

Das Österreichische Bioindikatornetz – einst und jetzt

Alfred Fürst

Kurzfassung | In der Verordnung gegen Forstschädliche Luftverunreinigungen wurden Immissionsgrenzwerte für Blatt- und Nadelgehalte und eine standardisierte Probenahme gesetzlich festgelegt. Damit wurde die Basis für den praktischen Einsatz der Bioindikation mit Waldbäumen geschaffen. Beginnend 1983 wurde ein Bioindikatornetz eingerichtet, das bis heute jährlich beprobt wurde. Stand in den 1980er Jahren noch die Entwicklung der Schwefelimmersionssituation im Mittelpunkt der Untersuchung, wurde später besonderes Augenmerk auf die Entwicklung der Nährstoffgehalte gelegt. Insbesondere bei Phosphor zeigt sich in einzelnen Gebieten in Österreich eine signifikante Abnahme der Gehalte in der letzten Dekade. Die Ursache liegt in der Zunahme der Biomasseproduktion, bedingt durch anthropogene Stickstoffeinträge und der globalen Zunahme des Kohlendioxids in der Atmosphäre und der nicht ausreichenden Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Boden. Die Proben des Bioindikatornetzes werden heute vermehrt in weiteren Bereichen eingesetzt. Neben den klassischen Schadstoffen wurden auch Radionuklide (nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl) und Quecksilbergehalte in Immissionsgebieten in Proben des Bioindikatornetzes analysiert. Das Bioindikatornetz hat sich in den 30 Jahren seines Einsatz als wichtiges Instrument zur Umweltüberwachung etabliert.

Schlüsselworte | Bioindikatornetz, Schwefelimmersionseinwirkung, Nährstoffe, Monitoring, Blatt- und Nadelanalyse

Nach Deutschland startete auch in Österreich Anfang der 1980er Jahre die Diskussion über das "Waldsterben". Unter den Eindruck der dramatischen Berichte, aber auch unter dem Druck der öffentlichen Meinung wurden zu dieser Zeit Maßnahmen eingeleitet, die es bis heute ermöglichen, die Einwirkung von Luftschadstoffen auf Waldbäume mittels Bioindikation nachzuweisen und dieses Verfahren auch im Zuge der Industrieanlagengenehmigung praktisch einzusetzen.

Schaffung der gesetzlichen Basis

Vor 1983 wurde die forstliche Bioindikation in Österreich nur in klassischen Rauchschaadensgebieten (z.B. Ranshofen/

Oberösterreich, Linzer Raum/Oberösterreich, Arnoldstein/Kärnten, Leoben/Steiermark, Breitenau/Steiermark) vorgenommen. Durch diese Untersuchungen wurde die Eignung der Blatt- und Nadelanalyse festgestellt und wurden Beurteilungswerte für Elementgehalte in Blättern und Nadeln für die wichtigsten Waldbaumarten aufgestellt, die bei Immissionseinwirkungen überschritten werden (Stefan 1982). Überschreitungen dieser Beurteilungswerte können bereits bei ungünstigen Rahmenbedingungen (Kombinationswirkung von Luftschadstoffen, schlechte Nährstoffversorgung, Trockenheit, etc.) zu einem messbaren Schaden am Bewuchs führen. Aufgrund dieser Erfahrungen, aber auch durch die

Abstract

Austrian Bio-Indicator Grid – then and now

The Austrian regulation against forest damaging air pollutants provided the legal basis for the implementation of bio-indication using forest trees. In Austria, the impact of sulphur has been assessed since 1983 with the help of the Austrian Bioindicator Grid (BIN). The annual sampling allows a precise evaluation of the temporal and regional development of the impact of sulphur. Also the nutritional status and trends are observed, to identify growth limiting nutrients and to assess changes in tree nutrition. Increased tree productivity, possibly resulting from the global increase in atmospheric CO₂ and from high N deposition, has led to higher nutrient demand by trees. Especially a significant decrease of phosphorous in foliage can be observed in some regions. The BIN is increasingly used beyond classical forest health issues, such as for detection of heavy metals (mercury).

