

Forstpflanzenbeschaffenheit 2004. Intensiv-Messstellen Baden-Württemberg

Zur Weiterentwicklung eines passiven Biomonitoringverfahrens für PAK und Hg wurde im Mai 2004 eine Pilotuntersuchung geplant und durchgeführt. Eine besondere Eignung war diesbezüglich vom Rinden- und Nadelmonitoring zu erwarten. Dabei war eine wichtige Praktikabilitätsforderung, dass die Beprobungen an lebenden Bäumen möglich sein sollten.

Für die Untersuchung wurde die Intensivmessstelle Wilhelmsfeld ausgewählt, um dort synergetisch, mit nur geringem Zusatzaufwand, die Biomasse-Stoffpools für PAK und Hg, und zusätzlich für weitere Spurenstoffe abschätzen zu können.

Probennahme 5.5.2004

Folgende Kompartimentierung des Bestands (Wilhelmsfeld: Fichte Reinbestand, ca. 90 jährig) wurde vorgenommen: Holz, innere (R_i) und äußere Rinde (R_A) sowie einjährige, zweijährige und alle älteren Nadeln (Nadeln_{1a/ 2a / >2a}).

Um eine eventuelle Höhenverteilung abbilden zu können, wurden die Holz- und Rindenproben aus 1,5 m, 7 m und 20 m Höhe genommen. Bei der Nadelbeprobung wurden 2 Äste aus dem Zentrum der Krone gesägt und am Boden beprobt.

Aus Aufwandsgründen wurde nicht weiter nach Wetterseite bzw. Nicht-Wetterseite differenziert, jedoch wurden mögliche Verteilungsunterschiede berücksichtigt, indem Mischproben von gleichen Teilen beider Seiten gebildet wurden. Auch konnte die Probennahme zunächst nur an einem Probenbaum (UMEG5) durchgeführt werden.

Um speziell bei den anorganischen Spurenstoffen Kontaminationen zu vermeiden, wurde zur Rindenbeprobung Keramikmesser, für die Holzbeprobung TiN-beschichtete 8 mm HSS-Bohrer verwendet.

R_A wurde beprobt, indem die äußerste Rindenschicht mit dem Keramikmesser stammumlaufend abgekratzt wurde, bis der rötliche Farbton der inneren Rinde deutlich zu erkennen war (ca. 1 mm). An der gleichen Stelle wurde anschließend die verbleibende Rinde in 2



Rinden- und Holzprobennahme in 7 m Höhe



Kiefer (UMEG5) im Bestand Wilhelmsfeld nach Rinden und Holzbeprobung in 1,5 m Höhe

Datenkennblatt

Probennahme	5.5.2004,UMEG
Labor	UMEG-Labor
Grundparameter	S
Spurenelemente	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn
Organische Stoffe	PAK (EPA), 6 PCB, HCB
Biomassen-Berechnung	FVA BaWü, Abtlg. Biometrie und Informatik, Dr. Kändler
Waldinventuren	FVA BaWü
Auswertung	UMEG, Abschluss, 28.06.2005

dünnen Längsstreifen (Wetter- und Nichtwetterseite) bis auf das Kambium mit dem Keramikmesser herauspräpariert (R_T). Eine quantitative Trennung erwies sich dabei aufgrund der Rauigkeit der Fichtenrinde als unmöglich.

Aus den entstandenen offenen Stellen wurden schließlich Holzproben erbohrt und die Wundstellen mit fungizidhaltigem Baumharz verschlossen.

Um Verschmutzung bei der Nadelbeprobung zu vermeiden, wurden die beiden herausgesägten Äste abgeseilt. Die Zweige der betreffenden Jahrgänge wurden mit einer Gartenschere sauber in die entsprechenden Glasgefäße geschnitten.

Analytik

Alle Proben wurden in einem speziell für Hg-Untersuchungen bestimmten (kontaminationsfreien) Trockenschrank bei 30° C getrocknet und mit einer speziellen Pflanzenmühle (gemäß Vergleichsuntersuchungen kontaminationsfrei) zerkleinert und homogenisiert.

