

Beitrag zur Schwermetалldynamik auf aufgeforsteten Standorten im Einflussbereich der ehemaligen August-Bebel-Hütte in Helbra (Mansfelder Land)

Carolin FORNACON, Manfred FRÜHAUF und Heinz SCHUMANN

4 Abbildungen und 1 Tabelle

ABSTRACT

FORNACON, C.; FRÜHAUF, M.; SCHUMANN, H.: Comparison of heavy metal dynamics in afforested areas in the surrounding of the former copper metallurgical plant in Helbra (Mansfelder Land). – *Hercynia N.F.* 38 (2005): 197–207.

The smelting of the August-Bebel-Hütte (ABH) in Helbra was part of the copper shales mining period in the Mansfelder Land. The ABH was closed in 1990 but its 110 years working period resulted in very high contaminated soils in the immediate agricultural dominated vicinity. The afforestation of the highest contaminated areas started in the beginning of the seventies and continued until in the nineties. In the study five differentially afforested areas (poplar - 31 to 33 years – profile 1/ poplar, aspen - 17 years – profile 2/ poplar, sycamore maple, ash leaf maple, robinia - 15 years – profile 6/ ash, sycamore maple, lime tree - 12 years – profile 3/ larch - 12 years – profile 4) were compared with two adjacent agricultural areas (profile 5, 7) in order to determine the dynamics of the heavy metals Pb, Cu, Zn and Cd. The seven soil profiles were vertical sampled and analysed on texture, pH value, soil organic matter, total carbonate content, total content of heavy metals with aqua regia dissolution and the plant available fraction using NH_4NO_3 -solution. High and very high contaminations of the soils were only found at the O- and A-horizons of the soils. Total contents of heavy metals depended on the distance to and the main wind direction from the ABH. NH_4NO_3 -soluble topsoil fractions of the afforested areas showed an added mobilisation of heavy metals when compared to the agricultural samples. Low pH-values resulted in higher heavy metal mobilisation. In the profiles highest mobilisation for Cd the lowest for Pb was found. In contrast no relation to the pH-value was observed for Cu that might be due to lightly soluble Cu-complexes formed with carbonates and phosphates. In conclusion the afforestations have a considerable influence on the mobilisation of heavy metals. Highest mobilisation was found in profile 1 with the highest total contents of heavy metals. But in spite of lower total contents of heavy metals than profile 2 the second highest mobilisation were found in profile 4 with the lowest pH-values because of the coniferous afforestation. Trees with high C/N-ratios are available to reduce pH-value in topsoil in a very short time and enhance the mobilisation of heavy metals.

Key words: Copper mining, heavy metals, soil pollution, afforested area, change of soil properties, mobilisation, geoecological significance

1 EINLEITUNG

Das Mansfelder Land besitzt eine 800jährige Bergbau- und Verhüttungstradition mit den dazu gehörigen Folgeerscheinungen. Vor allem die Konzentrierung der Verhüttung ab den 30er Jahren auf die zwei Rohhütten in Helbra und Eisleben sowie auf die Kupfer-Silber-Hütte und die Bleihütte in Hettstedt führten in den Folgejahren zu erheblichen Umweltschäden der unmittelbar angrenzenden Flächen. Die Belastung der Flächen resultierte vor allem aus den Immissionen von schwermetallhaltigen Stäuben und SO_2 -haltigen Abgasen aus den Röstprozessen der pyritischen Erze, die das Wachstum der Nutzpflanzen auf den Landwirtschaftsflächen beeinträchtigte und somit zu starken Ertragseinbußen führte (KLETTE 1996).

Erste wissenschaftliche Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen den Emissionen der Hütten und dem Nachlassen der landwirtschaftlichen Erträge nachwiesen und Empfehlungen zu Anpassungsmaßnahmen beinhalteten, wurden in den Jahren 1971/72 und 1977 (MOSEMANN 1991) durchgeführt. Daraufhin erhielt die Sektion Forstwirtschaft Tharandt, Bereich Pflanzenchemie der TU Dresden vom damaligen Mansfeld-Kombinat den Auftrag, für die am stärksten belasteten Flächen Aufforstungs- und Begrünungsprojekte zu erarbeiten. Im Jahr 1980 legte die Sektion Forstwirtschaft Tharandt als Ergebnis ihrer Untersuchungen zunächst das „Aufforstungsprojekt für landwirtschaftliche Schädflächen im Raum Hettstedt“ vor, 1984 folgte dann das „Aufforstungsprojekt einer Brachfläche im Raum Helbra“. Die Studie zum Raum Hettstedt gibt bezüglich Gehölzartenwahl, Pflanzverbänden und zum Pflanzenalter konkrete Empfehlungen. So sind zum Beispiel Nadelhölzer, wie die Blaufichte, nicht rauchresistent und für Aufforstung belasteter Flächen ungeeignet (MOSEMANN 1991). Neben einer Versuchsfläche mit Pappeln nördlich der Brachfläche aus den Jahren 1970–72 begannen die Aufforstungen der am stärksten mit Schwermetallen kontaminierten Flächen im Raum Helbra 1986 mit der Anlage eines Staubschutzstreifen unterhalb der Kleingartenanlage „Lehbreite“. In den Folgejahren wurde der Staubschutzstreifen nach Süden weiter fortgesetzt, so dass bisher im Wirkungsbereich der August-Bebel-Hütte ein Gebiet von ca. 100 ha aufgeforstet wurde (Revierförster Kolbe, mdl. Mitt.).

