

# Vitalitätsbeurteilung von Eichen eines steirischen Standortes im Vergleich zu Standorten in Niederösterreich und Burgenland

Von Ursula EHRlich und Dieter GRILL  
Mit 11 Abbildungen und 1 Farbrafel

Angenommen am 9. Mai 1994

**Zusammenfassung:** Da die Thematik des „Eichensterbens“ in letzter Zeit immer mehr an Brisanz gewinnt, sollte die Vitalität von Eichen eines steirischen Standortes in Gralla bei Leibnitz anhand optischer (Totäste, Astabwürfe, Insektenbefall, etc.) und physiologischer Beurteilungskriterien (Gesamtpigmentgehalt, Ascorbinsäuregehalt und Gesamtperoxidaseaktivität) im Vergleich zu einem niederösterreichischen Standort (Niederweiden) und einem burgenländischen Standort (Güssing) überprüft werden. Dabei konnte festgestellt werden, daß erste Anzeichen einer Erkrankung unserer heimischen Eichen vorliegen, und zwar mit ansteigender Intensität von der Steiermark in Richtung Niederösterreich. Um bereits vorliegende, aber nach außen hin noch nicht sichtbare Störungen der Bäume feststellen zu können, wurden zur Untersuchung der streßphysiologisch relevanten Parameter nur grüne Blätter herangezogen.

**Summary:** Since „oak decline“ has become more and more of immediate interest the vitality of oaks should be proved at a styrian location compared to two locations in Lower Austria and Burgenland. Therefore optical (untimely shedding of leaves, shedding of branches, attack of insects, etc.) and physiological (total content of pigments, content of ascorbic acid and peroxidase activity) criteria have been used. The point was that first signs of an impairment of vitality really exist. In that case the intensity of illness shows an increasable trend from Styria to Lower Austria. For detecting a non visible but already present disorder in the oak's metabolic physiologically attitude, only green leaves were examined.

## 1. Einleitung

„Saurer Regen“, Ozon, Stickoxide, Trockenheit, in weiterer Folge Befall durch Schadinsekten haben unsere Wälder in den letzten Jahrzehnten zunehmend stark belastet und ihre Vitalität beeinträchtigt. Konnte dieses Phänomen bei Fichten bereits zu Beginn der achtziger Jahre beobachtet werden, so sind in den letzten Jahren auch vermehrt Laubbäume, wie vor allem die Eiche, davon betroffen (LICHTENTHALER & BUSCHMANN 1983, SCHÜTT et al. 1984).

Die Schlagwörter „Eichenerkrankung“ und „Eichensterben“ sind bezeichnend für das Auftreten von Kronenverlichtungen, Vergilbungen und Nekrosen, Astabsprünge etc. und in weiterer Folge Absterbeerscheinungen der davon betroffenen Bäume vor dem Erreichen ihrer physiologischen Seneszenz (HARTMANN et al. 1988). Ein erstes Auftreten dieses Krankheitsbildes konnte erstmals in den siebziger Jahren in Osteuropa festgestellt werden, welches im Laufe der „Achtziger“ Jahre vermehrt auf den mitteleuropäischen Raum übergriff (HAGER 1993, SCHUME 1993). LICHTENTHALER & BUSCHMANN 1983 konnten an der Gattung *Quercus* ähnliche Krankheiterscheinungen wie an Buche und Hainbuche feststellen, deren Symptome vor allem photooxidative Ausbleichung der Blätter, Absterben des oberen Kronenbereiches und Ausbildung zahlreicher Wasserreiser im unteren Stammbereich waren.

Das „europäische Eichensterben“ stellt eine sehr komplexe Erkrankung dar, welche nicht mit der nordamerikanischen „Eichenwelkekrankheit“ verwechselt werden

darf. Die Ursache letztgenannter Krankheit ist genau definiert und beruht auf dem Eindringen von Pilzsporen des Pilzes *Ceratocystis fagacearum* (BRETZ) HUNT über Verwundungen in die Leitgefäße der Eichen, welche in weiterer Folge mit den Mycelsträngen die Wasserleitbahnen der Bäume verstopfen. Die Ursache für die Erkrankung unserer heimischen Eichen ist hingegen weitgehend ungeklärt, da hauptverantwortliche Krankheitserreger, epidemieartige Krankheitsausbreitung und ein einheitlicher Krankheitsverlauf fehlen (HAGER 1993).

Da hauptsächlich *Quercus petraea* und *Quercus robur* vom „Eichensterben“ betroffen und jene Arten großteils auch bestandsbildend im Osten Österreichs sind, müssen die Waldbesitzer mit erheblichen wirtschaftlichen Einbußen rechnen (HUBER 1993). Somit sollte im Rahmen des Forschungsprojektes FIW (Forschungsinitiative gegen das Waldsterben) II von mehreren Arbeitsgruppen gemeinsam der Zustand verschiedener Eichenbestände in Niederösterreich, Burgenland und der Steiermark mit Hilfe optischer und physiologischer Kriterien erfaßt werden, um eventuell vorliegende oder beginnende Erkrankungen der Eichenpopulationen erkennen zu können. Dabei wurde einerseits das optische Erscheinungsbild des gesamten Bestandes hinsichtlich Kronenzustand, Vergilbungen, Fraßschäden etc. beurteilt, andererseits wurden Blattproben von vier Bäumen eines Bestandes auf streßphysiologisch relevante Parameter untersucht. Hierbei kann man auf das natürliche Entgiftungssystem von Pflanzen zurückgreifen, welches einer Pflanze ermöglicht, sowohl „hausgemachte“ Radikale in Form von aktivierten und toxischen Sauerstoffspezies wie Singulett-Sauerstoff, Superoxid-Anionen, Hydroxylradikale und Wasserstoffperoxid, die durch Sauerstoffproduktion sowie durch angeregte Pigmentmoleküle und reduzierte Redoxkomponenten bei der Photosynthese entstehen (ELSTNER 1982, WILD 1988), als auch durch Umweltfaktoren induzierte Radikale (Verletzungen, Schädlingsbefall, Photooxidantien, SO<sub>2</sub> usw.) entgiften zu können (RENNENBERG 1984, JÄGER et al. 1986, GRILL et al. 1988b).

Eine erhöhte Konzentration dieser reaktiven Sauerstoffverbindungen schädigt die Chloroplasten, führt zu Lipidperoxidationen, Pigmentoxidationen, zu Störungen der Redoxsysteme, und in weiterer Folge kommt es zur Vitalitätsbeeinträchtigung und Störung des Gesamtorganismus, die bis zum Absterben des Baumes führen kann (HALLIWELL 1984, KUNERT & EDERER 1985, JÄGER et al. 1986, RENNENBERG 1988).

Das pflanzliche Schutzsystem, welchem die Antioxidantien Ascorbinsäure und das reduzierte Glutathion, das Enzym Peroxidase sowie die gelb-orange Plastidenpigmentgruppe der Carotine angehören, kann als Streßindikator herangezogen werden, indem man Abweichungen der Parameter von den natürlichen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen erfaßt (BERMADINGER et al. 1989, BERMADINGER et al. 1990, BERMADINGER-STABENTHEINER & GRILL 1992, GRILL et al. 1988a, GRILL et al. 1988b, GRILL et al. 1989, GRILL & SCARDELLI 1989).

Für unsere Untersuchungen wurden Methoden zur Bestimmung des Gesamtpigmentgehaltes, des Ascorbinsäuregehaltes und der Gesamtperoxidaseaktivität herangezogen. Mit Hilfe der Pigmentanalyse lassen sich vor allem Vergilbungserscheinungen, ein typisches Syndrom der neuartigen Waldschäden, nachweisen (KANDLER et al. 1987, PFEIFHOFFER & GRILL 1988, HAVRANEK et al. 1990, ROBINSON & WELLBURN 1991). Eine wichtige Rolle für eine Beurteilung spielen dabei in erster Linie der Gesamtchlorophyllgehalt (Maß für die Vitalität eines Baumes) und verschiedene Pigmentquotienten, wie zum Beispiel die Verhältnisse des Chlorophylls zu den Carotinoiden (= Xanthophylle und Carotine), der Xanthophylle zu den Carotinen und das  $\alpha/\beta$ -Carotinverhältnis. Außerdem sind die Gesamtgehalte der Carotinoide (Carotine und Xanthophylle) eng mit dem Chlorophyllgehalt verbunden, sodaß oben genannte Kennzahlen für eine Beschreibung der Pigmentverhältnisse ausreichen (GRILL et al. 1992).

