

Biomonitoring mit Flechten in Österreich –
Eine Studie zur Luftgüte im Burgenland

Bewertung der Aufsammlungen der Jahre 2002,
2006, 2008, 2011, 2014 und 2017

Projektleitung:

Umweltmonitoring
Dr. Wolfgang Bieber

Mitarbeit
Petra Elisa Bieber

im Auftrag der
Burgenländischen Landesregierung, Hauptreferat III
Natur und Umweltschutz

in Zusammenarbeit mit dem

Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 5
Natur und Umweltschutz

Inhaltsverzeichnis

Einleitung:	2
Material und Methoden:	3
Luftschadstoffe allgemein:	10
Ergebnisse und Diskussion:	17
Aluminium (Al):	17
Arsen (As):	18
Blei (Pb):	19
Cadmium (Cd):	20
Kupfer (Cu):	21
Chrom (Cr):	22
Eisen (Fe):	23
Quecksilber (Hg):	24
Nickel (Ni):	25
Schwefel (S):	26
Zink (Zn):	27
Zusammenfassung:	29
Literatur:	33
Anhang:	35

Einleitung:

Flechten sind symbiotische Organismen aus Algen (meist Blau - oder Grünalgen) und Pilzen (hauptsächlich Asco- und Basidiomyceten), wobei der Pilz die Versorgung der Flechte mit Wasser und Mineralsalzen übernimmt und die Alge zur Photosynthese befähigt ist. Anders als Pilze, Moose oder Gefäßpflanzen nehmen epiphytische Flechten ihre Nährstoffe nicht aus dem Substrat, auf dem sie wachsen, sondern fast ausschließlich aus der Atmosphäre auf. Diese Lebensform hat eine ausgeprägte Fähigkeit zur Akkumulation von Schwermetallen und Radionukliden zur Folge.

Flechten können diverse, auch toxische, Substanzen akkumulieren. In Ermangelung eines Absorptionssystems, wie das der Wurzeln der höheren Pflanzen, findet die Aufnahme der Schwermetalle aus der Atmosphäre statt. PUCKETT 1976 erörtert die Fähigkeit der Flechten, Stoffe weit über die physiologischen Bedürfnisse hinaus zu speichern. Diese Eigenart lässt sich auf das Fehlen der Cuticula, einer wachsähnlichen Schicht, zurückführen. Auch die Fähigkeit, Schwermetalle im Thallus zurückzuhalten ist eine Eigenschaft, welche Flechten zu idealen Akkumulations - Indikatoren macht.

Aufgrund dieser Faktoren verwendete man Flechten vorerst in stark abgasbelasteter Umgebung (siehe SKYE 1979; SAEKI et al. 1975; GARTY & GALUN 1977 sowie HYNINEN & LODENIUS 1986). Bald darauf erwachte das Interesse für die Hintergrundbelastung in Gebieten fernab menschlicher Beeinflussung (PUCKETT & FINEGAN 1980; PAKARINEN et al. 1978, BARGAGLI 1999). Flächendeckende Untersuchungen mit Flechten als Monitororganismen werden vor allem im Skandinavischen Raum, in Italien, in Nordamerika und in Österreich durchgeführt. In der Schweiz wurde von HEINRICH (1987) ein flächendeckendes Biomonitoring mit den Flechtenarten *Pseudevernia furfuracea* und *Hypogymnia physodes* durchgeführt. Die Erstellung von großflächigen Biomonitoring Netzwerken wurde bereits 1986 von der NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (USA) für vorrangig erklärt. Die UN-ECE Richtlinien von 1995 weisen ausdrücklich auf die Notwendigkeit langfristiger Untersuchungen mit Monitororganismen hin.

Material und Methoden:

Die Richtlinien zur Aufsammlung entsprechen den langjährigen internationalen Erfahrungen und nehmen Bezug auf Mindestabstände zur nächsten Straße oder Siedlung (300 m), zu den nächsten freistehenden Häusern (100 m), sowie zu den nächsten Bäumen und Sträuchern (5 m).

Ein Mindestabstand von 300 m wurde zu Hochspannungsmasten eingehalten.

Die erste Aufsammlung im Burgenland fand zwischen dem 8.9.2001 und dem 9.4.2002, die zweite zwischen dem 10.5.2006 und dem 16.5.2006 statt. Ab 2008 wurde im Herbst gesammelt. 2011 und 2014 wurde Mitte November gesammelt.

Im Burgenland wurden 2002 12 und 2006 14 Standorte beprobt. Seit 2008 werden kontinuierlich 12 Standorte beprobt (Verzeichnis der Probenorte siehe Anhang).

Jede Standortsprobe besteht aus mehreren Teilproben, die von 2-5 Bäumen entnommen wurden. Die benötigte Probenmenge beträgt ca. 25 g.

Zum Transport wurden die Flechten in Papiersäcken gelagert.

Die Probedichte beträgt ca. 3,5 Proben pro 1.000 km² und ist damit im Vergleich zu internationalen Projekten überdurchschnittlich hoch.

Es wurden ausschließlich die Flechte *Hypogymnia physodes* (L.) auf der Fichte (*Picea abies*) gesammelt, wobei die Flechte von den Seitenästen in ca. 1,5 – 3 m Höhe ausgewählt wurden, um eine Beeinflussung durch den Stammabfluss zu vermeiden. Ab dem Jahr 2006 wurde auf die Aufsammlung von *Pseudevernia furfuracea* verzichtet, da das Vorkommen dieser Art im Burgenland sehr eingeschränkt ist und sich die Sammelpunkte aufgrund forstlicher Maßnahmen zusehends verringerten.

Der östlich gelegene Seewinkel konnte aufgrund der nicht vorhandenen Trägerbäume nicht beprobt werden und ist somit nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die Proben der Jahre 2002 und 2006 wurden im Labor der Salzburger Landesregierung, Abteilung 16: Amt für Umweltschutz bearbeitet. In den Folgejahren wurden die Proben vom Austria Research Center in Seibersdorf analysiert. 2017 wurde die Analyse wieder in der Abt. 16, Umweltschutz, Landeslabor durchgeführt.

Die Proben wurden gereinigt, mit flüssigem Stickstoff gefroren und mit einem Mörser fein verrieben und gesiebt. Danach erfolgte eine Trocknung bei 35 °C bis zur Gewichtskonstanz.

1 Gramm der Probe wurden mit 10 ml Salpetersäure und 1 ml Aqua bidest. versetzt und in der Mikrowelle aufgeschlossen.

Die Elemente Blei, Cadmium, Kupfer, Eisen und Zink wurden in der Abteilung 16, Amt für Umweltschutz der Salzburger Landesregierung mittels Atom-Emissions-Spektroskopie (ICP-AES) analysiert. Die Elemente Quecksilber und Arsen wurden per Kaltdampf-Hydridtechnik mittels Fließinjektion FIAS analysiert. Geeignetes Referenzmaterial wurde mitanalysiert, um die Qualitätssicherung zu gewährleisten.

Von 2008 bis 2014 wurden die Proben im Labor des Austria Research Center Seibersdorf mit folgenden Methoden aufgeschlossen und analysiert:

Analyse von Schwefel und Quecksilber:

Etwa 2 g Probenmaterial wurden mit einem Gemisch aus 4 ml Perchlorsäure und 20 ml Salpetersäure 4 Stunden unter Rückfluss aufgeschlossen und nach dem Erkalten mit destilliertem Wasser auf 50 ml aufgefüllt.

Die Messung von Schwefel erfolgte mit ICP/AES (Modell Optima 7300 DV, Perkin-Elmer).

Die Messung von Quecksilber erfolgte mit Kaltdampf-AAS (Modell Kims 400, Perkin-Elmer).

Restliche Elemente:

Etwa 2 g Probenmaterial wurden mit einem Gemisch aus 4 ml Perchlorsäure und 20 ml Salpetersäure offenaufgeschlossen und nach dem Erkalten mit destilliertem Wasser auf 50 ml aufgefüllt.

Die Messungen von erfolgten mit ICP/AES (Modell Optima 7300 DV, Perkin-Elmer).

Die Ergebnisse für die Elemente am Standort werden graphisch dargestellt.

Die Ergebnisse werden mit Daten aus der Literatur verglichen, Auffälligkeiten werden hervorgehoben und diskutiert.

In Karte 1 ist die geographische Lage der Probenorte von 2002 dargestellt. 2006 kamen 2 Standorte dazu: Loretto am Leithagebirge und Zurndorf. Aufgrund schwieriger topographischer und botanischer Verhältnisse wurden diese Standorte in den Folgejahren wieder aufgegeben. Karte 2 zeigt die aktuellen Standorte.

Ab 2008 erfolgte die Probenahme an folgenden Standorten:

Standort	Koordinaten Aufsammlung 2014*
Deutsch Kaltenbrunn	47 05 016 16 07 375
Königsdorf-Limbach	47 02 868 16 10 165
Deutsch-Minihof	46 58 080 16 14 870
Neustift/Güssing	47 01 874 16 15 005
Urbersdorf	47 02 605 16 22 422
Harmisch	47 08 8 97 16 22 702
Oberwart	47 16 142 16 11 500
Bernstein/Kemetten	47 24 700 16 16 088
Alhodis	47 18 330 16 23 860
Geschriebenenstein/Neuhaus	47 21 970 16 25 040
Oberpullendorf/Neumarkt	47 30 630 16 31 122
Sieggraben	47 63 596 16 33 439

Tabelle 2: Probenorte

*aktuelle Studie

Folgende Schwermetalle konnten durchgehend in allen Aufsammlungen (2002, 2006, 2008, 2011 und 2014) bestimmt werden:

- Arsen
- Blei
- Cadmium
- Kupfer
- Quecksilber

Ab den Jahren 2006 konnten folgende Elemente zusätzlich gemessen werden:

- Eisen
- Zink

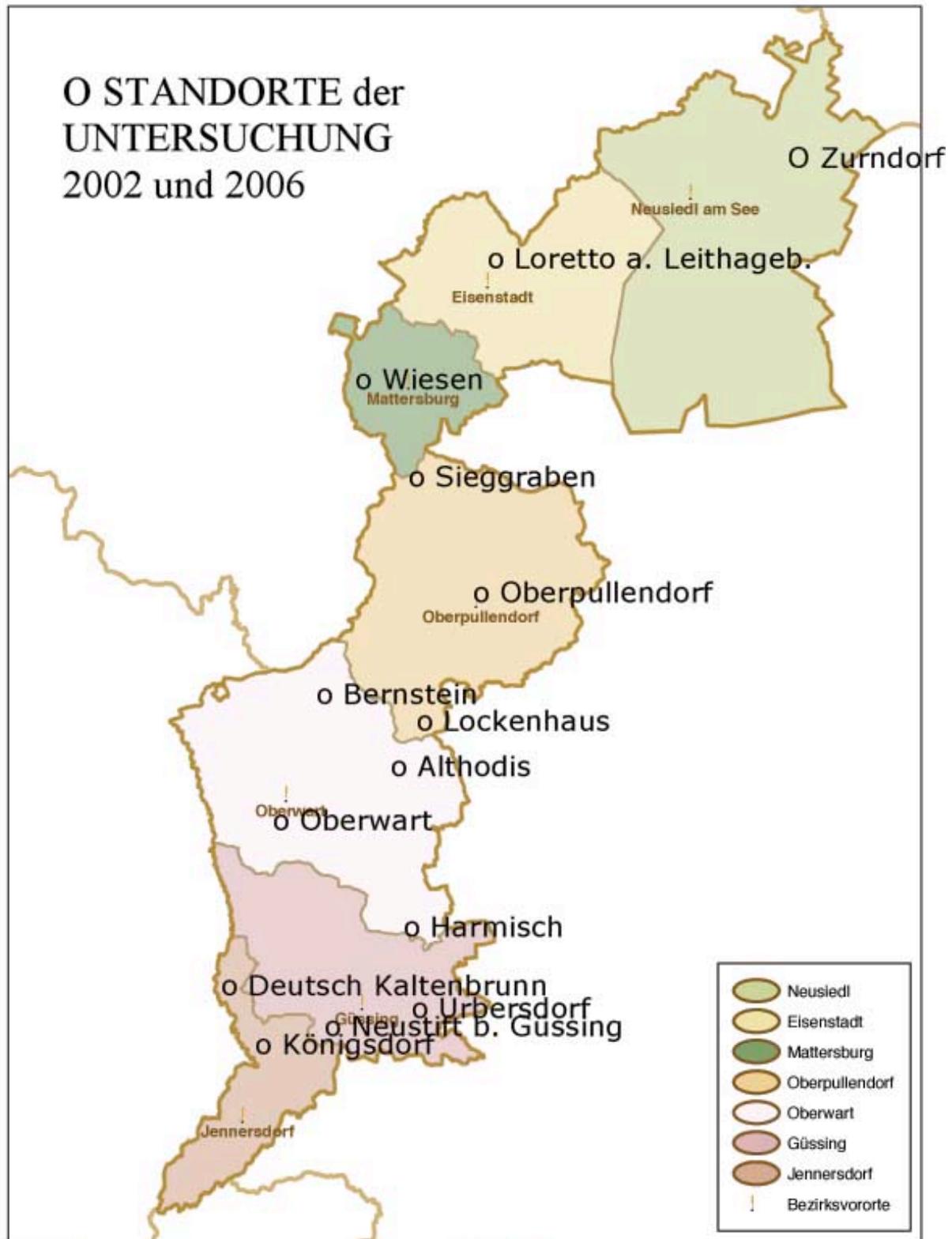
2002 und 2017 konnte zusätzlich Schwefel analysiert werden.

