

# Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten

Kubiniok, J. und Gerber, C.

## Zusammenfassung

Waldstandorte unterliegen durch ihre Einbindung in atmosphärische Stoffkreisläufe, die heute überwiegend anthropogen geprägt sind, starken Veränderungen. Die von außen eingetragenen Nähr- und Schadstofffrachten, die z.T. weit über der ökosystemaren Belastungsgrenze liegen, führen auf der einen Seite zu einer fortgesetzten Versauerung (Auswaschung essentieller Nährstoffe: Ca, Mg, K) und Eutrophierung der Waldböden, auf der anderen Seite kommt es zu Nährstoffungleichgewichten in den Beständen. Waldstandorte sind somit nicht mehr länger als statisch anzusehen, sie unterliegen vielmehr einer Dynamik, die die Stabilität, Produktivität und planmäßige forstliche Nutzung mehr und mehr beeinträchtigt und z.T. auch in Frage stellt.

In den letzten Jahren fielen beim Bucheneinschlag im Stammholz im Saarland verstärkt rötlich-braune bis schwarze Flecken auf, die zu erheblichen wirtschaftlichen Problemen bei der Holzvermarktung (Wertholz/Furnierholz) führten. Diese Entwicklung ist mit zunehmender Tendenz, neben anderen Bundesländern sowohl im Saarland als auch im angrenzenden Rheinland-Pfalz festzustellen. Im Rahmen eines von der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF Trippstadt) finanziell geförderten Forschungsprojektes der Physischen Geographie an der Universität des Saarlandes konnte nachgewiesen werden, dass in den braunen Flecken stark erhöhte Mangangehalte im Vergleich zum nicht verfärbten Holz vorliegen, die als verfärbende Ursache der Flecken anzusehen sind. Gleichzeitig ergaben sich deutliche Hinweise auf eine Abhängigkeit zwischen dem Auftreten von rötlich-braunen Flecken im Stammholz der Buche und dem Versauerungszustand des Waldbodens.

**Schlüsselwörter:** Buche, *Fagus sylvatica*, Manganflecken, Buchenstammholz, Bodenversauerung, Saarland, Rheinland-Pfalz

## Investigations of reddish-brown coloured spots in trunk wood of European beech (*Fagus sylvatica* L.)

### Summary

Forest ecosystems are subject to detrimental alterations in consequence of being imbedded in chemical substance cycles of the atmosphere. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants with loads that in part reach far beyond the critical ecosystem limit, lead to continual acidification (leaching of essential nutrients Ca, Mg and K) and eutrophication of the forest soils. At the same time this induces nutrient imbalances in the forest stands. Forest ecosystems cannot be considered any longer as a static system. They are rather subject to dynamics which challenge and impair its stability, productivity and silvicultural utilization increasingly. Within the past few years, more and more reddish-brown to black spots have been identified in the stem wood of beech trees harvested in the Saarland region and posing considerable economic problems to the marketing of the wood (value wood/veneer wood). Besides other Federal German states, this development can be observed both in the Saarland and in the adjacent Rhineland-Palatinate at an increasingly negative trend. Within the scope of a research project sponsored by the Research Institute for Forest Ecology and Forestry of Rhineland-Palatinate (FAWF Trippstadt), the department of Physical Geography at the

Saarland University was able to provide evidence that these brownish spots are caused by increased manganese concentrations. These were detected in the discoloured spots as compared to stem wood being not discoloured. Clear indications of a dependency between the appearance of reddish-brown spots in stem wood of beech trees and the state of acidification of the forest soils resulted from this study, too.

**Keywords:** European beech, *Fagus sylvatica*, manganese spots, stem wood, soil acidification, Saarland, Rhineland-Palatinate

### Zielsetzung der Untersuchungen

In den letzten Jahren fielen im Saarland beim Bucheneinschlag im Stammholz verstärkt rötlich-braune bis schwarze Flecken auf, die zu erheblichen wirtschaftlichen Problemen bei der Holzvermarktung (Wertholz/Furnierholz) führen. Diese Entwicklung ist mit zunehmender Tendenz, neben anderen Bundesländern sowohl im Saarland als auch im angrenzenden Rheinland-Pfalz festzustellen.