Keywords | Bio-Indicator Grid, sulphur impact, nutrients, monitoring, foliage analysis

beginnende Diskussion über das Waldsterben wurde eine Durchführungsverordnung zum Forstgesetz 1982 erlassen (Erste Verordnung gegen Forstschädliche Luftverunreinigungen), in der erstmals für den Wald relevante Grenzwerte festgelegt wurden. Besonders bemerkenswert ist, dass für die Erlassung dieser Verordnung ein Einvernehmen zwischen dem Minister für Land- und Forstwirtschaft und dem Minister für Handel, Gewerbe und Industrie, für Bauten und Technik und für Verkehr herzustellen war. 1984 wurde die Verordnung novelliert und als Zweite Verordnung gegen Forstschädliche Luftverunreinigungen BGBl. 199/1984 erlassen, diese Verordnung ist bis heute gültig. Eine neuerliche Novellierung (u.a. wegen der Einbeziehung von Kombinationswirkungen verschiedener Luftschadstoffe) scheiterte aber um 1990 am fehlenden Übereinkommen mit dem Wirtschaftsministerium.

In der Zweiten Verordnung gegen Forstschädliche Luftverunreinigungen wurden aber nicht nur Grenzwerte für Schadstoffgehalte in der Luft, sondern auch Grenzwerte für Schadstoffgehalte in Blättern und Nadeln festgelegt. Diese gesetzlichen Grenzwerte für Schadstoffe in Blättern und Nadeln sind einzigartig in Europa, sie ermöglichen den praktischen Einsatz der Bioindikation in Österreich als Mittel zur Überwachung von Industrieanlagen hinsichtlich forstschädlicher Luftverunreinigungen.

Der ersten Euphorie über diese Rechtsgrundlage folgte zunächst Ernüchterung (Wohanka 1985). Die (Industrie-) Anlagen, auf denen die Verordnung anzuwenden ist, wurden taxativ aufgezählt. Wichtige Quellen für Luftverunreinigungen (z.B. Straßen) werden durch die Zweite Verordnung nicht abgedeckt.

Insbesondere bei Altanlagen ist die Einhaltung der neuen Immissionsgrenzwerte ein besonderes Problem. Diese Anlagen sind oft technisch nicht mehr zu verbessern, ein Filtereinbau ist auch meist unwirtschaftlich. Die Schließung

der Anlage stellt somit die einzige Lösung dar. Es wurden in solchen Fällen üblicherweise alle Rechtsmittel ausgeschöpft, um den Betrieb noch möglichst lange fortführen zu können. Zusätzlich waren während des Instanzenzuges alle forstlichen Erhebungen immer aktuell zu halten, weil sich ja der Immissionseinfluss verändert, auch verbessert haben könnte. Die einfache Überschreitung der Grenzwerte ist in einem solchen Verfahren nicht ausreichend, zusätzlich ist auch die Erhebung des Schadens am Bewuchs (durch dendrometrische oder botanische Verfahren) vorgeschrieben. Dadurch erhöht sich der Erhebungsumfang beträchtlich, und die Verfahrensdauer verlängert sich. Bis dato wurde nur ein einziges Verfahren nach dem Forstgesetz nach Ausschöpfung aller Rechtsmittel Ende der 1980er Jahre erfolgreich für die Forstbehörde und für den betroffenen Waldbesitzer abgeschlossen.

Trotz dieser Probleme entwickelte sich die Bioindikation durch die gesetzlichen Grenzwerte von Schadstoffgehalten in Blättern und Nadeln letztendlich zu einem geeigneten und kostengünstigen Mittel zur Industrieanlagenüberwachung. Lokale forstliche Bioindikatorennetze wurden den Betreibern ab 1990 auch bei Neuanlagen und Erweiterungen im Betriebsbewilligungsbescheid durch die Behörden vorgeschrieben. Somit konnten bei Überschreitung von Immissionsgrenzwerten umgehend weitere Maßnahmen vom Anlagenbetreiber eingefordert werden.

Geburt des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN)

Vor 1983 war die durch Luftschadstoffe belastete Wald- und Landesfläche Österreichs nicht abschätzbar: Auf etwa 30-50 % der Landesfläche wurden noch nie Erhebungen zur Schadstoffbelastung der Wälder vorgenommen. 1983 wurde die Forstliche Bundesversuchsanstalt (das jetzige Bundesforschungszentrum für Wald) vom Bundesministerium für Land-