Infolge von Stress, insbesondere unter Einfluß von Photooxidantien, reagiert die Pflanze mit einer Erhöhung des Ascorbinsäuregehaltes, da die stressphysiologische Bedeutung der Ascorbinsäure in ihrer Rolle als Antioxidans zu finden ist (PFEIFHOFER & GRILL 1988, MEHLHORN et al. 1986).

Eine Erhöhung der Peroxidaseaktivität tritt als recht unspezifische Reaktion der Pflanze auf einen störenden Einfluß von außen auf. Dieser Einfluß kann einerseits in Form von Luftverunreinigungen auf die Pflanze einwirken, andererseits führt auch das Vorhandensein biogener Stressoren, wie zum Beispiel der Befall durch Schadinsekten oder Mehlaubefall, zu einem Anstieg der Peroxidaseaktivität.

Abschließend sollte noch darauf hingewiesen werden, daß sämtliche stressphysiologische Untersuchungen ausschließlich an grünen Blättern durchgeführt wurden, um die Möglichkeit einer Früherkennung von Stressfolgerscheinungen mit Hilfe oben erwähnter Parameter zu überprüfen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Material

Das untersuchte Blattmaterial stammte einerseits von Stieleichen (*Quercus robur*), andererseits von Traubeneichen (*Quercus petraea*), wobei die beiden miteinander verglichenen Auspendorte (Gralla bei Leibnitz in der Steiermark und Niederweiden im Osten Niederösterreichs) reine Stieleichenpopulationen sind. Der dritte Standort liegt in der Nähe von Güssing im Südburgenland und beherbergt sowohl Stiel- als auch Traubeneichen und zusätzlich den Hybrid dieser beiden Eichenarten (HEILIG unveröffentlicht).

Die Probenwerbung erfolgte Mitte Juli 1992, wobei jeweils Blattmaterial mit Hilfe eines Baumsteigers aus der Oberkrone der Eichen entnommen wurde, um möglichst gleichen Lichtverhältnissen ausgesetztes Blattmaterial zu erhalten. Pro untersuchtem Standort wurden vier Bäume beprobt. Die in den Abbildungen angeführten Daten spiegeln den Mittelwert plus Standardabweichung der vier Probebäume pro Standort wider.

Da sämtliche „Stressparameter“, wie laufende Grundlagenuntersuchungen an Eichen ergeben haben, einem Jahresgang unterliegen, wurde der Termin der Probenwerbung bewußt im Sommer angesetzt, um vergleichbare Daten zu erhalten. Vor allem im Frühjahr (Austrieb) und im Herbst (Seneszenz) konnten große Schwankungen in den Absolutwerten der Blatinhaltstoffe verzeichnet werden, die ein Erkennen einer eventuell vorliegenden Stressbelastung des untersuchten Baumes nicht zulassen. Weiters mußte darauf geachtet werden, daß die Probennahme ungefähr zur selben Tageszeit durchgeführt wurde, da auch tageszeitliche Schwankungen der oben erwähnten Inhaltsstoffe auftreten (EHLICH unveröffentlicht).

### 2.2 Methoden

Die Bestimmung der optischen Parameter (Kronenzustand, Totäste, Insektenbefall, etc.) wurde unter anderen von Dr. HEILIG durchgeführt, der uns freundlicherweise seine Ergebnisse zum Vergleich mit unseren Daten zur Verfügung stellte. Von unserer Arbeitsgruppe wurden verschiedene stressphysiologisch relevante Parameter, wie zum Beispiel die Pigmentgehalte, der Ascorbinsäuregehalt und die Gesamtperoxidaseaktivität der Eichenblätter untersucht. Zusätzlich wurden der Wassergehalt, das Verhältnis von Frisch- zu Trockengewicht und die Durchschnittsblattfläche bestimmt und errechnet, um geeignete Bezugsgrößen für die untersuchten Parameter zu erhalten.

### **2.2.1 Optische Beurteilung**

Dabei wurde der Gesamteindruck jedes einzelnen Baumes bewertet, um eventuell vorliegende Kronenverlichtungen, Totäste usw. mit in die Gesamtbeurteilung über die Vitalität der Eichen eines Standortes einbeziehen zu können. Zusätzlich wurden die geernteten Blätter auf Fraßschäden, Mehltau- und Gallenbefall hin untersucht. Diese Arbeiten wurden, wie bereits oben erwähnt, von Dr. HEILIG (freier Mitarbeiter des FIW-II-Projektes) durchgeführt, der uns seine ausgewerteten Daten übermittelte.

### **2.2.2 Ernte, Transport und Bestimmung des Verhältnisses Frisch- zu Trockengewicht**

Die Eichenblätter wurden mit Hilfe eines Baumsteigers geworben und eine genau definierte Menge davon noch an Ort und Stelle in flüssigem Stickstoff, in welchem sie auch ins Labor transportiert wurde, schockgefroren. Am Institut wurde das geerntete Blattmaterial gefriergetrocknet und pulverisiert. Das daraus resultierende homogene Blattpulver stand nun für alle physiologischen Untersuchungen zur Verfügung.

1 Gramm geerntetes Blattmaterial wurde extra im Trockenschrank bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Bestimmen des Trockengewichtes kann sowohl das Verhältnis Frisch- zu Trockengewicht als auch der Wassergehalt der Eichenproben rechnerisch ermittelt werden.

### **2.2.3 Pigmentbestimmung**

Jene Analyse wurde nach einer von PFEIFHOFER 1989 entwickelten HPLC-Methode zur Bestimmung der Plastidenpigmente durchgeführt.

Aus gefriergetrocknetem und pulverisiertem Blattmaterial wurden mit Hilfe von analysenreinem Aceton die Pigmente extrahiert. Nach anschließendem Zentrifugieren in einer Kühlzentrifuge kann die Probelösung der HPLC-Analyse zugeführt werden, wobei die Elution der Pigmente mittels eines linearen Laufmittelgradienten bei einer Detektionswellenlänge von 440 nm erfolgte. Der anfängliche Anteil des Laufmittels B (Aceton/Ethylacetat im Verhältnis 2/1; Laufmittel A = Acetonitril/Aqua bidest./Methanol im Verhältnis 100/10/5) von 10% an der mobilen Phase wurde dabei bei einem Durchfluß von 1 ml/min innerhalb von 18 Minuten auf 70% erhöht. Jenes Verhältnis wurde bis zur vollständigen Elution aller Pigmente, welche in der Reihenfolge Xanthophylle vor Chlorophyllen und Carotinen erscheinen, beibehalten.

### **2.2.4 Bestimmung des Ascorbinsäuregehaltes**

Der Ascorbinsäuregehalt wurde mit einer isokratischen HPLC-Methode nach KNEIFEL & SOMMER 1985 bestimmt.

Gefriergetrocknetes und pulverisiertes Blattmaterial wurde mit 3%iger Zitronensäure homogenisiert, abzentrifugiert und anschließend der HPLC-Analyse zugeführt.

Die mobile Phase bestand aus einer 2-mM-Hexadecylammoniumbromidlösung in 0,1%igem Natriumphosphatpuffer (pH-Wert mittels 10%iger o-Phosphorsäure auf 3,6 eingestellt), welche mit Methanol p.a. im Verhältnis 70 : 30 verdünnt wurde. Die isokratische Elution erfolgte bei einer Durchflußrate von 1 ml/min, die Detektion bei 248 nm.

### **2.2.5 Bestimmung der Gesamtperoxidaseaktivität**

Die Bestimmung der Gesamtperoxidaseaktivität erfolgte nach KELLER & SCHWAGER 1971, wobei gefriergetrocknetes und pulverisiertes Blattmaterial in einem Phosphatpuffer homogenisiert, das Extrakt (nach Abzentrifugieren) mit Aqua dest. und p-Phenylendiamin versetzt und im Spektralphotometer die Extinktionsänderung pro Minute nach Zugabe von 30%igem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bei einer Wellenlänge von 485 nm bestimmt wurde.