Nachdem das forstbotanische Institut der Universität Freiburg organische Gründe (echte Markflecken, abgetötete Zellen, Fraßspuren o. ä.) für das Entstehen der rot-braunen Punkte im Stammholz von *Fagus sylvatica* ausschließen konnte (schriftl. Mittl. Prof. Dr. S. Fink., Inst. für Forstbotanik, Universität Freiburg 15.05.03), war es im Hinblick auf zu entwickelnde pragmatische Schutzkonzepte Ziel der Untersuchungen herauszufinden, ob anorganische Prozesse die Verfärbungen im Buchenholz verursachen und welche Umweltkompartimente an diesen Vorgängen beteiligt sind.

Ausgangspunkt der Studien ist die Arbeitshypothese, dass es sich bei den Flecken um durch Mangananreicherungen verursachte Verfärbungen (braunrot-schwarzes Farbspektrum) handelt. Hinweis hierzu liefert zum einen das Farbspektrum und zum anderen die an den korrespondierenden saarländischen Level II- Flächen beobachtete Dynamik des Manganleachings bei gleichzeitiger Verschlechterung der Basenversorgung. Die Blätter von Buchen und Eichen, die auf gut mit Nährstoff versorgten Standorten wurzeln, zeigten hingegen hohe Basen- und keine Mangangehalte beim Leaching. Die bisher über das Verhalten von Mangan im Boden vorliegenden Erkenntnisse weisen darauf hin, dass eine

Beziehung zwischen der Bodenversauerung, einer erhöhten Manganmobilität im Boden und einer Mangananreicherung in der Biomasse bestehen kann, wodurch die Fleckenbildung beeinflusst wird.

Mangan kommt als natürlicher Bestandteil in den Gesteinen der Erdkruste (mittlerer Gehalt 800mg/kg) vor. Die Mn-Gehalte der Böden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 1992; 2002) schwanken zwischen 20 und 800 mg/kg. In Böden kommt Mn in Form von Manganoxiden, Silikaten und Carbonaten oder an den Austauschern gebunden (zweiwertig) vor. Daneben tritt Mn adsorbiert (Fe-Oxiden, organische Substanzen), austauschbar sowie in gelöster Form auf. Nach MEYER (1985; MEYER und ULRICH, 1990) gehen hohe Konzentrationen an mobilen Manganionen auf Pufferungsmechanismen als Reaktion auf eingetragene oder Boden intern gebildete Säuren (KAUS und WILD, 1998) zurück. Manganoxide stellen im pH-Bereich zwischen 4 und 5 wesentliche Puffersubstanzen dar (ULRICH, 1981). Liegt der Boden-pH-Wert über 5 wird Mangan an der Bodenmatrix fest gebunden. Hohe Mangankonzentrationen im Boden belegen somit, in welchem Versauerungszustand (Pufferklasse) sich der Boden aktuell befindet. Bei fortschreitender Versauerung gehen die Mn-Konzentrationen (begrenzter Vorrat an Mn-Oxiden) zurück, Mangan wird fast vollständig aus dem System ausgetragen (HILDEBRAND, 1986; MEYER und ULRICH, 1990). Die freigesetzten Manganionen zeichnen sich durch eine hohe Mobilität aus. Daher bestehen zwischen den Mn-Konzentrationen aller Ökosystemkompartimente meist sehr enge Korrelationen (GÄRTNER, 1986; BLOCK und WUNN, 1996).

## **Allgemeine Merkmale der Fleckensymptomatik im Buchenstammholz**

Bei den Verfärbungen im Stammholz von *Fagus sylvatica* handelt es sich im Gegensatz zu anderen biotischen und abiotischen Verfärbungen (SCHNELL, 1986; TRÜBSWETTER, 1995; KOCH et al, 2000) um punktförmige Flecken mit scharfer Begrenzung zum umgebenden nicht verfärbten Holzgewebe, die im Längsschnitt (Abb. 1, siehe Farbbildseite) streifen- bis spindelförmig erscheinen.