2 DAS UNTERSUCHUNGSGBIET

Das Untersuchungsgebiet befindet sich östlich und südöstlich von Helbra und umfasst damit die in Hauptwindrichtung der August-Bebel-Hütte (N–NO) gelegenen Immissionsflächen. Die Region um Helbra liegt naturräumlich im östlichen Harzvorland und zählt zur regionalgeologischen Einheit der Mansfelder Mulde. Nach der forstkundlichen Einordnung werden im Mansfelder Land drei Wuchsbezirke unterschieden: Östlicher Unterharz, Ostharzer Abdachung und Hettstedter Harzvorland. Das Untersuchungsgebiet ist dabei vorrangig dem Hettstedter Harzvorland zuzuordnen. Der Bestandszieltyp der Forstwirtschaft auf dieser Ebene ist ein kolliner Traubeneichen-Hainbuchen-Linden-Wald, welcher der natürlichen Waldgesellschaft in diesem Raum entspricht (VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM 1980). Im Untergrund des Untersuchungsgebietes steht der Untere Buntsandstein an, der während der Weichselkaltzeit vom Löss überdeckt wurde. Vor allem für die Bodenbildung war der Löss als flächendeckendes Ausgangssubstrat von großer Bedeutung. Die semiariden Klima- und Vegetationsbedingungen des Früh- und Mittelholozäns führten zur Bildung von fruchtbaren Schwarzerden (ALTERMANN et al. 1978). Der nachfolgende Klimawandel, aber auch regelmäßige ackerbauliche Nutzung sowie die Nutzungsänderung von Landwirtschaftsflächen in Forstflächen bewirkten die Degradierung der Schwarzerden. Im Wuchsbezirk Eisleben treten nach SCHWANECKE (1994) infolge geringerer Lößdecken und aufgrund des Klimas hauptsächlich kräftige Braunerden, Fahlerden und degradierte Schwarzerden auf.

3 ZIELSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden fünf Aufforstungsflächen mit zwei rezent landwirtschaftlich genutzten Flächen, die sich im Lee der ehemaligen Hautemissionsquelle (August-Bebel-Hütte) hinsichtlich des Einfluss der Bewaldung auf bodenchemische Veränderungen, speziell Mobilisierungsvorgänge von Schwermetallen, miteinander verglichen. Die Aufforstungsflächen unterscheiden sich hinsichtlich der Bestandsarten und des Bestandsalters, wobei der jüngste Bestand bei der Probenahme 12 Jahre und der älteste über 30 Jahre alt war. Es wurden ein Nadelbaumbestand, ein Laubbaumbestand und verschiedene Laubbaummischbestände verglichen. Die zwei Ackerflächen dienten als „Ausgangsflächen“ und liegen in unmittelbarer Nähe der Aufforstungen (Abb. 1). Aufgrund der Heterogenität der Aufforstungen sollte untersucht werden, wie sich die Unterschiede hinsichtlich Alter und Bestand auf die Schwermetallmobilität auswirken, wobei wichtige Steuergrößen für Mobilisierungsvorgänge, wie pH-Wert, Humusgehalt und mineralische Bodenkomponenten genauer betrachtet wurden.

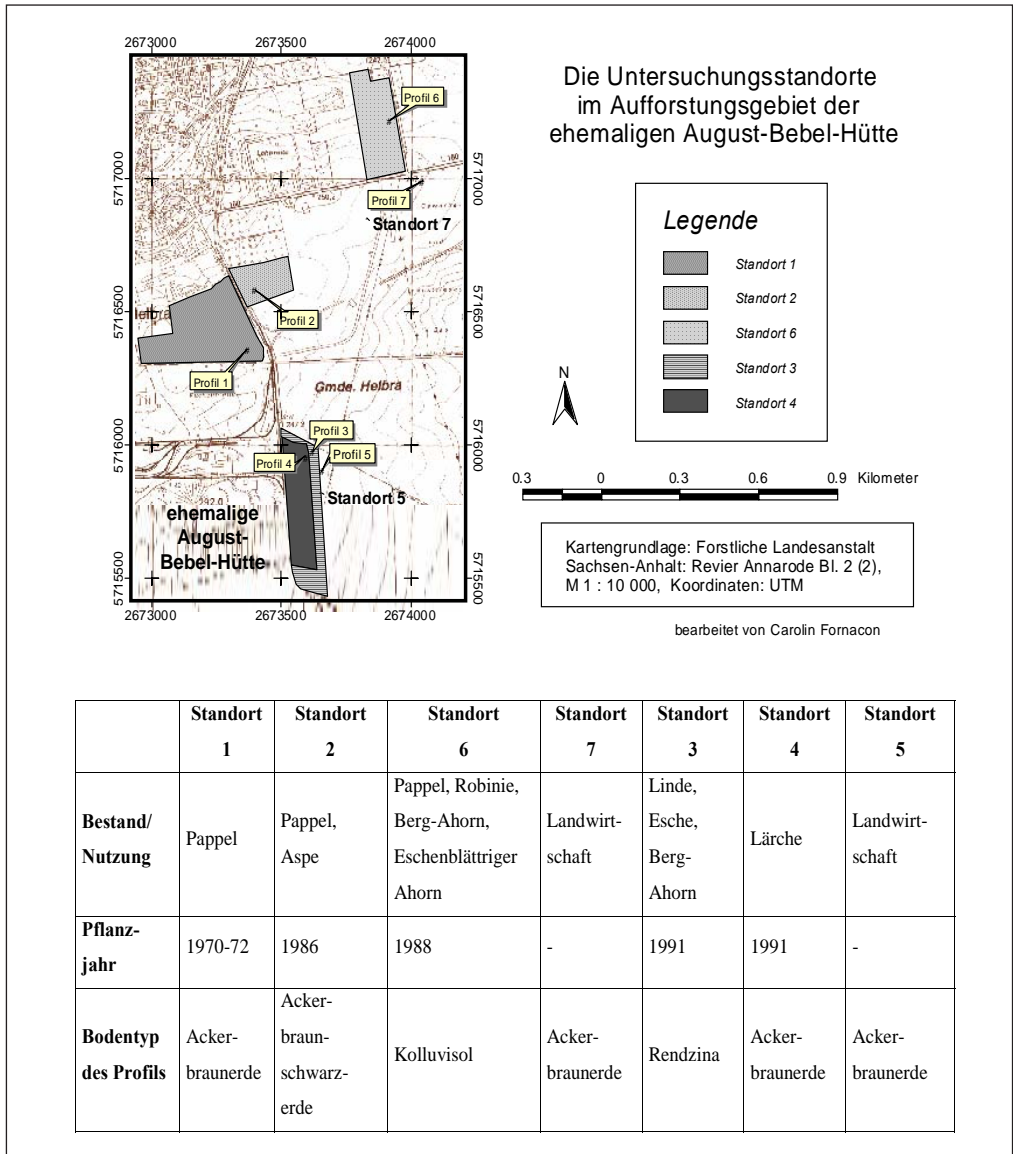


Abb. 1 Die Untersuchungsstandorte

4 METHODEN

Auf jeder Untersuchungsfläche wurde ein Bodenprofil horizontweise beprobt und falls vorhanden die organische Auflage. Den Oberböden der Aufforstungsflächen wurden jeweils vier (Beprobungstiefe: 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 cm) und den Oberböden der Ackerflächen jeweils zwei (Beprobungstiefe: 0–25, 25 bis 30 cm) Proben entnommen. Die vier Beprobungsbereiche in den Oberböden der Aufforstungsstandorte und die zwei Beprobungsbereiche in den Oberböden der Ackerstandorte werden als *Lagen* bezeichnet. In

