

3 ERGEBNISSE & DISKUSSION

3.1 Epiphytenkartierung

Es wurden in Summe auf 150 untersuchten Bäumen an 30 Standorten 20 epiphytische Moosarten gefunden (Tabelle 3a). Dies ist durchaus vergleichbar mit anderen Studien. In einer Untersuchung mit ähnlicher Fragestellung auf Linzer Stadtgebiet wurden an 53 Standorten (250 Bäume) ebenfalls 20 epiphytische Moose gefunden (Zechmeister et al., 2002b; Zechmeister & Hohenwallner, 2006).

Mittels der IM Methode wurden weniger Arten erfasst (10 Arten; Tabelle 3b). Dies ist auf eine im Vergleich zur IAP Methode deutlich geringere Beobachtungsfläche zurückzuführen.

Im Vergleich dazu wurden an 15 Bäumen innerhalb der Integrated Monitoring Fläche am Zöbelboden / Reichraminger Hintergebirge (1 x 1km), der einzigen österreichischen Referenzfläche, allerdings 20 Arten gefunden (Zechmeister et al, 2006a).

Die häufigsten Arten im Untersuchungsgebiet sind : *Pylaisia polyantha* (27 Standorte), *Frullania dilatata* (18), *Radula complanata* (13), *Metzgeria furcata* (10), *Dicranoweisia cirrata* (5) und *Orthotrichum sp.* (5) (siehe Tabelle 3a).

Tabelle 3b. Nach der IM Methode gefundenen Arten und deren Frequenz

Art	Standorte																														Σ Frequenz	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Frullania dilatata</i>	1	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	5	0	0	1	2	1	1	0	0	1	0	2	0	37	
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Leskea polycarpa</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Metzgeria furcata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
<i>Orthotrichum pumilum</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
<i>Platygyrium repens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
<i>Pterigynandrum filiforme</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Pylaisia polyantha</i>	0	2	1	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	1	1	0	5	2	1	3	4	14	8	0	0	0	2	0	1	0	50	
<i>Radula complanata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	
Σ Arten / Standort	1	2	1	0	2	0	4	1	0	0	1	1	0	3	3	0	1	2	2	1	5	3	2	1	0	0	4	1	2	0		

Rote Liste Arten :

Unter den gefundenen Moosarten wird nur *Ulota coarctata* (RL 1 - vom Aussterben bedroht), in der "Roten Liste" geführt. Der (mehrfache) Fund dieser Art ist allerdings sehr bemerkenswert.

Ellenberg'sche Zeigerwerte:

In Abb. 2 und Tabelle 4 sind die Ellenbergschen Zeigerwerte der vorkommenden Arten dargestellt.

Tabelle 4. Ellenberg'sche Zeigerwerte der gefundenen epiphytischen Moose (nach Düll 1991); L-Lichtzahl, T-Temperaturzahl, K-Kontinentalität, F-Feuchtigkeitszahl, R-Reaktionszahl, x-indifferent.

ART	L	T	K	F	R
<i>Amblystegium serpens</i>	5	x	5	6	4
<i>Bryum capillare</i>	5	x	5	5	6
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	7	6	4	5	5
<i>Dicranum montanum</i>	6	3	6	5	2
<i>Frullania dilatata</i>	8	3	5	4	5
<i>Hypnum cupressiforme</i>	5	x	5	4	4
<i>Leskea polycarpa</i>	7	5	5	4	7
<i>Leskella nervosa</i>	7	x	6	5	6
<i>Metzgeria furcata</i>	5	3	5	4	6
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	8	6	5	2	6
<i>Orthotrichum pallens</i>	4	2	6	4	5
<i>Orthotrichum pumilum</i>	8	4	5	4	7
<i>Platygyrium repens</i>	6	5	6	4	6
<i>Pterigynandrum filiforme</i>	6	2	6	5	4
<i>Pylaisia polyantha</i>	8	3	6	5	7
<i>Radula complanata</i>	7	3	5	5	7
<i>Tortula virescens</i>	8	5	5	2	6
<i>Ulota coarctata</i>	6	3	4	6	6
<i>Ulota crispa</i>	4	3	5	6	3
Mw.	6,4	3,7	5,3	4,4	5,6
Stdabw.	1,5	1,3	0,7	1,2	1,6

Lichtzahl: Es dominieren Halbschatten- und Halblichtpflanzen, wenngleich vor allem unter den häufigen Arten auch einige Lichtpflanzen (z.B. *Pylaisia polyantha*, *Frullania dilatata*) vertreten sind. Dies spiegelt die überwiegend offenen Standorte der Aufnahme wieder.

Temperaturzahl: Die meisten Arten sind Kühle- bis Mäßigwärmezeiger der tiefen bis montanen Lagen. Dies ist etwas überraschend und kann auch auf Fehleinschätzung zurückzuführen sein (siehe Zechmeister et al., 2002b).

Kontinentalitätszahl: Hier gibt es einen klaren Trend zur intermediären Verbreitung (zwischen subozeanisch und subkontinental) mit geringer Schwankungsbreite.

Feuchtezahl: Es dominieren Trocknis- bis Frischezeiger, was die vergleichsweise geringeren Niederschläge im Gebiet widerspiegelt; zur Diskussion der Feuchtezahl siehe unten.

Reaktionszahl: Es dominieren Mäßigsäure- bis Schwachbasenzeiger. Gemäß den untersuchten Borken wäre ein höherer Anteil an Schwachbasenzeigern zu erwarten gewesen. Ob dies auf den Einfluss saurer Niederschläge zurückzuführen ist bleibt angesichts der Unsicherheit der Zeigerwerte für Moose spekulativ, wäre aber naheliegend.

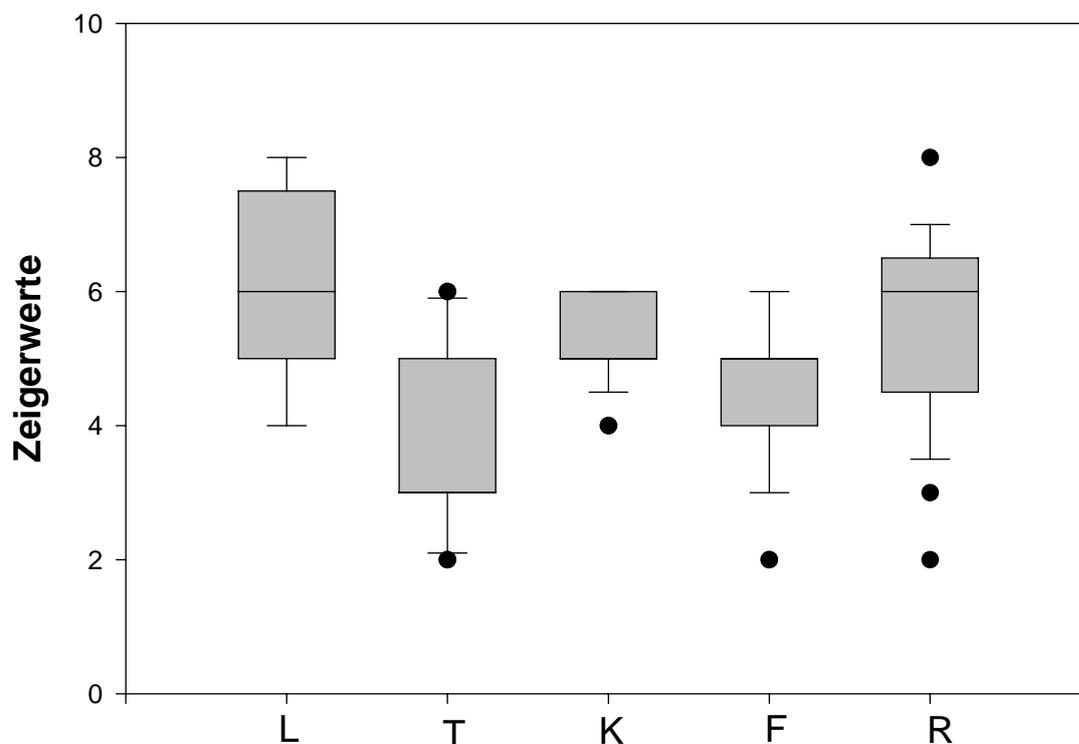


Abbildung 2. Ellenberg'sche Zeigerwerte für die gefundenen epiphytischen Arten

Die Zeigerwerte der Moose werden und wurden vielfach kritisch diskutiert (z. B. Hill et al., 2000, Schaffers & Sykora, 2000). Dies ist primär auf die Datenbasis zurückzuführen, welche überwiegend auf subjektiver Einschätzung der Werte basierend auf der persönlichen Erfahrung von Düll beruht. Die Zuordnungen sind stark auf seine Kenntnisse in Deutschland konzentriert und stimmen vor allem im Osten Österreichs, aber auch in den Alpen teilweise

nicht. Zusätzlich werden Moose im Vergleich zu Höheren Pflanzen durch andere Standortsqualitäten geprägt. Der Ellenberg'sche Faktor Feuchtigkeit spiegelt z. B. überwiegend Bodenfeuchte wieder, für Moose ist aber die relative Luftfeuchte viel entscheidender. Standortscharakterisierungen durch die Zeigerwerte sind bei Moosen daher kritisch zu betrachten.