Durchforstungen in den letzten Jahren zeigten, dass im Saarland sowohl Altbestände als auch jüngere Altersklassen betroffen sind. Die Flecken können über die gesamte Stammlänge vorkommen, sie sind hierbei entweder über den ganzen Stammquerschnitt verteilt oder lokal begrenzt. Ein entscheidendes Erkennungsmerkmal ist, dass sie beim Einschlag meist sofort - im Gegensatz zu anderen Verfärbungen - an der Schnittfläche feststellbar sind. Die Form der Flecken ist eckig, bisweilen auch rund, die Farbe variiert von orange über tief dunkelbraun bis hin zu schwarz. Ein wichtiges Kriterium zur Identifikation von Buchenstammholz, das die oben beschriebene wertmindernde Symptomatik aufweist, sind unregelmäßige längliche Vertiefungen in der Kambialzone, die nach Lösen der Rinde deutlich in Erscheinung treten.

Auf der Schnittfläche sind häufig deutliche Anomalien (Einbuchtungen) der Jahrringe zu beobachten, an deren Ende die Punkte auf einem Jahrring aufsitzen. Sehr oft zeigen sich zusätzlich (Abb. 2, siehe Farbbildseite) helle Streifen von der Rinde ausgehend bis zu der Verfärbung. Es wurden jedoch auch Flecken festgestellt, bei denen keine Veränderung der Jahrringstruktur zu erkennen war, oder solche, bei denen die Jahrringanomalien nur über eine kurze Wachstumsperiode verfolgbar waren. Für die Flecken, bei denen eine Verbindung zum Kambium erkennbar war, wurde der Einfluss der Buchenwollschilddlaus als biotischer Faktor der Fleckenbildung diskutiert. Für die restlichen Fleckenvarianten fehlen bislang biotische oder abiotische Erklärungen hinsichtlich der Entstehungsursachen.

## **Methodik**

Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung der FAWF Trippstadt in zwei Projektabschnitten im Zeitraum zwischen Oktober 2002 und Juli 2005 durchgeführt. Abbildung 3 (siehe Farbbildseite) gibt eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungsschritte, Abbildung 4 (siehe Farbbildseite) einen Überblick über die Untersuchungsmethodik wieder.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die im Vorfeld der Forschungsaufträge durchgeführten Mikrosondenuntersuchungen an 6 befallenen saarländischen Buchenstämmen wiesen für die dunklen Stellen im Buchenstammholz erhöhte Elementgehalte in Relation zum umgebendem, nicht verfärbten Holz auf. Diese Vorstudien wurden durch Mikrosondenanalysen der Bundesanstalt für Materialprüfung bestätigt. Die Calcium- und Manganengehalte in den dunklen Stellen waren jeweils in etwa um den Faktor 10 gegenüber dem nicht verfärbten Holz erhöht, wohingegen die Magnesiumanreicherung den Faktor 2 beträgt.

Die in 2003/2004 durchgeführten Untersuchungen (KUBINIOK und GERBER, 2004) ergaben Hinweise auf eine Standortabhängigkeit des Auftretens von Flecken im Stammholz von *Fagus sylvatica*. Auf hoch mit Basen versorgten (Deckschichten) oder rein basischen Substraten (Oberer Muschelkalk) konnten keine Flecken festgestellt werden, während mit zunehmender Versauerung der Böden die Fleckensymptomatik ausgeprägter in Erscheinung trat. Als Schwelle für das Auftreten von Flecken im Buchenstammholz konnte ein pH-Wert (H<sub>2</sub>O) von 4,5 im überwiegenden Teil der Bodenprofile festgestellt werden. Bei tieferen pH-Werten traten die Flecken vermehrt auf.