Die Aufsammlungen ab 2011 ermöglichten die Analyse des Gehalts an:

- Chrom
- Nickel
- Aluminium

Da es sich bei diesen Elementen hauptsächlich um durch den Menschen verursachte Emissionen/Immissionen handelt, lassen sich anhand dieser Untersuchung Rückschlüsse auf die Luftqualität ziehen und Veränderungen aufgrund anthropogener Einträge nachweisen.

Die Ergebnisse können als Entscheidungshilfe der Diskussion um Grenzwerte und der zukünftigen Umweltpolitik herangezogen werden.



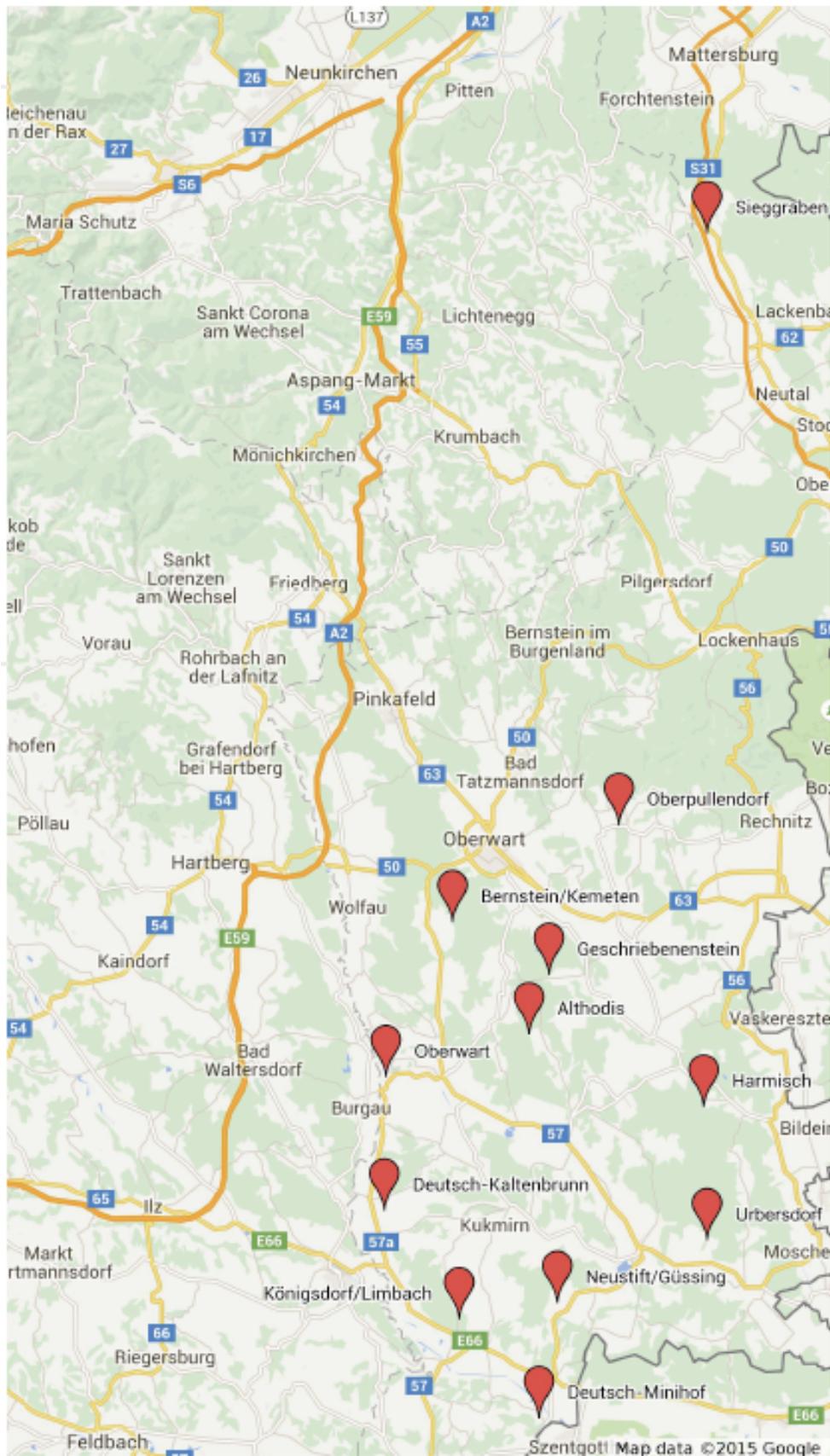
Bezirke
im Burgenland
mit Bezirksvororten



Quelle:
BEV - Bundesamt für Eich-
und Vermessungswesen
Bezirke.mxd, Version 1.0
8. August 2006



Karte 1: Darstellung der Probenorte der ersten Sammlung 2002



Karte 2: Darstellung der kontinuierlich besammelten Probeorte

Korrelation der Messergebnisse für die Flechten *Pseudevernia furfuracea* und *Hypogymnia physodes*.

Bei der Aufsammlung 2006 wurde nicht nur *Pseudevernia furfuracea*, sondern auch *Hypogymnia physodes* gesammelt. Der Grund dafür ist die weitere Verbreitung von *Hypogymnia physodes* im Burgenland. Aus den Ergebnissen der acht Standorte, an denen beide Flechten gesammelt wurden, sind nachfolgende Umrechnungsfaktoren ermittelt worden, mit denen die Ergebnisse von *Hypogymnia physodes* auf die Werte von *Pseudevernia furfuracea* transformiert wurden. Dieser Faktor wurde schließlich auch auf jene Standorte angewendet, an denen 2006 *Pseudevernia furfuracea* nicht ausreichend vorkam, um sämtliche Ergebnisse von 2002 und 2006 direkt vergleichen zu können.

Element	Umrechnungsfaktor
Blei	1,8
Cadmium	1,7
Kupfer	1,3
Zink	1,2
Eisen	1,5
Arsen	1
Quecksilber	1,1

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren der Elementgehalte von *Hypogymnia physodes* auf *Pseudevernia furfuracea*

Luftschadstoffe allgemein:

Aluminium (Al):

Aluminium ist ein silberglänzendes, typisch leichtmetallisches Element. Aufgrund seiner leichten Verarbeitbarkeit-Aluminium ist weich und dehnbar- und seiner physiologischen Unbedenklichkeit ein häufig verwendetes Element.

Al hat einen hohen Anteil im Boden und wird daher gemeinsam mit Cr und Fe als Indikator für sekundäre Verunreinigung durch Bodenstaub, der vom Wind verfrachtet wurde, verwendet. Der Osten und Südosten Österreichs wiesen aufgrund der ausgedehnten Acker- und Weinbauflächen, die nur periodisch von Vegetation bedeckt sind, und aufgrund der geringen Niederschläge signifikant erhöhte Al-Werte auf. (ZECHMEISTER ET.AL., UBA MOOS-MONITORING 2016)

Aluminium ist das in der Erdrinde am häufigsten vorkommende Metall und das dritthäufigste Element nach Sauerstoff und Silizium.

Am bedeutendsten für die Aluminiumgewinnung sind die Bauxite, die in riesigen Lagerstätten vorkommen. Bauxite sind Gemische verschiedener Al-Oxidhydrate bzw. – Hydroxide. Bei der Gewinnung von Aluminium aus Bauxit nach dem Bayer-Verfahren entsteht nach der Abtrennung von Rotschlamm (Eisenhydroxid) reines Aluminiumhydroxid, welches dann zu Aluminiumoxid gebrannt wird. Durch Elektrolyse entsteht anschließend reines Aluminium.

Der Prozess der Aluminium-Gewinnung ist ausgesprochen energieaufwendig.
(WILLEMS, 2001)

Arsen (As):

Arsen ist ein Halbmetall und wird demnach nicht zu den Schwermetallen gerechnet. Bezüglich Vorkommen und Toxikologie ist vor allem das Arsen trioxid (As_2O_3) bedeutsam, welches partikulär in der Luft vorkommt. Arsen ist für Pflanzen nicht essentiell, bei Wirbeltieren dürfte ein Mangel negative Folgen auf Wachstum und Fortpflanzungsfähigkeit haben. Arsen gilt bei Säugetieren als karzinogen. Der Hauptaufnahmeweg für Arsenverbindungen führt beim Menschen über die Atemwege.

Arsen kommt gediegen als Scherbenkobalt vor. Das wichtigste Arsenerz ist Arsenkies (FeAsS). Stein- und vor allem Braunkohle enthalten Konzentrationen bis zu 1500 ppm.

Die weltweite As-Emission erfolgt einerseits über natürliche vulkanische Aktivitäten, andererseits vor allem über Verbrennungsprozesse (Flugasche von Kohlekraftwerken), Erzverarbeitung, industrielle Verarbeitung von As-Verbindungen und durch die direkte Verwendung von Arsen in der Landwirtschaft. Dort wird Arsen vor allem als Kupferarsenitacetat für unterschiedlichste Pestizide (Herbizide, Insektizide, Fungizide, Rodentizide etc.) eingesetzt. Weiters findet es auch als Holzschutz- oder Desinfektionsmittel Verwendung.

In Österreich wird Arsen primär durch Holzheizungen und Kohlefeuerungen freigesetzt. Diese Verbrennungsprozesse machen 50% bzw. 25% der Gesamtemission aus. In geringem Umfang scheinen Verhüttungsprozesse sowie die metallurgische Industrie an der Freisetzung ebenfalls beteiligt. (ZECHMEISTER, 1997) Ursachen für die erhöhten Werte dürften u. a. Bodestaub mit arsenhaltigen Pestiziden (Kupferarsenitacetat), welche jahrelang vor allem im Weinbau eingesetzt wurden, sowie Zementwerke sein. (ZECHMEISTER ET.AL., UBA MOOS-MONITORING 2016)

Blei (Pb):

Blei ist für keinen Organismus essentiell, aber sowohl für Pflanzen, Flechten als auch Tiere toxisch. Die toxische Wirkung begründet sich einerseits aus der Reaktion der Blei-Ionen mit den freien SH-Gruppen von Proteinen (nicht kompetitive Hemmung), andererseits in der Inhibition diverser Enzyme aufgrund der chemischen Ähnlichkeit von Blei mit anderen Metall-Ionen (z.B. Kalzium). Hohe Bleikonzentrationen findet man vor allem im Knochenapparat, in der Niere und Leber, wo chronische Schäden überwiegen. Phytotoxische Wirkungen treten nur bei sehr hohen Konzentrationen auf.