### 2.2.6 Blattflächenmessung

Dazu dient ein digitales Bildanalyse-System bestehend, aus einem Camcorder (Handycam 2006i, Fa. Sony), einem Frame Grabber IteX PFG Plus 512-3-69/AT der Fa. ITI, einem PC (AT 386, 33 MHz) mit VGA-Farbmonitor (Fa. Liteon) und VGA-Farbkarte (ECV2 13-35, Fa. Oti), sowie einem RGB-Monitor (Multisync, Fa. NEC). Die Auswertung der digitalisierten Bilder erfolgte über das Programm Optimas (Fa. BioScan). Dieses Programm läuft unter Windows 3.1 (Fa. Microsoft). Mit einer C-ähnlichen Makro-Sprache können unter Optimas eigene Applikationen und automatische Meßabläufe geschrieben und so die Bildauswertung und -analyse wesentlich vereinfacht und standardisiert werden. Die erhaltenen Daten werden direkt einem Statistikprogramm (NCSS, Fa. Unisoft) übertragen, können so ausgewertet und an ein Textverarbeitungsprogramm (z.B. MS-Word) und/oder an ein Grafikprogramm (z.B. Corel Draw) weitergeleitet und dargestellt werden.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse der optischen Beurteilung des Standortes und bezieht die einzelnen physiologischen Untersuchungen mit ein, so ergibt sich für den steirischen Eichenstandort in Gralla bei Leibnitz folgendes Bild:

Diese 1991 eingerichtete Probestfläche, die dem Typ nach einer harten Au entspricht, liegt nahe der Mur in ebener Lage. Das illyrische Klima dieses Standortes ist geprägt durch relativ hohe Niederschläge mit einem Monatsmittel von 120 mm im Monat Juli (Mittelwert für die Jahre 1961 bis 1990 von der Wetterstation Leibnitz), die eine gute Bodenwasserversorgung nach sich ziehen. Die durchschnittliche Temperatur liegt bei etwa 19°C.

Der Baumbestand in Gralla, der sich ausschließlich aus *Quercus robur* mit einer Höhe von 15 bis 18 Meter und einem Durchschnittsalter von 60 Jahren zusammensetzt, ist recht dicht (siehe Abb. 12). Die einzelnen Eichen wiesen leichte Kronenverlichtungen (Stufe 2) und einige, zum Teil recht große Totäste im unteren und mittleren Kronenbereich auf. Straßanzeigende Wasserreiser an den Stämmen oder Astabsprünge konnten nicht beobachtet werden. Eine Besonderheit an diesem Standort sind die zahlreichen Hagelschäden an den Zweigen der Eichen. Allgemein gesehen ließ das geerntete Blattmaterial jedoch einen guten Zustand der Bäume erkennen, da nur ein leichter, bereits alter Mehlaufbefall, mäßige Fraßschäden und ein geringer Befall mit Blattgallen festgestellt werden konnte. Johannistriebe waren zu diesem Zeitpunkt nicht zu verzeichnen (HEILIG unveröffentlicht).

Zum Zeitpunkt der Probenahme Mitte Juli wies das untersuchte Blattmaterial eine recht hohe Gesamtperoxidaseaktivität mit einem Durchschnittswert von 553 nKat/g Trockengewicht auf (vergleiche Abb. 3). Der Ascorbinsäuregehalt derselben Proben liegt mit einem Durchschnittswert von 0,093 mg/g Trockengewicht (Abb. 1) im Vergleich zu unseren Erfahrungen, die wir durch die Bestimmung mehrerer Jahresgänge der einzelnen Parameter an Eichen gewonnen haben, in einem für diesen Monat üblichen Bereich.

Betrachtet man als weiteren Punkt die Ergebnisse der Pigmentbestimmung (siehe dazu Abb. 5, 6, 7), so zeigt sich, daß die Eichen aus Gralla einen sehr hohen Gesamtchlorophyll- als auch Gesamtpigmentgehalt (Chlorophyll, Xanthophyll, Carotine) haben. Ein hoher Gesamtchlorophyllgehalt gilt als Anzeiger für eine hohe Vitalität der Pflanze. Diese Tatsache spiegelt sich auch im optischen Gesamteindruck jenes Standortes wider.

Die für eine Straßanalyse interessanten Pigmentverhältnisse Xanthophyll zu Carotin und Gesamtchlorophyll zur Pigmentgruppe der Carotinoide (Carotine und

Xanthophylle) zeigen mit hoher Wahrscheinlichkeit bei einem hohen Xanthophyll-Carotin-Verhältnis (Grenze = 2,5) und bei einem niederen Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis (Grenze = 4) eine bereits sichtbare oder noch nicht sichtbare Vergilbung des Blattmaterials an (KANDLER et al. 1987). Allerdings muß dazu angemerkt werden, daß KANDLER et al. 1987 ihre Untersuchungen an Koniferen durchgeführt haben. Da es zu diesem Thema jedoch keine Literatur, die sich auf Eichen bezieht, gibt, beziehen wir unsere Ergebnisse vorläufig auf Erkenntnisse aus Fichtenuntersuchungen (BERMADINGER et al. 1989, GRILL et al. 1989, BERMADINGER-STABENTHEINER & GRILL 1992 etc.). Die Berechnung jener oben erwähnten Pigmentverhältnisse spielt eine gewichtige Rolle in der Früherkennung von Streßbelastungen, da zum Beispiel die beiden Pigmentgruppen der Xanthophylle und Carotine in einem sehr engen Verhältnis zueinander stehen. Xanthophylle sind oxidierte Carotine, eine Tatsache, die unter Einfluß von reaktiven Sauerstoffverbindungen, wie bereits in der Einleitung erwähnt, zum Tragen kommt. Eine Verschiebung des Verhältnisses in Richtung Xanthophylle besagt demnach, daß die orange-gelben Carotine zu gelb-grünen Xanthophyllen oxidiert wurden. Dieser Effekt zeigt sich nach außen hin durch das Auftreten von vergilbten Blättern. Ein leicht erhöhtes Verhältnis dieser beiden Parameter zueinander kann an optisch noch grünen Bäumen eine beginnende Vergilbung anzeigen, wodurch dieser Streßparameter an Bedeutung gewinnt (KANDLER 1987, PFEIFHOFFER & GRILL 1988). Bei vergilbten Bäumen ist weiters das Verhältnis der Chlorophylle zu den Carotinoiden zu niedrigeren Werten hin verschoben, da die Pigmentgruppe der Chlorophylle leichter abgebaut wird als die beiden gelblichen Pigmentgruppen (KANDLER 1987). Außerdem treten laut OSSWALD & ELSTNER 1986 bräunliche Phaeophytine als Abbauprodukte der Chlorophylle auf, die optisch als Nekrosen sichtbar werden.

Für den Standort Gralla gilt, daß die untersuchten „grünen“ Blätter auf alle Fälle unter dem Xanthophyll-Carotin-Wert von 2,5 bleiben (siehe Abb. 8). Das durchschnittliche Ergebnis des Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnisses liegt zwar über vier (Abb. 9), jedoch konnte bei einem Probenbaum ein Wert von 3,8 ermittelt werden. Dies könnte ein erstes Anzeichen dafür sein, daß dieser Standort bereits einem störenden Einfluß von außen ausgesetzt ist.

Weitaus deutlicher zeichnen sich die Ergebnisse der Ascorbinsäure- und Peroxidaseaktivitätsbestimmung durch einen Bezug auf den Chlorophyllgehalt der jeweiligen Proben ab. Ein gesunder und vitaler Baum zeichnet sich durch einen hohen Gehalt sämtlicher oben erwähnter Parameter aus. Vor allem der Chlorophyllgehalt gibt Aufschluß über den derzeitigen Vitalitätszustand eines Baumes. So können zum Beispiel ein „gesunder“ und ein „geschädigter“ Baum einen ähnlich hohen trockengewichtsbezogenen Ascorbinsäuregehalt bei gleichzeitig stark divergierenden Gesamtchlorophyllgehalten aufweisen. Erst durch einen Bezug auf den Chlorophyllgehalt kommt in so einem Fall ein Unterschied im streßphysiologischen Verhalten der beiden Bäume zum Vorschein.