Schwefelgehalte 1985

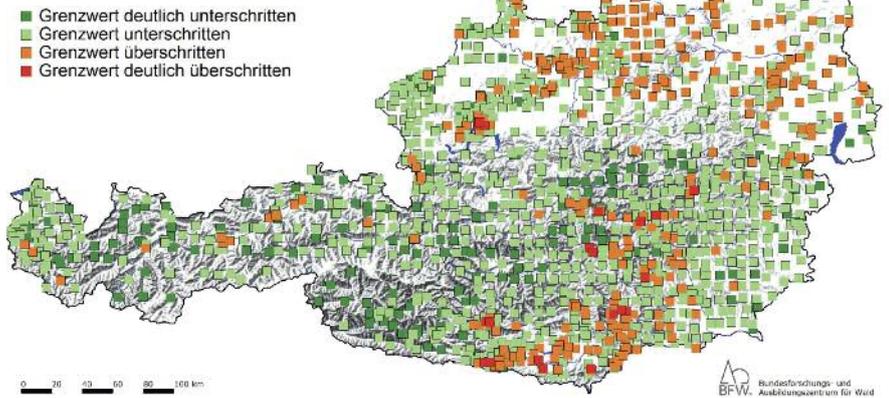


Abbildung 1: Schwefelgehalte auf den Bioindikatortnetz-Punkten 1985.

Figure 1: Needle sulphur contents on the bio-indicator grid points in 1985. Contents above the threshold are marked in orange or red.

und Forstwirtschaft beauftragt, österreichweit die Schadstoffbelastung und die Nährstoffversorgung mittels Bioindikation flächendeckend zu erheben. Mit den Planungen wurde im Frühjahr 1983 begonnen. Sehr bald wurde klar, dass die Probenahmen bei diesem Probenumfang im Herbst innerhalb von wenigen Wochen nicht ohne Einbindung der Landesbehörden durchzuführen sind. Die Landeshauptleute wurden daher vom Bundesminister ersucht, die Probenahmen jährlich im Herbst vorzunehmen.

Das Grundnetz wurde an das damals bestehende bayrische Netz mit einem 16x16km-Gitternetz angebunden. Zusätzlich verdichteten die Bundesländer das Erhebungsnetz in Immissionsgebieten und entlang von Talverläufen. Als Bioindikatoren wurden Fichte und im trockenen Osten Österreichs die Baumarten Weiß-, Schwarzkiefer und Buche eingesetzt. Herrschende und vorherrschende Bäume wurden ausgewählt, um ein freies Anströmen von Luftverunreinigungen sicherzustellen. Die Probenahme selbst erfolgte im oberen Kronenbereich (6. bis 7. Quirl von oben), bei Laubbäumen wurde eine Mischprobe aus dem oberen Kronenbereich entnommen. Erstmals wurden 1983 an 874 Punkten 3246 Blatt- und Nadelproben entnommen.

Aber nicht nur die Probenahmen, sondern auch die personelle und technische Ausstattung im Labor musste den Erfordernissen angepasst werden. So stieg der Personalstand von drei auf zehn Vollzeitmitarbeiterinnen und -mitarbeitern in den 1980er Jahren. Durch Automatisierung und Optimierung von Arbeitsabläufen konnte die Anzahl der im Labor Beschäftigten trotz gleichbleibender Probenanzahl wieder auf fünf Vollzeitmitarbeitende gesenkt werden. Nachdem auch in allen Proben Schwefel gemessen werden musste, wurde im Herbst 1983 ein Elementaranalysator angekauft, ein weiterer folgte im Frühjahr 1984.

Die ersten Ergebnisse zeigten, dass 1983 und 1984 eine deutlich größere Fläche Österreichs immissionsbelastet war als zuvor angenommen. Speziell im Wald- und Mühlviertel wurden erstmals flächige, grenzüberschreitende Immissionswirkungen nachgewiesen, und auch klassische Rauchschadensgebiete waren deutlich größer als erwartet nachweisbar. Deshalb erfolgte 1985 eine Verdichtung des BIN, das Ergebnis dieser Probenahmen aus dem Herbst 1985 ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Die höchsten Schwefelgehalte mit Grenzwertüberschreitungen bis zum Drei- und Vierfachen wurden 1985 im Nahbereich der Lenzing AG sowie der BBU-Arnoldstein nachgewiesen. Insgesamt wurden auf 23 % der Untersuchungspunkte die Schwefelgrenzwerte überschritten (Fürst et al 2003).

Quecksilbergehalte 1996

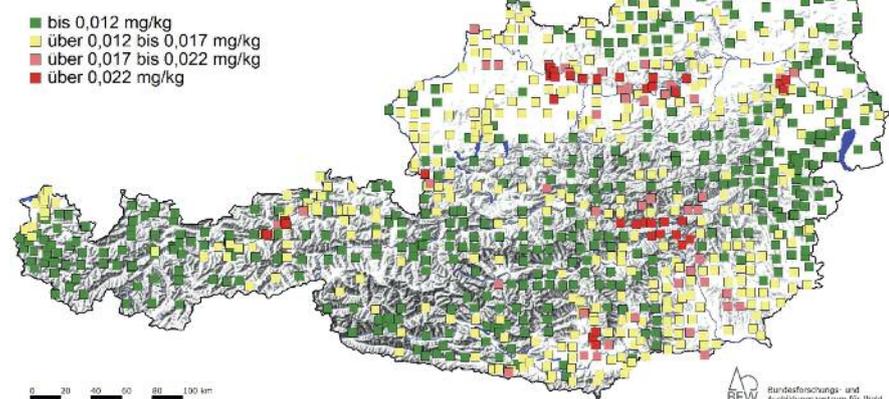


Abbildung 2: Quecksilbergehalte auf den Bioindikatortnetz-Punkten 1996.