Weltweit stammt der Hauptanteil aller Bleiemissionen aus der Verbrennung von verbleitem Benzin (ca. 90%). Die durch Verbrennungsprozesse freigesetzten Aerosole (Teilchengrößen < 1µm) haben eine lange Verweildauer in der Atmosphäre und unterliegen besonders großräumiger Verfrachtung. Die Verbindungen

Bleitetraethyl und Bleitetramethyl werden dem Kraftstoff als Antiklopffmittel für Benzinmotoren beigesetzt. Die Freisetzung erfolgt primär partikulär als Bleichlorid, -bromid oder -oxid, aber auch in Form von organischen Verbindungen (5-10%), welche aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften hoch toxisch sind. Seit Einführung des unverbleiten Benzins (in Österreich 1992) sind die Bleiemissionen stark rückläufig.

Weite Verbreitung findet Blei auch in der Batterieherstellung, als Legierungsbestandteil oder elementar als Bleischrot für Waffen. Neben der Freisetzung bei der Bearbeitung oder Herstellung bleihaltiger Materialien wird Blei auch noch bei der Verhüttung von Kupfer- und Zinkerzen und bei der Stahlproduktion freigesetzt. Die dabei emittierten Partikel ($< 2,5 \mu\text{m}$) lagern sich überwiegend in unmittelbarer Umgebung der Emittenten ab (ZECHMEISTER, 1997).

Cadmium (Cd):

Cadmium ist ein für fast alle Lebewesen toxisches, höchstwahrscheinlich nicht essentielles Schwermetall. Es wird beim Menschen hauptsächlich über die Nahrung bzw. durch Inhalation aufgenommen (Staub, Rauchen). Bei Säugetieren lagert sich Cadmium vor allem in Nieren und Leber ab.

Cadmium kommt vor allem in Zinkmineralien vergesellschaftet vor, aus welchen es auch gewonnen wird.

Verwendung findet Cadmium vor allem in der Autoindustrie (Rostschutz, Legierungen), der Batterieherstellung (Ni-Cd), bei der Plastikerzeugung (Polyvinyl), in der Fotoindustrie und in der Landwirtschaft (Fungizide). Hauptemittenten sind weltweit die Buntmetallindustrie (Korrosionsschutz), die Verbrennung fossiler Energieträger, Müllverbrennung, Schwerindustrie und die Landwirtschaft, bei denen Cadmium aus den Phosphaten der Düngemittel freigesetzt wird. Durch Verbrennungsprozesse freigesetztes Cadmium lagert sich an Aerosolpartikel ($< 2 \mu\text{m}$) an, welche eine relativ lange Verweildauer in der Atmosphäre haben (bis zu 10 Tagen) und in dieser Zeit über weite Strecken verfrachtet werden können (BARRIE & SCHEMENAUER, 1989).

In Österreich sind laut WINIWARDER & SCHNEIDER (1995) Hausbrand (35%) und KFZ-Motoren (40%) die Hauptemittenten. Als dritte Quelle sind Kraftwerke und Fernheizwerke zu nennen. (verändert aus: ZECHMEISTER, 1997)

Chrom (Cr):

Chrom ist ein metallisches Element mit stahlgrauem bis silbernem Glanz. Je nach Reinheit ist Chrom unterschiedlich hart.

Chrom dient in erster Linie zur Herstellung von Schutzüberzügen auf anderen Metallen. Chromüberzüge werden galvanisch produziert – je nach Schichtdicke unterscheidet man Hochglanzverchromungen zur optischen Verschönerung und Hartverchromungen als Korrosionsschutz.

Weitere Bedeutung hat Chrom als Legierungsmetall, vor allem für Chromstahl.

Die einzelnen Chromverbindungen weisen unterschiedlichste Eigenschaften auf. Cr(III)-Verbindungen sind wegen ihrer schlechten Resorbierbarkeit weniger toxisch, wohingegen Cr(IV)-Verbindungen sehr giftig sind und auch als karzinogen gelten.

(WILLEMS, 2001)

Kupfer (Cu):

Kupfer ist sowohl für Pflanzen als auch Tiere ein essentielles Element. Es kommt u.a. als prosthetische Gruppe diverser Enzyme vor und spielt im Kohlenstoff- und Stickstoffmetabolismus eine wichtige Rolle. Die Toleranzbreite in Pflanzen ist relativ gering. Unter 4 ppm treten Mangelercheinungen auf, über 20 ppm wirkt Kupfer in der Regel bereits toxisch.

Kupfer gehört neben Gold und Silber zu den am längsten bekannten Metallen, nicht zuletzt deshalb, weil es in der Natur auch elementar vorkommt. Die wichtigsten Kupfererze sind vor allem Sulfide wie Kupferkies (CuFeS_2) und Kupferglanz (CuS) und Oxide wie Cuprit (Cu_2O).

Kupfer wird vor allem bei der Kupfererzeugung und von anderer metallverarbeitender Industrie freigesetzt. Ein Hauptanwender (50%) ist heute die Elektroindustrie (Kabelherstellung). Aber auch als Legierungsbestandteil (z.B. Rohre) sowie in Düngemitteln und Pestiziden wird Kupfer eingesetzt. Letztere finden vor allem im Weinbau und in der Hopfenzucht breite Verwendung.

WINIWARTER & SCHNEIDER (1995) sehen auch Kraftstoffe als wesentliche Emittenten, wobei vor allem Diesel eine wichtige Rolle spielt. Von untergeordneter Rolle für die Freisetzung sind in Österreich Verbrennungsprozesse (< 15%) und Staubemissionen aus der Eisenindustrie. Eine nicht zu unterschätzende Rolle dürften die historischen

und rezenten Kupferbetriebe spielen sowie Cu- hältige Pestizide im Weinbau (ZECHMEISTER, 1997 und 2016).

Die im österreichischen Vergleich erhöhten Werte für Kupfer werden im Burgenland möglicherweise von der Land- bzw. Weinwirtschaft hervorgerufen (Pestizide, Dünger) ZECHMEISTER, 2016.

Eisen (Fe):

Eisen ist ein essentielles Element für alle Lebewesen. Es ist ein funktioneller Bestandteil zahlreicher lebenswichtiger Bausteine (Cytochrome). Normalerweise enthalten Pflanzen 20-300 ppm Eisen. Eisen ist kaum toxisch, nur bestimmte Eisenchelate oder FeCl_2 - Verbindungen können gesundheitsschädigend sein.

Eisen ist eines der häufigsten Elemente der Erdkruste. Die eisenreichsten Erze sind Rot-, Braun- und Magnetsteineisen und Pyrit (FeS_2). Kohle kann bis zu 10 ppm Eisen enthalten.

Eisen wird in erster Linie als Roheisen und in den verschiedensten Legierungen eingesetzt.

Anthropogene Hauptemissionen stammen aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie aus der Verbrennung von Kohle (Heizungen, Kraftwerke) (ZECHMEISTER, 1997)

Quecksilber (Hg):

Quecksilber ist das einzige Metall, das bei Atmosphärendruck erst unter -39°C fest wird. Es ist ein weder für Tiere noch Pflanzen essentielles Metall, zeichnet sich allerdings durch eine für Tier und Mensch relativ hohe Toxizität aus. Diese beruht auf der Reaktion von Quecksilber mit essentiellen SH-Gruppen von Proteinen und Nukleinsäuren. Die für Organismen bedenklichsten Quecksilbervarianten sind neben elementarem Quecksilber die Quecksilbersalze und verschiedene organische Quecksilberverbindungen. Quecksilber wird primär über die Atemwege aufgenommen, die Resorption über den Darm ist äußerst gering. Eine Ausnahme bilden organische Quecksilberverbindungen.

Die häufigste natürliche und im Bergbau genutzte Quecksilberverbindung ist Zinnober (HgS).

Verwendung findet Quecksilber in der Elektroindustrie (Schalter, Batterien), bei der Chlor-Alkali Elektrolyse oder als Fungizid und als Amalgam in der Zahnmedizin. Bedenklich war die Verwendung von Quecksilber als Fungizid und als Saatbeizmittel, wodurch regional große Mengen an Quecksilber in Böden und Grundwasser gelangten.

Quecksilber wird aber auch bei der Erzaufbereitung, der Zementherstellung und in Verbrennungsanlagen freigesetzt. Die Quecksilberfreisetzung ist nicht zuletzt aufgrund des Verbotes der Saatgutbeizung mit Quecksilber, sowie auch aufgrund steigender Recyclingmaßnahmen rückläufig.

Hauptemittenten in Österreich sind die Zementindustrie (32%), die Verbrennung fossiler Brennstoffe (42%) sowie Müllverbrennungsanlagen (ca. 14%) (ZECHMEISTER, 1997)

Nickel (Ni):

Nickel ist ein silberweißes, sehr zähes und an der Luft sehr beständiges Element. Auch der menschliche Körper enthält Nickel als Spurenelement. Nickel ist der häufigste Auslöser für metallische Kontaktallergien.

In der Natur kommt Nickel in vielen Erzen als Sulfid, Arsenid, Oxid und Silicat vor. Die größte Bedeutung für die Gewinnung von Nickel hat der Magnetkies.

Die größte Menge des erzeugten Nickels wird zu verschiedenen Legierungen verarbeitet, was diesen hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit verleiht.

Von großer Bedeutung ist Nickel in der Akkumulatorenherstellung (Nickel-Cadmium-Akkumulatoren). (WILLEMS, 2001)

Schwefel (S):

Schwefel ist ein für alle Lebewesen essentielles Element und Bestandteil einiger Aminosäuren. Die Schädwirkungen des Schwefels bzw. einzelner Schwefel - Verbindungen (SO_2 , H_2SO_4 , etc.) sind vor allem auf die osmotische Wirkung und Radikalbildung zurückzuführen. Bei Pflanzen sowie Flechten kommt es unter anderem zur Störung physiologischer Prozesse, Nekrosenbildung und Absterben. Der Eintrag durch „sauren Regen“ führte in der Vergangenheit zur Bildung von Flechtenwüsten in dicht besiedelten Gebieten. Beim Menschen kommt es vor allem zur Schädigung der Atemwege und der Lunge.

Schwefel wird als Grundstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Der Großteil wird für die Schwefelsäureproduktion verwendet, aber auch zum Vulkanisieren sowie zur Erzeugung von Düngemitteln, Pharmazeutika, Pestiziden und Pigmenten.

Der größte Teil des anthropogen freigesetzten Schwefels stammt aus der Verbrennung (industriell und Hausbrand) fossiler Energieträger und wird überwiegend als SO₂ freigesetzt.

Die Bilanz der SO₂ - Emissionen in Österreich ist stark rückläufig. Laut Umweltkontrollbericht (1996) haben sich die Emissionen im Zeitraum von 1980 bis 1993 um 82% vermindert, Tendenz weiter sinkend.

Der Ferneintrag, verursacht durch grenznahe kalorische Kraftwerke südlich, östlich und nördlich von Österreich ist jedoch weiterhin gegeben. (ZECHMEISTER, 1997)

Zink (Zn):

Zink ist als Bestandteil vieler Enzyme ein für Pflanzen und Tier essentielles Element. Akute Zinkvergiftungen äußern sich bei Pflanzen im Vergilben der jungen Blätter und Absterben des Vegetationspunktes. Zinkmangelerscheinungen treten häufiger auf als Überdosen und sind dementsprechend bedenklicher.

Zink steht an 24. Stelle in der Häufigkeitsliste der Erdkruste, es kommt in sehr vielen Mineralien vor, meist vergesellschaftet mit Eisen und Mangan.

