©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

ISSN 0018-0637 Hercynia N. F. **32** (1999): 111–126

Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land

Thomas Oertel und Manfred Frühauf

10 Abbildungen und 3 Tabellen

ABSTRACT

Oertel, T.; Frühauf, M.: Importance of geogenous sources for heavy metal contamination of soils in the Mansfeld area, Germany. – Hercynia N. F. **32** (1999): 111–126.

In various investigations it has been claimed, that the natural outcrop of the Kupferschiefer on the eastern boundary of the Harz mountains is the most important cause beside the former emissions of copper industries for the soil and plant pollution with heavy metals in the Mansfeld region. Present aerial pictures, field observations and chemical analysis of soil show a great number of small Kupferschiefer waste piles, which were buried at the end of the 19th century. The deposited, humus enriched soil is eroded especially as a result of deep ploughing and natural erosion, so that Kupferschiefer stones of the buried waste piles has mixed with the soil of the Ap-horizon. High heavy metal pollution, bad soil water properties and limited root conditions are characteristic for these locations, resulting in damage of cultural plants, loss of yield and partly considerable pollution of the harvest.

These phenomena are characteristic for a large area in the Mansfeld region. In future the pollution of soil with heavy metals will be higher as a result of erosion, weathering and drawing out of the waste piles material. The examination of these processes should be carried out and necessary measures of soil protection undertaken.

Keywords: copper mining, heavy metals, waste piles, soil pollution, Kupferschiefer

1 PROBLEMSTELLUNG

In den 90er Jahren wurde eine Vielzahl von Gutachten, Expertisen (u. a. TÜV Bayern 1991, Grün 1991), aber auch mehrere Qualifikationsarbeiten aus dem Institut für Geografie der Martin-Luther-Universität angefertigt (u. a. Cöster 1993, Lorenz 1996, Schmidt 1997), die sich mit den Ursachen sowie Auswirkungen der Bodenschwermetallbelastung im Mansfelder Land beschäftigten. Neben der wiederholt festgestellten großen Bedeutung der ehemaligen Verhüttungseinrichtungen in Eisleben, Helbra und Hettstedt als Hauptursache der Bodenbelastung erfolgten in der wohl umfassendsten Umweltanalyse über diesen Raum, dem Bericht des TÜV Bayern, auch Aussagen zur Rolle des Kupferschieferausstrichs als Ursache der hier im Umfeld des Harzrandes ermittelten ebenfalls beträchtlichen Bodenkontamination.

Eigene Untersuchungen in diesem Raum ließen ebenfalls hohe Bodenbelastungen deutlich werden. Diese weisen zudem eine große räumliche Variabilität auf. Auch Pflanzenschädigungen in Form von Chlorosen sind im Gebiet am östlichen Harzrand schon länger bekannt. Sie zeigen sich oftmals schon am Ausgang des Winters. Im Laufe der weiteren Vegetationsentwicklung unterscheiden sich diese Standorte von den benachbarten Flächen weniger. Kurz vor der Ernte sind dann auf diesen Arealen jedoch wieder von der Umgebung abweichende Erscheinungen wie Frühreife, verkürztes Längenwachstum und verkleinertes Wurzelbild feststellbar. Gleichzeitig sind hier hohe Anteile von Ruderalgesellschaften sowie mehr oder weniger starke Ausdünnungserscheinungen der Nutzpflanzenbestände symptomatisch.

Ob dies, wie im Bericht des TÜV Bayern geäußert, durch den Ausstrich des Kupferschieferflözes bedingt ist oder hierfür andere Ursachen in Frage kommen, und ob dies generell eine andere Beurteilung

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

des Gefährdungspotentials nach sich ziehen könnte, war Gegenstand einer Untersuchung, aus der hiermit Ergebnisse vorgestellt werden.

2 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND BISHERIGER KENNTNISSTAND

Als Untersuchungsgebiet wurde der durch den Zechsteinausstrich markierte Raum am östlichen Harzrand ausgewählt. Hier lagern die Zechsteinschichten dem auftauchenden Permokarbon des Harzostrandes auf (Abb. 1). In östlicher Richtung fallen sie entsprechend dem generellen Schichtaufbau der Mansfelder Mulde mit einem Winkel von 8 bis 10° ein (JANKOWSKI 1995).

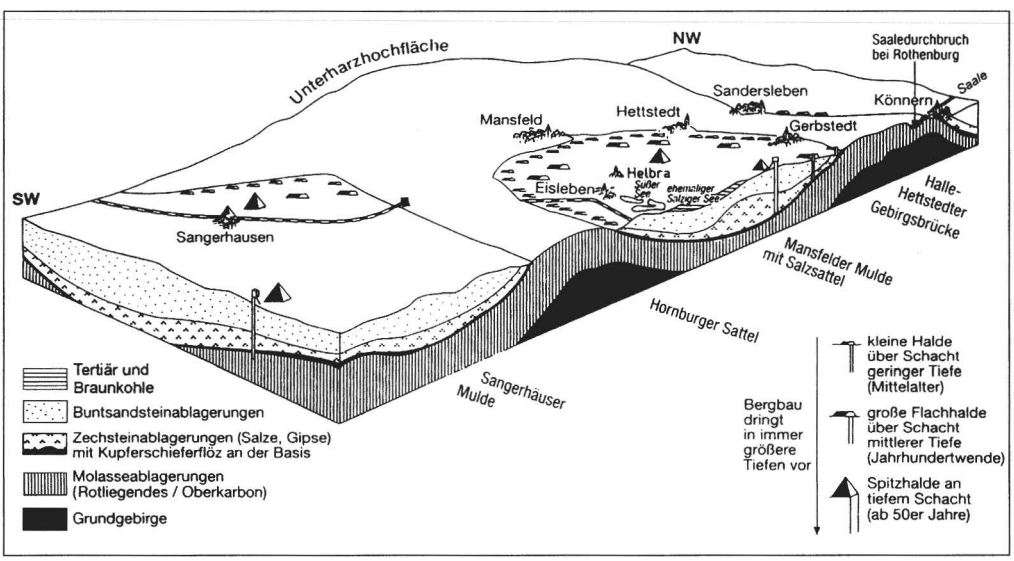

Abb. 1: Geologisches Blockbild der Mansfelder und Sangerhäuser Mulde (WAGENBRETH et STEINER 1990; geändert durch FRÜHAUF 1996).

Am Ausstrichsbereich der Zechsteinablagerungen und damit auch des nur 30 bis 50 cm mächtigen Kupferschieferflözes setzte schon im Neolithikum, dann aber ab 1199 zielgerichtet der Kupferschieferbergbau an und ein. Hieraus erwächst für die Untersuchungsproblematik ein wesentlicher Aspekt: Natürlich haben unsere „Altvorderen" zuerst die für sie günstigsten Standorte, d. h. diejenigen, wo das Erz an der Oberfläche lag, genutzt. Die frühmittelalterlichen Bergleute wußten zudem recht gut zwischen reicheren und ärmeren Flözabschnitten (Rote Fäule) zu unterscheiden. Daraus wird ableitbar, daß dieses Kupferschieferflöz, wenn es überhaupt jemals eine größere Oberflächenwirksamkeit hatte, bereits in historischer Zeit weitestgehend abgebaut wurde.

Erst nachdem diese Gunstbereiche erschlossen waren, begannen die Bergleute durch einfache Gruben, später dann auch durch unterirdische Stollen dem abtauchenden Flöz zu folgen. Das mit den damaligen Verhüttungstechnologien nicht nutzbare Material schüttete man um die Gruben oder Lichtlöcher zu Kleinsthalden auf. Diese ersten Bergbaurelikte prägen heute noch das Kulturlandschaftsbild entlang des gesamten Ostharzrandes und weisen ein viel höheres Schwermetallpotential als die wesentlich jüngeren Flach- oder gar Spitzkegelhalden auf (SCHMIDT 1997). Kupfergehalte von 800 bis 9000 mg/kg Feinboden, die in Kleinsthalden häufig anzutreffen sind, kommen bei den anderen Haldentypen kaum vor (auf detaillierte Ursachen hierfür wird bei SCHMIDT et FRÜHAUF 1997 eingegangen).