Figure 2: Needle mercury contents on the bio-indicator grid points in 1996.

Neben Schwefel wurden auch die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium bestimmt. Das häufigste Mangel-element war 1985 Stickstoff auf rund 33 %, gefolgt von Phosphor auf rund 12 % der BIN-Punkte. Kalium- und Magnesium-

mangel wurde auf 2 % der BIN-Punkte festgestellt, Calciummangel trat keiner auf.

Entwicklung des Österreichischen Bioindikatornetzes

Durch emissionsmindernde Maßnahmen, Einbau von Filtern und durch die Verringerung des Schwefelgehaltes in Brennstoffen wurden die österreichischen Schwefeldioxid-Emissionen deutlich auf unter 30.000 t pro Jahr gesenkt. Auch bei der Anzahl der Grenzwertüberschreitungen im BIN ist diese Reduzierung feststellbar: Vor dem Jahr 2000 wiesen noch 15-30 % der Punkte Grenzwertüberschreitungen auf, danach waren es nur mehr 5-12 % (Stefan und Fürst 1998).

Durch die Anschaffung neuer Aufschluss- und Analysengeräte konnten weitere Nährelemente routinemäßig erfasst werden (Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Bor). Alle Proben des BIN sind in einer Umweltprobenbank archiviert, retrospektive Untersuchungen von Umweltschadstoffen in diesen Proben sind damit möglich. So wurden erstmals – mit neuer verbesserter Analysenmethodik – die Quecksilbergehalte in einzelnen Erhebungsjahren untersucht, um die Verteilung des umweltrelevanten Schwermetalls in Österreich aufzuzeigen (Abbildung 2) und bis dato unbekannte Emittenten festzustellen oder Immissionsräume einzugrenzen (Fürst und Lick 2010). Ausgewählte BIN-Proben aus der Umweltprobenbank wurden auch auf Radionuklide (z.B. Cäsium, Strontium) untersucht. Dabei erwies sich das Bioindikationsverfahren als gut geeignet, um belastete Gebiete nach dem Reaktorunglück in Tschernobyl auszuweisen (Seidel 2010).

Ende der 1990er Jahre wurde die Internet-Datenbank „BIN-Online“ erstellt. Sie ermöglicht die Abfrage von BIN-Daten als Österreichskarten, in Diagrammen oder Tabellen. Für Behörden wurde zusätzlich ein geschützter Datenbankzugriff auf die Einzelmesswerte eingerichtet.

Das Österreichische Bioindikatornetz heute

Neben bundesweiten Fragestellungen bildet das BIN die Basis der forstfachlichen Gutachten der Landesforstbehörden in forstrechtlichen Verfahren, in Verfahren nach dem Berg-, dem Abfallwirtschafts- und dem Gewerberecht sowie bei Umweltverträglichkeitsprüfungen.

Durch die jährlichen Probenahmen beim Bioindikatornetz können witterungsbedingte regionale Schwankungen bei der Aufnahme von Schad- und Nährstoffen erfasst werden. Diese Beeinflussung der Aufnahme kann bei der Auswertung von lokalen Bioindikatorennetzen im Nahbereich von Emittenten berücksichtigt werden. Die Bioindikation mit Waldbäumen ist daher ein sensitives Verfahren zur Umweltüberwachung geworden, das zusätzlich kostengünstig einsetzbar ist.

Schwefel als primärer Immissionsindikator hat ab 2000 deutlich an Bedeutung verloren. Allerdings kann es im Nahbereich von Emittenten immer zu Störfällen kommen, die auch starke akute Pflanzenschäden hervorrufen können (Abbildung 3).

Auch bei neuen Schadereignissen und Störfällen (z.B. Hexachlorbenzolbelastung im Görtschitztal/K) können die Bioindikation und das BIN rasch wichtige Informationen zur Abgrenzung des Schadgebietes liefern.

