- EMADIAN, S. F. & R. J. NEWTON, 1989: Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. – J. Plant Physiol. 134: 98–103.
- KREUTZER, K. & A. GÖTTLEIN (Hrsg.), 199.: Ökosystemforschung Högwald. – Forstw. Forsch., H.

39: 261 S.

- LÖTSCH, B., 1969: Untersuchungen zum pflanzlichen Oxalsäure- und Mineralstoffwechsel. – Dissertation Universität Wien.
- MARSCHNER, H., 1986: Mineral nutrition of higher plants. – Academic Press, London: 674 S.
- RODENKIRCHEN, H., 1986: Auswirkungen von saurer Beregnung und Kalkung auf die Vitalität, Artenmächtigkeit und Nährstoffversorgung der Bodenvegetation eines Fichtenbestandes. – Forstw. Cbl. 105 (4): 338–350.
- RODENKIRCHEN, H., 1991: Entwicklung der Waldbodenvegetation auf den Versuchsflächen des Högwald-Experiments im Beobachtungszeitraum 1983 bis 1989. – Forstw. Forsch., H. 39: 74–86.
- RODENKIRCHEN, H., 1992: Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Stoffeinträgen auf Waldbodenpflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Mineralstoffernährung von *Oxalis acetosella* L. – Habilitationsschrift. Forstwiss. Fak., Universität München: 235 S.
- SCHIERL, R., A. GÖTTLEIN, E. HOHMANN, D. TRÜBENBACH & K. KREUTZER, 1986: Einfluß von saurer Beregnung und Kalkung auf Humusstoffe sowie die Aluminium- und Schwermetaldynamik in wässrigen Bodenextrakten. – Forstw. Cbl. 105 (4): 309–313.

Adresse

Privatdozent Dr. habil. Hermann Rodenkirchen
Lehrstuhl für Bodenkunde und Standortlehre
Ludwig-Maximilians-Universität München
Hohenbachernstr. 22
85354 Freising

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): Rodenkirchen Hermann

Artikel/Article: [Kausalanalyse der Wachstumslimitierung von *Oxalis acetosella* L in einem bodensauren Fichtenbestand 613-617](#)