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Erste eigene Geländebeobachtungen und Luftbildauswertungen erbrachten kaum Anhaltspunkte dafür, daß sich in der heutigen Bodenoberfläche „Anzeichen" für einen linien- oder flächenhaft wirksamen Kupferschieferausstrich widerspiegeln. Dafür konnten in älteren, am südöstlichen Harzrand bei Pölsfeld durchgeführten Arbeiten Hinweise auf „technogene Bodenhorizonte" unterhalb des Ap-Horizontes entdeckt werden, die auf „bergbauliche Tätigkeit des Menschen" zurückgeführt wurden (VOGEL 1976). Eine Erklärung, wie und warum dieses Material so in den Boden gelangte und in welcher räumlichen Dimension diese Erscheinung auftritt, gibt der Bearbeiter nicht. An anderer Stelle zitiert er Landwirte, die von alljährlich auftretenden Vegetationsschäden in der Umgebung der Kleinsthalden und im Bereich der abgetragenen Halden sprechen, ohne allerdings Zusammenhänge zu den erkannten „technogenen Bodenhorizonten" herzustellen.

3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Zur Problemlösung wurde zum einen ein ausgewähltes Spektrum geomorphologisch bodenkundlicher Geländeaufnahmen und Beprobungen durchgeführt. Dabei spielten Bohrstocksondierungen, Bohrungen mit dem Cobra-Handbohrgerät bzw. zahlreiche Bodenaufgrabungen im Bereich des auf den geologischen Meßtischblättern eingezeichneten Kupferschieferausstrichs eine wichtige Rolle. Sie sollten dazu beitragen, die geologisch bodenkundliche Situation durch detaillierte Feld- und Laborbefunde zu erfassen und hinsichtlich der Problemstellung zu bewerten. Dafür wurde eine Vielzahl von Catenen über den (vermeintlichen) Kupferschieferausstrich hinweg aufgenommen und beprobt.

Diese Bodenproben wurden im geoökologischen Labor des Instituts für Geographie auf ihre pedologischen Grunddaten sowie auf Gesamtschwermetallgehalte und pflanzenverfügbare Gehalte untersucht. Gleichzeitig galt es, die Schwermetallanteile in den Pflanzen während unterschiedlicher Wachstumsphasen zu bestimmen.

Um Aussagen über die räumliche Dimension der erwähnten Schadsymptome an den Kulturpflanzen zu gewinnen, wurde zunächst versucht, sie durch Geländebegehungen und später durch eigene Befliegungen fotografisch (Schrägluftbilder) und kartographisch zu erfassen. Dabei war klar, daß diese Luftaufnahmen eine exakte Darstellung, z. B. in Karten, bzw. eine genaue Berechnung der geschädigten Fläche infolge Verzerrungen kaum zulassen. Eine sehr viel bessere Verschneidungsmöglichkeit (nach entsprechender Entzerrung) mit topographischen Karten und Flurkarten ermöglichten Color-Infrarot-Luftbilder (CIR-Bilder) oder Satellitenbilder. Die amtlichen CIR- und panchromatischen Luftbilder waren für die Vegetationsschädigungen nicht nur hinsichtlich des Maßstabs, sondern vor allem auf Grund des Aufnahmezeitpunkts (z. B. nach der Ernte) für die Problemlösung kaum verwendbar. Vom Aufnahmezeitpunkt geeignetere CIR-Bilder wurden deshalb fotooptisch so stark vergrößert, daß sie für eine Lokalisierung der Vegetationsschädigungen genutzt werden konnten.

Parallel zu den Feld- und Laborarbeiten wurden umfangreiche Literatur-, Daten- und Kartenanalysen betrieben. Von besonderem Interesse waren dabei historische, topographische und geologische Karten, aber auch Flurkarten, die Aufschluß über frühere Landnutzungen gaben. Alle Informationsquellen (Karten, Luftbilder, Standorte und Meßdaten der Boden- bzw. Schwermetallanalyse etc.) wurden in einzelnen „Layern" bzw. Attributtabellen in ein Geographisches Informationssystem auf der Grundlage des ATKIS-Datenbestandes integriert, was die Erkenntnisfindung beschleunigte und eine Nutzbarmachung der gewonnenen Ergebnisse für künftige Untersuchungen erleichtert.

4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

4.1 Der Kupferschieferausstrich und seine Bedeutung als Quelle für die Bodenschwermetallbelastung

Die durchgeführten Profilaufgrabungen, Bohrstock- bzw. Cobra-Sondierungen lassen den generellen Schluß zu, daß der Kupferschieferausstrich in der von den Bearbeitern des TÜV-Berichtes geäußerten

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Form heute kaum oberflächenwirksam wird. Aus den eigenen Geländearbeiten konnten mehrfach Hinweise gefunden werden, daß in diesen Bereichen, an denen der Kupferschieferausstrich laut geologischen Karten sein sollte, eine intensive bergbauliche Standortveränderung von Bodenschichten (Duggelbergbau) erfolgte. Der Horizont- bzw. Schichtaufbau weist dort oftmals von natürlichen Gegebenheiten völlig abweichende Verhältnisse auf. Dies trifft auch für vegetationslose Standorte zu, an denen man von der Struktur und Färbung des Ap-Horizontes solche kaum vermutet.

Gleichzeitig wurde erkannt, daß außerhalb dieser Bereiche das Kupferschieferflöz meistens unter einer mehr oder weniger mächtigen Löß-(lehm-)decke nachweisbar ist. Die weichselzeitliche Sedimentschicht überlagert dabei mit wechselnder Mächtigkeit alle hier vorkommenden Festgesteine der Molasse- und Zechstein-, aber auch der Buntsandsteinformation. Infolge Bodenerosionswirkung dünnt diese äolische Sedimentlage allerdings lokal aus. Doch selbst an diesen Stellen konnte zumindest auf den Ackerstandorten der Kupferschiefer kaum als oberflächenwirksames und damit belastungsverursachendes Substrat nachgewiesen werden.

Wie LORENZ (1996) nachwies, ist das weichselzeitliche Sedimentpaket in diesem Raum trotz nicht unbeträchtlicher, durch Bodenerosion bedingte Denudationserscheinungen auch gegenwärtig noch als flächenhaft prägendes Substrat der Oberbodenhorizonte zu bezeichnen. Die hier vorkommenden Parabraunerden und Griserden weisen zwar häufig Profilverkürzungen auf, von einem flächenhaft dominanten Status der Pararendzinen oder gar Ranker kann man aber noch nicht ausgehen.

In weniger von Erosionserscheinungen beeinträchtigten Arealen konnte eine Zweiteilung der äolischen Decke in einen hangenden Löß und einen liegenden Fließlöß beobachtet werden (Abb. 2). Die wahrscheinlich frühweichselzeitliche Fließerde hat bei ihrer hangabwärts gerichteten Bewegung an einigen Stellen den Kupferschiefer „überfahren" und ihn partiell mit aufgearbeitet (Tab. 1).

Die Metallwerte erreichen im unteren Teil des Bodenprofils (135 bis 145 cm unter der Erdoberfläche) Konzentrationen, wie sie auch von den Berg- und Hüttenwerken für das geförderte Erz angegeben werden. Für die geoökologische Interpretation ist ebenfalls von Bedeutung, daß die im Oberboden nachge-

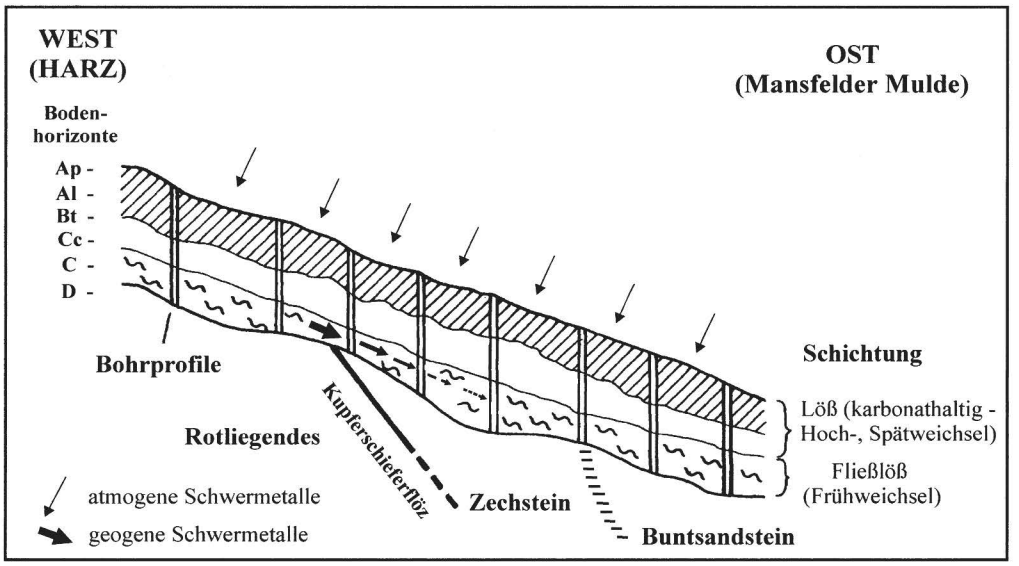

Abb. 2: Idealisiertes geologisch-bodenkundliches Geländeprofil im Bereich des Zechsteinausstrichs am östlichen Harzrand (LORENZ 1996).