Zink wird in erster Linie als Rostschutz von Eisen und Stahlprodukten verwendet. Zinkoxid (ZnO) wird z.B. in Autoreifen verwendet, organische Verbindungen, wie Zinkpropionat dienen als Fungizide.

Hauptemittenten von Zink sind zinkverarbeitende Industrien, die Buntmetallindustrie, aber auch Kohlekraftwerke. Die Verbrennung von Kraftstoffen sowie der Abrieb von Autoreifen durch Fahrzeuge spielen ebenfalls eine Rolle. Zink besitzt nach Eisen und Cadmium den dritthöchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor.

Die wichtigsten Emittenten sind private Kohleheizungen (50%), gefolgt von KFZ-Kraftstoffen und Hochofen- Staubemissionen (ZECHMEISTER, 1997)

Ergebnisse und Diskussion:

Aluminium (Al):

Der Aluminiumgehalt der Flechten an den Standorten dieser Studie wurde das erstmals im Jahr 2011 untersucht. Bei den Proben des Jahres 2014 und 2017 wurde das Element ebenfalls analysiert. Im Vergleich der ersten beiden Aufsammlungen zeigt sich in den Mittelwerten faktisch kein Unterschied. Der Mittelwert im Jahr 2011 betrug 2160 ppm, im Jahr 2014 lag er bei 2160 ppm. 2017 stieg der Eintrag an allen Probeorten mit Ausnahme von Deutsch-Minihof auf im Mittel 1430 ppm.

An den Standorten Deutsch-Kaltenbrunn, Königsdorf-Limbach, Urbersdorf, Geschriebenenstein und Oberpullendorf lässt sich ein deutliche aufwärtstrend ablesen. Lediglich in Deutsch-Minihof sank der Aluminiumgehalt von 1700 auf 1400 ppm. Der Maximalwert der Aufsammlung lag 2017 in Geschriebenenstein mit 2200 ppm.

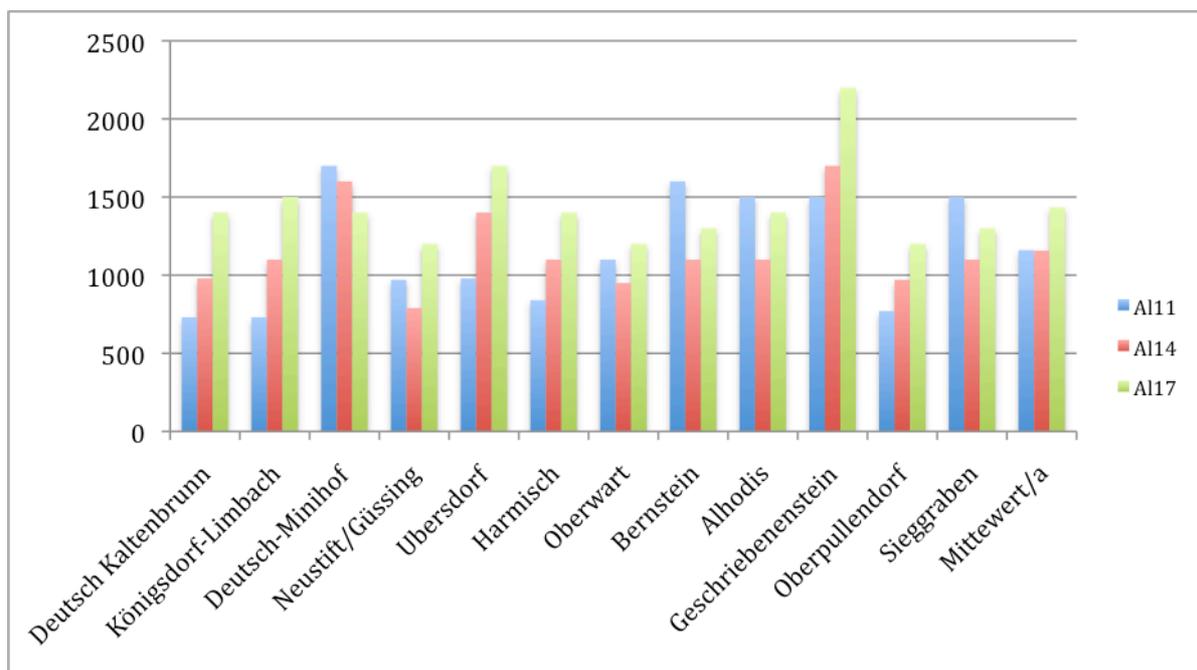


Abb. 1: Ergebnisse der Aluminiumanalyse 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Arsen (As):

Die erhöhten Arsen- Werte 2006 in Loretto resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus den Emissionen des Zementwerks in Mannersdorf. In Zurndorf ist vermutlich der Eintrag aus dem Wiener Raum und der Raffinerie in Bratislava (dies deckt sich auch mit den Ansichten von Zechmeister, 1997) nachweisbar.

Eine Verifikation dieser Trends ist aufgrund des Ausfalls der beiden Standorte in den Folgejahren nicht möglich.

Die Arsenanalyse erwies sich 2002 im Landeslabor Salzburg als sehr problematisch, da es im Zuge der Messungen zu Schaumbildung kam. 2006 waren die gemessenen Arsengehalte aufgrund einer geänderten Methode generell deutlich höher, die Steigerung der Gehalte 2006 ist somit eher methodisch als durch tatsächlich erhöhte Immissionen bedingt. Die seit 2008 in Seibersdorf erhaltenen Messwerte schwanken ebenfalls. Auffällig sind die durchgehend hohen Werte in diesem Jahr. Der Mittelwert liegt 2008 bei 0,94 ppm und damit weit über allen anderen Jahren. 2014 beträgt der Wert nur mehr 0,41 ppm. Bei der Messung 2017 lagen 9 Proben unter der Nachweisgrenze von 0,38 ppm, bei den Standorten Urbersdorf, Althodis und Sieggraben wurde Arsen nachgewiesen. Bei Arsen lässt sich somit eine Trendumkehr erkennen, Höhepunkt war 2008, seither sinken die Arsenwerte kontinuierlich.

Der Höchstwert der Messreihen findet sich in Sieggraben 2008 mit 2,6 ppm und 2011 mit 1,4 ppm, auch 2017 liegt mit 0,8 ppm der höchste gemessene Arsengehalt in Sieggraben.

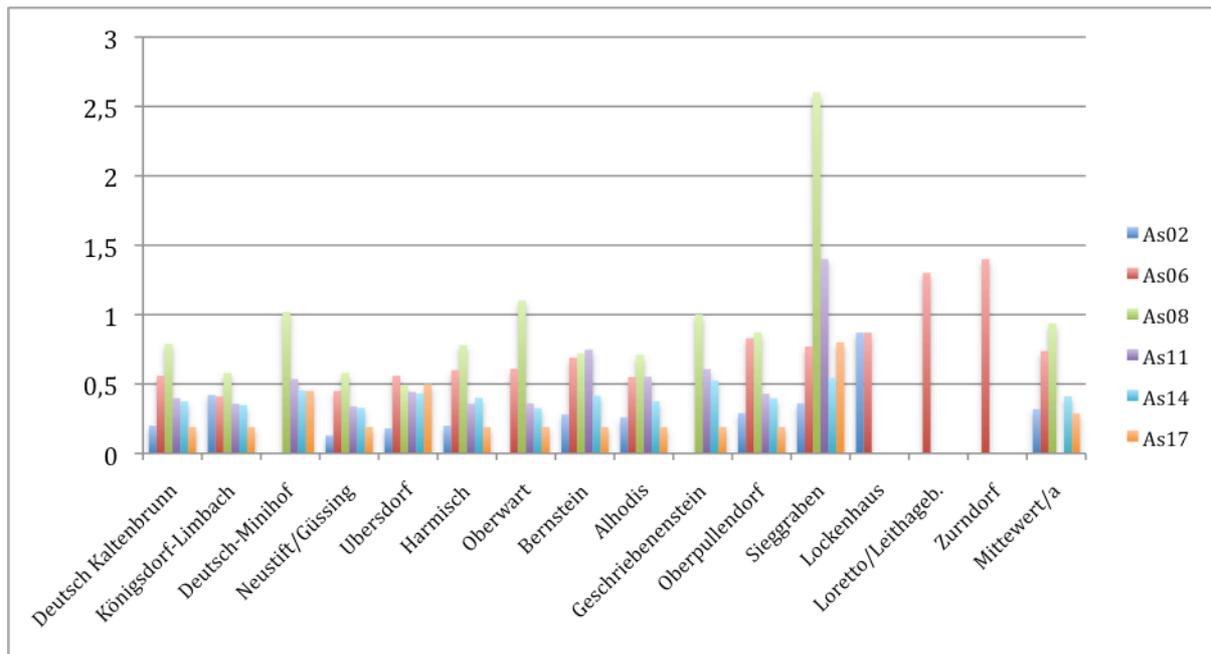


Abb. 2: Ergebnisse der Arsenanalyse 2002, 2006, 2008, 2011, 2014 im Burgenland

Blei (Pb):

Die Belastung mit Blei im Burgenland ist im österreichischen Vergleich gering. Der Blei- Mittelwert lag 2002 bei 6,5 ppm und ist 2006 deutlich auf 5,11 ppm gesunken. 2014 lag der Wert signifikant niedriger als 2011, der mit 15,3 ppm den höchsten der Messreihe bildet. 2014 und auch 2017 waren die Bleiwerte deutlich geringer als im Jahr 2011. Der Mittelwert sank von 15,3 ppm 2011 auf 3,3 bzw. 3,1 ppm 2014 respektive 2017. Wie auch im vorausgegangenen Jahr liegt der Höchstwert in der Ortschaft Bernstein. Der niedrigste Wert der Messreihe fand sich in Harmisch.

Die Maximalwerte der gesamten Messreihe wurden 2011 in Bernstein mit 29 ppm, gefolgt von Geschriebenebenstein mit 25 ppm und Siegggraben mit 23 ppm gemessen.

Die 2006 neu besammelten Standorte Loretto (6,6 ppm) und Zurndorf (9,4 ppm) zeigen zwar den Einfluss des Wiener Raumes auf das Nordburgenland. Da die Standorte in den folgenden Jahren aufgegeben wurden können keine weiterführenden Aussagen in diese Richtung getroffen werden. Die Standorte werden für die weitere Diskussion somit nicht herangezogen.

Da lokale Emittenten im untersuchten Gebiet ausscheiden und geogene Ursachen für epiphytische Flechten ausgeschlossen werden können, bleibt nur mehr der Ferneintrag durch Industrie und Verkehr als Ursache. Verbunden mit hohen Niederschlägen, die für die Auswaschung der antransportierten Luftmassen sorgen kann dieser für erhöhte lokale Werte sorgen, generell lässt sich eine Trendumkehr seit 2011 nachweisen, der Bleigehalt ist seither um den Faktor 5 gesunken.