Anorganische Spurenstoffe: Aufschluss von 0,5 g Probe mit 5 ml HNO_3 (65%) und 0,3 ml H_2O_2 (30%) in der geschlossenen Mikrowelle 30 Minuten bei 200° (für Hg unter Zugabe von Kaliumdichromat zur Stabilisierung). Auf 60 ml aufgefüllt mit H_2O und Messung am ICP-MS (As, Sb, Pb) bzw. ICP-OES (S, Cd, Cr, Ni, Zn), Hg am AAS mittels Kaltdampftechnik.

Organische Spurenstoffe: Extraktion der Proben mit Hexan/Aceton am Soxhlett und Reinigung der Extrakte über Kieselgel. Trennung der gereinigten Extrakte über Aluminiumoxid in eine PCB/HCB- und PAK-Fraktion. Messung nach der Methode der Internen-Standardisierung mit GC-MSD.

Ergebnisse: Gehalte

Die gemessenen Gehalte sind in umseitiger Tabelle dargestellt.

Eine deutliche Höhenabhängigkeit bei den Gehalten zeichnet sich nicht ab. Überwiegend weist die 7 m Höhe die höheren Gehalte auf, jedoch ist dies angesichts der kleinen Parallelnzahl möglicherweise zufällig.

Sehr aufschlussreich ist dagegen die Verteilung der Gehalte auf die verschiedenen Kompartimente: Gehaltsmaxima treten meist in der äußeren Rinde auf, so bei PAK, PCB und HCB und nahezu allen Schwermetallen. Hier ist demnach von einem massgeblichen Immissionseinfluss auszugehen.

Ausnahmen hiervon sind lediglich Zn aber auch Cd, denen damit eine systemische Bedeutung zukommt.

Bei allen nicht-systemischen Komponenten weist das Holz die geringsten Gehalte auf, bei den systemischen interessanterweise nicht das Holz, sondern die Nadeln (pflanzenphysiologisch noch zu deuten).

Bei den Nadelgehalten zeigen sich sehr deutliche jährliche Zunahmen bei Hg mit nahezu linearem Zuwachs, weniger deutliche bei As und vielleicht Cr. Abnahmen sind bei Zn und PCB bei den Nadeljahrgängen > 2 Jahre zu beobachten (ansatzweise auch bei Cd). Sonst, und interessanterweise auch bei PAK, sind beim Jahresgang der Nadelgehalten nur geringe und ungerichtete Streuungen zu beobachten.