Da sämtliche Parameter einer tages- und jahreszeitlichen Schwankung unterworfen sind, ist es meist recht schwierig, ein geeignetes Bezugssystem als Berechnungsgrundlage zu finden. Somit hat es sich als vorteilhaft erwiesen, den Chlorophyllgehalt der untersuchten Proben auf das Blatttrockengewicht, sämtliche andere Parameter auf den Chlorophyllgehalt der jeweiligen Probe zu beziehen, da man den Chlorophyllgehalt auch als Maß der potentiellen Photosyntheseleistung eines Baumes sehen kann (GRILL et al. 1993). Wichtig ist dabei, daß man die Probenahme zu einem Zeitpunkt ansetzt, in dem mit einem stabilen Pigmentgehalt in den Pflanzen gerechnet werden kann, da auch die einzelnen Pigmentgruppen saisonbedingten Schwankungen unterliegen. Für die Eiche im speziellen gilt, daß sich der für eine Feststellung von Umwelteinflüssen am besten geeignete Zeitraum von Juli bis August bewegt (EHRlich unver-

öffentlich). Durch einen Bezug auf den Chlorophyllgehalt der entsprechenden Probe lassen sich demnach Abweichungen in der Quantität der einzelnen streßphysiologischen Parameter, wie zum Beispiel Ascorbinsäuregehalt und Gesamtperoxidaseaktivität, noch besser feststellen, da auf Grund einer umweltbedingten Belastung des Baumes, die einen Vitalitätsverlust nach sich ziehen kann, mit einem niedrigen Chlorophyllgehalt in den Blättern gerechnet werden kann. In Gralla zeigt sich, daß sich der Ascorbinsäuregehalt der Blätter aller vier Probebäume auf einem sehr niedrigen Niveau befindet (Abb. 2). Die chlorophyllbezogene Gesamtperoxidaseaktivität zeigt, wie man der Abb. 4 entnehmen kann, unter Vorwegnahme der Vergleichsstandorte in Niederweiden und Güssing, im Verhältnis zu den beiden anderen Versuchsflächen eine deutlich geringere Aktivität, als die Auswertung der trockenheitsbezogenen Gesamtperoxidaseaktivität vorerst vermuten ließ. Außerdem wird durch einen Bezug auf den Chlorophyllgehalt noch deutlicher sichtbar, daß der Ascorbinsäuregehalt des steirischen Standortes im Vergleich zu den beiden anderen Standorten, aber vor allem im Vergleich zu Niederweiden, sehr niedrig ist.

Vergleicht man nun den steirischen Eichenstandort mit einem niederösterreichischen Standort bei Niederweiden im Osten des Bundeslandes, so fallen rein optisch als auch physiologisch gravierende Differenzen auf. Jener Standort zählt zu den planaren Tieflandstandorten und gehört ebenso wie Gralla dem Standortstyp einer harten Au an (Abb. 13). Die Probefläche wird durchwegs von *Quercus robur* mit einer Oberhöhe von circa 30 Metern und einem Durchschnittsalter von 80 Jahren bewachsen. Stark schwankende Niederschlagssummen (durchschnittlich 61 mm im Monat Juli, gemessen von 1961 bis 1990) und häufig auftretende starke Winde prägen das Kleinklima jenes Standortes. Das Temperaturmittel für diesen Monat liegt bei rund 20°C.

Betrachtet man nun die Bäume im einzelnen, so lassen sich teilweise recht starke Kronenverlichtungen (Stufe 3 bis 4) feststellen. Außerdem konnte das Vorhandensein von Totästen, Astabsprüngen und Wasserreisern festgestellt werden. Der Standort wirkte insgesamt recht schütter und zeigte durchwegs Spuren eines Vitalitätsverlustes der Bäume. Das geworbene Blattmaterial zeigte Blattrandfraß, Nekrosen und Blattgallen, die Johannistriebe waren zusätzlich von einem massiven Mehlaufbefall betroffen (HEILIG unveröffentlicht).

Vor allem der Chlorophyll- und Ascorbinsäuregehalt weichen stark von den steirischen Ergebnissen ab (Abb. 1 und 3). Der bestimmte Gesamtchlorophyllgehalt liegt bei jenen Proben um rund 40% niedriger als in Gralla. Bei den beiden übrigen Pigmentgruppen (Xanthophylle und Carotine) verhält es sich im ungefähr gleichen Ausmaß (vergleiche dazu die Abb. 5, 6, 7).

Der optische Eindruck, den der niederösterreichische Standort hinterließ, konnte durch sämtliche streßphysiologische Untersuchungen bestätigt werden.

Für die Pigmentquotienten Xanthophyll/Carotin und Chlorophyll/Carotinoide gilt für diesen Standort, daß zwar das durchschnittliche Ergebnis als auch die Einzelergebnisse der Probebäume Werte unter der kritischen Grenze von 2,5 für das Xanthophyll-Carotin-Verhältnis erbrachten, das durchschnittliche Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis der untersuchten grünen Blätter allerdings bereits unter dem Grenzwert von 4 liegt. Dieses Ergebnis könnte auf eine beginnende, noch nicht sichtbare Vergilbung des Blattmaterials hindeuten.

Zieht man nun auch die beiden anderen streßphysiologisch relevanten Parameter Ascorbinsäuregehalt und Gesamtperoxidaseaktivität in die Überlegungen mit ein, fällt ein fast doppelt so hoher durchschnittlicher Ascorbinsäuregehalt (Abb. 1) im Vergleich zum steirischen Standort auf, der, wie bereits oben erwähnt, durch einen Bezug auf den Gesamtchlorophyllgehalt der jeweiligen Proben noch deutlicher hervorgehoben wird

(um rund 220% höherer chlorophyllbezogener Ascorbinsäuregehalt in Niederweiden). Bezüglich der Gesamtperoxidaseaktivität (Abb. 3) fällt erst durch den Vergleich der chlorophyllbezogenen Gesamtperoxidaseaktivität ein höherer Durchschnittswert für den niederösterreichischen Standort im Vergleich zum steirischen Standort auf.

Laut hydrologischen Aufzeichnungen (HEILIG unveröffentlicht) sank der Grundwasserspiegel in dieser Region in den letzten Jahren ab. Das ehemalige Auegebiet wird heute nicht mehr überschwemmt, was gravierende Folgen für die gesamte Biogeozönose nach sich zieht. Außerdem war das Gebiet im Sommer 1992 von einer langen Trockenperiode betroffen, die höchstwahrscheinlich zusätzlich zur Schwächung des Baumbestandes beitrug.

Blickt man nun nochmals zurück auf die physiologischen Untersuchungen, so könnte der Faktor Trockenheit eine Rolle an der Vitalitätsbeeinträchtigung der Eichen spielen, da vor allem die Eichen auf dem sandigen, etwas höher liegenden Teil des Standortortes starke Schädigungen erkennen ließen. Vergleicht man dahingehend die Ergebnisse der Berechnungen von Frisch- zu Trockengewicht, so erkennt man jedoch, daß es zwischen den beiden Standorten Gralla und Niederweiden kaum Unterschiede bezüglich dieses Parameters gibt (Abb. 10). Daher dürfte zumindest für den Zeitpunkt der Probennahme der Faktor Trockenheit nicht allzu ausschlaggebend für den schlechten Allgemeinzustand des niederösterreichischen Standortes sein.

Den beiden Austandorten soll nun ein Eichenstandort in der Nähe von Güssing gegenüber gestellt werden, der sich im Gegensatz zu jenen kalkreichen Standorten über Silikat befindet (Abb. 14). Das Klima, welches ebenfalls dem illyrischen Typ zuzuordnen ist, ist hier gekennzeichnet durch reichliche Niederschläge mit Maxima im Sommer und Spätherbst. Das Niederschlagsmittel für den Monat Juli beträgt 100 mm (1961 bis 1990), die Durchschnittstemperatur liegt dabei bei rund 19°C. Die Eichenpopulation setzt sich hier sowohl aus Stieleichen als auch aus Traubeneichen und Hybriden dieser beiden Eichenarten zusammen, die ein Durchschnittsalter von 110 Jahren und eine Oberhöhe von 33 Metern erreicht haben. Farne, Moose und Epiphyten zeigen in den schattigen Teilen des Standortes die gute Bodenwasserversorgung an. Durch die Bewirtschaftung des Waldes wurden in den letzten Jahren einige beherrschte Eichen zu herrschenden Eichen, die auf diese kleinräumige Veränderung mit der Ausbildung von zahlreichen Wasserreisern an den Stämmen reagierten. Einige Bäume zeigten Astabsprünge und eine relativ hohe Kronenverlichtung, die in Stufe 2 bis 3 einzuordnen ist. Ebenso konnten in geringfügigem Maß Fraßspuren, Mehlaufbefall und teilweise Eichengallen an den Blättern festgestellt werden (HEILIG unveröffentlicht).