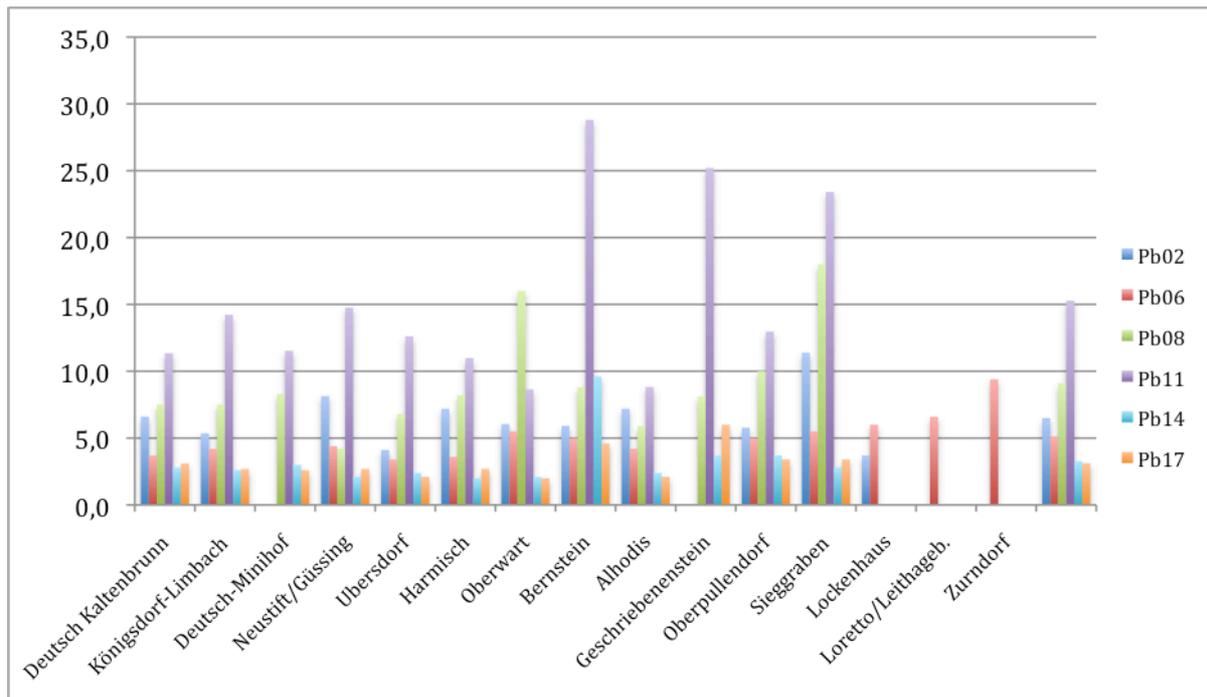


Abb. 3: Ergebnisse der Bleianalyse 2002, 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Cadmium (Cd):

Im Burgenland war die Cadmiumbelastung 2002 sehr gering. Der Mittelwert betrug 0,27 ppm. 2017 wurde dieser Konzentrationspegel wieder erreicht. vor allem 2008 und 2011 waren die Cadmium- Messungen im Mittel bei 0,57 und 0,51 ppm. Auch für Cadmium lässt sich somit eine Trendwende erkennen. Der Mittelwert für das Gesamtburgenland sinkt nach einem Höchststand von 0,57 ppm im Jahr 2008 kontinuierlich. 2014 betrug er nur mehr 0,16 ppm. Der Maximalwert der gesamten Aufsammlung wurde 2008 in Oberwart mit nahezu 1 ppm gefunden, gefolgt von Sieggraben mit 0,78 ppm und Oberpullendorf mit 0,73 ppm. Ähnlich hohe Werte konnten 2011 in Sieggraben (0,68 ppm) und in Bernstein (0,68 ppm) ermittelt werden.

Der Höchstwert 2017 fand sich mit 0,25 ppm in Geschriebenenstein. Erfreulicherweise konnte somit für Cadmium eindeutig belegt werden, dass die Belastungen seit 2008 sinken und auch 2017 auf einem geringen Niveau blieben.

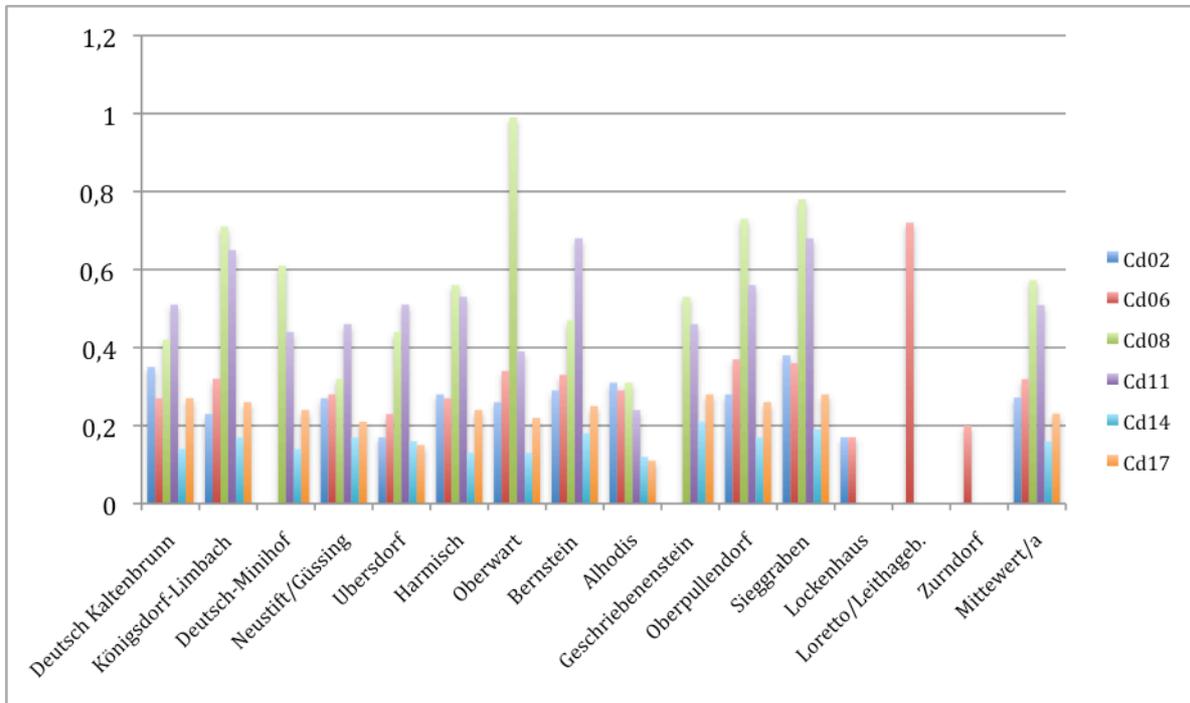


Abb. 4: Ergebnisse der Cadmiumanalyse 2002, 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Kupfer (Cu):

Der Maximalwert der Messreihe liegt in Bernstein im Jahr 2011 und beträgt 17 ppm, dicht gefolgt von den Kupfergehalten in Siegggraben mit 15 ppm 2008 und 12,6 ppm 2011. Der Wert in Zurndorf ist mit 18,9 ppm als Ausreißer zu werten und wurde in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt, insbesondere auch deshalb, weil der Standort nur ein einziges Mal besammelt werden konnte.

Am Standort Siegggraben ist bemerkenswert, dass die Werte 2008 (15 ppm) und 2011 (12,6 ppm) mehr als doppelt so hoch waren als 2014 (5 ppm), auch hier war 2017 wieder ein Anstieg auf 9 ppm zu verzeichnen.

An den Mittelwerten der Messreihe lässt sich kein eindeutiger Trend festmachen. In den mittleren Jahren der Monitoringreihe waren die Mittelwerte gegenüber den ersten drei Jahren deutlich erhöht (2008 mit 9,2 ppm, 2011 mit 9 ppm). 2014 sank

der Mittelwert um ca. 50% auf 4,2 ppm. 2017 stieg er wieder auf annähernd das Niveau von 2011 und 2014.

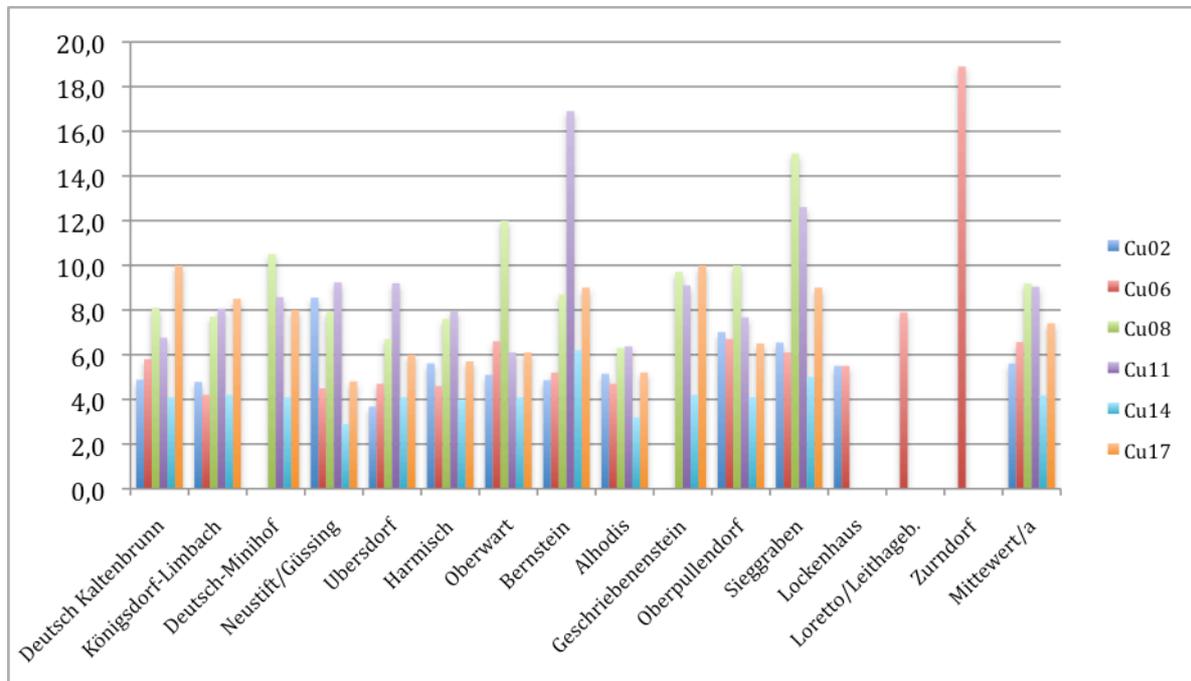


Abb. 5: Ergebnisse der Kupferanalyse 2002, 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Chrom (Cr):

An der Probenahmestelle Bernstein zeigt sich ein deutlich überdurchschnittlicher Wert bei allen 3 Aufsammlungen lag der Chromgehalt um die 20 ppm, das bedeutet einen um den Faktor 5 höheren Chromgehalt als in den restlichen Probeorten. Die Sammelstelle Bernstein weist außerdem im gesamten Spektrum der Schwermetalle auffällig viele erhöhte Werte auf.

In Geschriebenenstein war der Chromgehalt 2011 18 ppm und 2017 sogar 32 ppm. Erstaunlicherweise lag der Chromgehalt 2014 bei 5 ppm, also im Bereich der restlichen Probeorte.

Aufgrund der neuesten Aufsammlung ist der Chromgehalt in Geschriebenenstein 2011 nicht als Ausreißer anzusehen, schwierig nachzuvollziehen ist eher der geringe Wert 2014. Eine Tendenz des Chromgehaltes über die 3 Aufsammlungen ist nicht eindeutig erkenntlich, der Mittelwert bewegt sich im Bereich 4,1 bis 7,6 ppm, wobei 2014 die geringsten und 2017 die höchsten Konzentrationen gemessen wurden.

Auch in der Moosstudie von Zechmeister 2016 findet der Trend zu eher höheren Werten wieder, siehe ZECHMEISTER ET.AL., UBA MOOS-MONITORING 2016.