Tabelle 5. Q-Werte der einzelnen Arten im Biosphärenpark Wienerwald geordnet nach zunehmender Empfindlichkeit

Art	Q-Wert
<i>Pterigynandrum filiforme</i>	3,5
<i>Pylaisia polyantha</i>	4,1
<i>Ulota crispa</i>	4,5
<i>Frullania dilatata</i>	4,8
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	4,8
<i>Radula complanata</i>	4,8
<i>Dicranum montanum</i>	5,0
<i>Orthotrichum pallens</i>	5,0
<i>Ulota coarctata</i>	5,0
<i>Metzgeria furcata</i>	5,2
<i>Bryum laevifilum</i>	6,0
<i>Hypnum cupressiforme</i>	6,0
<i>Orthotrichum sp.</i>	6,2
<i>Leskea polycarpa</i>	6,3
<i>Leskella nervosa</i>	6,5
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	6,6
<i>Tortula virescens</i>	7,0
<i>Platygyrium repens</i>	7,3
<i>Ambystegium serpens</i>	8,0
<i>Orthotrichum pumilum</i>	8,0

3.1.1 Berechnung der Toleranzfaktoren (Q-Werte)

In Tabelle 5 sind die Q-Werte der einzelnen Arten aufgelistet. Die Ergebnisse sind überraschend und decken sich nur in wenigen Punkten mit der Literatur. Österreichweit gesehen weniger häufige Arten scheinen im Gebiet ubiquitär, ansonst häufige Arten haben geringe Toleranzwerte als anderswo. Dies verweist auf die Sonderstellung der pannonisch getönten Epiphytenvegetation im Untersuchungsgebiet und unterstreicht die Bedeutung der gesonderten Ermittlung von Q-Werten in jedem Untersuchungsgebiet.

3.1.2 Berechnung der IAP Klassen

In Tabelle 6 sind die berechneten IAP Werte und IAP Klassen für die einzelnen Standorte aufgelistet. Die Klassenbreiten betragen: Klasse 1 (0-25%) : 0-4,4; Klasse 2 (25-50%) : 4,5-9,1; Klasse 3 (50-75%) : 9,2-16,0; Klasse 4 (> 75%) : > 16,1. Definitionsgemäß ist die Luftqualität in Klasse 1 am schlechtesten, in Klasse 4 am besten. Bei der statistischen Interpretation der Ergebnisse hat sich gezeigt dass die besten Korrelationen bei den IAP-Werten und nicht den IAP-Klassen erzielt wurden. Dies spiegelt unter anderem den Verlust durch die Unschärfe bei der Berechnung der IAP Klassen wieder. Es wurde daher in allen weiteren Auswertungs- und Interpretationsschritten ein Schwerpunkt auf die IAP Werte, und nicht wie sonst vielfach in der Literatur üblich, die IAP Klassen gelegt. In Abb. 3 ist daher auch die flächendeckende Darstellung der IAP Ergebnisse (erstellt durch Interpolation der IAP Werte) ersichtlich.

Tabelle 6. IAP-Werte der einzelnen Standorte und Zuordnung zu den Perzentilklassen; 4 - "wenig belastet" bis 1- "stärker belastet"

Standort	IAP-Wert	IAP Klasse	Standort	IAP-Wert	IAP Klasse
1	10,2	3	16	0,0	1
2	21,0	4	17	16,0	3
3	7,0	2	18	11,7	3
4	0,0	1	19	14,0	3
5	9,3	3	20	4,4	1
6	0,0	1	21	27,1	4
7	25,3	4	22	22,6	4
8	5,5	2	23	12,3	3
9	1,7	1	24	7,2	2
10	0,8	1	25	5,7	2
11	6,5	2	26	9,9	3
12	0,8	1	27	23,9	4
13	2,7	1	28	17,5	4
14	4,4	1	29	20,8	4
15	10,6	3	30	9,0	2

Es zeigt sich, dass die Untersuchungspunkte im Nordostteil des Biosphärenparkes (angrenzend an bzw. auf Wiener Stadtgebiet Wien) die schlechtesten Luftgütewerte aufweisen. Generell sind die Luftgütewerte in der südlichen Hälfte des Biosphärenparks besser als in den nördlichen Teilen. Einzelne Punkte weisen abweichende Muster auf, was auf lokale Quellen hindeutet.

Für die Korrelation der Ergebnisse der Epiphytenkartierung mit jenen von Luftgütemessstationen siehe Kapitel 3.3.

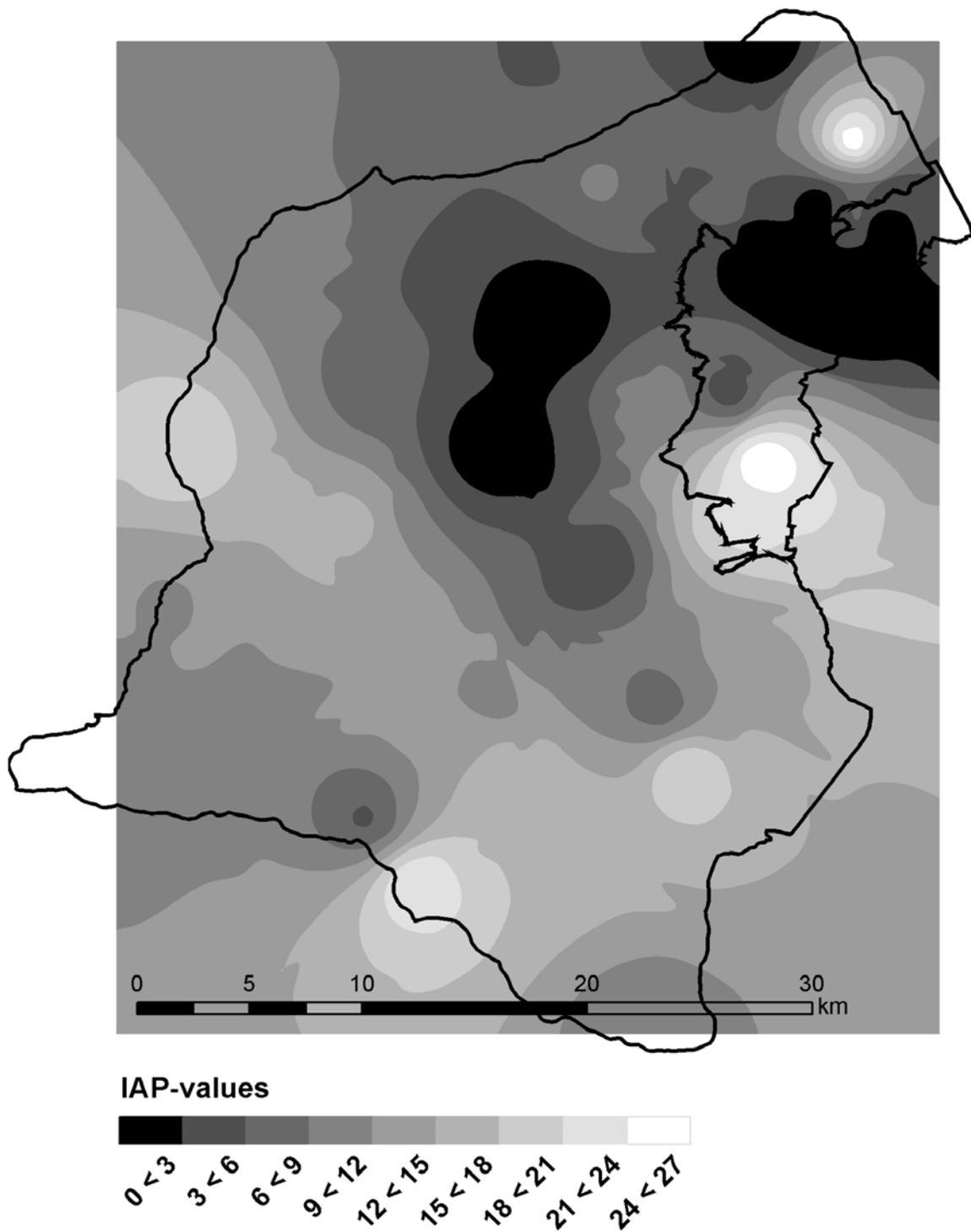


Abb. 3. Flächendeckende Darstellung (Interpolation mittels Krigging) der Luftgütwerte (IAP Werte) im Biosphärenpark Wienerwald.