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Tab. 1: Bodenprofilabfolge mit Schwermetallgehalten und anderen Bodenparametern im Bereich des natürlichen Kupferschieferausstrichs bei Ahlsdorf (nach LORENZ 1996)

Mittlere Tiefe der Probe	Horizont	Cu in mg/kg	Zn in mg/kg	Pb in mg/kg	PH-Wert (KCl)	Kalkgehalt in %
20	ApM	252,4	261,0	246,7	7,4	2,5
70	M	98,2	128,4	94,4	7,8	2,1
90	II Cv	66,3	92,5	69,8	7,8	0,7
105		40,6	52,9	52,9	7,8	0,7
120		113,3	96,6	111,4	7,7	0,3
135	III Cv	1229,8	409,9	289,4	7,7	1,9
145	IV Cv	1034,3	344,8	295,5	7,8	-

wiesenen Metallkonzentrationen eindeutig durch atmogene Einträge bedingt sind. Unterhalb des ApM- bzw. M-Horizontes sind die Metallwerte deutlich herabgesetzt. Ein vertikaler Metalltransfer erscheint bei den existierenden pedochemischen Bedingungen nahezu ausgeschlossen. Diese Erkenntnisse lassen zwar wichtige Schlüsse zu geomorphologischen Problemfeldern, aber keinesfalls eine Bestätigung der im TÜV-Bericht genannten Aussagen zu.

4.2 Bodenbelastungen und Pflanzenschädigungen

4.2.1 Anthropogene Veränderungen des Bodenaufbaus

Schon bei den Geländebegehungen konnten wiederholt im Krumenbereich Schieferbruchstücke aufgefunden werden. Befliegungen mit einem Leichtbauflugzeug zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Vegetationsentwicklung (Abb. 3), aber auch die Auswertung vorhandener Luftbilder (Abb. 4) zeigten eine größere, aber unregelmäßige Verbreitung solcher Standorte mit unterschiedlichster Schadwirkung an den Kulturpflanzen.

Gleichzeitig erfolgten detaillierte bodenkundliche Untersuchungen dieser Flächen. In deren Ergebnissen wurde deutlich, daß auf diesen Standorten nahezu überall Kupferschiefermaterial mit unterschiedlichster Mächtigkeit im Boden anzutreffen war. Dieses ist im wesentlichen auf nochmalige (sekundäre) Haldenumlagerungen zurückzuführen. Teilweise reichen diese Ablagerungen bis in 1,5 m Tiefe. Wichtiger für die ökologischen Beurteilung ist jedoch, daß die Schiefermaterialien große Teile des Wurzelraumes bilden. Allerdings wird das Haldenmaterial meistens noch von einer mehr oder weniger mächtigen Schicht humosen Oberbodenmaterials überdeckt (Abb. 5). Oftmals ist dieser allochthone „Mutterboden" jedoch nur noch wenige Zentimeter stark oder er dünnt völlig aus. Letzteres Phänomen läßt sich überwiegend auf die Wirkung von Bodenerosionsprozessen zurückführen.

Ursache für diese Erscheinungen sind sowohl im unbewußten, im stärkeren Maße aber im bewußten Aufarbeiten und Vergraben von Kleinsthalden in historischer Zeit zu sehen. Dabei erbrachten die Geländearbeiten im Zusammenhang mit historischen Recherchen sowie Befragungen wesentliche Erkenntnisse zu Erscheinungsformen und Technologien, aber auch dem Alter sowie der flächenhaften Verbreitung dieser „Phänomene". Diese setzten im Untersuchungsraum bereits ab dem 18. Jahrhundert ein. Sie erreichten dann um die Mitte des vorigen Jahrhunderts und in den nachfolgenden Jahren ihre größte Intensität. Das Material der Kleinhalden wurde dabei, wie es Abb. 6 verdeutlicht, in dafür ausgehobene 1 bis 2 m tiefe, ca. 1,5 m breite und bis zu 10 m lange Gräben, die meistens radial um eine Halde verliefen, geschüttet. Über die „plattgemachte" Halde und die Vergrabungen erfolgte danach eine Überschüttung mit dem Aushubmaterial. Bei diesem handelte es sich sowohl um humosen Oberboden als auch um Unterbodensubstrate der hier verbreiteten Parabraun- bzw. Griserden. Letztlich entstanden dadurch an diesen Stellen Aufwölbungen über dem vergrabenen Schiefermaterial. Durch die Zunahme der Bearbeitungsintensität, vor allem aber infolge der durch die Schlagvergrößerung gesteigerten Erosions-

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Abb. 3: Vegetationsschäden bzw. -ausfall der Nutzpflanzen westlich von Benndorf (Foto OERTEL 6/1998).

disposition kam und kommt es auf diesen Standorten heute zur schrittweisen „Exhumierung" dieser Haldenmaterialien. Wo dies noch nicht an der Oberfläche erkennbar ist, zeigt sich im Vertikalprofil zumindest eine Integration von Schiefermaterial im unteren Teil des Hauptwurzelraumes.

Was waren die Hauptgründe für diese Maßnahmen? Sie sind vor allem in der Rückgewinnung der guten Böden für die landwirtschaftliche Nutzung zu sehen. Durch die Haldenüberdeckung kam es nicht nur zu Flächen- und damit Ertragsverlusten. Zudem wurden die Bearbeitung und die Produktivität der umgebenden Standorte durch diese historischen Bergbaurelikte maßgeblich beeinträchtigt. Auch unter dem Blickwinkel des Rückganges des Arbeitskräftebesatzes in den Bergwerks- und Hüttenanlagen und der Zunahme von landwirtschaftlichem Nebenerwerb erwies sich dieser Flächengewinn als positiv.

4.2.2 Abschätzungen der flächenhaften Verbreitung solcher Vergrabungsstrukturen

Nach den Geländeaufnahmen und den ersten Auswertungen der erstellten Schrägluftbilder muß davon ausgegangen werden, daß solche Haldenvergrabungen im sich östlich des Kupferschieferausstrichs anschließenden Raum keine singuläre, sondern eine flächenhaft auftretende Erscheinung darstellen (Abb. 7). Damit wird offensichtlich, daß von diesen Vergrabungsaktivitäten hauptsächlich die ältesten Haldengenerationen betroffen waren. Dies hat wiederum in ökologischer Hinsicht Konsequenzen, da das ältere Haldenmaterial natürlich auch am längsten Verwitterungs- und somit Metallfreisetzungsprozessen unterlag. Zum anderen wurden gerade in der Frühphase der Bergbauentwicklung oftmals auch reichere Erze auf Halde geschüttet, da sie damals aus technologischen Gründen noch nicht verhüttbar waren.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