Bezüglich der physiologischen Parameter zeigt sich in Güssing folgendes Bild:

Im Vergleich zu Gralla findet man hier einen etwas höheren chlorophyllbezogenen als auch trockengewichtsbezogenen Ascorbinsäuregehalt in den untersuchten Blättern, der aber weit unter den diesbezüglichen Werten des niederösterreichischen Standortes liegt (Abb. 1 und 2). Der Durchschnittswert der vier beprobten Bäume beträgt in Güssing 0,107 mg Ascorbinsäure pro Gramm Trockengewicht, das sind um 15% mehr als in Gralla, jedoch um 45% weniger als in Niederweiden. Da in Gralla ein insgesamt höherer Gesamtpigmentgehalt als auch Gesamtchlorophyllgehalt nachgewiesen wurde, konnten für den chlorophyllbezogenen Ascorbinsäuregehalt für den Standort Güssing höhere Werte als für den Standort Gralla errechnet werden.

Im Hinblick auf die Gesamtperoxidaseaktivität läßt sich sagen, daß der Durchschnittswert der trockengewichtsbezogenen Peroxidaseaktivität etwas geringer ist als der Vergleichswert aus Gralla, der chlorophyllbezogene Durchschnittswert dieses Parameters liegt dagegen in Güssing etwas höher als in Gralla. Dieses Ergebnis läßt sich auf denselben Effekt, der bei der Berechnung des Ascorbinsäuregehaltes zum Tragen kommt, zurückführen. Da sowohl der chlorophyllbezogene Ascorbinsäuregehalt als

auch die chlorophyllbezogene Peroxidaseaktivität in Güssing etwas höher als am Standort Gralla ist, liegt die Vermutung nahe, daß Güssing etwas mehr unter Streß steht. Mit einem Bezug auf den Chlorophyllgehalt hebt sich auch das Peroxidaseergebnis des niederösterreichischen Standortes deutlicher von den beiden anderen Standortsergebnissen ab. Erst dadurch wird klar, daß Niederweiden sowohl einen deutlich höheren Ascorbinsäuregehalt als auch eine relativ hohe Peroxidaseaktivität aufzuweisen hat (Abb. 2 und 4).

Hinsichtlich der einzelnen Pigmentgruppen erreicht Güssing zwar nicht das gleiche Ergebnis wie Gralla, im Vergleich zu Niederweiden, wo mit Abstand die geringsten Werte aller drei untersuchten Standorte erzielt werden konnten, zeichnet sich dieser Standort mit noch relativ hohen Pigmentwerten aus.

Anhand der für eine mögliche Streßanalyse interessanten Pigmentverhältnisse Xanthophyll zu Carotin und Gesamtchlorophyll zu den Carotinoiden konnte in Güssing, wie man den Abb. 8 und 9 entnehmen kann, kein Anzeichen einer beginnenden, noch nicht sichtbaren Vergilbung gefunden werden. Ergänzend soll an dieser Stelle nochmals erwähnt werden, daß für unsere Untersuchungen nur grüne Blätter herangezogen wurden.

Abschließend kann gesagt werden, daß sich Streß, wenn er chronisch vorliegt, bei Pflanzen wie beim Menschen negativ auf die Vitalität des gesamten Organismus auswirkt. Die daraus resultierende Schwächung der Pflanze, wie sie durch Untersuchungen bei *Picea abies* bekannt ist (BERMADINGER et al. 1989, GRILL et al. 1989), zieht Erkrankungen und Störungen im Stoffwechsel, die bis zum Absterben des Baumes führen können, nach sich. Noch lebende Organismen können in weiterer Folge von Sekundärinfektionen durch Viren, Bakterien und andere Schadorganismen befallen werden (JÄGER et al. 1986). Dieser Effekt kann schließlich der Auslöser für das Absterben der Pflanze sein.

Betrachtet man unter Einschluß aller optischen und streßrelevanten Parameter jene drei untersuchten Eichenstandorte in der Steiermark, in Niederösterreich und im Burgenland, so fällt auf, daß aufgrund unserer Ergebnisse die Eichen am steirischen und burgenländischen Standort noch recht gesund und vital sind. Vor allem am steirischen Standort bei Gralla konnte dieser Umstand durch einen sehr hohen Gesamtchlorophyllgehalt und hohe Xanthophyll- und Carotingehalte bekräftigt werden. Zusätzlich konnten an diesem Standort die Blätter mit der größten durchschnittlichen Blattfläche (Abb. 11) gefunden werden. Allerdings zeigte das Vorhandensein von einigen Totästen, wie man sie auch auf Abb. 10 erkennt, und ein teilweise unter 4 liegendes Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis der untersuchten grünen Blätter, daß vermutlich auch auf jenen Standort erste Streßbelastungen einwirken. Die Ursache dafür bleibt dahingestellt. Auffällig waren einzig die zum Teil recht massiven Fraßspuren auf den Blättern, die mit größter Wahrscheinlichkeit durch Raupen des Schwammspinners verursacht wurden. Blickt man nun nochmals zurück auf die physiologischen Parameter, so erkennt man ein relativ hohes Xanthophyll-Carotin-Verhältnis und eine relativ hohe Gesamtperoxidaseaktivität bei einem recht niedrigen Ascorbinsäuregehalt. Das erwähnte Pigmentverhältnis besagt, daß ein Teil des Carotins zu Xanthophyll oxidiert wurde. Dieser oxidative Effekt könnte durch eine Verletzung der Blätter, wie zum Beispiel Insektenfraß, hervorgerufen worden sein. Da nun tatsächlich starke Fraßspuren an den Blättern nachgewiesen werden konnten, dürfte diese Vermutung in die richtige Richtung weisen. Bekräftigt wird diese Tatsache zusätzlich durch die hohe Peroxidaseaktivität, die als unspezifische Reaktion der Pflanze auf einen störenden Einfluß von außen auftritt. Jener kann in Form von Luftverunreinigungen einwirken, aber vor allem beim Vorhandensein biogener Stressoren (Schadinsekten, Mehltau usw.) eine momentane Erhöhung der Peroxidaseaktivität nach sich ziehen. Da in den

Bäumen ein sehr hoher Gesamtpigmentgehalt festgestellt werden konnte, was gleichbedeutend mit einer hohen Vitalität ist, und der Eichenbestand mit einem Durchschnittsalter von 60 Jahren recht jung ist, dürfte die biogene Belastung von den Bäumen gut verkraftet werden. Als weiterer positiver Aspekt kann hier die gute Wasserversorgung des Standortes gewertet werden.

Der niederösterreichische Standort in Niederweiden läßt durch das Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis und den erhöhten Ascorbinsäuregehalt eine beginnende Veränderung im stoffwechselphysiologischen Verhalten der dort wachsenden Eichen vermuten. Zusätzlich weist hier das optische Erscheinungsbild des Eichenbestandes laut Schadenssymptomschlüssel nach HARTMANN et al. 1988 auf eine Erkrankung der Bäume, die bereits in Einzelfällen zum Absterben des Baumes geführt hat, hin. Das niedrigere Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis (Abb. 9) könnte als Hinweis für eine chronische Vergilbung der Blätter bewertet werden. Einen zusätzlichen Beweis für diese Hypothese liefert der hohe Ascorbinsäuregehalt, der vor allem durch einen Bezug auf den Chlorophyllgehalt (Abb. 2) sehr auffällig ist. Die Absolutgehalte der einzelnen Pigmentgruppen (Abb. 5, 6, 7) zeigen außerdem, daß Niederweiden eine schlechte Vitalität besitzt. Aus diesem Grund wird ein Bezug auf den Chlorophyllgehalt der entsprechenden Proben interessant, da dadurch das Ausmaß der Streßbelastung noch deutlicher zum Vorschein kommt.