Aber auch der Einfluss von sich ändernden Umweltbedingungen ist anhand der BIN-Ergebnisse erkennbar. In heißen und trockenen Jahren wird nicht nur die Aufnahme von SO₂ verringert, es ändern sich auch die Nährstoffgehalte der Nadeln. Insbesondere Calcium reichert sich in den Nadeln an und beeinflusst die Nährstoffverhältnisse (Stefan und Gabler 1998). Die Entwicklung der Emissionen von SO₂ und N-Verbindungen sowie die Veränderung der CO₂-Konzentration und der jährlichen Temperatur in Europa (de Vries et al. 2014) spiegeln sich auch in den Ergebnissen des BIN wider:

- Schwefel nahm in den Nadeln seit 1983 deutlich ab.
- Der Anteil der Punkte mit Stickstoffmangel erhöhte sich von rund 33 % im Jahr 1985 auf rund 46 % im Jahr 2012.
- Durch die höheren Temperaturen kommt es zu längeren Vegetationszeiten in höheren Lagen und zu einer Zunahme der Nadelmassen.
- Durch den Anstieg der CO₂-Konzentration um 15 % seit 1980 werden die Bäume zusätzlich "gedüngt" und das Wachstum angeregt. Andere Nährstoffe, wie Stickstoff oder Phosphor, werden wachstumslimitierend. So stieg der Anteil der Punkte mit Phosphormangel im Hauptwuchsgebiet Nördliche Randalpen (=nördliche Kalkalpen) von rund 15 % auf 45 %. Der Trend zu abnehmenden Phosphorgehalten in den Assimilationsorganen ist auch europaweit feststellbar (Jonard et al. 2015).

Um den Einfluss des Klimas sowie der steigenden CO₂-Konzentration besser abschätzen zu können, sind zusätzliche Erhebungen nötig. So könnten u.a. stabile C- und N-Isotope in BIN-Proben



analysiert werden, um die Ergebnisse mit Zuwachs und Klimadaten zu korrelieren.

Das Monitoringprogramm BIN läuft bereits 30 Jahre. Bedenkt man, dass die untersuchten Bäume zwischen 80 und 120 Jahre alt sind, und berücksichtigt man die Emissionsmengen und die Umweltveränderungen der letzten 150 Jahre, muss man richtigerweise sagen, das BIN läuft erst seit 30 Jahren. 🐼

Abbildung 3: Schwefeldioxid-Akutschaden aus dem Jahr 2012.

Figure 3: Acute sulphur dioxide damage in 2012.

Literatur

De Vries, W., Dobbertin, M. H., Solberg, S., van Dobben, H. F., Schaub, M. 2014: Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview. Plant Soil DOI 10.1007/s11104-014-2056-2.

Fürst, A., Smidt, S., Herman, F. 2003: Monitoring the impact of sulphur with the Austrian Bioindicator Grid. Environm. Poll. 125: 13-19.

Fürst, A., Lick, H. 2010: Quecksilber als Umweltmarker. Forstzeitung, Wien, 121(4): 14-15.

Jonard, M., Fürst, A., Verstraeten, A., Thimonier, A., Timmermann, V., Potočić, N., Waldner, P., Benham, S., Hansen, K., Merilä, P., Ponette, Q., de la Cruz, A., Roskams, P., Nicolas, M., Croisé, L., Ingerslev, M., Matteucci, G., Decinti, B., Bascietto, M., Rautio P. 2015: Is tree mineral nutrition deteriorating in Europe? Temporal trends in tree nutrition in Europe. Global Change Biology, Oxford 21 (1): 418-430.

Seidel, C. 2010: Artificial and natural radionuclides in spruce needles in Upper Austria from 1983 to 2008 – an application for radioecological monitoring. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien: 219 S.

Stefan, K. 1982: Zum Nachweis von SO₂-Immissionseinwirkungen mit Hilfe von Schwefelbestimmungen in Fichtennadeln. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien:143 S.

Stefan, K., Fürst A. 1998: Indication of S and N inputs by means of needle analyses based on the Austrian bio-indicator grid. Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 1: 63-69.

Stefan, K., Gabler, K. 1998: Connections between Climatic Conditions and the Nutritional Status of Spruce Needles Determined from the Austrian Bio-Indicator Grid. Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 1: 59-62.

Wohanka, E. 1985: Die Anwendung forstrechlicher Bestimmungen gegen das Waldsterben. AFZ, München, 96(2): 28-31.

Linktipp

Österr. Bioindikatornetz
www.bioindikatornetz.at

Ing. Alfred Fürst, Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Waldschutz, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich, Tel.: +43-1-87838 1114, E-Mail: alfred.fuerst@bfw.gv.at