diesem Sinne hat der „Lagen“-Begriff in dieser Untersuchung eine andere Bedeutung als im periglaziären Milieu, wo er für umgebildete Gesteine und/oder Böden der obersten Lithosphäre verwendet wird (AG BODEN 1994). Neben pedologischen Grundanalysen, wie Korngrößenanalyse, organische Substanz, Carbonatgehalt und pH-Wert wurde bei den Bodenproben der Schwermetallgesamtgehalt mittels KW-Aufschluss (DIN 38 414, Teil 7) und die mobile Schwermetallfraktion mittels NH_4NO_3 -Elution (DIN V 19 730) bestimmt. Die Analysen beinhalteten die Schwermetalle Blei (Pb), Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Cadmium (Cd).

5 ERGEBNISSE

5.1 Korngrößenanalyse

Anhand der Korngrößenverteilung wurden für die Oberböden der sieben Standorte überwiegend die Bodenart *stark schluffiger Ton* (Tu4) festgestellt. Ausnahmen sind die ersten Oberbodenlagen von Profil 4 und 6, die einen geringeren Tongehalt aufweisen und somit im Bereich der Bodenart *stark toniger Schluff* (Ut4) liegen. Dagegen weisen der Ap1 von Profil 7, die zweite Oberbodenlage von Profil 2 und der M + II fAxh und II fAxh der fossilen Schwarzerde von Profil 6 höhere Tongehalte auf, womit diese Bodenbereiche der Bodenart *mittel schluffiger Ton* (Tu3) zugeordnet werden können. Trotz sichtbarer Tonhäutchen in den B-Horizonten von Profil 2, 4, 5 und 7 bei der Profilsprache im Gelände, konnte nach der Korngrößenanalyse keine nennenswerte Tonverlagerung in die Unterböden festgestellt werden. Die C-Horizonte zeigen gegenüber den B-Horizonten in der Regel noch einmal eine Tonabnahme und bei Profil 1, 2, 4 und 7 auch eine Sandzunahme, wobei die B- und C-Horizonte der Standorte generell durch eine Abnahme der Sandfraktion gegenüber den Oberböden gekennzeichnet sind.

5.2 Organische Substanz

Die Oberböden aller Profile liegen mit einem Humusgehalt zwischen 2 und 5 % im Bereich *mittel humos*. Bis zum C-Horizont nimmt der Humusgehalt immer weiter ab und erreicht hier Werte zwischen 0 und 1 %. In den ersten 5 cm der Oberböden der Waldstandorte ist eine Humusanreicherung durch die Aufforstung feststellbar. Die Differenz im Humusgehalt zwischen der ersten und zweiten Oberbodenlage liegt bei Profil 1 bei 1 %, bei Profil 2 bei 2,8 %, bei Profil 3 bei 1,4 %, bei Profil 4 bei 1,3 % und bei Profil 6 bei 4 %. Somit zeigen vor allem die Laubbaummischbestände die höchsten Humusanreicherungen in der ersten Oberbodenlage.

5.3 Carbonatgehalt

Die Carbonatgehalte der Oberböden liegen im Allgemeinen $<0,5$ % und sind damit *sehr carbonatarm*. Ausnahmen sind die gekalkten Ap1 der Ackerböden (Profil 5 und 7) und der Oberboden der Pararendzina (Profil 3). Die Oberböden von Profil 3 und 5 mit einem Carbonatgehalt von 0,5–2 % liegen im Bereich *carbonatarm* und Profil 7 mit 2,7 % im Ap1 im Bereich *carbonathaltig*. Die beiden Ap2 der Ackerböden, die B-Horizonte von Profil 1, 4, 5 und 7 sowie der M- und der fossile A-Horizont von Profil 6 sind als *sehr carbonatarm* einzustufen. Die Auflagen von Profil 2 und 4 sind ebenfalls *sehr carbonatarm* und die von Profil 1 und 3 *carbonatarm*. Der Gehalt der Auflage von Profil 3 fügt sich damit in den Wertebereich des Oberbodens ein. Der höhere Carbonatgehalt der Auflage von Profil 1 kann auf Emissionen der Umgebung zurückgeführt werden, die sich aufgrund des Alters der Pappeln in stärkerem Maße auf diesen Standort anreichern konnten (Auskämmeffekt). Die Carbonatgehalte der C-Horizonte liegen zwischen 9 und 13 % und sind bei den Profilen 1, 2 und 6 mit Werten zwischen 7 und 10 % als *stark carbonathaltig* und bei den Profilen 3, 4, 5 und 7 mit Werten zwischen 10 und 25 % als *carbonatreich* einzustufen.

5.4 Schwermetallgesamtgehalt

Die anthropogene Kontamination der Böden mit den untersuchten Schwermetallen betrifft vor allem die organischen Auflagen und die Oberböden. Die Unterböden- und Untergrundhorizonte zeigen die ursprünglichen, geogen bedingten Metallgehalte. Eine extreme Anreicherung der Schwermetalle fand in der Auflage von Profil 1 statt. Insbesondere Cu ist hier mit 18.040 mg/kg aufkonzentriert worden. Die Ursache ist u.E. das Alter des Bestandes. Die Pappeln auf Standort 1 wurden bereits Anfang der 70er Jahre gepflanzt und waren somit in der Lage die Schwermetalle bis zur Stilllegung der August-Bebel-Hütte 1990 in einer derartigen Konzentration in der Auflage anzureichern. Die organischen Auflagen der anderen Aufforstungsstandorte enthalten weitaus geringere Mengen an Schwermetallen im Vergleich zu Profil 1, da sie entweder kurz vor der Stilllegung (Standort 2 und 6) oder erst nach der Stilllegung der Hütte gepflanzt wurden sind (Standort 3 und 4).