Parameter	Holz 1,5 m	Holz 7 m	Holz 20 m	R _I 1,5 m	R _I 7 m	R _I 20 m	R _A 1,5 m	R _A 7 m	R _A 20 m	Nadeln 1 a	Nadeln 2 a	Nadeln > 2 a
S mg/g TS	<0.1	<0.1	<0.1	0.42	0.46	0.47	1.12	1.60	1.60	0.90	0.94	0.92
As µg/g TS	0.04	<0.03	<0.03	0.28	0.24	0.22	0.52	0.72	0.86	0.05	0.08	0.10
Cd µg/g TS	0.40	0.44	0.51	2.93	3.83	1.96	1.94	1.30	0.74	0.05	0.06	0.04
Cr µg/g TS	<0.2	<0.2	<0.2	0.23	0.27	0.20	2.63	4.24	4.30	0.38	0.40	0.41
Cu µg/g TS	-	-	-	3.42	3.52	5.08	14.40	10.48	13.37	-	-	-
Ni µg/g TS	<0.2	0.26	<0.2	0.71	0.58	0.82	2.73	3.35	4.50	2.58	3.25	3.01
Pb µg/g TS	(3.03) ¹	0.4	<0.2	5.1	4.2	3.6	103.8	74.6	91.2	0.3	0.5	0.5
Sb µg/g TS	-	<0.02	0.21	0.04	0.05	0.08	1.29	1.19	1.56	0.09	0.06	0.06
Zn µg/g TS	27	20	18	253	252	172	97	56	60	11	10	6
Hg ng/g TS	6.4	6.6	5.4	44.9	65.2	46.8	163.0	178.4	187.9	17.7	34.6	52.4
Naphthalin ng/g TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acenaphthylen ng/g TS	-	-	-	0.2	0.5	<0.5	1.6	2.3	1.8	<0.2	<0.2	<0.2
Acenaphthen ng/g TS	-	-	-	0.5	1.5	<0.5	1.4	<0.2	1.6	<0.2	<0.2	<0.2
Fluoren ng/g TS	-	-	-	6	18	13.9	29	28	34	1.6	1.7	1.6
Phenanthren ng/g TS	-	-	-	37	76	66	375	380	415	10	8.4	9.2
Anthracen ng/g TS	-	-	-	0.3	0.54	0.6	3.5	4.7	4.2	<0.2	<0.2	-
Fluoranthren ng/g TS	-	-	-	12.0	22.0	23.0	215.0	276.0	240.0	8.2	6.9	7.9
Pyren ng/g TS	-	-	-	4.5	8.2	8.9	80.0	115.0	96.0	5.9	5.6	5.6
Benzo(a)anthracen ng/g TS	-	-	-	0.5	0.8	0.8	11.0	19.0	16.0	0.8	0.6	0.6
Chrysen ng/g TS	-	-	-	1.0	1.8	1.5	28.0	46.0	39.0	2.6	2.6	2.6
Benzo(b)fluoranthren ng/g TS	-	-	-	1.0	1.6	0.9	25.0	44.0	42.0	1.4	1.7	1.5
Benzo(k)fluoranthren ng/g TS	-	-	-	0.4	0.7	0.5	12.0	21.0	18.0	0.6	0.7	0.7
Benzo(a)pyren ng/g TS	-	-	-	0.6	0.9	<0.7	16.0	29.0	26.0	0.4	0.5	0.4
Dibenz(a,h)anthracen ng/g TS	-	-	-	<0.2	<0.3	<0.5	1.9	3.6	3.4	<0.2	<0.2	<0.2
Indeno(1,2,3,c,d)pyren ng/g TS	-	-	-	0.6	1.0	<0.7	16.0	28.0	29.0	0.8	1.0	0.9
Benzo(g,h,i)perylene ng/g TS	-	-	-	0.6	1.0	0.3	15.0	26.0	27.0	0.7	1.0	0.8
PAK 16 ² ng/g TS	-	-	-	65	135	116	830	1023	993	33	31	32
PAK 12 ng/g TS	-	-	-	59	115	103	798	992	956	31	29	30
PAK 8 ng/g TS	-	-	-	5	8	4	125	217	200	7	8	8
PCB 28 ng/g TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PCB 52 ng/g TS	-	-	-	0.2	0.3	2.7	0.6	0.9	1.2	<0.2	<0.2	<0.2
PCB 101 ng/g TS	-	-	-	<0.2	0.2	0.7	1.4	2.3	2.2	0.3	0.3	<0.2
PCB 153 ng/g TS	-	-	-	0.3	0.6	0.7	3.7	5.6	4.9	0.3	0.3	0.2
PCB 138 ng/g TS	-	-	-	0.3	0.7	0.8	3.8	5.8	5.5	0.4	0.5	0.3
PCB 180 ng/g TS	-	-	-	0.3	0.6	0.3	4	6.4	4.4	0.2	0.2	<0.2
6 PCB ³ ng/g TS	-	-	-	1.1	2.4	5.2	13.5	21	18.2	1.2	1.3	0.5
Hexachlorbenzol ng/g TS	-	-	-	0.5	1.0	1.0	1.4	1.5	1.5	0.5	0.6	0.3

1: Bleiwert nicht repräsentativ, analytisch o.k. aber evtl. Inhomogenität, bei Poolberechnung nicht berücksichtigt

2: PAK 16 ohne Naphthalin (bei verwendeter Aufbereitungstechnik keine Analyse möglich)