3.2. Untersuchung der Depositionen von Schwermetallen und PAHs

3.2.1 Schwermetalle und andere Elemente

Insgesamt gesehen unterscheiden sich die untersuchten Schwermetallkonzentrationen in Moosen im Biosphärenpark signifikant von denen des übrigen Bundesgebietes (Wilcoxon Matched Pairs Test; $P=0.001$). Im Einzelnen betrachtet sind vor allem die Konzentrationen von Cd und S statistisch signifikant höher als jene in der parallel abgelaufenen Österreich weiten Untersuchung. Nur die Werte von Sb, Mo, Hg und V sind im Biosphärenpark niedriger als der österreichische Durchschnitt.

Betrachtet man alle untersuchten Elemente zusammen sind die einzelnen Standorte statistisch nicht signifikant verschieden (Wilcoxon Matched Pairs Test), dies gilt aber natürlich nicht in Bezug auf die einzelnen Elemente.

Für die meisten untersuchten Schwermetalle ist jedoch ein vergleichbares räumliches Depositionsmuster ablesbar. Die Metalle Al, As, Cr, Co, Fe, Ni und V zeigen einen deutlichen Nordost-Südwest Gradienten, der von der Bundeshauptstadt und den nördlich anschließend intensiv genutzten Agrarflächen weg abnimmt. Im Biosphärenpark sind davon besonders erhöhte Regionen mit NO-Exposition beeinflusst (z.B. der Probenahmepunkt bei Rauchengern). Abweichend von diesem Muster sind folgende Elemente: Cd, Cu, Mo, Pb, Hg, Zn und S.

In Tabelle 7 sind alle gemessenen Konzentrationen von Schwermetallen und anderen Elementen aufgelistet. Für jedes Element gibt es auch eine flächendeckende Darstellung (Karten), bei deren Berechnung auch Punkte der Umgebung miteinbezogen wurden. Die Karten sind im Anhang zu ersehen.

Tabelle 7. Konzentrationen der einzelnen Elemente in Moosen an den untersuchten Standorten (in µg/g Trockengewicht); Mw 2005 bezieht sich auf den österreichweiten Mittelwert aus der Aufsammlung 2005 (aus Zechmeister et al. 2006b); Liste der Standorte siehe Tabelle 2.

Standorte	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mo	Ni	Pb	S	Sb	V	Zn	N
39-1	670	0,21	0,22	0,45	2,0	6,0	1000	0,06	0,23	1,8	3,7	1300	0,14	1,6	37	15200
57-1	230	0,11	0,27	0,39	1,0	6,0	450	0,08	0,14	1,8	6,5	1000	0,31	1,0	38	15700
57-2	250	0,07	0,21	0,22	0,73	4,3	420	0,04	0,13	0,75	3,9	880	0,18	0,80	43	9400
A	270	0,11	0,24	0,20	0,67	4,5	320	0,049	0,13	1,3	6,7	1000	0,20	1,1	27	
B	260	0,09	0,20	0,21	0,80	4,6	310	0,049	0,31	1,0	3,6	970	0,19	0,77	33	
C	370	0,12	0,25	0,20	0,69	5,2	420	0,034	0,13	0,82	2,6	1100	0,11	0,83	35	
D	950	0,40	0,34	0,57	1,8	7,0	1100	0,039	0,13	1,6	4,3	1100	0,08	2,5	39	
E	140	0,05	0,31	0,13	0,45	4,8	170	0,043	0,13	0,65	2,1	1200	0,07	0,49	33	
F	270	0,11	0,35	0,16	0,63	5,3	340	0,051	0,25	0,72	4,9	1100	0,18	1,0	30	
G	180	0,07	0,31	0,26	0,66	6,8	240	0,051	0,13	1,6	6,3	1500	0,08	0,86	37	
H	840	0,36	0,13	0,36	1,9	5,5	920	0,047	0,21	2,3	4,4	1200	0,11	1,9	24	
I	350	0,15	0,20	0,24	0,90	6,1	470	0,056	0,41	1,0	5,4	1200	0,18	1,1	29	
J	350	0,13	0,21	0,14	0,75	38	380	0,043	0,44	0,76	4,5	1400	0,12	0,91	27	
Mw 2005	331	0,14	0,21	0,30	0,81	5,4	420	0,056	1,32	0,24	4,3	965	0,17	1,2	31	12116

Aluminium (Al) Karte 02

Aluminium [Ordnungszahl (OZ) 13; Relative Atomasse (AM) 26,98] gilt nicht als essentielles Element.

Freie Aluminium-Ionen sind für Pflanzen nicht essentiell, aber oft toxisch. Bei manchen Pflanzen (z.B. Farnen) scheint Al aber wachstumsfördernd. Al^{+3} ist in sauren ungepufferten Gewässern toxisch für Fische. Die akute Toxizität für den Menschen ist gering, Schäden sind vor allem chronischer Natur z.B. durch das Einatmen von Al-Staub (Aluminose). Al wird in Haaren und der Lunge angereichert.

Aluminium ist das wichtigste Leichtmetall. Al wird durch Schmelzflusselektrolyse aus Bauxit gewonnen. Neben Emissionen bei der Herstellung gibt es eine Umweltbeeinflussung durch industrielle Prozesse (Verpackungen, Schleifmittel, Glas, Porzellan, Ziegel oder Chemikalien) und private Abfälle.

Al ist in Form von Aluminiumsilikat als dritthäufigstes Element am Aufbau der Erdkruste beteiligt. In dieser Untersuchung wird Al daher vor allem als Zeiger für sekundäre Bodenkontamination verwendet. Dies steht im Einklang mit neueren Daten aus der Literatur (z.B. RAMADAN *et al.*, 2000; TAKEDA *et al.*, 2000).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $395 \pm 257 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum 140 μg , Maximum 950 μg). Die Standorte Rauchengern und Sittendorf zeigen erhöhte Werte, was vor allem in Sittendorf auf erhöhten Staubeintrag aus dem Trockenrasen zurückzuführen ist. Al zeigt einen deutlichen Nordost-Südwest Gradienten, der von der Bundeshauptstadt und den nördlich anschließend intensiv genutzten Agrarflächen weg abnimmt. Die Al-Konzentrationen sind in dieser Untersuchung etwas höher als jene der gesamtösterreichischen Studie, was die wichtige Stellung der trockenen Deposition im Untersuchungsgebiet unterstreicht.

Antimon (Sb) Karte 03

Antimon (=Z 51, AM 121,7) ist kein essentielles Element für alle Organismen. Die meisten Antimonverbindungen sind schwer löslich.

Antimon wird vor allem über die Nahrung aufgenommen. Es werden ca. 15% vom Körper resorbiert. Die höchsten Konzentrationen in Menschen befinden sich in der Schilddrüse und den Nebennieren. Die Halbwertszeit im menschlichen Körper beträgt zwischen 38 und 100

Tagen, Sb wird vor allem mit dem Urin ausgeschieden. Die Toxizität hängt von der Verbindung und der Menge ab, 3-wertiges Sb ist ca. zehn mal so toxisch als 5-wertiges. Geringe Sb Konzentrationen wirken wachstumsfördernd, während höher Sb-Konzentrationen sogar die Toxizität von z.B. Pb oder As übertreffen. Erhöhte Sb Konzentrationen führen zu Wachstumshemmung bei Säuglingen und Reproduktionsstörungen bei Frauen. Oxidverbindungen gelten als karzinogen.

Sb wird ist Bestandteil von Legierungen, Farben und wird in der Halbleitertechnik eingesetzt. Sb ist vor allem ein wichtiger Bestandteil der Emissionen aus dem Verkehr, und wird dabei mit dem Bremsabrieb in Verbindung gebracht. Sb ist daher einer der wichtigsten Indikatoren für Depositionen aus dem Straßenverkehr.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,15 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $0,07 \mu\text{g}$, Maximum $0,31 \mu\text{g}$). Die Sb-Mittelwerte liegen unter dem österreichischen Durchschnitt, was auf die relativ geringe Verkehrsbelastung im Untersuchungsgebiet hinweist. Die Emissionen der beiden Autobahnen haben in den Proben keinen Niederschlag gefunden, was darauf hindeutet, dass die Probenahmestellen außerhalb des Emissionseinflusses der beiden Autobahnen gelegen sind. Die Entfernung war auch deutlich größer als 200m, was von Zechmeister et al. (2005) als Grenze für unmittelbare Beeinflussung der Emissionen von Autobahnen mit gesehen wird. Der Punkt bei Klausen-Leopoldsdorf dürfte aufgrund der Nähe zu einer lokalen Straße erhöht sein.

Arsen (As) Karte 04

Arsen (OZ 33; AM 74,9) ist ein Halbmetall und wird demnach nicht zu den eigentlichen Schwermetallen gerechnet. Arsen ist für Pflanzen nicht essentiell, bei Wirbeltieren dürfte ein Mangel negative Folgen auf Wachstum und Fortpflanzungsfähigkeit haben. Arsen gilt bei Säugetieren als karzinogen.

Die weltweite As-Emission geschieht 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. Letztere ist weltweit gesehen für ca. 50% des Gesamtverbrauchs an As verantwortlich (ADRIANO, 1986). Arsen wird vor allem als Kupferarsenitacetat für unterschiedlichste Pestizide (Herbizide, Insektizide, Fungizide,

Rodentizide etc.) eingesetzt. Weiters findet es auch als Holzschutz- oder Desinfektionsmittel weite Verwendung.