In den Oberböden zeigte sich eine Abhängigkeit der Gesamtgehalte von der Hauptwindrichtung und der Entfernung zur August-Bebel-Hütte. Diesen Zusammenhang veranschaulicht Abb. 2, in der die Schwermetallkonzentrationen der Oberböden nach der Bitterfelder Liste (DIECKMANN et al. 1991) klassifiziert worden sind. Hier ist deutlich erkennbar, dass Profil 1 und 2 zwar 100 bis 300 m weiter von der ABH entfernt liegen als Profil 3, 4, und 5, jedoch aufgrund der Lage in der direkten Hauptwindrichtung höhere Gesamtgehalte aufweisen. Anhand der Profile 3, 4 und 5 ist weiterhin festzustellen, dass außerhalb der Hauptwindrichtung die Höhe der Gesamtgehalte mit zunehmender Entfernung rapide abnimmt. Zwischen Profil 4 und 3 reduzieren sich die Gesamtgehalte innerhalb von 30 m noch relativ gering, da die Nähe zur ABH noch zu groß ist. Doch bei Profil 5, welches nur 20 m weiter von der ABH entfernt ist, sind die Gesamtgehalte schon um ca. die Hälfte zurückgegangen. Aber auch in Hauptwindrichtung gehen die Gesamtgehalte mit zunehmender Entfernung nach 1 bis 2 km erheblich zurück (Profil 6 und 7).

5.5 pH-Wert

Die niedrigsten pH-Werte in der Auflage und im Oberboden besitzt der Koniferenstandort Profil 4 (Tab.1). Im Vergleich zu Profil 5 mit einem pH-Wert von 7 in den ersten 25 cm des Profils hat sich bei Profil 4 innerhalb von 12 Jahren der pH-Wert um 1,3 ... 1,8 pH-Einheiten gesenkt. Bei Profil 3, dem Laubbaummischbestand gleichen Alters hat sich der pH-Wert im Oberboden dagegen nur um 0,1 ... 0,4 pH-Einheiten gesenkt. Damit hat der Lärchenbestand innerhalb von 12 Jahren den pH-Wert im Boden um das rund 4–5fache stärker abgesenkt als der Linden-Bergahorn-Eschenbestand gleichen Alters. Die zweitniedrigsten pH-Werte in der Auflage und im Oberboden besitzt Profil 2. Dies ist wahrscheinlich dadurch begründet, dass die Aspe auf Standort 2 ein Laubbaum mit einem relativ hohen C/N-Verhältnis (C/N Aspe: 77) ist und damit schwer zersetzbar Streu hinterläßt. Bei den Laubbaumbeständen zeigt sich damit ein Einfluss der Bestandsarten auf die Bodenreaktion. Baumarten mit hohen C/N-Verhältnissen sind in der Lage den pH-Wert stärker zu senken.

Tab. 1 pH(KCl)-Wert der organischen Auflagen sowie der Oberboden-, Unterboden- und Untergrundhorizonte von den Profilen

	Profil 1	Profil 2	Profil 6	Profil 7	Profil 3	Profil 4	Profil 5
org. Auflage	6,5	5,9			6,9	4,8	
OB (Lage 1)	6,4	6,1	6,5	7,5	6,6	5,2	7,0
OB (Lage 2)	5,8	5,5	5,4	5,6	6,7	5,7	6,7
OB (Lage 3)	6,0	5,8	5,3		6,9	5,7	
OB (Lage 4)	6,2	5,9	5,5		7,0	5,9	
UG ... UB	7,5 ... 6,4	7,5 ... 7,0	7,7 ... 6,0	7,6 ... 6,2	7,5 ... 7,5	7,6 ... 6,9	7,6 ... 6,8