Im zweiten Projektabschnitt (2005) wurden die Flecken auf Buchenstammkreislagen quantitativ erfasst, die korrespondierenden Bodenprofile aus finanziellen Gründen lediglich durch den pH-Wert (H<sub>2</sub>O und KCl) und die Eluate einer Mischprobe der oberen 30 cm charakterisiert. Hierzu wurden an eingeschlagenen Buchen in 1 m Höhe und unterhalb des



**gesundes Furnierholz**

**Ausschnitte aus befallenem Furnierholz**

**Abb. 1: Vergleich gesundes - geschädigtes Furnierholz**

Fig. 1: Comparison of normal - infected veneer wood



**Abb. 2: Jahrring anomalien mit Streifenbildung**

Fig. 2: Tree ring anomalies with stripes

## Projektschritte 2002:

Mikrosondenuntersuchungen

## Projektschritte 2003/2004:

Literaturrecherche

Erarbeitung eines digitalen Symptomatkataloges zur Abgrenzung von Flecken in Buchenhölzern

48 Holz-Rindenproben - 64 Bodenproben aus Rheinland-Pfalz und Saarland -

- Zusätzliche Datengrundlage:

- 54 Holz-Rindenproben - Saarland 2001

- 100 Bodenprofile (BZE 1989 Saarland)

- Analysen der Bodenlösungen von 8 saarl. Dauerbeobachtungsflächen (1990-2001)

## Projektschritte 2005:

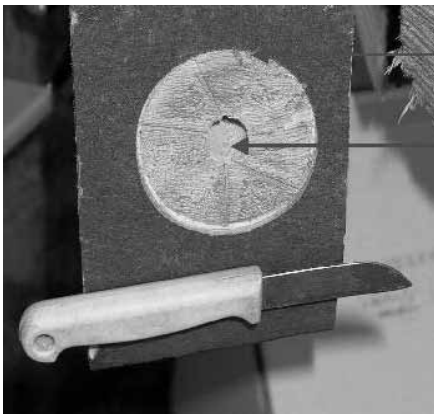
166 Holz-Rindenproben - 75 Bodenproben aus Rheinland-Pfalz und Saarland -

Abb. 3: Durchgeführte Untersuchungen

Fig. 3: Investigation scheme

## Methodik: Holz, Rinde

Holz-Rindenproben: an 4 gegenüberliegenden Stammseiten



Rinde: Bohrung 8 cm Ø

Holz: Bohrung 16 mm Ø – 1/2 Stamm

Trocknung - Aufmahlen - Scheibenschwingmühle

HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluss - Analytik - AAS

Holz-Rinde: Ca, Mg, K, Mn

Abb. 4: Überblick über die Methodik

Fig. 4: Methodology

Kronenansatzes je eine Stammscheibe entnommen. An beiden Stammscheiben wurde über ein codiertes Schema die Mn-Fleckenausbildung und die zu deren Bewertung notwendigen Parameter erfasst. Es zeigte sich hierbei, dass die Fleckenausbildung, über die Länge des Stammes und radial gesehen, annähernd gleich ausgebildet ist. Expositionsunterschiede konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Korrelation zwischen Bodenzustandsparametern und dem quantitativ ermittelten Fleckengehalt der korrespondierenden Buchen bzw. deren Chemismus der Baumkompartimente zeigte keine signifikanten Ergebnisse. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Bodenprofile nur durch eine Mischprobe der oberen 30 cm charakterisiert wurden und im Wesentlichen nur gekalkte Standorte beprobt wurden. Die Basenzufuhr über die Kalkung verändert die Dynamik in den versauerten Böden und damit die Prozesse, die als ursächlich für die Fleckenbildung angesehen werden können, sodass der vermutlich irreversible Fleckenbefall den zum Zeitpunkt der Beprobung ermittelten Bodenzustand nicht widerspiegelt. Darüber hinaus wird die Manganmobilität im Boden über die in dieser Studie nicht erfassten Redox-Verhältnisse beeinflusst.