In Österreich wird Arsen primär durch Holzheizungen und Kohlefeuerungen freigesetzt. Diese beiden Verbrennungsprozesse machen 50% bzw. 25% der Gesamtemission aus. In geringem Umfang scheinen Verhüttungsprozesse sowie die metallurgische Industrie an der Freisetzung ebenfalls beteiligt. As ist auch bedeutender Bestandteil der Emissionen aus der Zementindustrie (REITER & STROH, 1995; HACKL & MAUSCHITZ, 2001).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,15 \pm 0,11 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $0,05 \mu\text{g}$, Maximum $0,40 \mu\text{g}$). Die As-Konzentrationen sind in dieser Untersuchung etwas höher als jene der gesamtösterreichischen Studie. As zeigt einen deutlichen Nordost-Südwest Gradienten, der von der Bundeshauptstadt und den nördlich anschließend intensiv genutzten Agrarflächen weg abnimmt. Die Standorte Rauchengern und Sittendorf zeigen erhöhte Werte. Die Werte im Biosphärenpark sind im Vergleich zum unmittelbaren Umland aber niedriger.

Blei (Pb) Karte 05

Blei (OZ 82; AM 207,2) ist sowohl für Pflanzen als auch Tiere toxisch. Seine toxische Wirkung begründet sich einerseits aus der Reaktion der Blei-Ionen mit den freien SH-Gruppen von Proteinen (nicht kompetitive Hemmung), andererseits aus der Inhibition diverser Enzyme aufgrund der chemischen Ähnlichkeit von Blei mit essentiellen Metall-Ionen (z.B. Calcium). Dementsprechend wird es primär im Knochensystem abgelagert. Hohe Bleikonzentrationen findet man, wie bei anderen Schwermetallen auch, in Leber und Niere. Akute Bleivergiftungen sind selten, es überwiegen chronische Schäden (Blutbildung, Nervensystem). Eine Karzinogenität von Blei ist nicht nachgewiesen. Phytotoxische Erscheinungen treten nur bei sehr hohen Konzentrationen auf.

Weltweit stammt der Hauptteil aller Bleiemissionen aus der Verbrennung von verbleitem Benzin (ca. 90%). Die organischen Bleiverbindungen Bleitetraethyl und Bleitetramethyl werden dem Kraftstoff als Antiklopfmittel für Benzinmotoren beigelegt. Die Freisetzung erfolgt primär partikulär als Bleichlorid, -bromid oder -oxid, aber auch als organische Verbindung (5-10%), welche aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften hoch toxisch sind. Seit Einführung des unverbleiten Benzins sind die Bleiemissionen zumindest in den Ländern, in denen dieses auch in entsprechendem Ausmaß verwendet wird, stark rückläufig. Weite Verwendung findet Blei auch in der Batterieherstellung, in geringerem Umfang als

Legierungsbestandteil, für Rohre und Kabelummantelungen oder elementar (Bleischrote für die Jagd oder zum Tontaubenschießen). 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.

Blei wird seit historischen Zeiten verwendet und ist das Schwermetall mit dem höchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor. Die menschliche Freisetzung ist 28 mal höher als die natürliche und selbst nach Abzug des verbleiten Benzins bleibt noch ein Anreicherungsfaktor von 7 (VERRY & VERMETTE, 1992).

In Österreich sind laut UMWELTKONTROLLBERICHT (2001) 42 % aller Bleiemissionen dem Verkehr zuzuschreiben. 37 % stammen aus der Stahl- und Glaserzeugung, 13 % entstammen aus Verbrennungsprozessen von Kleinverbrauchern, der Rest (6%) von lokalen Emittenten (z.B. Wärmekraftwerken). Die jährliche Pb-Gesamtemission in Österreich lag im Jahr 1999 bei etwa 34 Tonnen. Die Bleiemissionen sind in Österreich im Zeitraum 1985 bis 1999 um 90 % gesunken, was überwiegend auf die Einführung des bleifreien Benzins zurückzuführen ist.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $4,5 \pm 1,4 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $2,1 \mu\text{g}$, Maximum $6,7 \mu\text{g}$). Die höchsten Werte finden sich im Norden und Westen des Gebietes. Die Werte im Biosphärenpark sind im Vergleich zum unmittelbaren Umland aber niedriger. Die Pb-Werte innerhalb des Biosphärenparks sind nur ganz wenig höher als im österreichweiten Durchschnitt.

Cadmium (Cd) Karte 06

Cadmium (OZ 48; AM 112,4) ist ein für fast alle Lebewesen toxisches, höchstwahrscheinlich nicht essentielles Schwermetall. Die Hauptaufnahmewege bei Menschen sind einerseits die Nahrung und andererseits die Inhalation (Staub, Rauchen usw.). Bei Säugetieren lagert sich Cd vor allem in Nieren und Leber ab.

Cadmium ist das Element mit dem weltweit zweithöchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor (5,4) (nach VERRY & VERMETTE, 1992). Hauptemittenten sind weltweit Buntmetallindustrie (Korrosionsschutz), Verbrennung fossiler Brennstoffe, Müllverbrennung, Schwerindustrie und die Landwirtschaft (aus den Phosphaten der Düngemittel). Verwendung findet Cadmium vor allem in der Autoindustrie (z.B. Rostschutz,

Legierungen), der Batterieherstellung (Ni-Cd), bei der Plastikerzeugung (Polyvinyl), in der Photoindustrie und in der Landwirtschaft (Fungizide).

In Österreich hat Hausbrand (35%) den größten Anteil am Cadmium-Ausstoß. Als weitere Quelle treten Kraftwerke und Fernheizwerke bzw. die Industrie in Erscheinung (jeweils ca. 20 %; UMWELTKONTROLLBERICHT, 2001). Bei der Verbrennung unverbleiten Benzins wird mehr Cadmium (27%) freigesetzt als bei verbleitem Treibstoff (14%). Der Anteil des Reifenabtriebes von LKW ist beträchtlich.

Im UMWELTKONTROLLBERICHT (2001) wird ein Rückgang der Cd-Emissionen zwischen 1985 und 1999 um 69% von 4,8 auf 1,5 Tonnen angegeben.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,25 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $0,13 \mu\text{g}$, Maximum $0,35 \mu\text{g}$). Die Konzentrationen sind an fast allen Standorten homogen. Die Cd-Werte innerhalb des Biosphärenparks sind statistisch gesehen signifikant höher als im übrigen Österreich. Sie sind auch höher als in den angrenzenden landwirtschaftlich dominierten Gebieten. Gründe für die erhöhten Werte könnten lokale Quellen sein. Cadmium, welches überwiegend bei Hochtemperaturprozessen freigesetzt wird ist aber in der Atmosphäre sehr mobil und wird oft über weite Strecken verfrachtet, und abseits der Emissionsquellen deponiert. Daher ist ein Einfluss durch den Ferntransport (z.B., von der Raffinerie Bratislava) nicht auszuschließen, was auch die erhöhten Werte in den Stau- und Gipfellagen erklären könnte.

Chrom (Cr) Karte 07

Chrom (OZ 24; AM 51,9) ist für Tiere, aber nicht für Pflanzen essentiell. Es spielt bei Tieren im Kohlehydratstoffwechsel eine wichtige Rolle. In Abhängigkeit von seiner Oxidationsstufe steht die Toxizität dieses Metalls, wobei Cr(VI) am weitestens toxisch wirkt [> 1000 fache Toxizität von Cr(III)].

Chrom ist ein weitverbreitetes Element und steht an 21. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Chrom findet vor allem in der Metallindustrie als Legierungsbestandteil oder Korrosionsschutz Verwendung. Die Metallindustrie ist auch weltweit der größte anthropogene Chromemittent. Weitere Anwendungsgebiete sind die Leder- und Textilindustrie (z.B. Gerbstoffe), die Pigmentherstellung, die Papier- und Druckindustrie und die Petrochemie. Größere Mengen Chrom werden auch durch Kohleverbrennung freigesetzt.

Hauptemittenten in Österreich sind die Eisen- und Stahlindustrie (ca. 25%), gefolgt von Kohlefeuerungen (16%), sowie zu etwa gleichen Teilen die Zement- und Glasindustrie (10%). Emissionen durch unverbleites Benzin (11%) und Kraftwerke (12%) sind ebenfalls erwähnenswert. Die jährliche Chromemission in Österreich beträgt ca. 6 Tonnen (alle Angaben WINIWARTER & SCHNEIDER, 1995).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,99 \pm 0,53$ µg/g Trockengewicht (Minimum 0,45 µg, Maximum 2 µg). Die Konzentrationen zeigen einen deutlichen NO-SW Gradienten, wobei im Norden die Konzentrationen deutlich höher sind als im SW. Die durchschnittliche Konzentration im Biosphärenpark liegt über dem österreichischen Mittelwert. Konzentrationen um die 2 µg, wie sie im Norden des Biosphärenparks vorkommen, sind auch österreichweit gesehen im Spitzenfeld und kommen größtenteils nur im Osten des Bundesgebietes vor. Ausschlaggebend dürfte auch hier die Verfrachtung im Ballungsraum, bzw. der Ferntransport aus dem Osten sein.