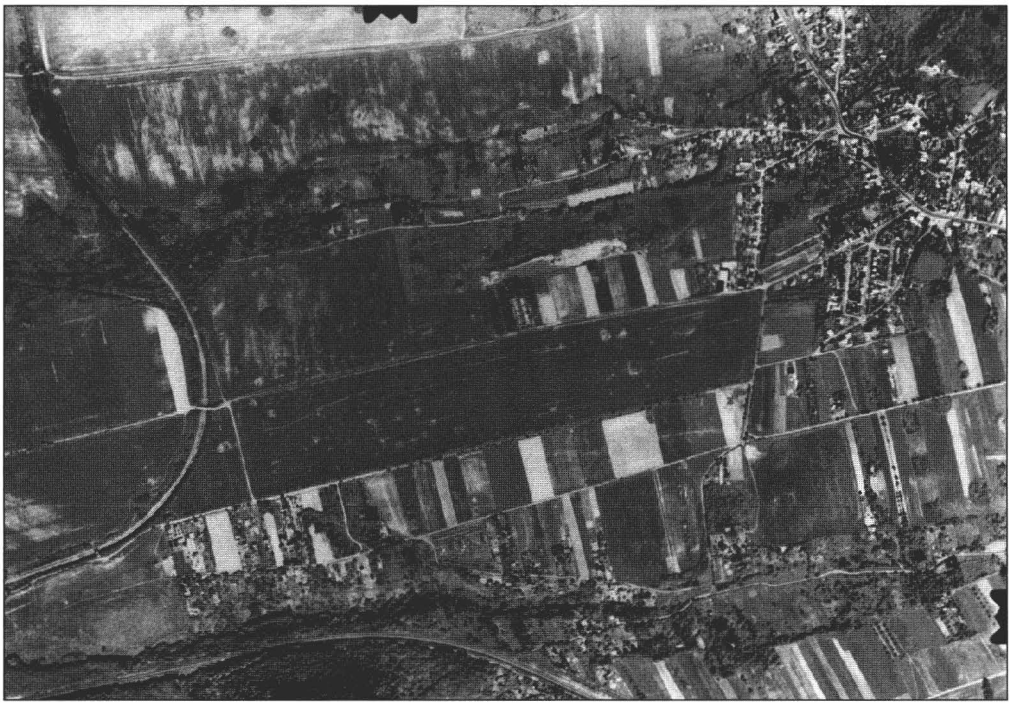

Abb. 4: Vergrößerter Ausschnitt eines CIR-Luftbildes von 1993 (Graustufendarstellung) westlich von Kreisfeld (LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENERFASSUNG SACHSEN-ANHALT).

Abb. 5: Bodenprofil einer "vergrabenen Halde" bei Hergisdorf (Foto OERTEL 10/1997).

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

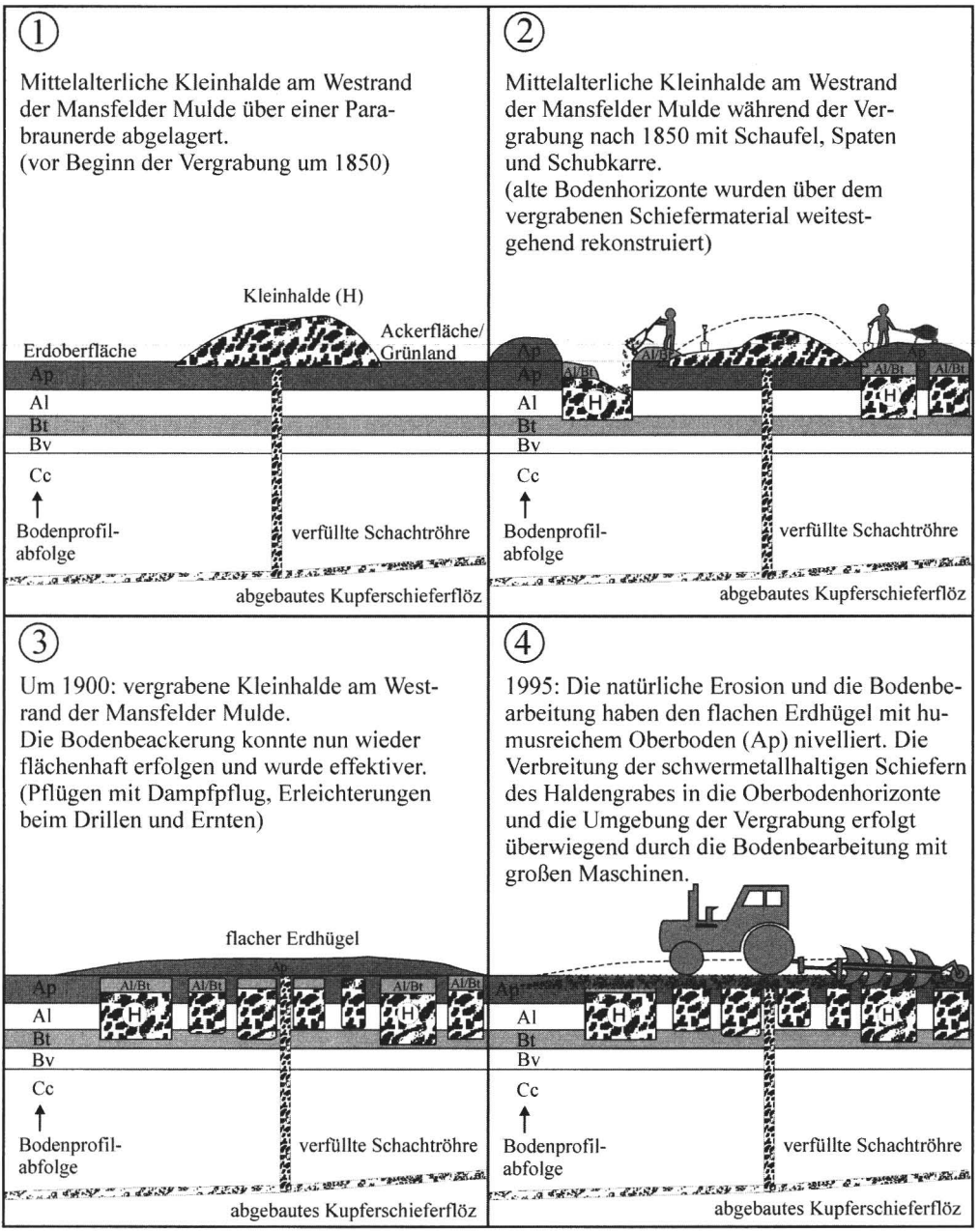

Abb. 6: Technologie der Haldenvergrabung im Mansfelder Land.

Aus den bisherigen Untersuchungen kann geschlußfolgert werden, daß zu den heute hier noch verbreiteten Kleinhalden noch einmal ca. 60 bis 70 % Kleinhalden hinzugerechnet werden müssen, um etwa eine Vorstellung von der Anzahl dieser historischen Bergbaurelikte vor Beginn der Vergrabungsaktivitäten zu bekommen.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