Die Auswertung aller bisheriger Datensätze zeigt, dass zur Beschreibung der Entstehungsursachen, die zur Fleckenbildung führen, auf ungekalkte Standorte zurückgegriffen werden muss, da die zusätzliche Basenzufuhr, wie oben dargelegt, die in den versauerten Böden ablaufende Prozesse überlagert. Weiterhin wurde deutlich, dass hierbei "Substratbezogen" (s. Abb. 5) vorgegangen werden muss, da das unterschiedliche Pufferungsvermögen den zeitlichen Ablauf der Manganmobilität prägt. Der Vergleich der Abhängigkeiten von boden- und holzchemischen Parametern in Bezug zu den verschiedenen Wuchsbezirken zeigt, dass die regionalen substratspezifischen Unterschiede einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der Buchenstammholzflecken haben.

Die Fragestellung, ob Waldkompensationskalkungen in der Lage sind, die Entstehung der Mn-Flecken zu verhindern oder zumindest die Flecken-

intensität zu reduzieren, konnte auf Basis der bislang vorliegenden Analysedaten nicht abschließend beantwortet werden.

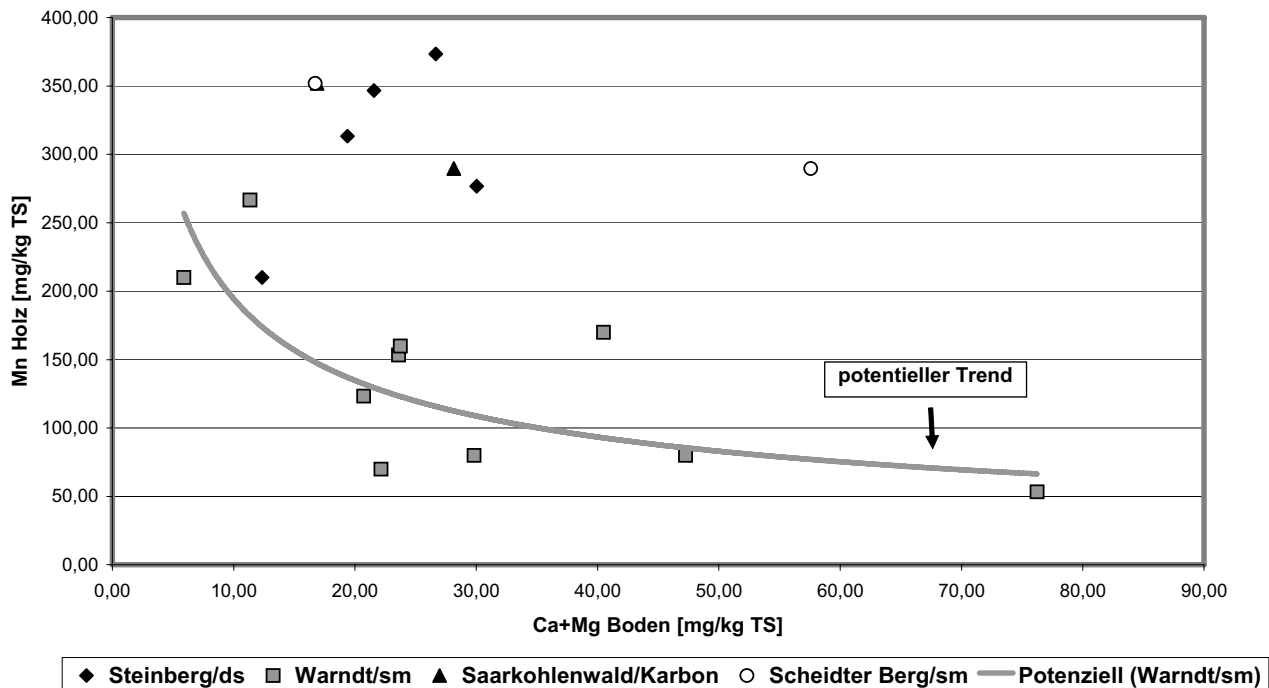
Über die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse auf gekalkten/ungekalkten Buchenstandorten im Saarland ließ sich lediglich nachweisen, dass auf den gekalkten Flächen eine deutlich geringere Fleckenintensität vorhanden ist. Wären die Stammscheiben auf den gekalkten Flächen ohne Fleckenbefund gewesen, hätte dies gezeigt, dass die Kalkung die Fleckenbildung verhindert. Die Tatsache, dass die Buchenscheiben - wenn auch im Vergleich zu den ungekalkten sauren Standorten - weniger Flecken aufwiesen, kann zwei Möglichkeiten haben. Entweder waren die Flecken vor der Kalkung auf allen Flächen schon vorhanden und die Basenzufuhr hat die Weiterentwicklung dieser Schadenssymptomatik "quasi eingefroren", während sie auf den ungekalkten weiterging, oder, falls alle Flächen vor der Kompensationskalkung fleckenfrei waren, hat die Zufuhr des puffernden Gesteinsmehls die Entstehung der Verfärbungen im Buchenstammholz der gekalkten Standorten verzögert. Da die Fleckenintensität auf den gekalkten Flächen vor Ausbringung der Kompensationskalkung nicht bekannt ist, kann die Frage, ob es zu einer Reduktion der Mn-Flecken gekommen ist, mit den bislang durchgeführten Untersuchungsansätzen nicht eindeutig geklärt werden. Eine Reversibilität erscheint jedoch unwahrscheinlich.