Kobalt (Co) Karte 08

Kobalt (OZ 27, AM 58.9) ist ein, zumindestens für tierische Lebewesen, essentielles Schwermetall (u.a. als Teil des Vitamin B₁₂-Komplexes). In hohen Konzentrationen wird Kobalt karzinogene Wirkung nachgesagt. Die Hauptresorption erfolgt beim Menschen im Dünndarm. Da es für die N₂-Fixierung symbiontischer Bakterien notwendig ist, kann es durchaus auch für manche Höhere Pflanzen als notwendig angesprochen werden.

Kobalt findet vor allem Verwendung in der Edelmetall- und Stahlerzeugung (für harte Legierungen). Weiters wird es zur Pigmentherstellung benötigt (besonders für blaue und grüne Glasuren). Eine zusätzliche Ursache für Kobalt-Staubniederschläge könnten Flugaschen von Kohlekraftwerken sein (STREIT, 1994).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,27 \pm 0,13$ µg/g Trockengewicht (Minimum 0,13 µg, Maximum 0,57 µg). Die Konzentrationen liegen durchschnittlich etwas unter dem österreichischen Mittelwerthöchsten. Die Konzentrationen sind eher homogen verteilt mit etwas erhöhten Werten im Norden des Gebietes.

Eisen (Fe) Karte 09

Eisen (OZ 26; AM 55,9) ist ein essentielles Element für alle Lebewesen. Eisen ist ein funktioneller Bestandteil zahlreicher lebenswichtiger Bausteine (z.B. Cytochrome). Normalerweise enthalten Pflanzen 20 bis 300 mg Fe / g Trockenmasse. Eisen ist kaum toxisch, nur bestimmte Eisenverbindungen wie FeCl₂ oder Eisenchelate können gesundheitsschädigend sein.

Eisen ist eines der häufigsten Elemente der Erdkruste (Nr. 4 der Häufigkeitsliste). Aufgrund des relativ hohen Eisengehaltes in Böden (durchschnittlich 40.000 µg/g) kann Eisen auch als guter Indikator für Bodenverunreinigung herangezogen werden.

Eisen wird in erster Linie als Roheisen und in den verschiedensten Legierungen eingesetzt. In selteneren Fällen findet es als Pigment bzw. als Fällmittel in Kläranlagen Verwendung. Anthropogene Hauptemissionen stammen aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie aus der Verbrennung von Kohle (Heizungen, Kraftwerke).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt 503 ± 301 µg/g Trockengewicht (Minimum 240 µg, Maximum 1100 µg). Das Verteilungsmuster ist ganz ähnlich dem von Cr und Co, mit einem deutlichen NO-SW Gradient. Der Durchschnittswert liegt ca. 20 % über jenem aus gesamt Österreich.

Kupfer (Cu) Karte 10

Kupfer (OZ 29; AM 36,6) ist ein sowohl für Pflanzen als auch Tiere essentielles Element. Es kommt u.a. als prosthetische Gruppe diverser Enzyme vor, und spielt im Kohlenstoff- und Stickstoffmetabolismus eine wichtige Rolle. In Pflanzen hat es eine relativ geringe Toleranzbreite. Unter 4 ppm treten sich Mangelerscheinungen auf, über 20 ppm wirkt Cu bereits in den meisten Fällen toxisch.

Kupfer wird vor allem bei der Kupfererzeugung und von anderen Metallindustrien 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. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden können bis zu 50% des Kupferanteils aus der Bewirtschaftung stammen.

WINIWARTER & SCHNEIDER (1995) sehen Kraftstoffe als die wesentlichen Emittenten (zusammen 70%), wobei vor allem Diesel eine wichtige Rolle spielt.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $8,0 \pm 9,1$ $\mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum 4,3 μg , Maximum 38,0 μg !). Kupfer zeigt ein von den anderen Metallen abweichendes Verteilungsmuster. Neben dem „hot-spot“ im Süden sind die Konzentrationen im Westen des Gebietes erhöht. Besonders auffallend ist der Punkt bei Gainfarn und Umgebung. Die hohen Kupferwerte im SO entlang der Thermenlinie sind primär auf den Einsatz von Pestiziden in den Weingärten zurückzuführen; der Probenahmepunkt (Trockenrasen) liegt inmitten von Weingärten. Der hier gemessene Wert gehört zu den höchsten in Österreich im Jahr 2005 gemessenen Kupfer-Werten (230 Standorte). Nur in der näheren Umgebung der sekundären Kupferhütte in Brixlegg (Unterinntal) findet man vergleichbar hohe Werte. Der österreichische Mittelwert liegt bei 5,4 $\mu\text{g} / \text{g}$ Trockengewicht, auch ohne den Spitzenwert liegt der Durchschnitt der Proben im Biosphärenpark noch deutlich über dem österreichischen Mittelwert.

Molybdän (Mo) Karte 11

Molybdän (OZ 42; AM 95,9) ist als Bestandteil der Aldehydoxidase ein essentielles Element für fast alle Organismenarten. Es ist vor allem für den Phosphat-Metabolismus und die Stickstofffixierung von Bedeutung. Toxisch ist es nur in höheren Konzentrationen für Tier und Mensch. Die Gefahr einer Molybdänvergiftung ist vor allem für Wiederkäuer besonders groß.

Die Hauptverwendung von Molybdän liegt in der Erzeugung von Stahl (u.a. für spezielle Legierungen), als Korrosionsschutz, für Katalysatoren und in der Pigmentherstellung. Molybdän gelangt vor allem durch die Erzverhüttung, durch die Metallherstellung, über phosphathaltige Dünge- und Waschmittel sowie über Verbrennungsprozesse in die Natur.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,21 \pm 0,11$ $\mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum 0,13 μg , Maximum 0,44 μg). Die Mo-Konzentrationen schwanken innerhalb des Gebietes sehr stark, und sind in den Randlagen erhöht. Dabei wird Mo primär von südlich anschließenden Emissionsquellen beeinflusst, aber auch der Nordstau zeigt erhöhte Werte. Beide Regionen sind von bislang nicht identifizierten Quellen beeinflusst. Die Werte des Biosphärenparks liegen jedoch deutlich unter dem Durchschnitt (1,32 μg) und somit vielen anderen Teilen Österreichs.

Ni (Nickel) Karte 12

Nickel (OZ 28; AM 58,7) ist für tierische Lebewesen essentiell, nicht aber für die meisten Pflanzen. Nickel steht im Zusammenhang mit der Eisenresorption. Nickelstaub und einige Nickelverbindungen wie Nickelacetat $[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ oder Nickelsubdisulfid (Ni_3S_2) zeigen karzinogene Wirkung. Einige Nickelverbindungen sind auch bekannte Allergene.

Nickel wird vor allem in vielen korrosions- und hitzebeständigen Legierungen verwendet (z.B. Münzen, Turbinen), außerdem in der Galvanik und der Elektroindustrie (Batterien, Tonbänder). Die wichtigsten anthropogenen Quellen sind einerseits Bergbau, Verhüttung und Metallverarbeitung, andererseits die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Öle, Diesel, Kohle).

Die wichtigsten Emissionsquellen in Österreich sind (nach WINIWARTER & SCHNEIDER, 1995) Kraftwerke (34%), Diesel aus KFZ- Motoren (30%) sowie die industrielle Verbrennung von Öl (16%). Die Gesamtemission in Österreich beträgt etwa 30 Tonnen Nickel pro Jahr (WINIWARTER & SCHNEIDER, 1995).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $1,24 \pm 0,53 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $0,65 \mu\text{g}$, Maximum $2,3 \mu\text{g}$). Das Depositionsmuster gleicht dem der meisten anderen Metalle mit einem NO-SW Gradienten. Die Konzentrationen im Biosphärenpark sind im Durchschnitt fünf mal so hoch wie der österreichische Mittelwert. Die Nähe zur Großstadt und den Industrieanlagen im Osten sind dafür vermutlich ausschlaggebend.

Quecksilber (Hg) Karte 13

Quecksilber (OZ 80; AM 200,6) hat sowohl für Tier und Mensch eine relativ hohe Toxizität. Diese beruht auf der Reaktion von Quecksilber mit essentiellen SH-Gruppen von Proteinen und Nukleinsäuren. Die für Organismen bedenklichsten Quecksilberverbindungen sind neben elementarem Quecksilber, Hg-Salze und organische Hg-Verbindungen. Quecksilber wird primär über die Atemwege aufgenommen, die Resorption über den Darm ist äußerst gering (Ausnahme organische Hg-Verbindungen).