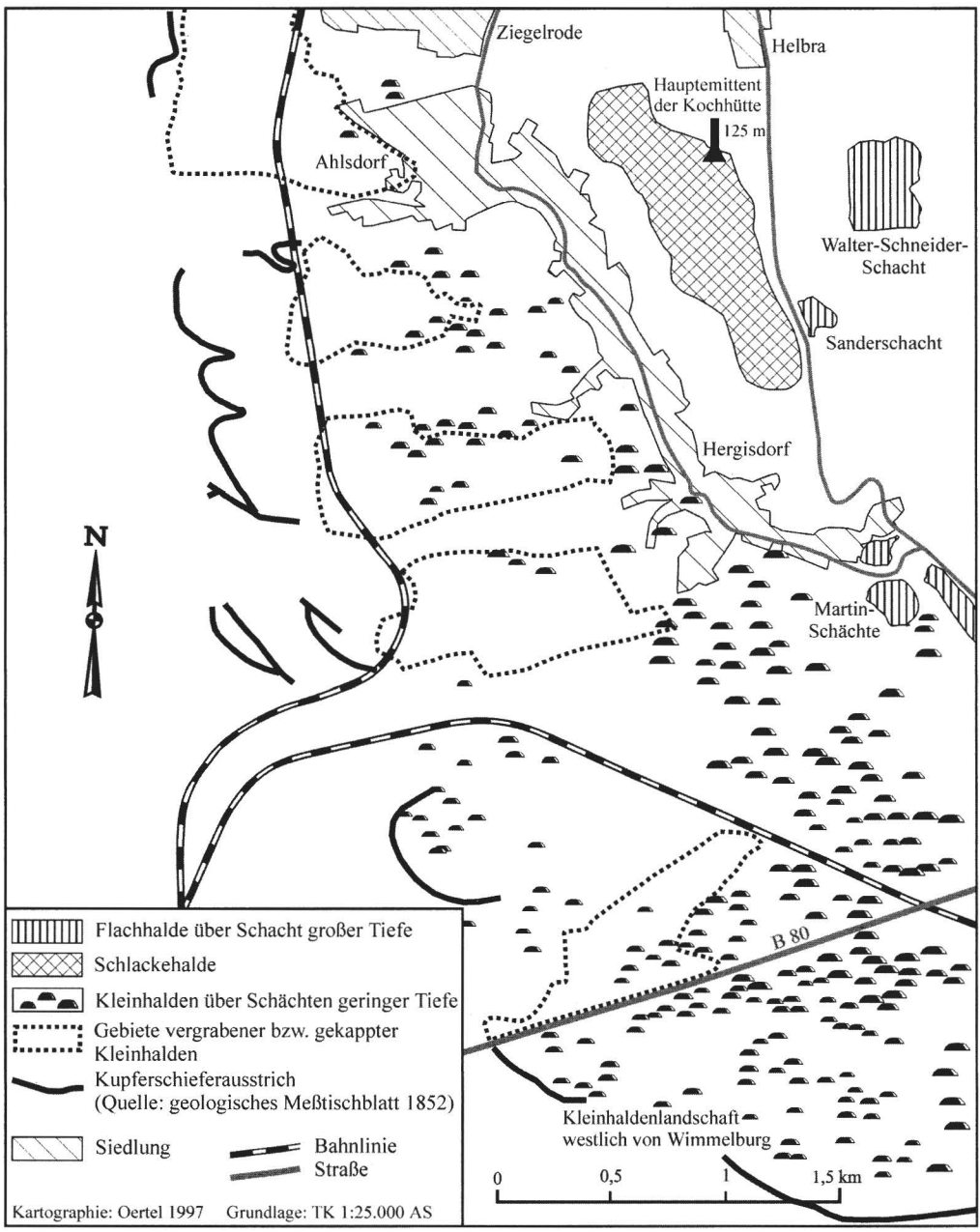

Abb. 7: Westrand der Mansfelder Mulde mit Kupferschieferausstrich, Kleinhaldenlandschaft und Gebieten vergrabener Kleinhalden.

Das wird auch aus einer kartographischen Analyse der historischen Vorkommen dieser Kleinhalden im Vergleich mit den aktuellen Gegebenheiten deutlich. So zeigt Abb. 8 einen Ausschnitt der aus der Gemarkungskarte von Klostermansfeld entnommenen Verbreitung solcher Halden um das Jahr 1853. Von

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

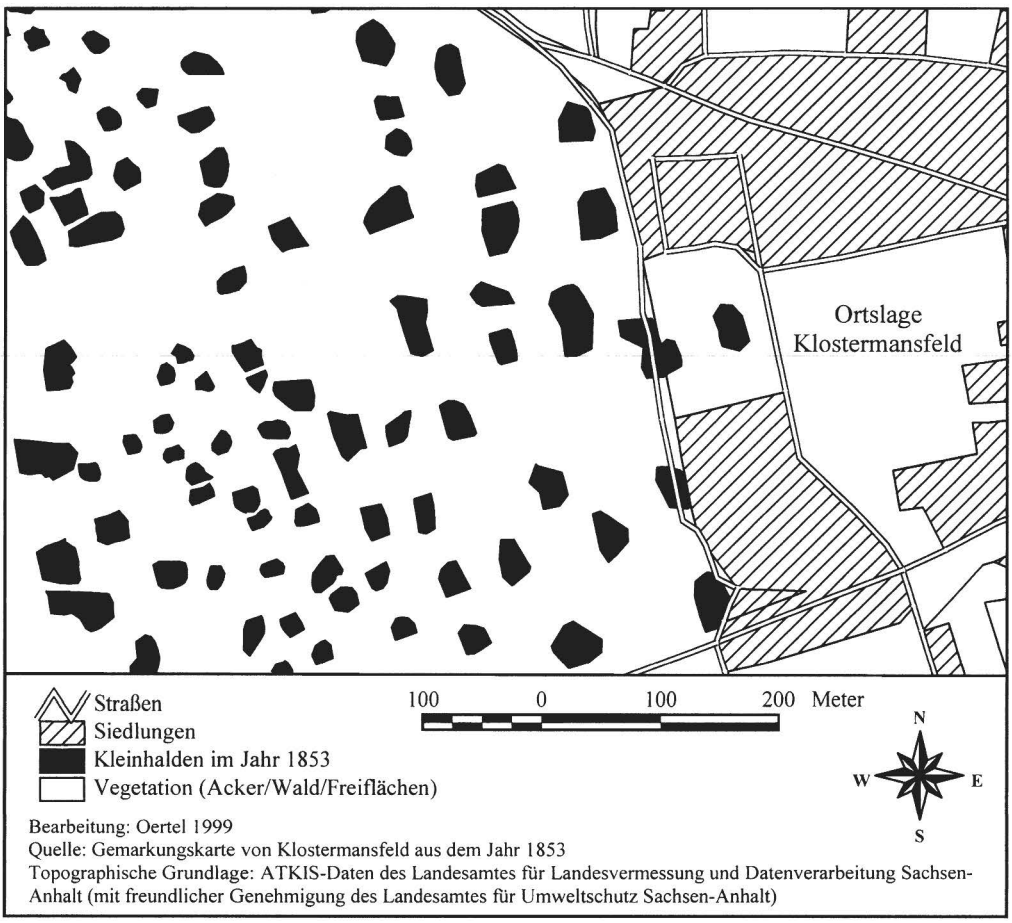

Abb. 8: Verbreitung der Kleinhalden westlich von Klostermansfeld um das Jahr 1853.

den dort dargestellten, vor 150 Jahren existierenden Halden mit einer Gesamtfläche von 4,6 ha ist heute nur eine einzige (innerhalb der Ortslage) übrig geblieben!

Ihre Vergrabung und nachfolgende „Exhumierung", aber auch eine anteilige Verschleppung hat nachweislich das Verbreitungsgebiet dieser Schiefermaterialien beträchtlich ausgedehnt (Abb. 9). Die Gelände- und Luftbildauswertung ließ erkennen, daß gegenwärtig in diesem Raum auf ca. 8 ha Ackerfläche (von gesamt 36 ha) Schiefermaterial im Ober- und Unterboden nachweisbar ist. Damit wird sichtbar, daß die Bedeutung dieser Haldenmaterialien als Bodensubstrat und somit auch als flächenhaftes Element der Kontamination für die hier angebauten Kulturpflanzen in den letzten 150 Jahren um fast das Doppelte zugenommen hat.

Sicherlich - und das lassen erste vorsichtige Massenbilanzierungen deutlich werden - kann zwar diese Form der Haldenvergrabungen als Hauptursache der Reduzierung der mittelalterlichen Bergbaurelikte, jedoch nicht als ausschließlicher Grund angesehen werden. In geringerem Umfang wurden die „störenden" Halden auch zur Verfüllung von natürlichen Geländedepressionen oder Abbauhohlformen genutzt. Auch ihre Verwendung im Straßenbau muß an dieser Stelle genannt werden. Teilweise wurde auch Kleinhaldenmaterial einfach auf die im Entstehen begriffenen größeren Flachhalden aufgeschüttet.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