Nachgewiesen werden konnte, dass ein Buchenbestand neben einer Douglasienfläche, die Schäden auf Grund von hohen Mangangehalten in der Biomasse zeigt, als "annähernd fleckenfrei" einzustufen ist. Möglicherweise besitzt die Buche eine höhere "Mangantoleranz" als die benachbarten Nadelbestockungen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass Mangan ursächlich für die beschriebenen Verfärbungen im Buchenstammholz verantwortlich ist und eine Abhängigkeit zum versauerungsbedingten Bodenzustand zu erkennen ist. Dies zeigen auch in der Literatur beschriebene Untersuchungen an krautigen und verholzten Kulturpflanzen.

Die physiologische Bedeutung (BERGMANN, 1988;

**Ca+Mg (Boden) / Mn Holz  
in ungekalkten saarländischen Buchenstandorten**



**Abb. 5: Verhältnis (Ca+Mg Boden) / Mn Holz unterschiedlicher saarl. Buchenstandorte**  
Fig. 5: (Ca+Mg soil) / Mn wood ratio at different investigation sites of Saarland

GRAHAM et al., 1988) des Mangans im Stoffwechsel der Pflanze ist in seinen Redoxeigenschaften und damit der Steuerung der Oxidations- und Reduktionsvorgänge sowie durch Carboxylierungsprozesse im Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsel begründet. Mangan ist zusammen mit Magnesium an zahlreichen Enzymreaktionen (HELYAR, 1981) aktiv beteiligt, wobei sich beide Elemente bis zu einem gewissen Grad vertreten können. Aufgenommen wird das Mangan allgemein über die Wurzeln in Form wasserlöslicher oder adsorbierter  $Mn^{2+}$ -Kationen und wird dann leicht in den Spross verlagert (BERGMANN, 1988).

In hohen Konzentrationen kann Mn, meist in Verbindung mit einer Aluminiumtoxizität, schädigend auf Pflanzen wirken. Die Mn-Gehalte (RIEK und WOLFF, 1998) und damit die Mn-Resistenz, bzw. das Einsetzen von Schadsymptomen sind bei Pflanzen unterschiedlich stark ausgebildet. Häufig sind bei Mn-Überschuss Verfärbungen (SCHUBERT, 1992) in den Blattadern festzustellen, wie sie z.B. in Hibiskus-, Bohnen-, Tomatenblättern vorkommen können. Bei Mn-toleranten Pflanzen (z.B.