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

des Verbotes der Saatgutbeizung mit Hg, als auch aufgrund steigender Recyclierung rückläufig.

Hauptemittenten in Österreich ist die Industrie mit 46 %, wobei 38% aus den Produktionsprozessen in Eisen- und Stahlerzeugung, der Chlorindustrie sowie der Zementindustrie stammen. 12 % werden durch Feuerungsanlagen und 6 % aus der Abfallbehandlung der Industrie freigesetzt. (32%). Die Wärme- und Heizkraftwerke sind für 28 % der Emissionen verantwortlich. Aus Kleinfeueranlagen stammen 28 %. Die Quecksilberemissionen sind seit 1985 um 72 % weniger geworden (UMWELTKONTROLLBERICHT, 2001).

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $0,049 \pm 0,011 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum $0,034 \mu\text{g}$, Maximum $0,08 \mu\text{g}$). Hg zeigt insgesamt ein sehr inhomogenes Muster, die Werte liegen aber alle unter dem österreichischen Durchschnitt ($0,056 \mu\text{g}$). Die Ursache für den erhöhten Wert bei Klausen-Leopoldsdorf ist unklar.

Schwefel (S) Karte 14

Schwefel ist kein Schwermetall, es wird aber in dieser Studie als zusätzlicher Indikator für anthropogenen Schadstoffeinfluss allgemein genommen.

Schwefel (OZ 16; AM 32,1) ist ein essentielles Element für alle Lebewesen und als Bestandteil der Aminosäuren Cystin, Cystein und Methionin in den meisten Proteinen enthalten. Schwefel ist ein Makronährelement und kommt als solches in größeren Mengen in jedem Organismus vor. Die Schädwirkungen des Schwefels bzw. einzelner Schwefelverbindungen (SO_2 , H_2SO_4 usw.) sind vor allem auf die osmotische Wirkung, Radikalbildung u.v.m. zurückzuführen. Bei Pflanzen kommt es u.a. zur Störung physiologischer Prozesse, Nekrosenbildung und Absterben der Blätter, bei Menschen vor allem zur Schädigung der Atemwege und Lunge. Moose haben einen durchschnittlichen Grundgehalt von 700 ppm S, welcher bei Depositionsberechnungen zum Abzug gebracht werden müßte.

Schwefel wird als Grundstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Der Hauptteil wird für die Schwefelsäureproduktion verwendet, aber auch zum Vulkanisieren sowie zur Erzeugung von Düngemitteln, Pharmazeutika, Pestiziden, Pigmenten und vielem mehr. Der größte Teil anthropogen freigesetzten Schwefels stammt aus der Verbrennung fossiler Energieträger und wird überwiegend als SO_2 freigesetzt.

Die Bilanz der SO₂-Emissionen in Österreich ist stark rückläufig, laut UMWELTKONTROLLBERICHT (2001) haben sich die Emissionen im Zeitraum 1980-1999 um 89% vermindert. Von den Gesamtemissionen stammen 52 % aus industriellen Prozessen, gefolgt von Kleinverbrauchern (28 %), wobei 23 % auf Kleinf Feuerungsanlagen entfallen.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt 1150 ± 176 µg/g Trockengewicht (Minimum 880 µg, Maximum 1500 µg). Die S-Werte liegen im gesamten Untersuchungsgebiet über dem österreichischen Durchschnitt (965 µg S; im Wienerwald 1177 µg S). Die Werte im Biosphärenpark sind statistisch signifikant höher als jene von ganz Österreich. Vor allem die Randstaulagen zeigen erhöhte Werte, die Schwankungsbreite innerhalb des Biosphärenparks ist insgesamt aber eher gering.

Stickstoff (N) Karte 15

Stickstoff (OZ 7, AM 14) ist ein Hauptnährelement und als Komponente aller Proteine, Enzyme und Nukleinsäuren wichtiger Bestandteil aller Lebewesen. Stickstoff ist für Pflanzen ein Hauptnährelement und gelangt durch mikrobielle Aktivität z.B. durch die Zersetzung organischen Materials bzw. durch Luftstickstofffixierung in den Boden.

In den letzten Jahren konnte weltweit eine starke Zunahme der Stickstoffdepositionen festgestellt werden. Diese wurden u.a. als eine der Hauptursachen für die Gefährdung der Biodiversität angesprochen. Dabei spielt einerseits die versauernde Wirkung von N-Depositionen als auch der Eutrophierungseffekt eine Rolle. Für die Versauerung sind neben Schwefel-Verbindungen die N-Verbindungen NH₃ und NO_x verantwortlich. Die Zunahme der atmosphärischen Düngung hat in vielen Gebieten bereits zur deutlichen Gefährdung von ursprünglich nährstoffarmen Habitattypen geführt (z.B. Hochmoore oder Trockenrasen). Aber auch andere Systeme sind durch Eutrophierung gefährdet. In Österreich sind ca. 65 % aller Ökosysteme durch die Überschreitung der „critical loads“ gefährdet (Umweltbundesamt, 2001). Die atmosphärischen Stickstoffdepositionen durch trockenen Eintrag und Niederschläge betragen in Österreich derzeit zwischen 4 und 40 kg/ha/yr.

In Österreich werden seit dem Jahr 2005 erstmals auch die N-Depositionen mittels Moosen flächendeckend erfasst. Die N-Konzentrationen wurden in der gegenständlichen Studie nur im Rahmen des österreich- / europaweiten Projektes erfasst, wodurch es im Biosphärenpark nur 3 Probenahmepunkte gibt. Diese bilden aber auch schön das Muster der N-Depositionen im Biosphärenpark ab. Der Mittelwert liegt bei 13,4 mg / kg, das ist über dem Mittelwert aller

Probenahmepunkte in Österreich. Die gesamtösterreichische Studie zeigt, dass der Biosphärenpark zu den Gebieten mit den höchsten N-Konzentrationen in Österreich gehört.

Vanadium (V) Karte 16

Vanadium (OZ 23, AM 50,9) ist nur für bestimmte Organismen essentiell. In größeren Konzentrationen kommt es z.B. in den Vanadozyten im Blut von Seescheiden (Ascidien) vor. Es wird auch für die N₂-Fixierung durch Bakterien benötigt und ist essentiell für Hühner und Ratten, möglicherweise auch für den Menschen. Die genaue Funktion von V ist in diesem Fall unklar, vermutlich spielt es aber im Energiehaushalt eine Rolle. In größeren Konzentrationen ist Vanadium aber hoch toxisch für Tiere, ist akkumulativ und karzinogen. Der natürliche Gehalt in Pflanzen liegt zwischen 0,5 und 4 ppm.

Über 80 % des gewonnenen Vanadiums wird als Zusatz zu Eisen- oder Stahllegierungen verwendet, vor allem für den Einsatzbereich von Geräten mit besonderer Belastung (Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen, besonders widerstandsfähige Werkzeuge, Rostschutz). Vanadium wird auch als Katalysator in der chemischen Industrie eingesetzt (Kunststoffherzeugung). Häufigste Emissionsquellen sind die Metallproduktion, Flugaschen aus Öl- und Kohleverbrennung, Zementwerke und Ö raffinerien.

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $1,14 \pm 0,5 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum 0,49 μg , Maximum 2,5 μg). Das Verteilungsmuster ist ähnlich dem der meisten anderen Elemente. Die Durchschnittskonzentrationen im Biosphärenpark sind fast identisch mit jenen aus ganz Österreich (1,15 μg).

Zink (Zn) Karte 17

Zink (OZ 30; AM 65,4) ist als Bestandteil vieler Enzyme ein für Pflanzen und Tiere essentielles Element. Es ist nur in sehr hohen Konzentrationen toxisch und reichert sich im menschlichen Körper nicht an. Akute Zinkvergiftungen äußern sich bei Pflanzen im Vergilben der jungen Blätter und Absterben des Vegetationspunktes, bei Tieren in Infertilität und Hautveränderungen. Zinkmangelercheinungen treten häufiger auf als Überdosen und sind dementsprechend bedenklicher. Moose dürften einen relativ hohen Eigengehalt an Zink haben (ca. 20 $\mu\text{g/g}$), welcher unabhängig von den Emissionen ist und bei Depositionsberechnungen zum Abzug zu bringen ist.

Zink wird in erster Linie als Rostschutz von Eisen- und Stahlprodukten verwendet. Sowohl anorganische als auch organische Zinkverbindungen finden eine äußerst breite Verwendung. Zinkoxid (ZnO) wird z.B. in Salben, Düngemitteln, Pigmenten oder Autoreifen verwendet. Einige dieser Verbindungen sind toxisch (z.B. Zinkvitriol) oder karzinogen (Zinkchromat).

Hauptemittenten von Zink sind Zn-verarbeitende Industrien, Buntmetallindustrie, aber auch Kohlekraftwerke und die Verbrennung von Kraftstoffen durch Fahrzeuge. Zink wird vermutlich auch durch den Reifenabrieb freigesetzt. Zink besitzt nach Pb und Cd den dritthöchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor (Faktor 3).