Eine Belastung durch Luftverunreinigungen wie zum Beispiel Ozon oder  $\text{SO}_2$  kann nicht ausgeschlossen werden. So konnten GREGORI & PUXBAUM 1994 bei Messungen im Weinviertel im Jahre 1991 mit Ozon die mengenmäßig bedeutendste Komponente bezüglich eines trockenen Schadstoffeintrages erfassen. So betrug zum Beispiel der Monatsmittelwert an Ozon für den Monat Juli rund  $180 \text{ kg/ha}^* \text{J}$ . Auch  $\text{SO}_2$  oder andere Luftschadstoffe könnten eine gewisse Rolle spielen. So führt zum Beispiel  $\text{SO}_2$  zur Bildung von freien Radikalen, vor allem im Chloroplasten. Entgiftungsmechanismen, wie zum Beispiel eine Erhöhung der Superoxiddismutaseaktivität, wirken diesem Einfluß entgegen (RENNENBERG & POLLE 1994). Das bereits erwähnte Ergebnis der Berechnungen des Verhältnisses von Frisch- zu Trockengewicht verhärtet den Verdacht, daß die Population in Niederweiden unter dem Einfluß von Luftschadstoffen, vor allem Oxidantien, steht. Wäre Trockenstreß der dominierende Faktor, so müßten auch die Bestände in Gralla eine Reaktion in diese Richtung zeigen, da das sehr ähnliche Frisch-/Trockengewichtsverhältnis der Blätter beider Standorte auf eine ähnlich gute Bodenwasserversorgung schließen läßt. Schadinsekten oder Befall durch Mehltau spielen an diesem Standort kaum eine Rolle, was auch durch die im Vergleich zu den anderen beiden Standorten verhältnismäßig niedrigere Peroxidaseaktivität zum Ausdruck kommt.

Auch in Güssing sind erste Anzeichen des „Eichensterbens“, das aller Wahrscheinlichkeit nach unaufhaltsam von Osten nach Westen voranschreitet, zu erkennen. Hier konnte zwar weniger der Einfluß von biogenen Stressoren, wie zum Beispiel Schadinsekten, festgestellt werden, allerdings war die Anzahl der Astabsprünge und Totäste (Abb. 12) recht auffällig. Zusätzlich ist jener Standort durch ein hohes Durchschnittsalter und massiven anthropogenen Einfluß gekennzeichnet. Durch Schlägerungen wurden einige ältere Eichen freigestellt. Als Reaktion auf die neuen Lichtverhältnisse, denen die Bäume folglich ausgesetzt waren, konnte das Auftreten von Wasserreisern an den Stämmen beobachtet werden. Wahrscheinlich konnte die gute Wasserversorgung jenes Standortes, die durch das Ergebnis der Berechnung des Verhältnisses Frisch-/Trockengewicht (vgl. Abb. 10) sehr augenfällig wird, dem anthropogenen Einfluß positiv entgegenwirken und eine stärkere Schädigung vermeiden. Dies zeigt sich auch in den streßphysiologischen Parametern, wobei durch einen noch recht hohen Gesamtchlorophyllgehalt ein guter Vitalitätszustand der Eichenpopulation bestätigt wer-

den konnte. Das ähnlich hohe Xanthophyll-Carotin-Verhältnis, wie wir es bereits in Gralla finden konnten, dürfte auch hier auf einen Befall durch Schadinsekten zurückzuführen sein, da an den Blättern ebenfalls Fraßspuren nachgewiesen werden konnten. Sie bewegten sich zwar in einem geringeren Umfang als am Standort Gralla, jedoch konnte in Güssing zusätzlich ein leichter Mehlaufbefall festgestellt werden. Bekräftigt wird diese Hypothese auch an diesem Standort durch das Ergebnis der Peroxidasebestimmung (Abb. 3, 4), die, allgemein gesehen, in Güssing eine große Amplitude umspannt. Da der Ascorbinsäuregehalt bei dieser Probestfläche ebenso wie in Gralla recht niedrig ist, dürfte eine Belastung durch Luftverunreinigungen eine geringe Rolle spielen. Jener burgenländische Standort erzielte außerdem den durchschnittlich besten Wert für das Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis, wonach eine chronische Vergiftung, auch eine noch nicht sichtbare, fast gänzlich ausgeschlossen werden kann. Dabei sollte nochmals festgehalten werden, daß ausschließlich grüne Blätter untersucht wurden.

Abb. 1:  
Ascorbinsäuregehalt  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

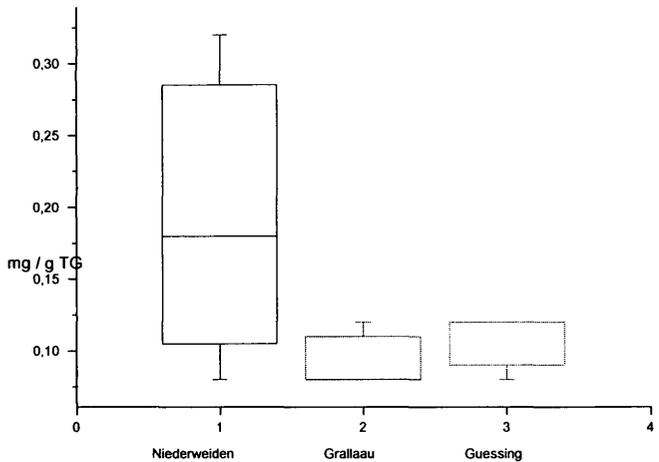


Abb. 2:  
Chlorophyll-  
bezogener  
Ascorbinsäuregehalt  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

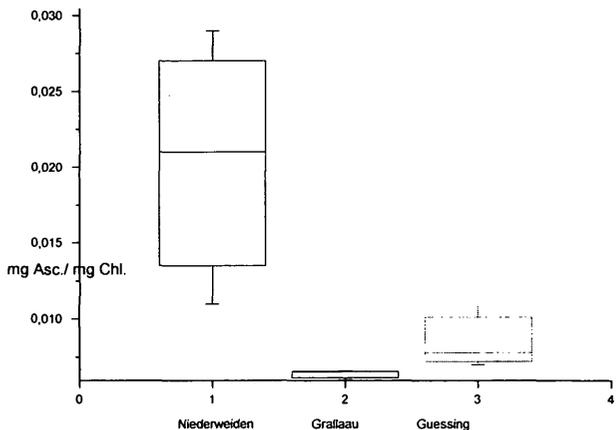


Abb. 3:  
Peroxidaseaktivität  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

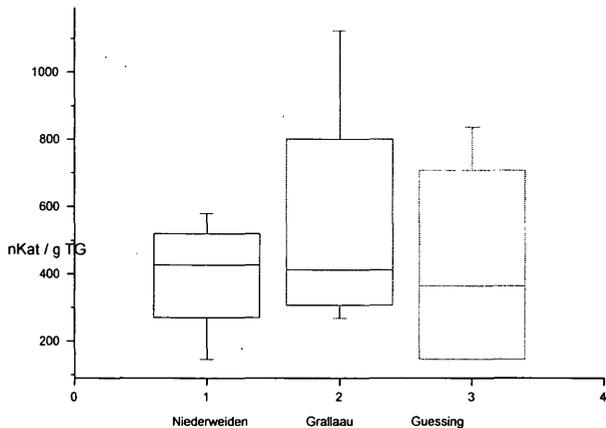


Abb. 4:  
Chlorophyllbezogene  
Peroxidaseaktivität  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

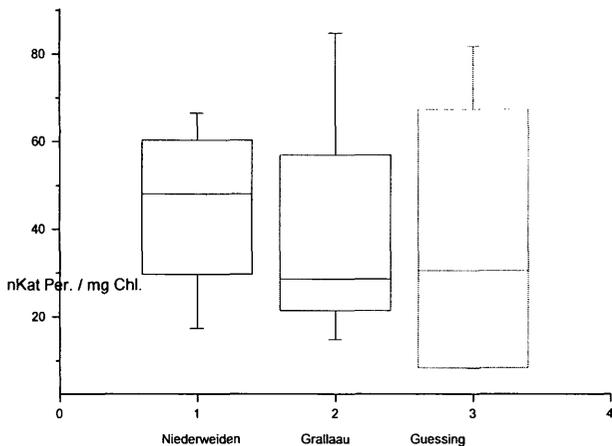


Abb. 5:  
Xanthophyllgehalt  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

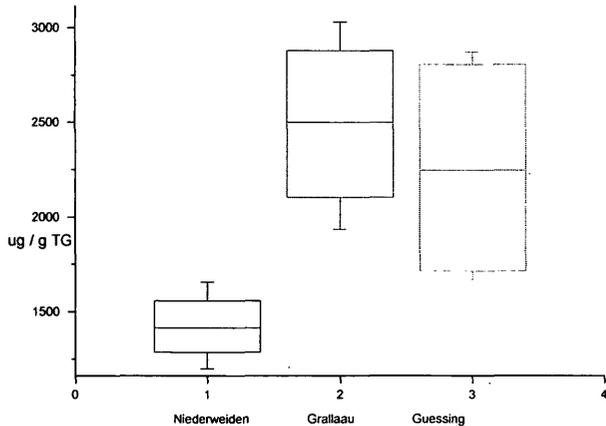


Abb. 6:  
Carotingehalt der  
Eichenblätter aller  
drei Standorte.