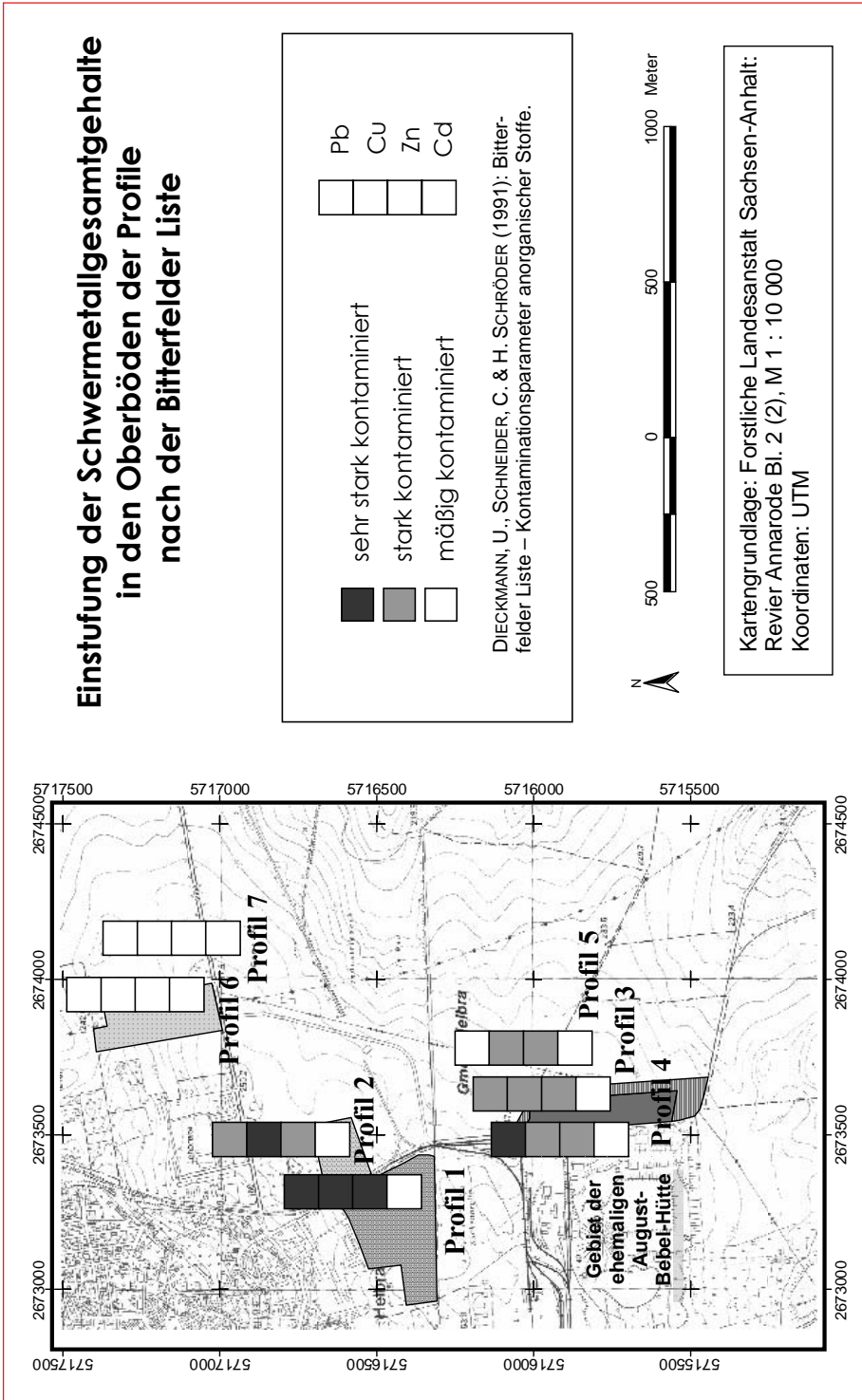


Abb. 2 Schwermetаллgesamtgehalte in Abhängigkeit von der Entfernung und der Hauptwindrichtung zur ehemaligen August-Bebel-Hütte 5.5 pH-Wert

5.6 NH_4NO_3 -mobilisierbare Schwermetallfraktion

Zur Erfassung löslicher, leicht nachlieferbarer und damit pflanzenverfügbarer Schwermetallanteile eignen sich Neutralsalzlösungen als Extraktionsmittel, für die Elution bei Boden-pH-Werten hat sich besonders 1M NH_4NO_3 -Lösung bewährt. Dass die Löslichkeit von Metallen aus Bodensubstraten generell mit dem sauren Charakter wächst, zeigen auch die erhaltenen Ergebnisse. Die NH_4NO_3 -extrahierbaren Schwermetallfraktionen der Schwermetalle Pb, Zn und Cd sind in den Oberböden der Aufforstungsstandorte deutlich mobiler als in den Unterböden. Auch in den Profilverläufen der Ackerstandorte zeigt sich die starke Abhängigkeit der mobilen Fraktion vom pH-Wert für diese Schwermetalle. In den Abbildungen 3 und 4 ist diese Abhängigkeit deutlich sichtbar am fast spiegelbildlichen Verlauf der pH-Wert- und Schwermetallkurven. Eine Senkung des pH-Wertes im Oberboden zieht somit gleichzeitig einen Anstieg der NH_4NO_3 -extrahierbaren Fraktion nach sich, sichtbar im rAp*SdAh2 von Profil 1, im rAp*Ah2 und Bv-Axh+Bv von Profil 2, im rAp*Ah1 von Profil 4, im rAp*Ah3 von Profil 6 und im Ap2 und Ah von Profil 7. Die pH-Wert-Absenkungen in den oberen Lagen der ältesten Aufforstungsstandorte stellen wahrscheinlich Versauerungsschübe durch den Baumbestand dar. Weniger abhängig von der Bodenreaktion zeigt sich dagegen Cu. Hier ließen sich die größten Mobilitäten in den Unterböden und zum Teil auch in den Ap-Horizonten der Ackerböden feststellen. Vermutlich geht hier Cu mit Carbonaten und Phosphaten leicht lösliche Cu-Komplexe ein. In der Auflage von Profil 1, 2 und 3 ist Kupfer weniger mobil als im Oberboden, was auf die nahezu neutrale Bodenreaktion und die Bindung an die organische Substanz zurückzuführen ist. Dagegen zeigt die Auflage von Profil 4 höhere Gehalte als im Oberboden, speziell für Pb und Zn sogar die höchsten und für Cd die zweithöchsten mobilen Anteile aller untersuchten Proben. Ursache ist der niedrige pH-Wert von 4,75, der bereits im *stark sauren* pH-Bereich liegt.

Insgesamt weisen die Profile 3 und 5 die geringsten NH_4NO_3 -extrahierbaren Fraktionen prozentual am Gesamtgehalt auf. Bezüglich der Mobilisierung der Schwermetalle untereinander zeigt sich Pb am immobilsten und Cd am mobilsten.

Die höchsten NH_4NO_3 -extrahierbaren Anteile prozentual am Gesamtgehalt sind für:

- Pb in der Auflage von Profil 4 und im Bv-Axh+Bv-Horizont von Profil 2 zu finden. Damit zeigt Pb verstärkt unterhalb von pH 5,5 mobile Fraktionen. Bei größeren Gesamtgehalten kann eine verstärkte Mobilisierung schon bei höheren pH-Werten einsetzen.
- Cu im M-Horizont von Profil 6, im elCc-Horizont von Profil 5 und im Ap1 von Profil 7 zu finden. Die Mobilität von Cu wird offenbar deutlicher von den bodenartabhängigen Bindungsformen bestimmt, die die pH-Abhängigkeit überlagern können. Zum Teil nehmen die mobilen Cu-Anteile bei einem pH-Rückgang ab wie im Ap2 von Profil 5 und 7 und im Ah von Profil 7, oder sie erhöhen sich bei einer pH-Zunahme wie im Oberboden von Profil 3, in den B-Horizonten von Profil 1, 4, 5 und 7 und in den C-Horizonten von Profil 5 und 7. Aufgrund der höheren Carbonatgehalte in den zuletzt genannten Horizonten bildet Cu hier wahrscheinlich lösliche Komplexe mit Carbonaten.
- Zn und Cd in der Auflage von Profil 4 und im Ah und Ap2 von Profil 7 zu finden. In diesen Lagen- und Horizontbereichen gibt es somit die größten Versauerungsschübe, auf die die sehr mobilen Schwermetalle Cd und Zn sofort reagieren.

Bezüglich der Prüf- und Maßnahmewerte des BBodSchG von 1998 (VERSTEYL et SONDERMANN 2002) ergeben sich insgesamt die höchsten Grenzwertüberschreitungen der NH_4NO_3 -extrahierbaren Fraktion in Profil 1, gefolgt von Profil 4, Profil 2, Profil 7, Profil 6, Profil 3 und Profil 5. Dabei wird in der Regel am höchsten der Grenzwert für Zn übertroffen, gefolgt von Pb, Cd und Cu.