Azaleen) wird überschüssiges Mn in den verholzten Pflanzenteilen abgelagert. Hierbei handelt es sich um enzymatisch gesteuerte Mn-Ausfällungen (SCHUBERT, 1992) in Form von aufoxidierten Mn-Verbindungen ( $MnO_2$  – Braunstein), wie sie auch in den Stängeln der Kartoffelpflanze vorkommen können (BERGMANN, 1988). Diese Ablagerungen an physiologisch unbedeutenden Stellen werden von BUSSLER (1985) als "Mn-Entgiftung" angesehen. Manche Pflanzen (HELYAR, 1981) sondern Mangan statt in der Pflanze auf der Wurzeloberfläche ab, andere drosseln den Mn-Transport zur Krone dadurch, dass sie Mangan in Zellvakuolen isolieren, oder an Zellwände fixieren. Die seit einigen Jahren in Nordamerika zu beobachtende Entlaubung der Ahornbestände wird nach Untersuchungen von ST.CLAIR und LYNCH (2003) auf eine Mn-Toxizität in den Blattorganen zurückgeführt. GÄRTNER et al. (1990) konnten einen Zusammenhang zwischen Nadelverlusten an mittelalten Fichten und den Mn-Blattspiegelwerten feststellen und ASCHE (1997) für Buchenstandorte eine Beziehung zwischen dem Mn-Gehalt der Blätter und den Mangan-

vorräten im Boden nachweisen. BLOCK (1997) konnte eine Douglasienerkrankung, die seit Mitte der 60er Jahre in Rheinland-Pfalz und in der angrenzenden Nordeifel beobachtet wurde, ebenfalls auf einen Manganüberschuss in den Baumkompartimenten zurückführen.

Mn-Toxizität kann sich auch in einer veränderten Rindenstruktur äußern. Der Delicious Apfelbaum ist hierfür z.B. als sehr anfällig bekannt. Es kommt im Laufe der Mn-Vergiftung meist auf den 2 - 3jährigen Zweigen zu Rindenerhöhungen (MILLER, 1986), die sich vergrößern und aufbrechen. Dies führt zu einer rauen, abblätternen Rinde. Entfernt man die Rinde, so zeigen sich kleine nekrotische Bereiche in der Kambiumzone, die als internal bark necrosis (IBN) oder apple measles bezeichnet werden. Eine ähnliche durch Mn-Übersorgung ausgelöste Symptomatik (Papierrinde) beschreibt BERGMANN (1988) für Birnbäume.