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

Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet beträgt $33,2 \pm 5,6 \mu\text{g/g}$ Trockengewicht (Minimum 24 μg , Maximum 43 μg). Zn zeigt im Gegensatz zum Großteil der untersuchten Elemente einen starken West-Ost Gradienten im Biosphärenpark. Die Durchschnittskonzentrationen im Biosphärenpark liegen nur wenig über jenen aus ganz Österreich (31,4 μg).

3.2.2. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs)

PAHs sind aus zwei oder mehreren kondensierten sechs- bzw. (seltener) fünfgliedrigen Ringen aufgebaut, und enthalten ausschließlich Kohlen- und Wasserstoffatome im Molekül. Die Anzahl der PAHs ist sehr groß. In der vorliegenden Studie wurden 17 verschiedene PAHs analysiert, wobei es sich vorrangig um jene 16 PAHs handelt, welche von der US-Environmental Protection Agency (EPA) als besonders umweltrelevant eingestuft wurden. Dazu wurde noch Coronen analysiert, weil diese Substanz als guter Indikator für Emissionen aus dem Verkehr gilt.

Es wurden folgenden Substanzen analysiert: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, Dibenzo(a,h)anthracen, Benzo(g,h,i)perylen und Coronen

PAHs entstehen zum Teil natürlich (z.B. Waldbrände), der weitaus größte Teil wird aber bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material und bei Pyrolyseprozessen freigesetzt. Die wichtigsten Emitenten von PAHs sind der Hausbrand (vor allem in den

Wintermonaten), der KFZ-Verkehr und verschiedene Industriebetriebe (Raffinerien, Stahlproduktion).

Einzelnen Vertreter dieser Gruppe sind hoch karzinogen / mutagen (z.B. Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(a)anthracen). Hochmolekulare PAHs weisen in der Natur eine stärkere Akkumulation auf als niedermolekulare und wasserlösliche. Die Akkumulation erfolgt vor allem in fetthaltigen Gewebe.

In Tabelle 8 sind die Gehalte der untersuchten PAHs an den einzelnen Standorten aufgelistet. Zum Vergleich wurden auch die Werte eines österreichischen Hintergrundstandortes (bei Untertauern, Bundesland Salzburg) aufgelistet.

Die Summe aller EPA-PAHs, ein in der Literatur häufig angeführter Richt- und Vergleichswert zeigt die durchschnittliche geringe Belastung des Gebietes mit PAHs. Allerdings gibt es auch große Ausnahmen. Zwei Standorten unterscheiden sich deutlich von den übrigen. Vor allem am Standort Perchtoldsdorfer Heide wurden signifikant höhere Werte gefunden als an allen anderen Standorten. Dies betrifft u.a. auch die hoch karzinogenen Substanzen (z.B. Benzo(a)pyren, Benz(a)anthracen). Diese erhöhten Werte könnten sowohl auf die an die Heide anschließenden Siedlungen mit ausschließlich privater Feuerung, als auch auf die allgemeine Prallhanglage gegenüber dem Stadtgebiet zurückzuführen sein.

Eine intermediäre Position zwischen diesem relativ belastetem Standort und den restlichen nimmt der Standort nördlich von Klosterneuburg ein. Auch hier sind einige PAHs deutlich erhöht (Fluoranthren, Benzo(b)fluoranthren, Pyren).

Die übrigen sieben Standorte weisen im internationalen Vergleich sehr geringe PAH Konzentrationen auf (z.B. Holoubek, 2000, Orlinski, 2002; Ötvös et al. 2004). Im Vergleich zu österreichischen Hintergrundwerten (aus Zechmeister et al., 2006c) sind die Konzentrationen nur ganz schwach erhöht. Dies ist auf lokalen Hausbrand und die angrenzende Bundeshauptstadt zurückzuführen.

Die interpolierte Gesamtsummen der EPA-PAHs an den einzelnen Standorten (Karte 36) korrelieren hoch signifikant mit den interpolierten Werten der TSP und PM₁₀-Werten der einzelnen Messstationen, aber auch mit den Winter Werten von SO₂, was den hohen Anteil der Heizung an der PAH-Emission und daher auch den PAH-Gehalten in Moosen unterstreicht.

Tabelle 8. Konzentrationen der EPA-16 PAHs (Polyzyklische Kohlenwasserstoffe) incl. Coronen in Moosen an den untersuchten Standorten (in ng/g Trockengewicht); Mw-Mittelwert; Std.-Standardabweichung; Hintergrund – Werte eines österreichischen Hintergrundstandortes.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	Mw	Std	Hintergrund
Naphthalin	2,5	7,9	11	11	1	5,9	13	7,3	2,9	7,3	4,2	6,7
Acenaphthylen	1,4	1,4	0,3	0,3	6,6	0,3	1,0	0,3	0,76	0,6	2,0	0,30
Acenaphthen	3,4	2,3	3,1	5,7	3,0	2,1	2,9	2,3	4,9	3,1	1,2	1,8
Fluoren	4,8	5,2	6,5	6,6	5,6	4,6	5,3	3,8	4,9	4,6	0,9	3,9
Phenanthren	47	37	33	41	63	36	31	24	30	30,1	11,6	55
Anthracen	2,8	2,1	1,8	1,2	12	1,9	1,7	1,6	1,3	1,6	3,3	1,4
Fluoranthen	55	35	21	13	140	19	15	17	15	16,4	41,0	14
Pyren	42	25	17	8,5	94	14	12	13	11	12,7	27,2	12
Benzo(a)anthracen	18	5,7	6,3	2,9	32	5,0	3,7	5,0	3,9	4,4	9,7	1,5
Chrysen	27	14	8,7	5,6	59	9,6	7,8	8,7	7,3	8,4	17,3	4,0
Benzo(b)fluoranthen	46	18	9,6	8,3	73	18	12	13	8,8	12,9	22,1	4,3
Benzo(k)fluoranthen	18	6,9	5,2	3,6	38	6,1	4,9	5	4,7	5,3	11,3	2,7
Benz(a)pyren	29	11	8,4	5,6	59	9,5	8,0	8,8	7,3	8,4	17,5	3,5
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	27	15	9,7	8,2	64	13	10	11	9,4	10,8	17,9	2,6
Dibenz(a,h)anthracen	5,2	1,7	0,5	0,5	9,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,0	0,81
Benzo(g,h,i)perylen	25	16	8,8	7,1	57	12	9,2	10	9,6	10,3	15,7	3,8
Coronen	6,6	8,4	4,0	3,0	18	5,1	3,1	3,5	2,2	3,5	4,8	3,6
Summe EPA PAH	360	210	150	130	730	160	140	130	120	137		120

3.3. Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse der Epiphytenkartierung und Moosanalytik mit Klima-, Standorts- und Messdaten von Luftgütestationen der Gemeinde Wien bzw. des Landes Niederösterreich.

Um primär die Güte der mittels Epiphytenkartierung gewonnenen Ergebnisse zu validieren wurde ein Vergleich mit einer großen Anzahl an Parametern durchgeführt, welche die IAP-Ergebnisse theoretisch beeinflussen könnten (siehe z.B. Frahm 1998, Franzen 2001, Zechmeister & Hohenwallner 2006).

Es wurden 5 Kategorien an Daten in die Berechnungen miteinbezogen:

- 1.) Ergebnisse der IAP-Kartierung (IAP Klassen und IAP Werte)
- 2.) Ergebnisse der Moosanalytik (Schwermetallkonzentrationen, Summe der EPA PAHs)
- 3.) Standortparameter der Epiphytenkartierung (Baumart, Habitattyp, Seehöhe, Geologie, Geomorphologie, Inklination, Exposition, Bodenfeuchte, Einfluss offener Gewässer)
- 4.) Klimavariablen (Jahresniederschlag, Durchschnittstemperatur, Luftfeuchtigkeit - Jahresmittelwerte der Jahre 2000 – 2004, sowie getrennt nach Sommer- und Winterwerten)
- 5.) Messdaten aus Luftgütestationen der Gemeinde Wien und des Landes Niederösterreich (NO₂, SO₂, TSP, PM₁₀ - Jahresmittelwerte der Jahre 2000 – 2004, sowie getrennt nach Sommer- und Winterwerten)

Die Korrelationsanalyse zwischen den IAP Werten / Klassen und den Standortvariablen (3) zeigte keine signifikanten Abhängigkeiten. Dieses Ergebnis ist erstaunlich. In vielen Studien wird auf die Abhängigkeit zwischen Standortparametern und Faktoren wie Bestandestyp oder Exposition hingewiesen, welche das Ergebnis beeinträchtigen. Da sich in dieser Untersuchung keine diesbezüglichen Zusammenhänge zeigten, bedeutet dies, dass die IAP Werte ausschließlich von der Luftgüte beeinflusst sind!