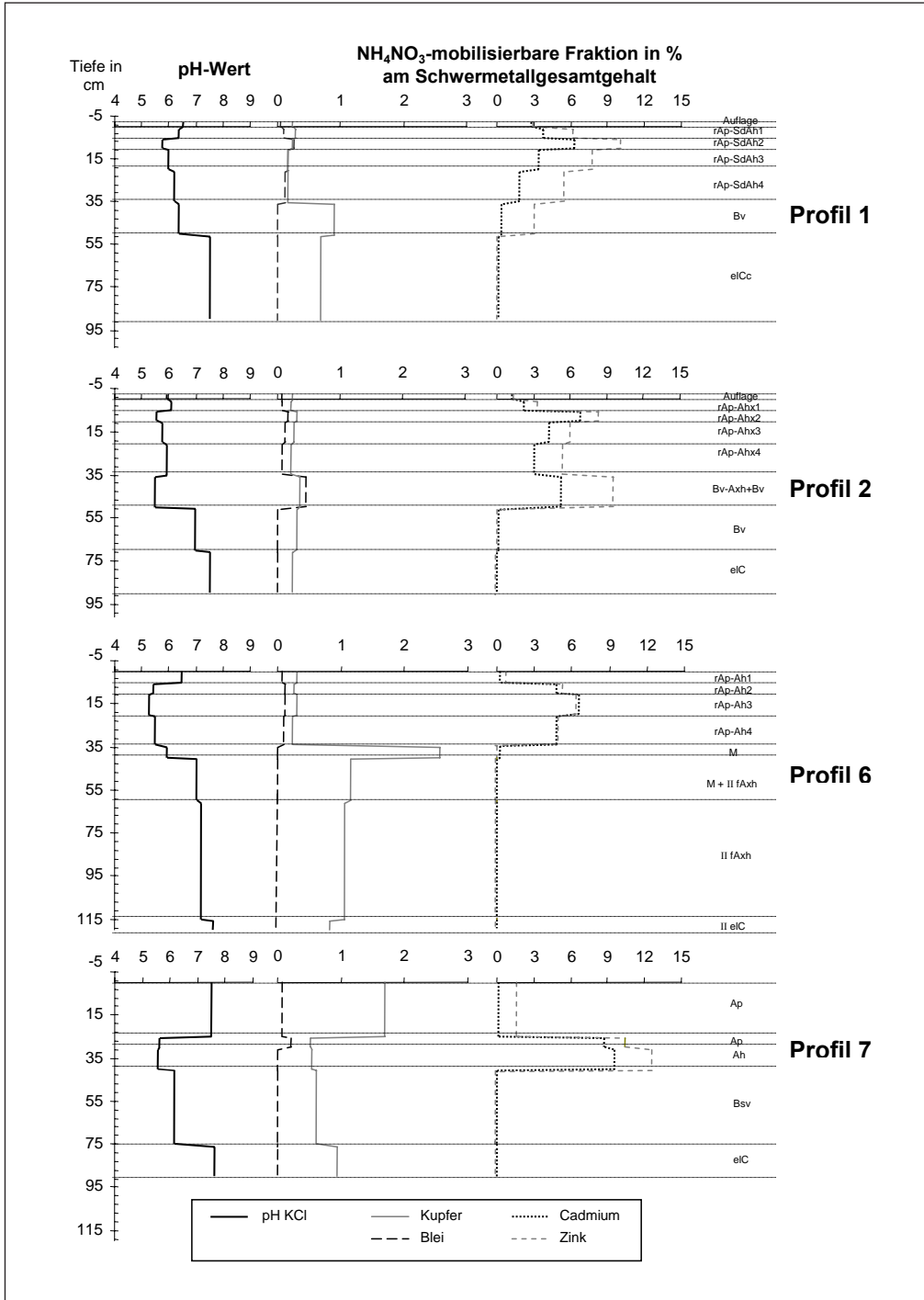


Abb. 3 Graphische Darstellung der NH₄NO₃-mobilisierbaren Schwermetаллfraktionen der Profile 1, 2, 6 und 7