3: 6 PCB ohne PCB 28 (Matrixeinfluss bei Messung)

Plausibilisierung der Gehalte

Komponente	Ort	Wert	Aktion	Begründung
Sb	Holz 1,5 m	Doppelbestimmung 32,8 und 11,4 µg/g	gelöscht	analytisch nicht o.k., passt nicht zu anderen Werten
Cu	Holz und Nadeln	verschiedene	gelöscht	Blindwertprobleme
Pb	Holz 1,5 m	3,03 µg/g (Doppelbestimmung 3,02 / 3,04 µg/g)	von Poolschätzung ausgeschlossen	analytisch o.k., evtl. Inhomogenität
PAK	Holz	es wurden keine Messungen durchgeführt		

Schlussfolgerungen: Biomonitoring

Für Immissionsuntersuchungen eignet sich das Biomonitoring für alle nichtsystemischen Komponenten, bzw. für alle hier untersuchten Stoffe mit Ausnahme von Zn und Cd.

Nadelmonitoring wird seit längerem erfolgreich für Immissionsuntersuchungen auch auf Hg eingesetzt, für PAK gibt es bislang nur wenige Ergebnisse (Standortfichten U5214, Klonfichten U5213). Die Untersuchung bestätigt diese Eignung. Der Hauptvorteil liegt hier in der Möglichkeit der klaren zeitlichen Zuordnung von Gehalten zu jährlichen Expositionszeiträumen.

Das Rindenmonitoring bietet dagegen den Vorteil, auch retrospektiv über das gesamte Baumalter die Immissionssituation zu erfassen. Der klare Nachteil liegt in der fehlenden zeitlichen Auflösung.

Beim Rindenmonitoring ist die Probennahme nur vordergründig einfacher. Man muss nicht in die Bäume steigen. Die äußere Rinde zu beproben, schont die Bäume und kann nützlich sein, falls analytische Bestimmungsgrenzen in anderen Kompartimenten unterschritten werden. Es besteht aber die Schwierigkeit einer reproduzierbaren Probennahme, da deponierte Schadstoffe mit starkem Gradienten auf der äußeren Rinde haften und deshalb die beprobte Schichtdicke einen extremen Einfluss auf die resultierenden Gehalte hat. Diese Schichtdicke lässt sich aber bei den meisten Baumarten aufgrund der Rauigkeit der Rinde nur mit größerem technischen Aufwand präzise reproduzieren (Hofmann 2001). Da analytische Bestimmungsgrenzen keine Rolle spielen, könnte eine Alternative darin bestehen, die komplette Rinde oberflächennormiert bis auf das Kambium zu beproben und die Gesamtstoffmenge als Vergleichs-Kennzahl zu ermitteln. Dieser Ansatz setzt zumindest ähnliche Rauigkeiten voraus, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, was ebenso schwer reproduzierbar wäre. Zudem würde dies die Bäume gefährden.

Schätzung Biomasse-Stoffpool

Die Biomasse-Berechnung für Wilhelmsfeld wurde von der FVA Baden-Württemberg, Abteilung Biometrie und Informatik durchgeführt (Kändler 2004). Verwendet wurde das Modell DHA mit neuen Biomasse-Funktionen für die Fichte nach Wirth et al. (2004). Als Eingangsgrößen werden Brusthöhendurchmesser (BHD), Höhe und Alter auf Einzelbaum-Basis benötigt. Die erforderlichen Messungen hierzu wurden in Wilhelmsfeld (Fläche 61A) bei jährlichen Inventuren durch die FVA durchgeführt.

Ausgabegrößen des Modells sind: Derbholzvolumen, Rindenvolumen (nur Stammrinde) sowie die Trockengewichte der Nadel-, Ast-, Totast-, Stamm-, Wurzel- und Gesamtbio-masse. Der Flächenbezug erfolgt durch Aufsummieren der Einzelbaumwerte und Dividieren durch die Größe des untersuchten Bestands.