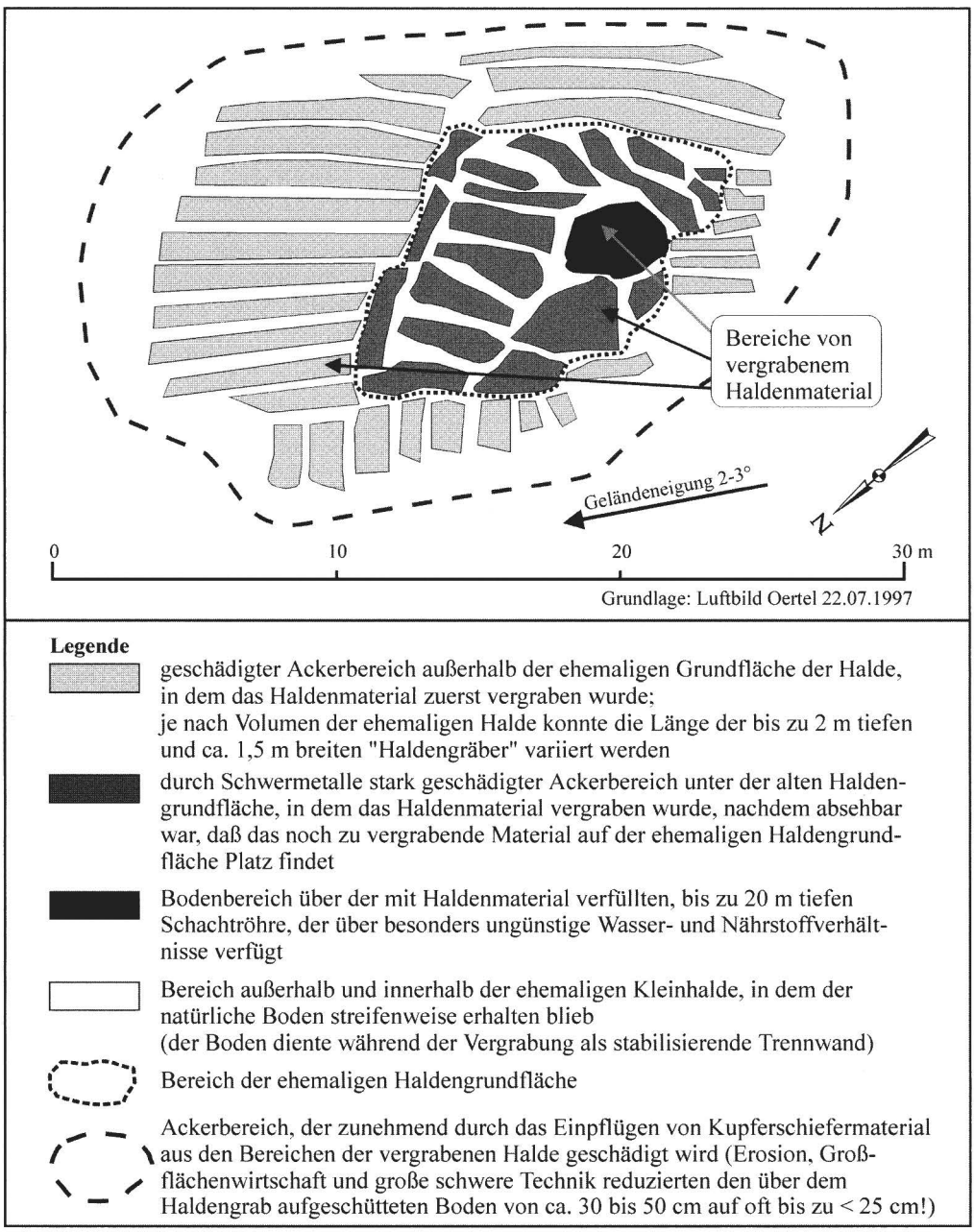

Abb. 9: Flächenausmaß der Bodenschädigungen über einer Haldenvergrabung bei Benndorf.

In historischen Quellen wird in diesem Zusammenhang auch erwähnt, daß bei den Haldenvergrabungen am Ende des 19. Jahrhunderts oftmals ein nochmaliges „Durchkläuben" dieser Schiefern hinsichtlich ihres Erzgehaltes erfolgte. Auf Grund von Verbesserungen der Schmelztechnologien konnten so wiederholt ältere Schiefererze den modernisierten Hütten beigemengt werden.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

4.2.3 Schwermetallbelastung der Böden

Das auftretende Haldenmaterial bedingt in mehrerer Hinsicht gravierende Veränderungen der ökologischen Standortverhältnisse gegenüber den umgebenden Böden. Zum einen betrifft dies die Reduzierung der Feldkapazität. Andererseits verringert sich dadurch sowohl die mechanische als auch die physiologische Gründigkeit bzw. Durchwurzelbarkeit. Selbst wenn über dem Haldenmaterial noch eine geringfügige Schicht mit humosem Lößsubstrat auftritt, so wirken doch die unterlagernden Schiefern auf Grund ihrer Nährstoffarmut und infolge des geringen Verwitterungsgrades für die Pflanzenwurzeln oftmals als mechanische und physiologische Barrieren. Neben diesen sind vor allem die hohen Schwermetallkonzentrationen in diesen Materialien die Ursache für die starken Vegetationsschädigungen sowie Mindererträge bis hin zu Totalausfällen (vgl. Abb. 3). Die Flächenanteile mit Vegetationsschädigungen erreichen auf Schlägen mit einer früher hohen Haldendichte und gegenwärtig vielen „Haldengräbern" bis zu 40 % des Gesamtschlages. Auf den Vergrabungsstrukturen selbst werden oftmals nur 40 bis 25 % der in der Umgebung erzielten Erträge erreicht. Besonders in trockenen Jahren sind diese Standorte meistens sogar durch Totalausfall geprägt. Dies verweist auf die schon genannten Bodenwasserhaushaltsprobleme, die sich insbesondere in einer minimierten Feldkapazität widerspiegeln. Auf diesen Flächen wird aber nicht nur die Menge, sondern auch die Qualität des Erntegutes durch Schwermetallbelastung und Eiweißmangel des Korns erheblich verschlechtert. Das führt z. B. dazu, daß hier Braugerstequalität nicht mehr erreicht wird.

Die Schwermetallkontamination der Böden und Pflanzen erfolgt hauptsächlich durch den Belastungstransfer aus dem Haldenmaterial. Die früher hier stark wirkende atmogene Schwermetallzufuhr aus den Hauptemittenten, den Schornsteinen der Hütten, ist seit deren Stillegung und Abriß (Kochhütte) zum Erliegen gekommen.

Abbildung 10 verdeutlicht beispielhaft diese Kontaminationswirkung. In dem aus der Flur Ahlsdorf stammenden Bodenprofil ist im Ap-Horizont noch etwas von dem ehemals aufgeschütteten „Mutterboden" erhalten geblieben. Trotzdem findet man hier bereits kleinere Schieferbruchstücke. Sie bedingen somit schon eine nicht unwesentliche Oberbodenkontamination. Im Unterboden steigen die Metallwerte abrupt an. Erst im unterlagernden Löß (ab – 70 cm) gehen die Schwermetallwerte wieder stark zurück und erreichen unterhalb – 90 cm den geogenen Hintergrund. Die Vegetation ist an diesem Standort nahezu völlig ausgefallen. Nur vereinzelt reichen Pflanzenwurzeln bis ins Haldensubstrat.

4.2.4 Schwermetallbelastung der Kulturpflanzen

Bei den Analysen chlorosegeschädigter Getreidepflanzen solcher Vergrabungsflächen (Tab. 2) konnte festgestellt werden, daß die im Königswasseraufschluß ermittelten Metallgehalte in den Pflanzen bei den Elementen Kupfer und Blei zwischen 3 und 10 % der Bodenwerte erreichen. Bei den mobileren Elementen Zink und Cadmium betragen die Pflanzengehalte durchschnittlich sogar zwischen 35 und 59 % derer in den Böden. Die im Ammoniumnitrataufschluß bestimmten pflanzenverfügbaren Anteile liegen bei Kupfer, Blei und Zink um oder unter 1 % der Königswasserwerte. Auch hierbei kommt insbesondere die höhere Mobilität des ökotoxikologisch brisanten Cadmiums zum Tragen; die pflanzenverfügbaren Cadmiumanteile erreichen 8 bis 13 % der Königswasserwerte.

Bemerkenswert erscheint unter dem Blickwinkel der absoluten Belastungswerte vor allem das hohe Zinkakkumulationsvermögen der Pflanzen. So waren an mehreren Untersuchungsstandorten annähernd sogar die gleichen Zinkkonzentrationen im Boden und im Erntegut (Weizenkörner) von ca. 330 mg/kg feststellbar (OERTEL 1998).