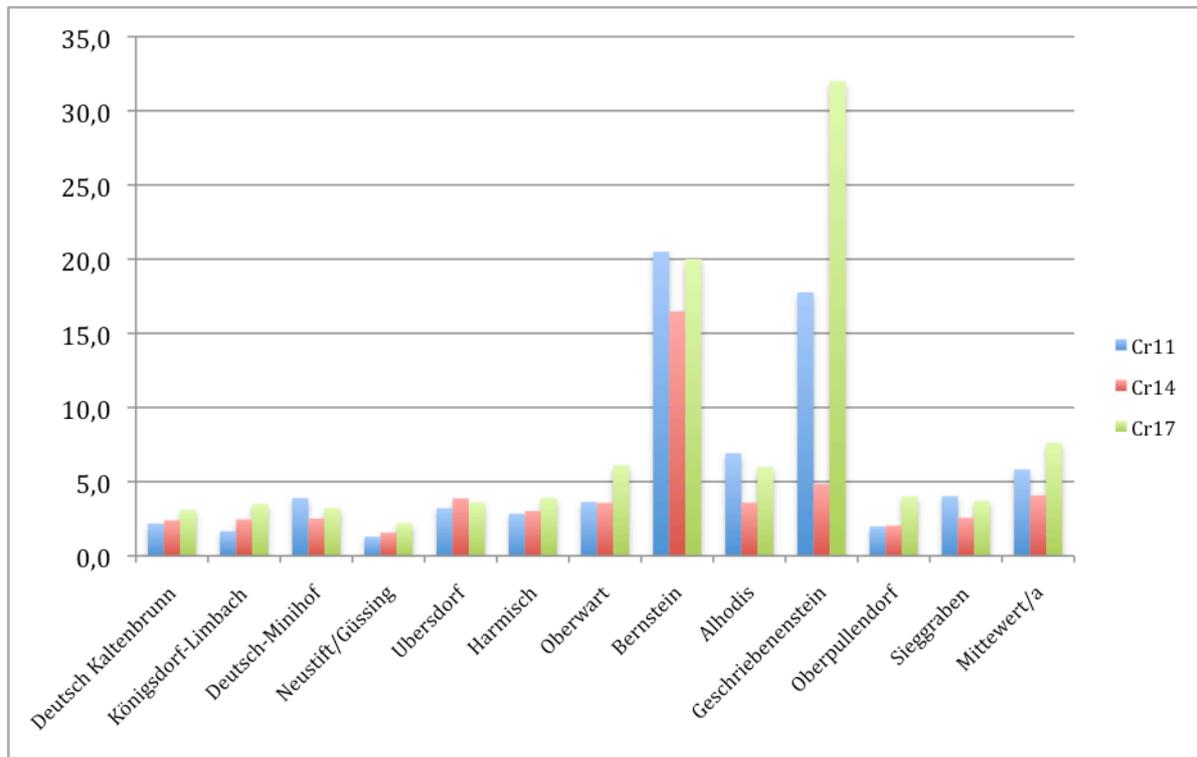


Abb.6: Ergebnisse der Chromanalyse im Burgenland 2011, 2014 und 2017

Eisen (Fe):

Das Element Eisen wurde 2006 erstmals gemessen, daher liegen für einen Vergleich mit 2002 keine Daten vor.

Der Mittelwert für Eisen liegt 2008, 2011 und 2017 bei etwa 1200 ppm, 2006 und 2014 war der Mittelwert bei 520 ppm, also rund der Hälfte. Die Verteilung zeigt nach der Umstellung der Messtechnik und des ausführenden Labors keine Auffälligkeiten. Das langjährige Maximum der Werte wurde in Siegggraben mit 2600 ppm im Jahr 2008 erreicht. Der Maximalwert im Jahr 2011 lag in Althodis mit 2250 ppm, dicht gefolgt von Geschriebenstein 2017 mit 2200 ppm.

Oberpullendorf weist im Gegensatz zu den vorher genannten Orten stets ausgesprochen niedrige Werte unter 1000 ppm auf.

Über die Messjahre lässt sich keine generelle Tendenz des Eisengehalts erkennen.

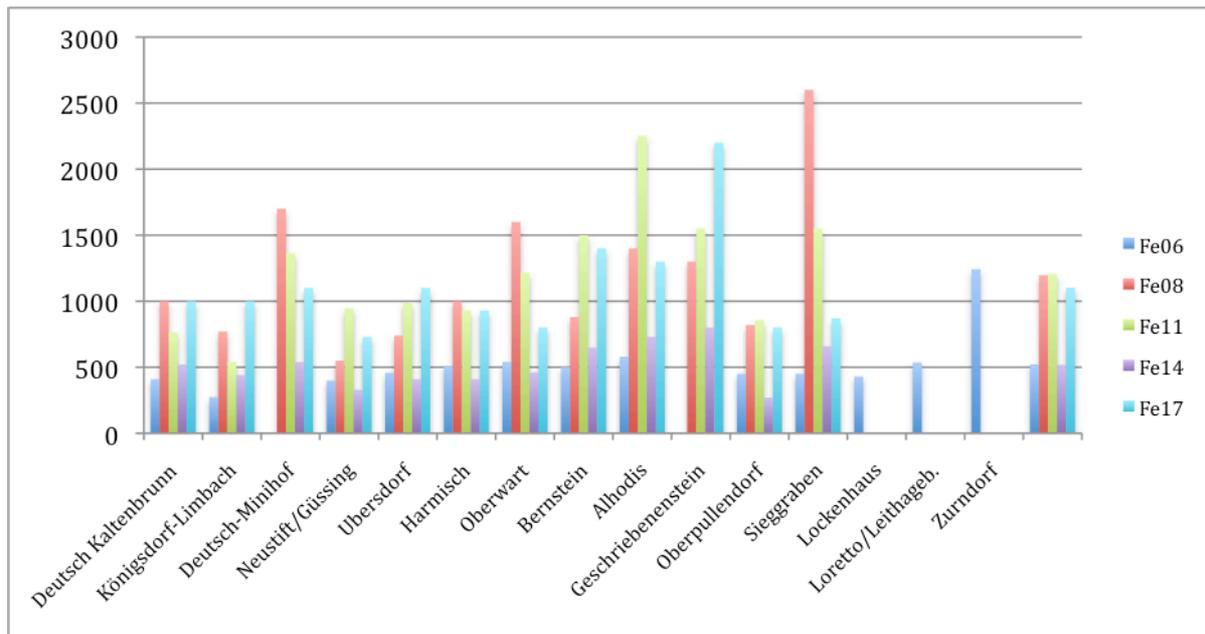


Abb. 7: Ergebnisse der Eisenanalyse 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Quecksilber (Hg):

Die Mittelwerte des Quecksilbergehaltes sinken seit 2002 bis 2014 kontinuierlich, 2017 ist wieder eine Erhöhung nachweisbar. An den meisten Standorten zeigt sich das auch in den Einzelwerten. Der geringste Wert aller Aufsammlungen wurde 2008 mit 0,053 ppm in Althodis gemessen, der Maximalwert fand sich 2017 in Geschriebenstein mit 0,25 ppm, gefolgt von dem Wert in Oberwart 2008 mit 0,21 ppm.

Die Mittelwerte lagen 2011 und 2014 bei 0,09 ppm, in den Jahren davor lagen die Mittelwerte deutlich höher, es war bis 2014 ein Abwärtstrend zu erkennen, 2017 lag der Mittelwert jedoch wieder bei 0,14 ppm, das entspricht in etwa den Ergebnissen der ersten 3 Aufsammlungen. Der Wert 2006 in Zurndorf darf als Ausreißer betrachtet werden und ist daher in der unteren Grafik ausgespart.

Der Vergleich mit der Moosstudie von ZECHMEISTER, (1997) zeigt ein ähnliches Verteilungsmuster, wobei die absolut gemessenen Gehalte in den Moosen jedoch deutlich geringer sind (Mittelwert 0,06 ppm), da Flechten Quecksilber ca. viermal so gut Quecksilber akkumulieren wie Moose.

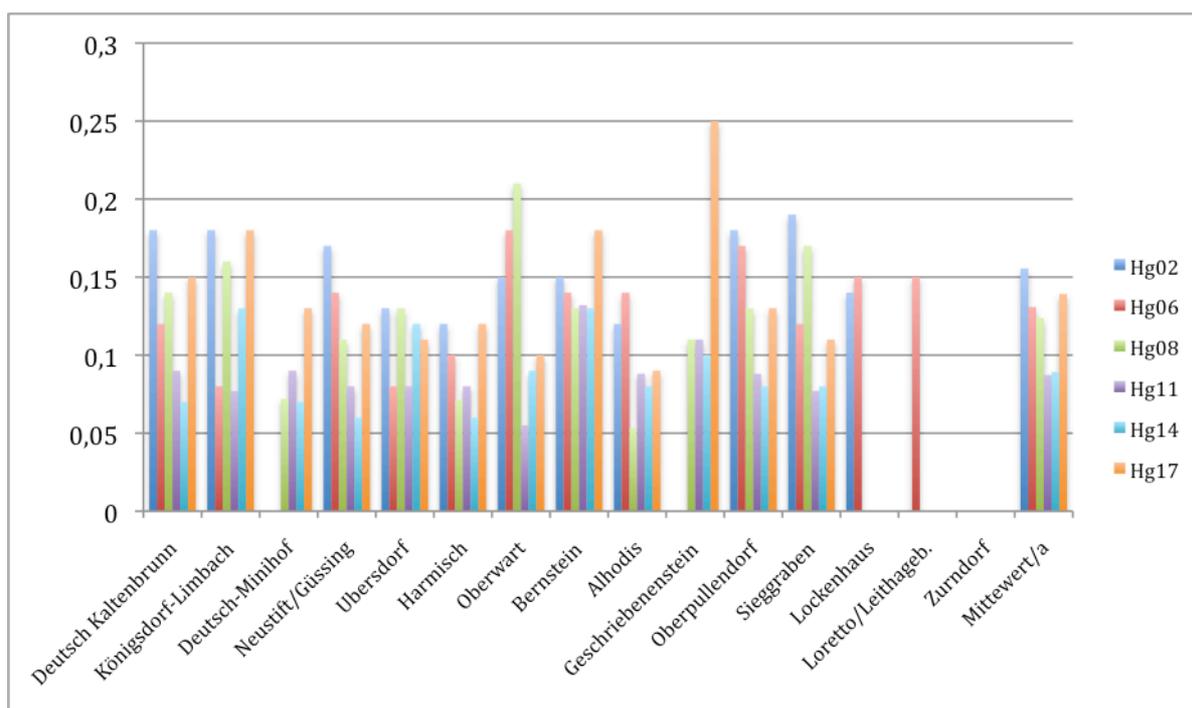
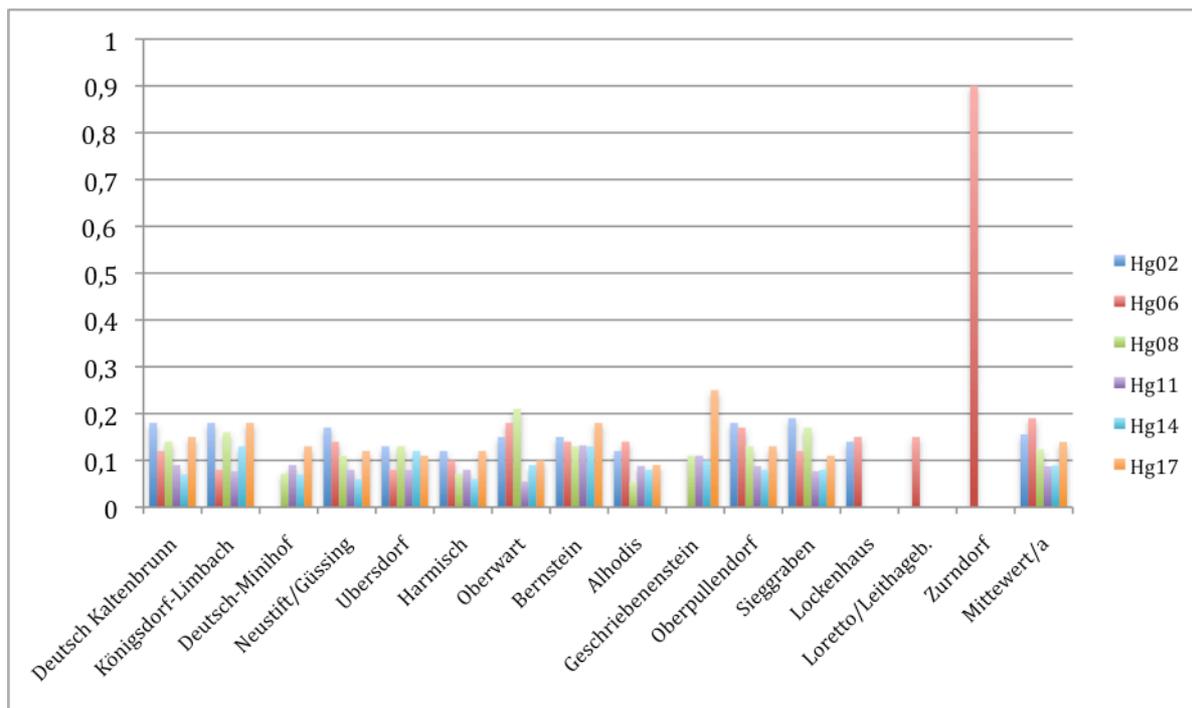


Abb. 8: Ergebnisse der Quecksilberanalyse 2002, 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland, die Grafik unten ist ohne den Messwert in Zurndorf und daher übersichtlicher.