## Literatur

- ASCHE, N. (1997): Nährelementgehalte in Buchenblättern unter besonderer Berücksichtigung der zeitlichen Variation auf basenarmen Standorten in Nordrhein Westfalen, Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Entstehung und Ursachen, 2. erw. und neu gestaltete Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag Stuttgart (u.a.).
- BLOCK, J. (1997): Schadsituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz, Symptome und Ausmaß der Erkrankung, bisherige Untersuchungen, Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41; 46-75.
- BLOCK, J. und WUNN, U. (1996): Beziehungen zwischen Bodenparametern, Nadelinhaltsstoffen und Kronenzustand, Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 35, S. 15-42.
- BUSSELER (1985): zitiert in BERGMANN, W. (1998): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Entstehung und Ursachen, VEB Gustav Fischer Verlag Stuttgart (u.a.).
- GÄRTNER, E.J. (1986): Mangengehalte in Altfichten, Boden, und Kronendurchlass an gleichen Standorten, VDI-Bericht 560, Waldschäden, Einflussfaktoren und ihre Bewertung, 559-573, 986.
- GÄRTNER, E. J.; URFER, W.; EICHHORN, J.; GRABOWSKI, H. und HUSS, H. (1990): Mangan – ein Bioindikator für den derzeitigen Zustand mittelalter Fichten in Hessen, Forstarchiv 61, 229-233.
- GERBER, C.; KUBINIOK, J. und FRITZ, E. (2004): Nährstoffhaushalt von Laubwald auf unterschiedlichen Böden - Sicherung der Nachhaltigkeit forstlicher Standortnutzung im Saarland. - In: AFZ-Der Wald 22: 1230-1233.
- GERBER, C.; KUBINIOK, J.; LOHMANN, H. und SCHNEIDER, H. (2001): Dynamik der Stoffhaushalte von Forstökosystemen, Eine Bilanz der Messperiode 1989-1999 des forstlichen Monitorings Saarland, GEOÖKO XXII, 1-22, Bensheim.
- GRAHAM, R.D., HANNAM, R.J. und UREN, N.C. (1988): Manganese in soil and plants, KLUVER ACADEMIC PUBLISHERS, London, ISBN 90-247-3758-3.
- HELYAR, K.R. (1981): The symptoms and effects on plants of nutrient disorders in acid soils, Agricultural research centre, Wollongbar, NSW 2480.
- HILDEBRAND, E.E. (1986): Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen, Forstw. Cbl., 105, 60-76.
- KAUS, A. und WILD, A. (1998): Nutrient disturbance through manganese accumulation in Douglas Fir, Chemosphere, Vol3.6, No. 4-5, pp. 961-964.
- KOCH, G.; BAUCH, J.; PULS, J.; SHWAB, E. und WELLING, G. (2000): Holzverfärbungen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Möglichkeiten vorbeugender Maßnahmen, Holz-Zentralblatt 126, Nr.6 S. 74-75.
- KUBINIOK, J. (2005): Waldsterben - Ein in Vergessenheit geratenes Umweltproblem ? - In: Der Erdkundelehrer Nr. 24: 17-23.
- KUBINIOK, J. und GERBER, C. (2004) : Untersuchungen zur Entstehungsursache von mineralischen Flecken im Stammholz von *Fagus sylvatica* , Physische Geographie, Universität des Saarlandes, unveröffentlicht.
- MEYER, M. und ULRICH, B. (1990): Auswirkungen einer Kalkung auf Böden mit Mangantoxizität bei Douglasienbeständen der Nordeifel, Forst und Holz 45, Heft (17), 493-498.
- MEYER, M. (1985): Bodenversauerung und Manganüberschuß, Untersuchungen in Douglasienbeständen in der Nordeifel, Forstwissenschaftliche Fakultät, Universität Göttingen, Diplomarbeit.
- MILLER, S. (1986): Beginning an orchard nutrition program: determining nutritional status for apple and peach, United States, Department of Agriculture, Appalachian Fruit Research Station, Kearneysville, West Virginia, 25430.
- RIEK, W. und WOLFF, B. (1998): Verbreitung von Nährstoffmangel bei Waldbäumen in Deutschland, Ergebnisse der Nadel/ Blattanalysen im Rahmen der BZE, AFZ, 10, S. 507-510.
- SCHAEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1992.
- SCHAEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.P.; BRÜMMER, G.; SCHWERTMANN, U.; HORN, R.; KÖGEL-KNABNER, I.; STAHR, K. und WILKE, B.-M. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.
- SCHNELL, G.R. (1986): Bildung von Braunkern, Spritzkern und Flecken bei der Buche, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 137, S. 163-166.
- SCHUBERT, T.S. (1992): Manganese Toxicity of Plants in Florida, Fla. Dept.Agric.& Consumer Services, Division of Plant Industry, Plant Pathology Circular, No.353, May,



June.

ST.CLAIR, S. und LYNCH,J. (2003): Photochemical responses of sugar maple and red maple to excess manganese in contrasting light environments, Pennsylvania State University, Department of Horticulture.

TRÜBSWETTER, W. (1995): Die Trocknung heller Laubhölzer und ihre Problematik, Holz-Zentralblatt, 121, 2194-2198.

ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 144, 647-659.

**Autorenanschriften:**

Prof. Dr. Jochen Kubiniok  
Physische Geographie und Umweltforschung  
Universität des Saarlandes  
Zentrum für Umweltforschung, Zeile 2  
Am Markt  
D-66125 Saarbrücken-Dudweiler  
Email: j.kubiniok@mx.uni-saarland.de

Dr. Claus Gerber  
Physische Geographie und Umweltforschung  
Universität des Saarlandes  
Zentrum für Umweltforschung, Zeile 2  
Am Markt  
D-66125 Saarbrücken-Dudweiler  
Email: c.gerber@mx.uni-saarland.de