4.3 Andere Belastungsursachen und ihre ökologische Relevanz

Der Vergleich der Boden- und Pflanzenbelastung mit Standorten außerhalb der Vergrabungsstrukturen läßt nicht nur eine (erwartete) markante Abnahme der Belastungsintensität deutlich werden. Da in den beprobten Ap-Horizonten 30 m neben den Vergrabungsstrukturen keinerlei Schiefermaterial erkennbar

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

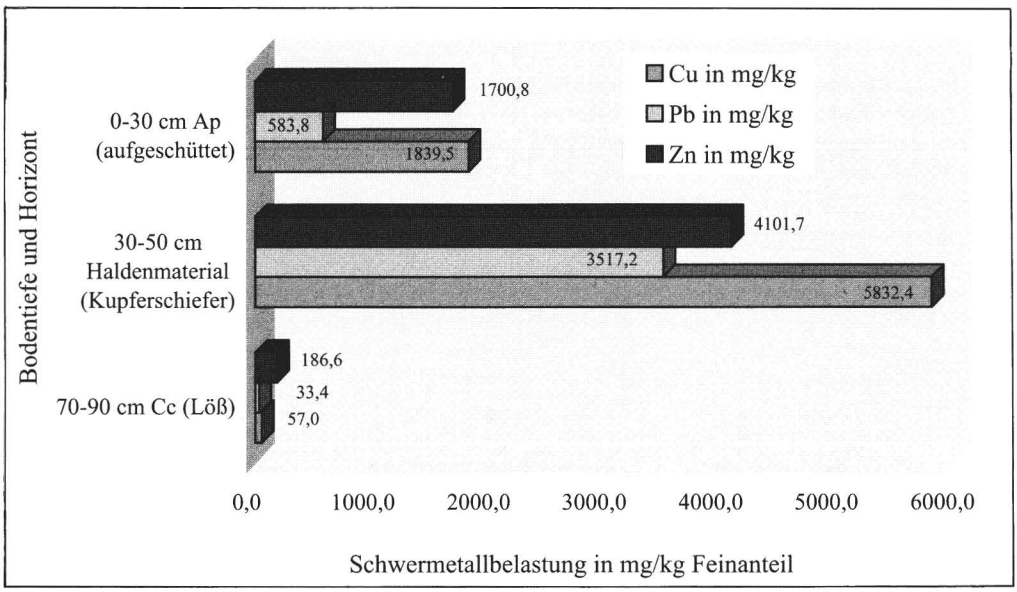

Abb. 10: Bodenschwermetallprofil einer „vergrabenen Halde" bei Ahlsdorf.

Tab. 2: Vergleich der Ergebnisse verschiedener Aufschlußverfahren von Boden- und Pflanzenmaterial über einer gekappten Kleinhalde bei Großörner und einem Referenzstandort

Probe	Aufschluß	Cu in mg/kg	Pb in mg/kg	Zn in mg/kg	Cd in mg/kg
Oberbodenmischprobe eines Ap-Horizontes über einer gekappten Halde bei Großörner	Schwermetallgesamtgehalte im Boden (Königswasseraufschluß nach DIN 38414 Teil 7)	989,2	2343,2	2623,2	8,3
Oberbodenmischprobe eines Ap-Horizontes über einer gekappten Halde bei Großörner	*Ammoniumnitratextraktion DIN 19730 (Pflanzenverfügbare Anteile im Boden)*	*13,1*	*3,6*	*5,2*	*0,7*
geschädigte junge Weizenpflanze über der ehemaligen Halde wurzelnd	**Königswasser DIN 38414 Teil 7 (jedoch Pflanzenmaterial aufgeschlossen)**	**96,9**	**126,1**	**1082,4**	**4,9**
Oberbodenmischprobe eines Ap-Horizontes einer Parabraunerde 30m neben der gekappten Halde	Schwermetallgesamtgehalte im Boden (Königswasseraufschluß nach DIN 38414 Teil 7)	186,8	270,0	447,6	3,2
Oberbodenmischprobe eines Ap-Horizontes einer Parabraunerde 30m neben der gekappten Halde	*Ammoniumnitratextraktion DIN 19730 (Pflanzenverfügbare Anteile im Boden)*	*1,2*	*1,8*	*5,3*	*0,4*
vitale junge Weizenpflanze auf der Parabraunerde wurzelnd	**Königswasser DIN 38414 Teil 7 (jedoch Pflanzenmaterial aufgeschlossen)**	**10,6**	**8,2**	**155,9**	**1,2**

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

war, kann davon ausgegangen werden, daß die nachgewiesene Belastung (unterer Teil Tab. 2) überwiegend durch die Immissionen der ehemaligen Schmelzhütten erklärbar ist. Sie repräsentieren somit in gewisser Hinsicht vor allem das historische „Erbe" atmogener Kontaminationswirkungen. Da man davon ausgehen kann, daß diese Einträge auch auf den Vergrabungsflächen akkumuliert wurden, hat man somit eine ungefähre Vorstellung von der Bedeutung bzw. Größenordnung dieser zwei unterschiedlichen Belastungsursachen.

Um Aussagen über die ökologische Relevanz dieser unterschiedlichen Schwermetallquellen zu gewinnen, wurde ein Vergleich der im Ammoniumnitratextrakt bestimmten pflanzenverfügbaren Metallanteile vorgenommen. Der hierfür beprobte Standort am Regenbeck bei Hettstedt (Tab. 3) liegt weit außerhalb jeglicher Vorkommen von oben beschriebenen Vergrabungsstrukturen, dafür aber in der Hauptwindrichtung der ehemaligen Bleihütte. Die Bodenschwermetallgehalte sind somit nahezu ausschließlich durch atmogenen Transfer von dieser, ebenfalls „historischen" Belastungsquelle, erklärbar. Im Vergleich zu den im Königswasserauszug ermittelten Schwermetallgesamtgehalten erreichen die pflanzenverfügbaren Metallanteile hier durchweg höhere Anteile als bei denen der Vergrabungsstandorte. Bei diesen liegen die im Ammoniumnitratextrakt gewonnenen Metallwerte bei oder deutlich unter 1 % der Königswasserwerte.

Damit wird eine höhere Verfügbarkeit der atmogen eingetragenen Schwermetalle gegenüber den schieferbürtigen erkennbar. Auch hier weist Zink wiederum seine Rolle als Element mit besonders hoher Verfügbarkeit nach.

Tab. 3: Vergleich eines geogen und eines anthropogen stark belasteten Bodens hinsichtlich der Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetallgesamtgehalte (OERTEL 1998)

Profil 1 anthropogen: Bodenprofil am Regenbeck (atmogene Belastung durch Bleihütte Hettstedt)										
		Kupfer			**Blei**			**Zink**		
	Tiefe in cm	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**
Ah	0-30	255,4	*6,5*	**2,5**	269,5	*4,0*	**1,5**	511,7	*67,4*	**13,2**
C	40	90,1	*2,0*	**2,2**	112,9	*2,2*	**1,9**	434,3	*17,2*	**4,0**
C	60	18,6	*0,0*	**0,2**	27,1	*2,4*	**8,9**	160,3	*0,4*	**0,3**
Profil 2 geogen: vergrabenes Haldenmaterial mit aufgeschüttetem Ap-Horizont bei Ahlsdorf										
		Kupfer			**Blei**			**Zink**		
	Tiefe in cm	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**	KW	*NH_4NO_3*	**Anteil von NH_4NO_3 an KW in %**
Ap (aufgeschüttet)	0-20	1839,5	*28,0*	**1,5**	583,8	*0,8*	**0,1**	1700,8	*2,3*	**0,1**
Haldenmaterial	30-50	5832,4	*61,7*	**1,1**	3517,2	*6,0*	**0,2**	4101,7	*36,3*	**0,9**
C_C (Löß)	70-90	57,9	*1,4*	**2,4**	33,4	*2,0*	**6,0**	186,6	*0,3*	**0,2**

normale Schrift: KW - Bodenaufschluß mit Königswasser (Schwermetallgesamtgehalte) DIN 38414 Teil 7 (Angaben in mg/kg)
kursive Schrift: NH_4NO_3 - Ammoniumnitratextraktion (Pflanzenverfügbare Anteile im Boden) DIN 19730 (Angaben in mg/kg)
fette Schrift: Anteil der Schwermetallgehalte nach NH_4NO_3-Extraktion an den Gehalten nach Königswasseraufschluß in %

4.4 Empfehlungen zur Problemreduzierung

Wie aus den Ergebnissen erkennbar, ist nicht der Ausstrich des Kupferschieferflözes, sondern das in historischer Zeit erfolgte Vergraben und Verschleppen von Haldenmaterial die Hauptursache der zweifelsohne gravierenden Boden- und Pflanzenbelastung im Betrachtungsraum. Dies wurde in bisherigen

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Gutachten und Recherchen oftmals übersehen, vor allem aber wurde das flächenhafte Ausmaß dieser Phänomene beträchtlich unterschätzt.