Nickel (Ni):

Die Nickelgehalte in den Flechtenproben korrelieren stark mit dem Element Chrom. In beiden Diagrammen ist der Probeort Bernstein und Geschriebenenstein auffällig

hoch belastet, interessanterweise korreliert in der Nickelanalyse auch der geringere Wert in Geschriebenenstein 2014 mit den Ergebnissen für Chrom. Der Maximalwert wurde 2014 in Bernstein mit 47 ppm gemessen, gefolgt von 39 ppm 2011 in Geschriebenenstein. Alle anderen Probeorte sind im Schnitt bei 3-10 ppm Nickel, also deutlich geringer als in Bernstein und Geschriebenenstein. Die Sammelstelle Bernstein weist außerdem auch in Hinsicht auf den Gehalt an anderen Elementen auffällig viele erhöhte Werte auf.

Der Nickel-Maximalwert aus dem Jahr 2011 in Geschriebenenstein hat sich auch 2017 wieder bestätigt. Für das Element Nickel lässt sich von 2011 - 2014 keine Tendenz erkennen.

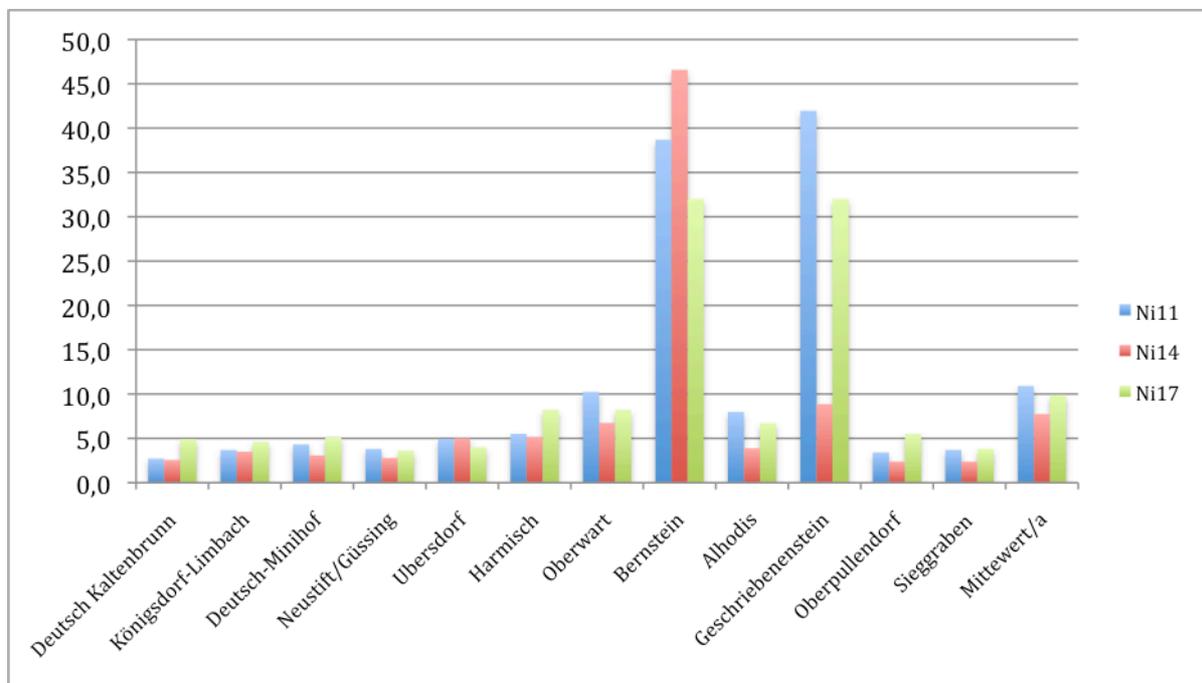


Abb. 9 Ergebnisse der Nickelanalyse 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Schwefel (S):

Schwefel wurde in der ersten Aufsammlung im Jahr 2002 gemessen. Aufgrund einer Umstellung der Messlogistik im Umweltlabor Salzburg konnte ab 2005 Schwefel im Labor der Salzburger Landesregierung nicht mehr gemessen werden. Ab 2011 konnte Schwefel wieder analysiert werden.

Die Ergebnisse der Aufsammlungen über mehrere Jahre decken sich mit jenen der Studie „Schwermetalldeposition in Österreich“ (ZECHMEISTER 1997). Der Vergleich

der vom BFW mittels Fichtennadel- Monitoring erstellten Karte für Schwefel aus dem Jahr 2002 zeigt im Wesentlichen eine Übereinstimmung der belasteten Gebiete, wobei die Flechten im Südburgenland etwas höhere Belastungen ausweisen.

Der Maximalwert lag 2017 in Lockenhaus bei 3300 ppm, gefolgt von Deutsch-Kaltenbrunn mit 3200 ppm und Oberpullendorf mit 2900 ppm. Die Messwerte in den Jahren 2011 und 2014 liegen deutlich unter den älteren Werten, 2017 sind die Ergebnisse für Schwefel aber wieder im Bereich von 2002. Der burgenländische Mittelwert lag 2002 bei 2300 ppm, 2017 bei 2220 ppm.

Für Schwefel lässt sich somit keine langfristige Tendenz erkennen, es ist sogar eine signifikante Steigerung von 1400 ppm im Mittel auf 2220 ppm zwischen 2014 und 2017 nachweisbar.

Eine zonale Gliederung ist nicht erkennbar. Hauptverursacher der Belastungen dürften ebenfalls die Landwirtschaft mit dem hohen Anteil an Weinbau und der Eintrag aus dem Osten (Ungarn) sein.

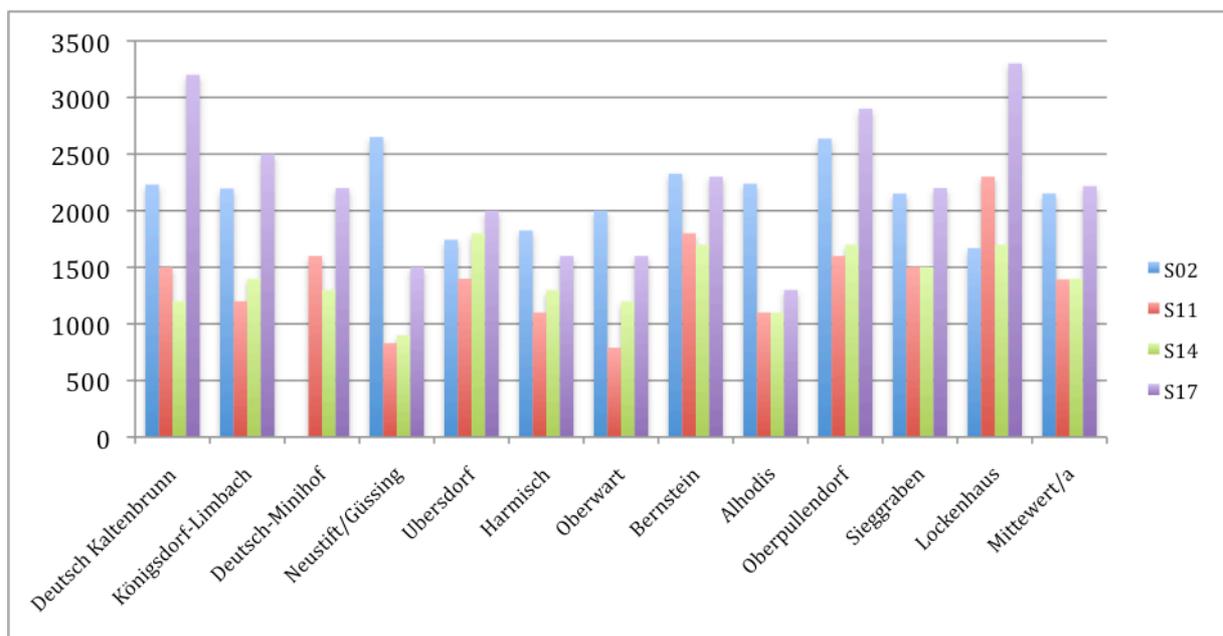


Abb.10: Ergebnisse der Schwefelanalyse im Burgenland 2002, 2011, 2014 und 2017

Zink (Zn):

Das Element Zink wurde 2006 erstmals gemessen, daher liegen für einen Vergleich mit 2002 keine Daten vor.

Der Mittelwert der jeweiligen Sammlungen hat sich nach einem Anstieg in den Jahren 2008 und 2011 und einem Minimum 2014 2017 wieder auf den Anfangswert 2006 angenähert und liegt bei 49 ppm.

Generell ist der Süden des Burgenlandes geringer belastet. Auffällig hohe Werte finden sich hingegen in Bernstein 2011 (180 ppm), in Sieggraben 2008 (150 ppm) und 2011 (132 ppm) sowie in Oberwart 2008 (130 ppm).

Über alle Aufsammlungen lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen, die Zinkgehalte sind 2017 wieder auf dem Niveau von 2002 bis 2011, nur 2014 war der Zinkgehalt bei allen Standorten geringer.

Der Verkehr spielt für die Zinkimmission eine große Rolle. Zink ist unter anderem ein Abriebbestandteil von Autoreifen. Der Pendlerverkehr zwischen dem Nord- und Mittelburgenland und dem Wiener Becken dürfte für die Belastungen dieser Gebiete ausschlaggebend sein.

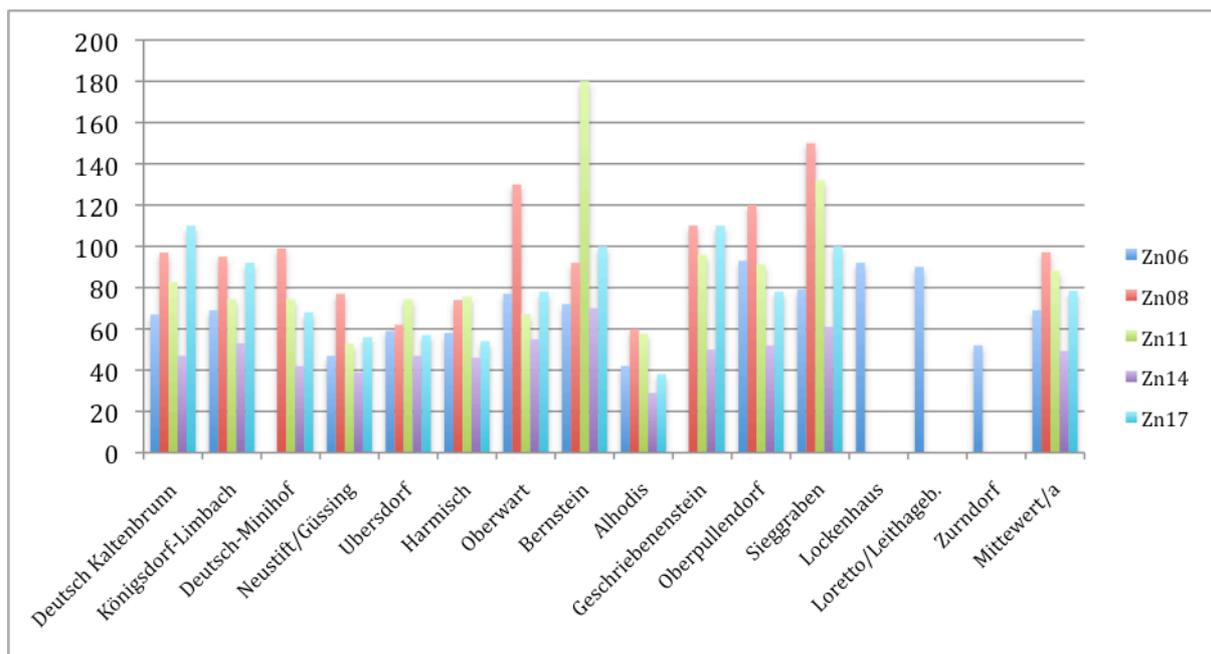


Abb. 11: Ergebnisse der Zinkanalyse 2006, 2008, 2011, 2014 und 2017 im Burgenland

Zusammenfassung:

Diese Studie liefert seit 2002 ein schlüssiges Bild der Entwicklung der Luftschadstoff-Immissionen für Blei, Cadmium, Kupfer, Arsen und Quecksilber im Burgenland. Zusätzlich werden seit 2006 die Elemente Zink und Eisen analysiert.