Um die aus der Perspektive des Biomonitoring vorgenommene, feinere Kompartimentierung der Probennahme vom 5.5.2004 mit diesen Daten unterstützen zu können, wurden weitere Schätzungen bezüglich der Anteile der jeweiligen Unterkompartimente erfor-

derlich. Aufgrund mangelhafter Datenbasis mussten diese Schätzungen notgedrungen recht subjektiv ausfallen. Die Ergebnisse sind in umseitiger Tabelle dargestellt.

Mit den Biomasse-Schätzwerten des Jahres 2003 wurden die Stoffpools der unten stehenden Tabelle berechnet.

Als robuste Schätzgrößen können hierbei gelten alle Vorräte R_i (bei 95% Massenanteil kein maßgebliches Änderungspotential im Bereich 10 %) sowie Vorräte Gesamt-Nadeln für Parameter ohne Jahrgang (d. h. alle außer As, Zn, Hg, PCB). Das Fehlen der Ast- und Wurzelrinde hat in Wilhelmsfeld (Fichte 90-jährig) keinen maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Die Schätzgrößen der Holzvorräte können bei Cd, Zn und Hg ebenso als robust angesehen werden, bei den übrigen Komponenten wäre eine Verbesserung (nach unten) nur durch deutliche Verbesserungen bei den Bestimmungsgrenzen zu erreichen.

Die größte Unsicherheit haftet den Vorräten R_A an, sie hängen bei gegenwärtig 5% Anteil an der Gesamt-Nadelmasse stark von Änderungen im Prozentbereich ab. Jedoch

Ergebnisse der Biomasse-Berechnung für die Intensiv-Messstelle Wilhelmsfeld, Jahre 2001 bis 2003 (Messungen: FVA, Modellergebnisse: Kändler (2004), ergänzt durch grobe Schätzungen für weitere Unterkompartimente

Herkunft	Parameter	2001	2002	2003
Messung	Anzahl Bäume/Fläche	47	47	47
Messung	Flächengröße [ha]	0.20	0.20	0.20
Modell DHA	Gesamt Vorrat [m ³ mR]	81	83	84
Modell DHA	Gesamt-Biomasse [t TS]	52	53	54
Modell DHA	Vorrat [m ³ mR/ha]	405	413	422
Modell DHA	Gesamtmasse [t TS/ha]	259	265	270
Modell DHA	Holzmasse [t TS/ha]	192	196	200
Modell DHA	Astmasse [t TS/ha]	28.5	29.3	30.1
Modell DHA	Totastmasse [t TS/ha]	7.7	7.9	8.1
Modell DHA	Stammmasse [t TS/ha]	156	159	162
Modell DHA	Wurzelmasse [t TS/ha]	54	55	57
Modell DHA	Rindenvolumen [m ³ /ha]	42.4	43.2	43.9
0.4 t/m ³	Rindenmasse [t TS/ha]	16.9	17.3	17.6
95% an Gesamt	R_i -Masse [t TS/ha]	16.1	16.4	16.7
5% an Gesamt	R_A -Masse [t TS/ha]	0.85	0.86	0.88
Modell DHA	Nadelmasse [t TS/ha]	13.2	13.5	13.7
50% an Gesamt	Masse Nadeln 1 a [t TS/ha]	6.62	6.74	6.85
25% an Gesamt	Masse Nadeln 2 a [t TS/ha]	3.31	3.37	3.43
25% an Gesamt	Masse Nadeln > 2 a [t TS/ha]	3.31	3.37	3.43

Ergebnisse der Stoffpool-Schätzung für das Jahr 2003 an der Intensiv-Messstelle Wilhelmsfeld sowie Schätzung der gegenwärtigen Änderungen.