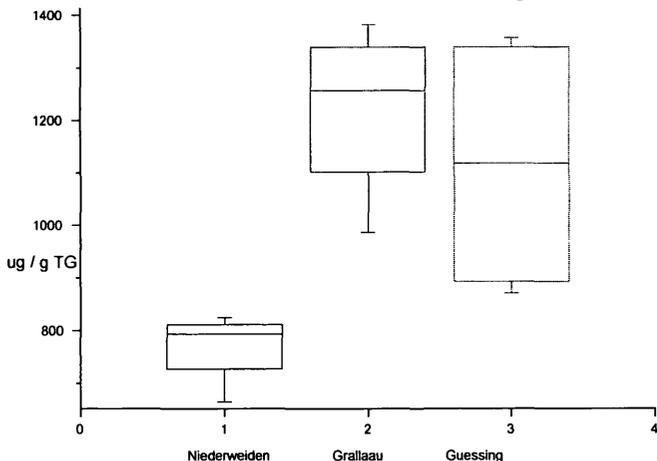


Abb. 7:  
Chlorophyllgehalt  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

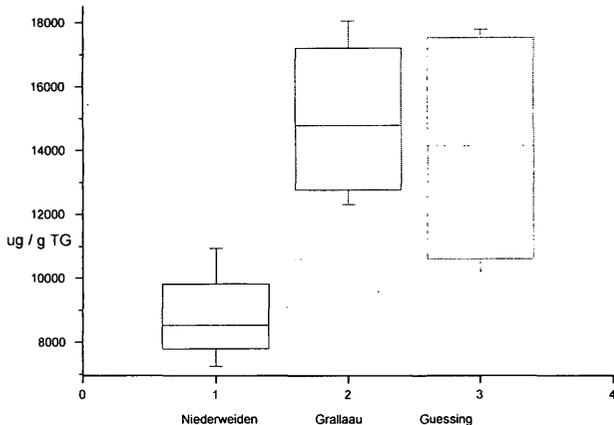


Abb. 8:  
Xanthophyl-Carotin-  
Verhältnis der  
Eichenblätter aller  
drei Standorte.

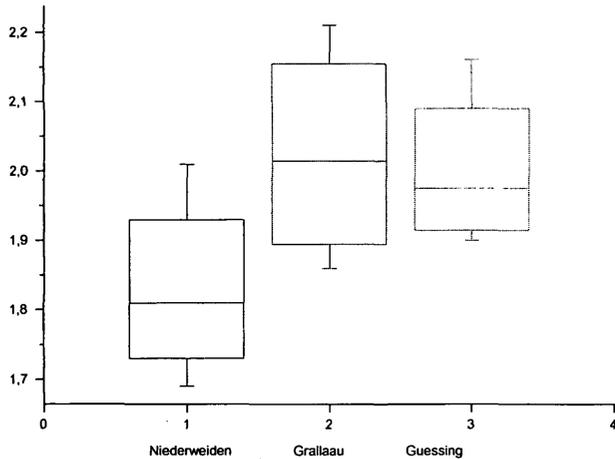


Abb. 9:  
Chlorophyll-  
Carotinoid-Verhält-  
nis der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

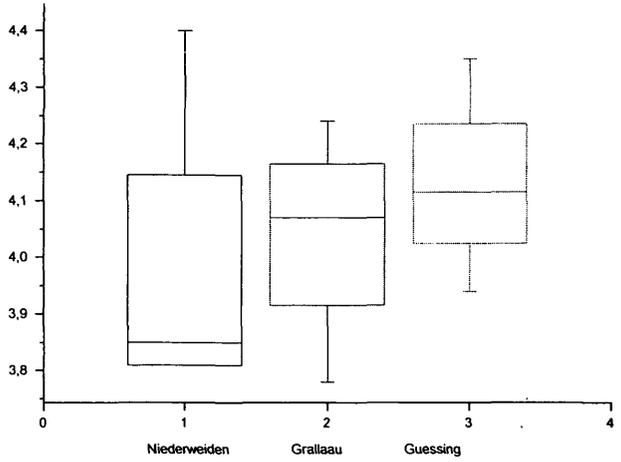


Abb. 10:  
Frisch-/Trocken-  
gewichtsverhältnis  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

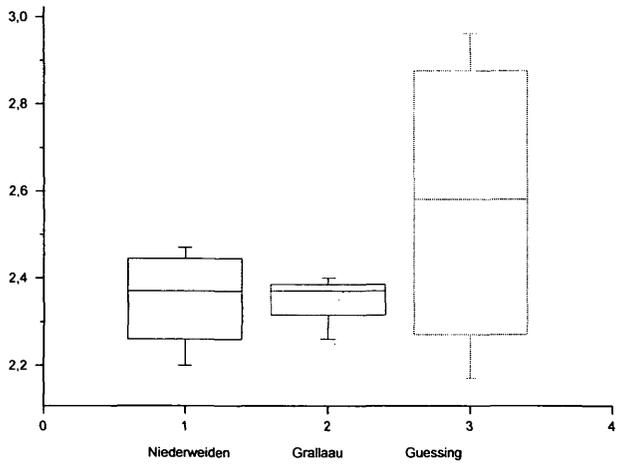


Abb. 11: Blattflächen  
der Eichenblätter  
aller drei Standorte.

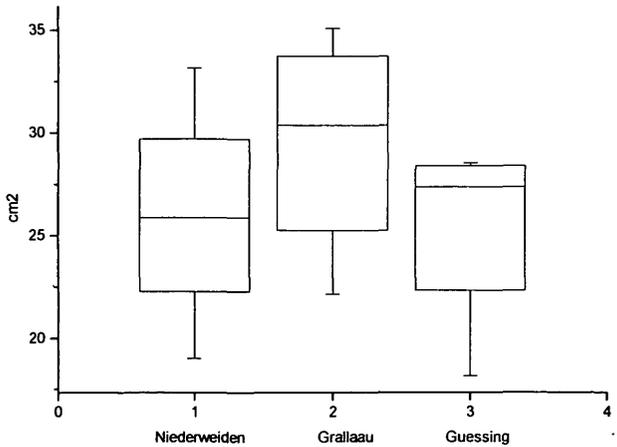




Abb.12: Eichenstandort Gralla (Steiermark)

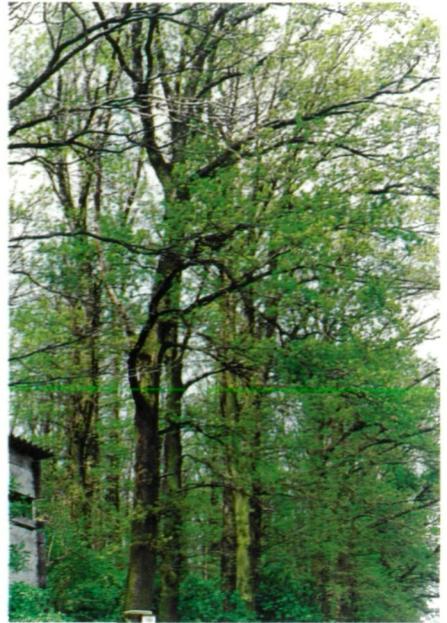


Abb.13: Eichenstandort Niederweiden  
(Niederösterreich)



Abb.14: Eichenstandort Güssing  
(Burgenland)

Fest steht, daß auch in Österreich eine Belastung und Schwächung der Eichenbestände anzutreffen ist, worin auch immer die Ursache dieses Symptoms begründet liegt. Die beiden Standorte Gralla und Güssing kämpften zum Zeitpunkt der Probenahme eher mit dem Problem einer akuten Belastung durch biogene Stressoren, die jedoch aufgrund der guten Wasserversorgung der Standorte als auch aufgrund des recht guten Allgemeinzustandes der Eichenpopulationen aller Wahrscheinlichkeit nach keine Dauerschädigung nach sich ziehen wird. In Niederweiden kamen dagegen erste Anzeichen einer chronischen Schädigung, möglicherweise hervorgerufen durch Luftschadstoffe (Oxidantien), Trockenheit und andere Stressoren oder durch die Kombination sämtlicher einwirkender Parameter, zum Vorschein. Erst weitere Beobachtungen des Schadbildes und weiterführende physiologische Untersuchungen können eventuell zur Klärung der „Eichenerkrankungen“ beitragen.