Da sich die Daten der Klima- und Luftgütemessstationen nicht mit jenen der IAP-Kartierung decken, mussten alle Daten der Messstationen flächendeckend interpoliert werden. Daraus ließen sich für jeden Messparameter Werte an den einzelnen IAP Punkten ableiten. In Tabelle 9 finden sich alle den einzelnen Punkten zugeordneten Werte.

Tabelle 9. Gemeinsame Darstellung der durch die IAP Kartierung erhobenen Ergebnisse mit Messdaten, welche durch Interpolation aus den Klima – und Luftgütemessstationen erhoben, und den einzelnen untersuchten Punkten zugeordnet wurden. IAP-W – IAP Wert; IAP-K – IAP Klasse; NS – Summe Jahresniederschlag in mm; T – durchschnittliche Jahressumme der Temperatur in °C; LF – Luftfeuchtigkeit (Jahresdurchschnitt); NO2s – durchschnittliche Sommerwerte NO₂; NO2w- durchschnittliche Winterwerte NO₂; TSP - total suspended particles, PM10 - particulate matter < 10 µm.

Standort	Seehöhe	IAP-W	IAP-K	NS	T	LF	NO2	NO2s	NO2w	SO2	SO2s	SO2w	TSP	PM10
Eichberg Plankenberg	241	10,2	3	680	112	75	13	7	15	5	5	5	23	23
Hocheichberg St.Cristophen	336	21	4	800	103	76								
Haberg Penzing	366	7	2	740	109	74	13	7	17	7	5	6	25	21
Troppberg	431	0	1	760	103	74	13	9	17	9	7	7	25	25
Tulbinger Kogel	460	9,3	3	680	103	75	9	7	13	13	9	9	25	25
Stadtwäldchen Buchberg	345	25,3	4	740	100	74	19	13	25	5	5	8	25	29
Leopoldsberg	397	5,5	2	660	109	73	19	13	25	5	5	7	25	
Cobenzl	451	1,7	1	680	106	73	15	11	21	5	3	6	23	25
Sauberg Weidlingbach	276	0,8	1	720	103	74	15	11	19	5	3	6	23	25
Hermannskogel	499	6,5	2	700	106	73	13	9	17	5	3	6	21	25
Schafbergbad	326	0,8	1	700	106	73	19	13	23	5	3	6	25	23
Schwarzenbergpark Neuwaldegg	327	2,7	1	720	106	74	17	13	23	5	3	6	25	23
Pulverstampfor Lainzer Tiergarten	239	4,4	1	740	100	74	17	13	21	7	5	7	25	25
Deutscher Wald Purkersdorf	333	10,6	3	760	100	74	17	13	21	7	5	7	27	25
Bihaberg Pressbaum	417	0	1	760	100	74	15	9	19	7	5	7	27	23
Hochstraß	567	16	3	800	103	74	13	9	15	5	5	6	27	21
Laaben	411	11,7	3	900	94	76								
Hainbach Klausen Leopoldsdorf	456	14	3	800	100	73	13	11	17	5	5	7	29	21
Festenberg Breitenfurt	399	4,4	1	760	103	73	19	15	23	7	5	8	29	25
Lainzer Tor Lainzer Tiergarten	295	27,1	4	700	103	74	21	17	25	5	3	7	29	25
Faßlberg Mauer	303	22,6	4	720	103	73	23	19	27	5	5	8	31	25
Eichberg Gießhübl	490	12,3	3	680	103	72	23	19	29	5	5	8	31	25
Eichkogel Sparbach	343	7,2	2	700	103	72	21	17	27					

Standort	Seehöhe	IAP-W	IAP-K	NS	T	LF	NO2	NO2s	NO2w	SO2	SO2s	SO2w	TSP	PM10
Klauswies_Altenmarkt	494	5,7	2	900	94	73	15	11	19					
Klammhöhe_St.Corona	612	9,9	3	920	94	75								
Neuhaus	461	23,9	4	880	94	73	17	13	23					
Gutental_Meyerling	427	17,5	4	780	100	72	19	15	25					
Siegenfeld_Gaaden	366	20,8	4	660	103	72	21	17	27					
Lindenberg_Hirtenberg	340	9	2	700	100	73								

Diese Tabelle ist wohl eines der wertvollsten Ergebnisse, weil z.B. mittels dieser Tabelle eine unmittelbare Zuordnung von Luftgütwerten zu den IAP Werten möglich ist. Dies ist wissenschaftlich gesehen eine Innovation. Der durchschnittliche IAP Wert von 10.6 entspricht im Gebiet z.B. folgenden Schadstoffwerten: $16.8 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$, $6.1 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, and $24.2 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$.

Es konnten signifikante Korrelationen zwischen den IAP Werten und folgenden Parametern gefunden werden:

NO₂-Gesamt (0.553; $P = 0.004$), NO₂-Sommerwerte (0.575; $P = 0.003$), NO₂-Winterwerte (0.552; $P = 0.004$); SO₂-Winterwerte (0.511; $P = 0.021$), PM10 (Staub) (0.561; $P = 0.013$) und Wintertemperatur (-0.480; $P = 0.008$).

Die genannten Korrelationen zeigen den hohen Einfluss der Parameter NO₂ und SO₂ auf die Verteilung der Moose, und umgekehrt die hervorragenden Indikatoreigenschaften der Moose bezüglich der beiden Schadstoffe. Vor allem die Winter-Emissionen zeigen eine besondere Bedeutung für die Vielfalt und Vitalität der Indikatorarten. Aufgrund der signifikanten Korrelation der Wintertemperaturen mit den SO₂-Winterwerten (-0.724; $P = 0.000$) und den PM10 Messungen (0.544; $P = 0.016$) kann auch der Feinstaub im Winter im Untersuchungsgebiet primär auf Verbrennungsprozesse im Winter zurückgeführt werden. PM10 wirken sich kaum auf die Verbreitungsmuster von Moosen aus, aber durch die Korrelation von PM10 und SO₂ kann die IAP-Methode auch als Indikator für die PM10 Verteilung gelten.

In einer multiplen Regression wurde weiters der graduelle Einfluss von sieben Variablen getestet (Seehöhe, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, SO₂, NO₂, TSP, PM10). Die Ergebnisse dieser multiplen Regression ($F=3.52$; R^2 49.4 %; $P=0.031$) zeigen statistisch signifikanten Einfluss vor allem der Variablen SO₂ ($P=0.013$), TSP ($P=0.013$) und der Luftfeuchtigkeit ($P=0.04$). Der PCA-Biplot (Abb. 4) zeigt gleichfalls die Bedeutung der angegebenen Variablen („cumulative percentage“ der beiden ersten Achsen ist 51.8%).

Der Zusammenhang zwischen IAP-Werten und den Moos-Analysedaten war gering. Dies ist nicht erstaunlich, da Moose gegen Schwermetalle weitgehend resistent sind (z.B. Zechmeister et al., 2003), und daher haben hohe Schwermetallkonzentrationen auch keinen Effekt auf die Biodiversität und somit die IAP Werte. Nur Pb korrelierte mit den IAP Werten (0.510; $P=0.05$), Pb zeigte aber auch Zusammenhänge zur Wintertemperatur (-0.559; $P=0.003$) und TSP (0.649; $P=0.002$). Dies deutet auf einen direkten oder indirekten Zusammenhang mit Hausbrand

und Heizung im allgemeinen hin. Cu korrelierte mit den TSP (0.505; P=0.023), was auf den Anteil der TSP am Verkehr hinweist.

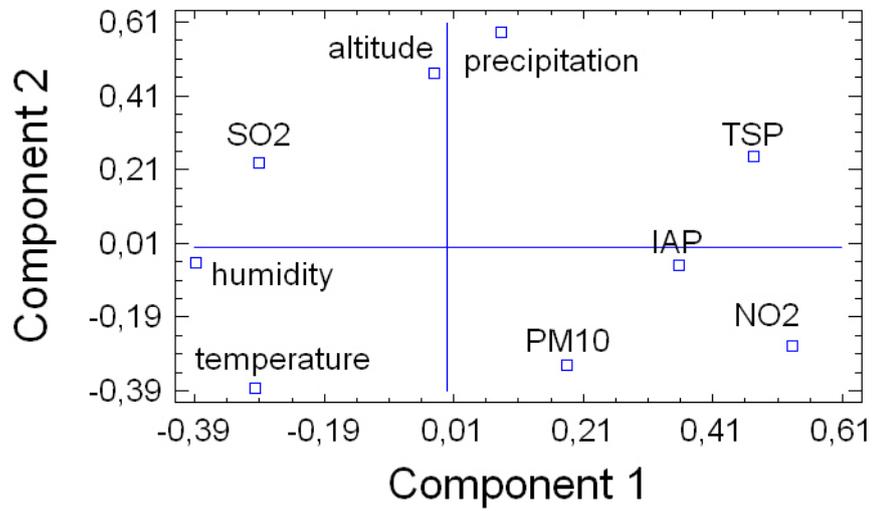


Abb. 4. PCA-Component Plot ausgewählter Variablen; "cumulative percentage" der Achsen 1 und 2 ist 51,8%.