Schwefel konnte im Jahre 2002, und wieder ab 2011 gemessen werden. Die Aufsammlungen ab 2011 und 2014 ermöglichten zusätzlich die Analyse der Elemente Aluminium, Chrom und Nickel.

Für das Element Aluminium lässt sich an den einzelnen Standorten kein Trend ablesen. Deutsch-Minihof (1700 ppm 2011) und Geschriebenenstein (2200 ppm 2017) liegen über dem Durchschnitt, interessanterweise fällt der Aluminiumgehalt in Deutsch-Minihof kontinuierlich wohingegen in Geschriebenenstein die Gehalte ansteigen.

Auffällig sind die durchgehend hohen Werte von **Arsen** im Jahr 2008. Der Höchstwert der Messreihen findet sich in Siegraben mit 2,6 ppm. Seither sinken die Arsengehalte deutlich und sind 2017 schließlich unter der Nachweisgrenze von 0,38 ppm. Für Arsen lässt sich somit ein eindeutiger Trend erkennen, nach den relativ geringen Werten 2002 stiegen die Arsengehalte bis 2008 deutlich an, seither sinken sie wieder auf die ursprünglichen Messwerte von 2002.

Die Belastung mit **Blei** im Burgenland ist ähnlich wie Arsen ab 2002 bis 2011 signifikant von etwa 5 ppm auf 15 ppm gestiegen. Der Maximalwert der gesamten Messreihe wurde 2011 in Bernstein mit 29 ppm gemessen. Auch hier sinken seither die Bleigehalte unter das Niveau der ersten Messung (2014 3,2 ppm, 2017 3,1 ppm im Mittel)

Der **Cadmium**-Mittelwert für das Gesamtburgenland sinkt nach einem Höchststand 2008 von 0,57 ppm kontinuierlich. 2014 betrug er nur mehr 0,16 ppm, 2017 0,23 ppm. Der Maximalwert der gesamten Aufsammlung wurde 2008 in Oberwart mit 0,99 ppm gefunden. wie bei Arsen und Blei lässt sich auch für Cadmium eine Trendumkehr seit 2008 nachweisen, die letzten beiden Aufsammlungen lagen bereits unter dem Niveau der ersten Messung 2002.

Die im österreichischen Vergleich erhöhten Werte für **Kupfer** werden im Burgenland möglicherweise von der Land- bzw. Weinwirtschaft hervorgerufen (Pestizide, Dünger).

Für das Element Kupfer lässt sich an den Mittelwerten der Messreihe kein eindeutiger Trend festmachen. Bei den ersten 3 Aufsammlungen war ein deutlicher Anstieg von im Schnitt 6 ppm auf 11 ppm ersichtlich, dann 2011 ein gleich hoher Wert und 2014 war der Mittelwert wieder unter dem Anfangsniveau. 2017 hat sich der Kupfergehalt jedoch wieder auf 7,4 ppm nach oben entwickelt. Am Standort Bernstein wurde 2011 der Höchstwert mit 17 ppm gemessen, gefolgt von Siegraben 2008 mit 15 ppm.

Chrom wird seit 2011 analysiert und ist im Mittel zwischen 5,8 und 7,6 ppm, nach den 3.ten Analyse kann noch kein eindeutiger Trend abgelesen werden, 2017 waren die Ergebnisse jedoch deutlich über 1014, also eine leichte Erhöhung im Vergleich zu 2014. Die Probeorte Bernstein (20 ppm) und Geschriebenenstein (32 ppm) sind ca. 5 mal so hoch belastet wie die restlichen Probestellen, in Neustift/Güssing sind die Chromgehalte mit 2,2 ppm 2017 am geringsten.

Die Verteilung von Chrom deckt sich exakt mit den Ergebnissen für Nickel.

Der Mittelwert für **Eisen** hat sich 2017 nach einem Absinken 2014 wieder bei knapp über 1000 ppm eingestellt. Das langjährige Maximum der Werte wurde in Siegraben mit 2600 ppm im Jahr 2008 erreicht. Der Maximalwert im Jahr 2014 lag in Geschriebenenstein und fiel mit 1800 ppm deutlich geringer aus. Oberpullendorf weist im Gegensatz zu den vorher genannten Orten stets ausgesprochen niedrige Werte unter 900 ppm auf. Für Eisen lässt sich kein eindeutiger Trend ablesen, 2017 war der Mittelwert wieder am selben Niveau wie 2008 und 2011 wohingegen 2006 und 2014 die Ergebnisse für Eisen etwa bei 50% der anderen Jahre lagen.

Die Mittelwerte des **Quecksilbergehaltes** sanken von 2002 bis 2014 kontinuierlich, 2017 stieg der Quecksilbergehalt jedoch wieder auf 0,14 ppm an und erreicht damit wieder annähernd die Gehalte von 2002 bis 2008. Der Höchstwert wurde 2017 in Geschriebenenstein mit 0,25 ppm gemessen, der geringste Quecksilbergehalt wurde in Oberwart 2011 mit 0,06 ppm ermittelt.

Die Ergebnisse für **Nickel** decken sich mit den Ergebnissen für Chrom, es lässt sich keine allgemeine Tendenz ablesen, die Mittelwerte bewegen sich auf ähnlichem Niveau seit 2011. Auffällig sind die Ergebnisse in Bernstein (Maximalwert 2014 mit 47 ppm und Geschriebenenstein 2011 mit 42 ppm).

Der Trend zu geringeren **Schwefelkonzentrationen** der von 2002 bis 2014 anhielt, konnte sich 2017 leider nicht bestätigen. Es wurden wieder annähernd die gleichen Gehalte wie 2002 ermittelt. Die Höchstwerte wurden 2017 in Lockenhaus mit 3300

ppm und Deutsch Kaltenbrunn mit 3200 ppm ermittelt. Eine zonale Gliederung ist nicht erkennbar. Hauptverursacher der Belastungen dürften ebenfalls die Landwirtschaft mit dem hohen Anteil an Weinbau und der Eintrag aus dem Osten (Ungarn) sein.

Auffällig hohe **Zink**werte finden sich in Bernstein 2011 mit 180 ppm, gefolgt von Siegraben 2008 mit 150 ppm, die geringsten Zinkgehalte wurden übereinstimmend über die 5 Aufsammlungen in Althodis mit dem Minimum von 29 ppm 2014 nachgewiesen.

Der Verkehr spielt für die Zinkimmission eine große Rolle. Zink ist unter anderem ein Abriebbestandteil von Autoreifen. Der Pendlerverkehr zwischen dem Nord- und Mittelburgenland und dem Wiener Becken dürfte für diese Belastungen ausschlaggebend sein.

Auch für wenig belastete Gebiete zeigt die angewandte Methode große Übereinstimmung mit den Daten aus der Literatur, dies gilt vor allem für das Südburgenland. Die in dieser Studie festgestellten erhöhten Schwefelgehalte im Südsteirischen Hügelland und im Burgenland decken sich mit anderen Untersuchungen und Daten aus der Literatur. Generell ist die Belastung der gemessenen Luftschadstoffe im Mittel- und Südburgenland etwas geringer. Im Norden konnte der erhöhte Eintrag aus dem Wiener Becken und dem angrenzenden Osten nachgewiesen werden.

Die Verwendung der epiphytischen Flechte *Hypogymnia physodes* als Biomonitoring-Organismen und die idente Besammlung über die Jahre hat bestätigt, dass die gemessenen Gehalte an Luftschadstoffen in den Flechten die Luftgüte im Burgenland qualitativ und quantitativ wiedergeben. Ein großer Vorteil der verwendeten Methode ist die Möglichkeit, langfristige Trends der Depositionsmuster bei Luftschadstoffen kostengünstig festzustellen und dokumentieren zu können. Um diesen Ansatz weiter zu verfolgen sind überprüfende Aufsammlungen im Abstand von drei Jahren zu empfehlen, die nächste Aufsammlung sollte somit 2020 erfolgen.

Danksagung:

Ermöglicht wurde diese Studie durch die Finanzierung der burgenländischen Landesregierung, beauftragt von Frau Ing. Gabriele Wieger und bewilligt von Frau Landesrätin Verena Dunst. Großen Dank gilt auch Herrn Dr. König vom Landeslabor in Salzburg, der die Analytik ermöglicht hat.

Herzlicher Dank gebührt meiner Frau und Mitarbeiterin Petra Elisa, die mich vollinhaltlich unterstützt und immer wieder motiviert hat.

Literatur:

BARGAGLI, R., SANCHEZ-HERNANDEZ, J. C. & MONACI, F., 1999, Baseline Concentrations of elements in the Antarctic Macrolichen. – In: Chemosphere, vol. 38 (3), S 475-487.

GARTY, J. & GALUN, M., FUCHS, C. & ZISAPEL, N., 1977, Heavy metals in the lichen *Caloplaca aurantia* from urban, suburban and rural regions in israel, a comparative study. - In: Water, Air, Soil Pollution, vol. 8, S 171-188.

HYNNINEN, V. & LODENIUS, M., 1986, Mercury pollution near an industrial source in southwest finland. - In: Bulletin of environmental contamination and toxicology, vol.36, no.2, S 294-298.

PUCKETT, K. J., 1976, The effect of heavy metals on some aspects of lichen physiology. - In: Canadian Journal of Botany, Vol.54, Nr.17, S 2695-2703.

PUCKETT, K. J. & FINNEGAN, E. J., 1980, An analysis of the element content of lichens from the northwest territories, Canada. -In: Canadian journal of botany, vol.58, S 2037-2089.

SAEKI, M. ET AL., 1975, A lichen (*parmelia conspersa*) surviving with elevated concentrations of lead and copper in the center of Sendai City. - In: Bulletin of environmental contamination and toxicology, vol.14, no.6, S 726-730.

SKYE, E., 1979, Lichens as biological indicators of air pollution. - In: Ann.Rev.Phytopathol., vol.17, S 325-341.

WILLEMS, A. 2001, Taschenbuch Chemische Substanzen. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt

ZECHMEISTER H., 1997, Schwermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995), Monographien Band 94, Umweltbundesamt, Wien, 1997

Internetquellen:

<http://bfw.ac.at/ws/> (Fichtennadelmonitoring 2001, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald BFW)

Umweltbundesamt REP-0595, Wien 2016,

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0595.pdf>

www.luft-bgld.at/StudieSTB2.pdf (Biomonitoring mit Flechten in Österreich- Eine Studie zur Luftgüte in der Steiermark und im Burgenland, BIEBER, W. & UHL, A. 2005)