Parameter	Holz	R_i	R_A^*	Nadeln _{1a}	Nadeln _{2a}	Nadeln _{>2a}	Gesamt
Biomasse 2003 t TS/ha	200	16.7	0.9	6.85	3.43	3.43	231
Jährliche Änderung (02/03)	1.9%	1.8%	1.8%	1.7%	1.7%	1.7%	-
S kg/ha	<20	7.6	1.3	6.2	3.2	3.2	<41
As g/ha	<6.7	4.1	0.6	0.4	0.3	0.3	<12
Cd g/ha	90.7	48.5	1.2	0.4	0.2	0.1	141
Cr g/ha	<40.0	3.9	3.3	2.6	1.4	1.4	<52
Cu g/ha	-	66.9	11.2	-	-	-	78
Ni g/ha	<44.0	11.7	3.1	17.7	11.1	10.3	<98
Pb g/ha	<59.9 ¹	72.1	79.0	2.2	1.8	1.7	<217
Sb g/ha	<23.0	1.0	1.2	0.6	0.2	0.2	<26
Zn g/ha	4302	3766	62	77	34	22	8263
Hg mg/ha	1229	874	155	121	119	180	2677
Benzo(a)anthracen mg/ha	-	11.7	13.5	5.5	2.1	2.1	35
PAK 16 ² mg/ha	-	1760	834	226	105	109	3034
PAK 12 mg/ha	-	1534	804	215	99	103	2756
PAK 8 mg/ha	-	92	159	50	28	26	354
6 PCB mg/ha	-	48.4	15.4	8.2	4.5	1.7	78
Hexachlorbenzol mg/ha	-	13.9	1.3	3.4	2.1	1.0	22

* Die Stoffvorräte für R_A hängen stark vom geschätzten Massenanteil an R_{Gesamt} ab.

wären hier selbst Verdopplungen nur bei Cr, Pb und PAK von maßgeblicher Bedeutung.

Schlussfolgerungen Schätzung Biomasse-Stoffpool

Trotz aller Unsicherheiten (1 Probenbaum, teilweise intuitive Schätzungen) konnte mit der durchgeführten Untersuchung eine zumindest größenordnungsmäßige Abschätzung des Biomasse-Stoffpools erreicht werden, die aufschlussreich in der geplanten Standort-Umweltbilanz Wilhelmsfeld verwendet werden kann.

Präzisierungen sind zu erwarten durch Einbezug weiterer Probenbäume (idealerweise im Zuge von Baumernten) und Biomassen-gewichtete Mischprobenbildung, einer der Poolbestimmung gerechten Kompartimentierung (Gesamtrinde) sowie der Verbesserung der Holzanalytik bzw. -probennahme und -aufbereitung (Kontaminationsgefahr bei sehr geringen Gehalten).

Bei der Biomasse-Berechnung wäre eine Berücksichtigung der Astrinde wünschenswert, zumindest bei Abweichen von alten Fichtenbeständen.

Bei Holz sollte versucht werden, PAK mitzubestimmen (Mengenproblem bei lebenden Bäumen), da in Analogie zu Hg trotz geringer Gehalte nennenswerte Vorräte zu erwarten sind.

Ein Abgleich mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen (z. B. Trüby 1993) soll durchgeführt werden, sobald die Ergebnisse von weiteren Messstellen vorliegen.

Literatur

Kändler (2004): Ergebnisse der Biomasse-Berechnung für die Messfläche 61A (Wilhelmsfeld) mit dem Modell DHA, Datengrundlage FVA Baden-Württemberg. E-mail vom 8.8.2004. FVA Freiburg, Abtlg. Biometrie und Informatik.

Hofmann (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring. Ein neues Probennahmegerät und Verfahren zum Biomonitoring von Luftschadstoffen für akkumulierbare Substanzen mit der Möglichkeit des Fingerprintings von Immissionsquellen. Landsberg: ecomed 2001.

Trüby (1993): Zum Schwermetallhaushalt von Waldbäumen. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 33. Inst. f. Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg.

Impressum

Herausgeber	UMEG Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg
Titel	Umweltbeobachtung. Forstpflanzen. Beschaffenheit. Intensiv-Messstellen Baden-Württemberg
Ausgabe	Juni 2005
Kennung	ehem. U5231-MDBW11-J04-de
Verfasser	UMEG
Projektpartner	LfU
©	Nachdruck und Versand bei Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet
Bezug	ab Juli 2009 http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U52-M11-J04