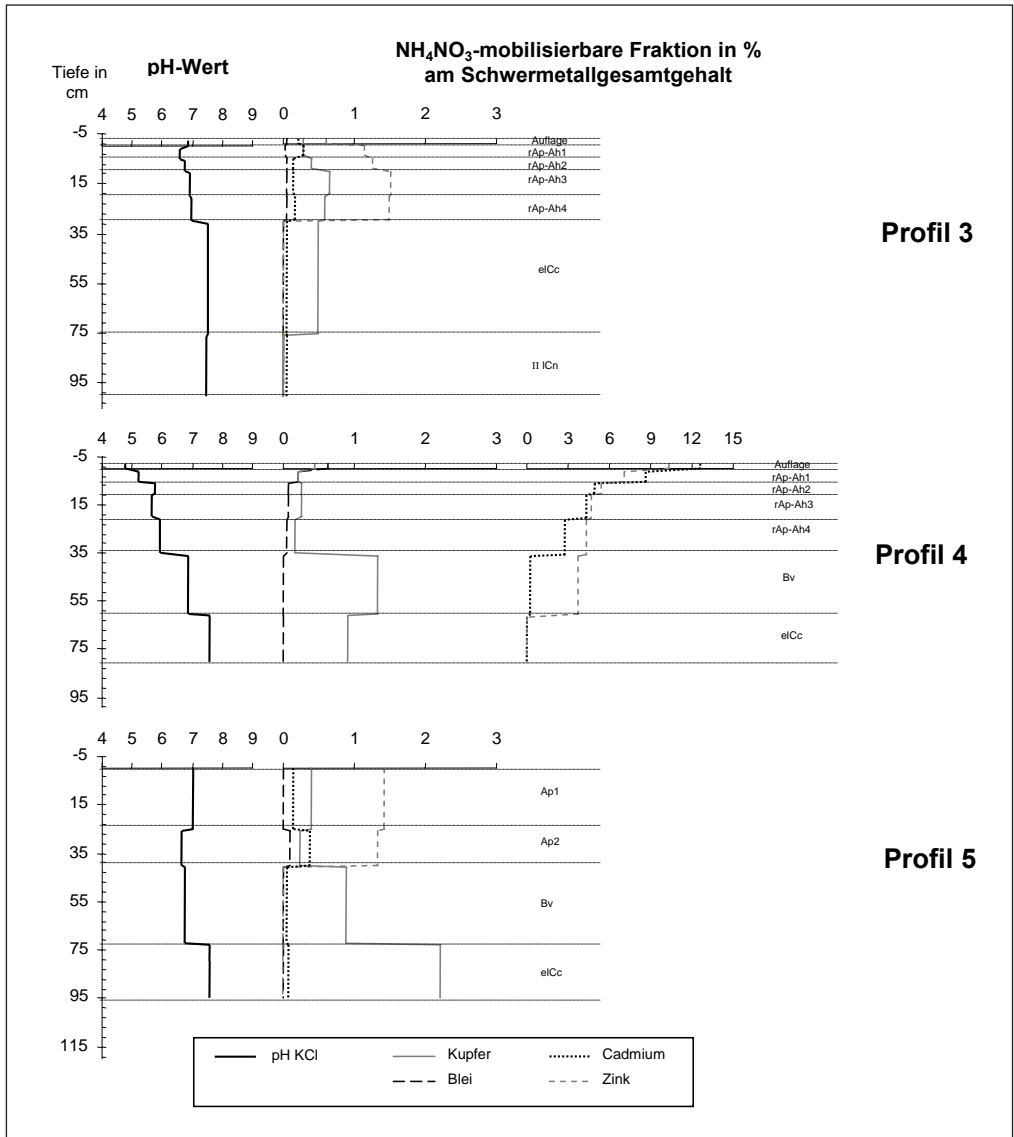


Abb. 4 Graphische Darstellung der NH_4NO_3 -mobilisierbaren Schwermetallfraktionen der Profile 3, 4 und 5

6 ZUSAMMENFASSUNG

FORNACON, C.; FRÜHAUF, M.; SCHUMANN, H.: Beitrag zur Schwermetallodynamik auf aufgeförscteten Standorten im Einflussbereich der ehemaligen August-Bebel-Hütte in Helbra (Mansfelder Land). – Hercynia N.F. 38 (2005): 197–207.

Der Vergleich der Schwermetallgesamtgehalte in den Bodenprofilen zeigte eine starke Abhängigkeit von der Entfernung und der Hauptwindrichtung zur ehemaligen August-Bebel-Hütte, die Schwermetallbelastung

betrifft die Oberböden und die organische Auflagen. Die extrem hohe Kontamination des Oberbodens und der Auflage von Profil 1 ist auf das Alter des Pappelbestandes zurückzuführen. Die Hochwüchsigkeit der Bäume und die Dauer des „Auskämmeffektes“ der Blätter unter dem Einfluss der Emissionen führten zu dieser extremen Anreicherung der Schwermetalle. Die größte Anreicherung und auch die höchste Überschreitung von verschiedenen Grenzwerten im Boden wurde für Cu festgestellt. Bezüglich der Vorsorgewerte des BBodSchG von 1998 (VERSTEYL et SONDERMANN 2002) wurden jedoch die jeweiligen Grenzwerte aller untersuchten Schwermetalle in den Oberböden aller untersuchten Bodenprofile überschritten. Der Vergleich der NH_4NO_3 -mobilisierbaren Fraktionen zwischen den Oberböden der Acker- und der Waldstandorte zeigte, dass die Bewaldung der Flächen zu einer verstärkten Mobilisierung von Pb, Zn und Cd in den Oberböden der Waldstandorte geführt hat. Diese Mobilisierung ist hauptsächlich auf die Absenkung des pH-Wertes durch die Bewaldung zurückzuführen. Die größte pH-Absenkung zeigt sich dabei in der Auflage und im Oberboden des Lärchenbestandes (Profil 4). Innerhalb von 12 Jahren wurde hier im Oberboden der pH-Wert um fast zwei pH-Einheiten vom *neutralen* in den *mittel sauren* pH-Bereich gesenkt. Im Vergleich dazu senkte sich der pH-Wert des Eschen-Bergahorn-Lindenbestandes gleichen Alters (Profil 3) nur um rund eine halbe pH-Einheit vom *neutralen* in den *sehr schwach sauren* pH-Bereich. In Abhängigkeit von der pH-Wert-Senkung wurden die Schwermetalle in unterschiedlichem Maße mobilisiert. Allein Cu verhielt sich relativ unabhängig vom pH-Wert, da es wahrscheinlich mit Carbonaten und Phosphaten leicht lösliche Cu-Komplexe bildet. In den Profilen wurde am stärksten Cd und am geringsten Pb mobilisiert. Weiterhin konnten in den Oberböden der ältesten Aufforstungsstandorte (Profil 1, 2 und 6) in der zweiten und dritten Oberbodenlage und bei Profil 2 auch im Bv-Axh+Bv-Horizont erkennbare Versauerungsschübe und daraus resultierend erhöhte Mobilitäten von Pb, Zn und Cd festgestellt werden. Um das Ausmaß der Mobilisierung bewerten zu können, wurden die Grenzwerte des BBodSchG von 1998 (VERSTEYL et SONDERMANN 2002) herangezogen. Dabei gab es bei Profil 1 die höchsten Überschreitungen. Hier bestätigte sich, dass extrem hohe, anthropogen bedingte Gesamtgehalte auch sehr hohe mobile Anteile nach sich ziehen, da die emittierten Schwermetalle überwiegend in leichter löslichen Verbindungen vorliegen. Trotz geringerer Gesamtgehalte im Vergleich zu Profil 2 wurden bei Profil 4 die zweithöchsten mobilen Anteile festgestellt, was hier auf die niedrigen pH-Werte in der Auflage und im Oberboden, bedingt durch den Nadelbaumbestand, zurückzuführen ist. Im Ergebnis dieser Arbeit stellte sich damit heraus, dass vor allem der Bestand einen erheblichen Einfluss auf die Mobilisierung von Schwermetallen hat. Dagegen konnte eine Aussage zum Einfluss des Alters aufgrund der eingeschränkten Vergleichbarkeit der Standorte nicht getroffen werden. Aufgrund der Ergebnisse sollte bei weiteren Anpflanzungen auf sehr stark kontaminierten Flächen in diesem Gebiet auf die Anpflanzung von Nadelbäumen verzichtet werden. Hinsichtlich der Laubbaumarten sollten solche mit niedrigen C/N-Verhältnissen bevorzugt werden, wie Esche (C/N: 17), Linde (C/N: 25) und Ruster (C/N: 27). Aber auch die Verwendung von Bergahorn (C/N: 36), Hainbuche (C/N: 38) oder Eiche (C/N: 39) ist prinzipiell geeignet. Der Bestandszieltyp im Raum Helbra ist ein kolliner Traubeneichen-Hainbuchen-Linden-Wald und kann somit für die weitere Anpflanzung auf sehr stark mit Schwermetallen kontaminierten Flächen empfohlen werden.