### Dank

Diese Arbeit wurde im Rahmen des FIW-Projektes „Eiche“ durchgeführt und vom BMfWF und BMfLuF finanziert. Mein Dank gilt Herrn Dr. HEILIG (freier Mitarbeiter des FIW-II-Projektes), der uns die Daten der optischen Standortsbeurteilung zur Verfügung stellte.

### Literatur

- BERMADINGER, E., GRILL, D. & GUTTENBERGER, H. (1989): Thiole, Ascorbinsäure, Pigmente und Epikutikularwaxse in Fichtennadeln aus dem Höhenprofil „Zillertal“. – *Phyton (Austria)* 29/3: 163–185.
- BERMADINGER, E., GUTTENBERGER, H. & GRILL, D. (1990): Physiology of young Norway spruce. – *Environ.Poll.* 68: 319–330.
- BERMADINGER-STABENTHEINER, E. & GRILL, D. (1992): Pflanzenphysiologische Untersuchungen am Höhenprofil „Zillertal“. – *FBVA Berichte* 67: 87–93.
- ELSTNER, E. F. (1982): Oxygen activation and oxygen toxicity. – *Ann.Rev.Plant. Physiol.* 33: 73–96.
- GREGORI, M. & PUXBAUM, H. (1994): Forschungsprojekt Schadstoffdeposition im Weinviertel, Teil 2 - Trockene Deposition. – Bericht 8/94 des Institus für Analytische Chemie der TU Wien.
- GRILL, D. & SCARDELLI, U. (1989): Ausbreitung von Immissionen in alpinen Seitentälern. - Endbericht August 1989 – BMfLuF, Institut für Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz.
- GRILL, D., BERMADINGER, E. & PFEIFHOFER, H. (1988a): Biochemisch-diagnostische Untersuchungen zur Feststellung der Umweltbelastung von Bäumen (Teil 3). – Endbericht zum Projekt GZ. 36.042/2 - 23/86 des BMfWF (August 1988). Institut für Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz.
- GRILL, D., KERN, T., BERMADINGER, E. & JÄGER, H. J. (1988b): Physiologische Reaktionen von Fichten in Inversionszonen. – *GSF-Bericht* 17: 391–399.
- GRILL, D., GUTTENBERGER, H., ZELNIG, G. & BERMADINGER, E. (1989): Reactions of plant cells on air pollution. – *Phyton (Austria)* 29: 277–290.
- GRILL, D., BERMADINGER, E. & SCARDELLI, U. (1992): FIW II - Fallstudie: Waldbewirtschaftungskonzept in stark belasteten Waldgebieten des Mühlviertels. Projektteil „Luftchemische Stresse“. – Endbericht für das BMWF.
- GRILL, D., TAUSZ, M. & STABENTHEINER E. (1993): FIW II - Fallstudie: Waldbewirtschaftungskonzepte Gleinalm. Projektteil „Luftchemische Stresse“. – Endbericht für das BMWF.

- HAGER, H. (1993): Eichenerkrankungen und Eichensterben. In: Amt der NÖ Landesregierung (ed.). Eichenwald – Ein Lebensraum mit Zukunft? Katalog zu einer Sonderausstellung im NÖ Landesmuseum, Neue Folge 320 (1993): 87–97.
- HALLIWELL, B. (1984): Chloroplast metabolism. – Clarendon Press, Oxford.
- HARTMANN, G., NIENHAUS, F. & BUTIN, H. (1988): Farbatlas Waldschäden – Diagnose von Baumkrankheiten. – Ulmer, Stuttgart.
- HAVRANEK, W. M., PFEIFHOFER, H. & GRILL, D. (1990): Pigmentgehalte und Gaswechsel von Hoch- und Tieflagenfichten nach chronischer Ozonbelastung. – Forstw.Cbl. 109: 200–209.
- HUBER, S. (1993): Bodenmineralstoffhaushalt, Ernährungszustand und Kronenverlichtung von Eichenwäldern in Niederösterreich. – In: NEUHUBER, F. (ed). FIW-Seminare „Blaue Serie“ – Kurzfassungen der Vorträge 1993: 157–171. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumpforschung Wien.
- JÄGER, H. J., WEIGEL, H. J. & GRÜNHAGE, L. (1986): Physiologische und biochemische Aspekte der Wirkung von Immissionen auf Waldbäume. – Eur.J.For.Path. 16: 98–109.
- KANDLER, O., MILLER, W. & OSTNER, R. (1987): Dynamik der „akuten Vergilbung“ der Fichte. Epidemiologische und physiologische Befunde. – Allg.Forst Zeitschr. 27/28/29: 679–700.
- KELLER, TH. & SCHWAGER, H. (1971): Der Nachweis unsichtbarer („physiologischer“) Flour-Immissionsschädigungen an Waldbäumen durch eine einfache kolorimetrische Bestimmung der Peroxidase-Aktivität. – Eur.J.For Path. 1(1): 6–18.
- KNEIFEL, W. & SOMMER, R. (1985): HPLC-Methode zur Bestimmung von Vitamin C in Milch, Molke und Molkegetränken. – Z.Lebensm.Unters.Forsch. 181: 107–110.
- KUNERT, K. J. & EDERER, M. (1985): Leaf aging and lipid peroxidation: the role of the antioxidants vitamin C and E. – Physiol.Plant. 65: 85–88.
- LICHTENTHALER, H. K. & BUSCHMANN, C. (1983): Das Waldsterben, Verlauf, Ursachen und Konsequenzen. – Fridericiana 33: 39–66.
- MEHLHORN, H., SEUFER, G., SCHMIDT, A. & KUNER, K. J. (1986): Effects of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on productions of antioxidants in conifers. – Plant Physiol. 82: 336–338.
- OSSWALD, W. F. & ELSTNER, E. F. (1986): Mechanismen der pathologischen Pigmentbleichung bei Pflanzen. – Ber.Deutsch.Bot.Ges. 99: 341–365.
- PFEIFHOFER, H. (1989): Evidence for chlorophyll b and lack of lutein in *Neottia nidus-avis* plastids. – Biochem.Physiol.Pflanzen 184: 55–61.
- PFEIFHOFER, H. & GRILL, D. (1988): Zur Rolle von Pigmentuntersuchungen in der biochemischen Diagnose von Schadwirkungen. – In: FÜHRER, E. & NEUHUBER, F. (eds.) FIW-Symposium 1988: 290–291. Wien.
- RENNENBERG, H. (1984): Glutathione metabolism and possible biological roles in higher plants. – Phytochem. 21: 2771–2781.
- RENNENBERG, H. (1988): Wirkung von Photooxidantien auf Pflanzen. – GSF-Bericht 17: 360–370.
- RENNENBERG, H. & POLLE, A. (1994): Metabolic consequences of atmospheric sulphur influx into plants. – In: ALSCHER, R. G. & WELLBURN, A. R. (eds.). Plant Responses to the Gaseous Environment. – Chapman & Hall, London.
- ROBINSON, D. C. & WELLBURN, A. R. (1991): Seasonal changes in the pigments of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst., and the influence of summer ozone exposures. – New Phytol. 199: 251–259.
- SCHUME, H. (1993): Standörtliche Zonierung von Eichenwaldökosystemen in Ostösterreich. – In: NEUHUBER, F.(ed). FIW-Seminare „Blaue Serie“ – Kurzfassungen

der Vorträge 1993: 118–156. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumpforschung Wien.

SCHÜTT, P., BLASCHKE, H., HOLDENRIEDER, O. & KOCH W. (1984): Der Wald stirbt an Streß. – Bertelsmann, München.

WILD, A. (1988): Licht als Streßfaktor bei Waldbäumen. – Naturw.Rdsch. 41: 93–96.

Anschriften der Verfasser: Mag. Ursula EHRLICH und Univ.-Prof. Dr. Dieter GRILL,  
Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Graz,  
Schubertstraße 51, A-8010 Graz

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [124](#)

Autor(en)/Author(s): Ehrlich Ursula, Grill Dieter

Artikel/Article: [Vitalitätsbeurteilung von Eichen eines steirischen Standortes im Vergleich zu Standorten in Niederösterreich und Burgenland. 219-236](#)