Hieraus ergibt sich ein nicht unbeträchtliches Gefährdungspotential für die landwirtschaftliche Nutzung und somit für die Nahrungskette des Menschen. Obwohl Maßnahmen oder Empfehlungen zur Problemreduzierung zwar dringend geboten sind, erscheinen diese praktisch nur schwer umsetzbar. Aus der Sicht der Bearbeiter ist daher eine schrittweise Herausnahme der Standorte mit einem besonders hohen Anteil von Vergrabungsstrukturen aus der Ackernutzung sicherlich die radikalste Lösung. Eine extensivere Form der agrarischen Nutzung würde dieses Problem zumindest minimieren. Es sollte natürlich auch geprüft werden, ob ein Aufbringen von aus anderen Gegenden stammendem, geringer oder kaum kontaminiertem Mutterbodenmaterial ebenfalls zu einer Problemreduzierung beitragen kann.

Zukünftig sollte zum einen eine weitere Beobachtung und Beprobung der bereits erfaßten Vergrabungsflächen erfolgen, um so Angaben über die räumliche Ausbreitung der Schadphänomene durch bodenerosionsbedingte Schwermetallemissionen von diesen Flächen in den umgebenden Raum zu gewinnen. Andererseits ist es gleichzeitig notwendig, über die bearbeiteten Gebiete hinaus eine Vorstellung von der generellen Verbreitung solcher Flächen im gesamten ehemaligen Bergbaugebiet am östlichen und südöstlichen Harzrand zu bekommen.

Auch in fiskalischer Hinsicht sind durch die gewonnenen Erkenntnisse Schlußfolgerungen zu ziehen. So werden die hier wirtschaftenden bäuerlichen Unternehmen zusätzlich zum Minder- und Mangelertrag auch steuerlich benachteiligt, da die Haldenvergrabungen in den Bodenwertzahlen der Reichsbodenschätzung der dreißiger Jahre weitestgehend unberücksichtigt blieben. In den Flur- und Reichsbodenschätzungskarten sind nur an ganz wenigen Standorten diese Vergrabungsstrukturen erkannt und berücksichtigt worden. Man findet in diesen Karten dann im Unterschied zu den umgebenden Lößstandorten (L3Lö), die Bodenwertzahlen von 75 bis 80 aufweisen, eine Einstufung als Verwitterungsstandort (sL4V) mit Bodenwertzahlen um 50 vor.

Unter Berücksichtigung der Kenntnisse über die flächenhafte Dimension der beschriebenen Erscheinungen wird somit verständlich, daß dies auch steuerliche Konsequenzen nach sich ziehen müßte.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Oertel, T.; Frühauf, M.: Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. - Hercynia N. F. **32** (1999): 111–126.

Aus den Untersuchungsbefunden wird deutlich, daß der überwiegende Teil der Boden- und Pflanzenbelastungen im Umfeld der Klein- und Kleinsthaldenfelder im Mansfelder Land nicht durch den natürlichen Kupferschieferausstrich, wie in mehreren Publikationen behauptet, verursacht wird. Luftbild-, Gelände- und Laboranalysen erbrachten Hinweise auf in historischer Zeit „aufgearbeitete" Halden als wesentliche Quelle der hohen Schwermetallbelastungen in den Böden und Pflanzen. Im Zuge von Vergrabungen wurde das schwermetallreiche Schiefermaterial der Halden in die Böden der Umgebung integriert. Obwohl die Haldengräber damals durch Mutterboden überdeckt wurden, ist nachfolgend durch Bearbeitungs- und Erosionsprozesse wieder eine schrittweise und flächenhafte „Exhumierung" des Haldenmaterials erfolgt. Diese Standorte weisen neben hohen Schwermetallgehalten auch ungünstige Bodenwassereigenschaften sowie eine limitierte Durchwurzelbarkeit auf. Dadurch kommt es zu flächenhaften Vegetationsschädigungen, Ertragsausfällen und teilweise zu beträchtlichen Kontaminationen des Erntegutes.

Dieses Phänomen kann nicht als Singularität, sondern als eine flächenhafte Erscheinung charakterisiert werden. Perspektivisch ist davon auszugehen, daß die Schadwirkung infolge Erosionswirkung, Verschleppung und Verwitterung des Schiefermaterials sogar noch zunehmen wird. Deshalb sollten diese Prozesse weiter untersucht werden und standortgerechte Maßnahmen zum Bodenschutz eingeleitet werden.

©Univeritäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

6 LITERATUR

CÖSTER, D. (1993): Ermittlung und Bewertung von Schwermetallgehalten ackerbaulich genutzter Böden in der Umgebung von Bergbauhalden des ehemaligen Mansfelder Kupferbergbaugebietes. - Diplomarb. Inst. f. Geogr. Univ. Halle. unveröff.

GRÜN, M. (1991): Untersuchungen zum Schwermetalleintrag in die Nahrungskette im Mansfelder Land. - Inst. f. Pflanzenernährung und Ökotoxikologie. Jena. unveröff.

JANKOWSKI, G. (1995): Zur Geschichte des Mansfelder Bergbaus. - Clausthal-Zellerfeld. S. 2-250.

LORENZ, B. (1996): Der Kupferschieferausstrich am östlichen Harzrand und seine Auswirkungen auf die Bodenschwermetallgehalte. - Diplomarb. Inst. f. Geogr. Univ. Halle. unveröff.

OERTEL, T. (1998): Untersuchung und Bewertung von geogenen und anthropogenen Bodenschwermetallanreicherungen als Basis einer geoökologischen Umweltanalyse im Raum Eisleben - Hettstedt. - In: Beiträge der 3. Tagung zur geographischen Umweltforschung in Mitteldeutschland. UZU Schriftenreihe N. F. Bd. **2**. Halle. S. 33-43.

SCHMIDT, G. (1997): Umweltbelastung durch Bergbau - Der Einfluß von Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus auf die Schwermetallführung der Böden und Gewässer im Einzugsgebiet Süßer See. - Dissertation. Inst. f. Geogr. Univ. Halle. unveröff.

SCHMIDT, G.; FRÜHAUF, M. (1997): Untersuchungen zur Bedeutung der Schwermetallemission aus den Halden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus als Ursache von Boden- und Fließgewässerbelastungen. - In: Hercynia. Bd. **30**. Heft 2. Halle. S. 177-193.

TÜV BAYERN (1991): Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben "Umweltsanierung Mansfelder Land". - Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit von der AG TÜV Bayern/ L.U.B. Lurgi-Umwelt-Beteiligungsgesellschaft. Eisleben.

VOGEL, W. (1976): Die Beziehungen zwischen dem ausstreichenden Kupferschieferflöz und den Schwermetallgehalten in Hangsedimenten und -böden im südlichen Harzvorland (Gemarkung Pölsfeld) und ihr Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung. - Diplomarb. Univ. Halle. unveröff.

WAGENBRETH, O.; STEINER, W. (1990): Geologische Streifzüge - Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. - 4. Aufl. Leipzig.

Manuskript angenommen: 28 Juni 1999

Anschrift der Autoren:
Prof. Dr. Manfred Frühauf
Thomas Oertel
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geographie
Domstraße 5
D-06108 Halle (Saale)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Hercynia

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: 32

Autor(en)/Author(s): Frühauf Manfred, Oertel Thomas

Artikel/Article: Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mausfelder Land 111-126