7 LITERATUR

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. B.-Anst. Geowiss. u. Rohstoffe u. Geol. L.-Ämter (Hrsg.), 4. Aufl. – Hannover.
- ALTERMANN, M.; HAASE, G.; LIEBEROTH, I.; RUSKE, R. (1978): Lithologie, Genese und Verbreitung der Löß- und Schutt-sedimente im Vorland der Skandinavischen Vereisungen. – Z. geol. Wiss., **9**: 231-255.
- Dieckmann, U.; Schneider, C.; Schröder, H. (1991): Bitterfelder Liste – Kontaminationsparameter anorganischer Stoffe. – In: Schröder, H. (1991): Komplexanalyse Bitterfeld-Wolfen, Teil Boden. – Archivunterl. L.-Amt f. Geol. Halle, unveröff. Arch. Nr. Bo 33a,b,c.
- KLETTE, W. (1996): Die Kupferproduktion im Mansfelder Land und ihre Auswirkungen auf die Umwelt. – In: Meinicke, K.-P.; Ebersbach, W. (Hrsg.): Bergbau und Umweltgeschichte in Mitteldeutschland. – Sammelband z. Kolloquium a. d. MLU Halle-Wittenberg : 95-110.

- MOSEMANN, B. (1991): Herausnahme von Flächen aus der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Nutzung als Folge von Industrieemissionen im Untersuchungsgebiet (zum Punkt Landwirtschaft). Übergabe von Unterlagen zur Aufforstung immissionsgeschädigter Flächen, Chronologie der Aufforstungsmaßnahme für die Umweltstudie „Mansfelder Land“. – Planungsunterl. Forstamt Wippra, unveröff.
- SCHWANECHE, W. (1994): Waldvermehrung auf naturräumlicher Grundlage-Möglichkeiten und Grenzen der Waldvermehrung in einem waldarmen Kreis des Landes Sachsen-Anhalt auf naturräumlicher Grundlage. – *Der Wald* **44**: 49-51.
- VEB FORSTPROJEKTIERUNG POTSDAM, BETRIEBSTEIL WEIMAR [Hrsg.] (1980): Erläuterungen zur Standortskarte des staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Hettstedt. – Weimar.
- VERSTEYL, L.-A.; SONDERMANN, W.D. (2002): BBodSchG Bundes-Bodenschutzgesetz – Kommentar. – München.

Manuskript angenommen: 1. November 2005

Anschrift der Autoren:

Carolin Fornacon
Max-Planck-Institut für Biogeochemie
Hans-Knöll-Str. 10
D-07745 Jena
e-mail: cforna@bgc-jena.mpg.de

Prof. Dr. Manfred Frühauf
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Institut für Geographie,
Von-Seckendorff-Platz 4,
D-06099 Halle
e-mail: fruehauf@geographie.uni-halle.de

Dr. Heinz Schumann,
Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt,
Fachgebiet 13: Spezielle analytische Methoden der ökosystemaren Umweltbeobachtung,
PF 200841,
D-06009 Halle
e-mail: h.schumann@lau.mlu.lsa-net.de

Fortsetzung von S. 196

Das Kapitel zur Geschichte und Raumstruktur ist untergliedert in die Abschnitte „Archäologie“, „Historische Entwicklung von 1200 bis 1945“, „Historische Entwicklung von 1945 bis 1990“ und „Aktuelle Raumstruktur von 1990-2003“.

Im Kapitel zum Kultur- und Sprachraum wird u.a. auf die Besonderheit der Zweisprachigkeit und die vor allem von der sorbischen Bevölkerung gepflegten Bräuche und Festtraditionen näher eingegangen. Berücksichtigt werden außerdem die Kunst- und Architekturgeschichte.

Der zweite Hauptteil enthält auf mehr als 250 Seiten die Einzeldarstellungen zu Ortschaften, Natursehenswürdigkeiten und bemerkenswerten Infrastruktureinrichtungen, wie Bahn- und Fernverkehrsstrassen. Je nach dem behandelten Objekt gibt es unterschiedlich ausführliche Angaben z.B. zu (kultur-)historischen, siedlungs- und nutzungsgeschichtlichen, geologischen, geomorphologischen, botanischen und/oder zoologischen Aspekten. Illustriert sind die gut lesbaren Texte vielfach mit farbigen Karten, Fotos (vielfach Schrägluftbilder) oder s/w-Zeichnungen. Das schnelle Auffinden der einzelnen Objekte ermöglicht eine beigelegte lose Klappkarte, auf der alle Objekte nach Quadranten nummeriert sind. Gleichzeitig sind darauf auch die im Anhang enthaltenen Vorschläge für Wander-, Rad- und Autotouren dargestellt.

An die Einzeldarstellungen schließt sich das mehr als 30seitige Quellenverzeichnis an, das über die zitierte Quellen hinaus auch ergänzende Literatur nennt.

Der Anhang enthält Übersichten zu insgesamt zehn Themen, darunter eine Einwohner- und Siedlungsstatistik von 1600 bis 2004, bedeutende fischereiwirtschaftlich genutzte Flächen sowie Gebiete und Objekte des Naturschutzes. Drei Register (Personennamen, geographische Namen, Sachworte) beschließen das Buch.

Mit dem Titel liegt ein umfangreiches, die bewährte Tradition der Reihe „Werte der deutschen Heimat“ fortsetzendes Werk vor. In aller Ausführlichkeit, mit Liebe sowohl für den Überblick als auch zum Detail wird eine interessante Landschaft vorgestellt, die es näher zu erkunden lohnt, sei es um einen Eindruck von der Industriegeschichte der Braunkohlegewinnung mit all ihren Auswirkungen zu bekommen oder die Vielfalt der Heide- und Waldlandschaft kennen zulernen. Hierfür kann das Buch wärmstens zur Vor- und Nachbereitung empfohlen werden.

Anselm KRUMBIEGEL, Halle (Saale)