

Hallesches Jahrb. Geowiss.	R. A	Bd. 21	Halle (Saale) 1999	S. 83 - 96
----------------------------	------	--------	--------------------	------------

Untersuchung zu den natürlichen Schwermetallgehalten von Lössen im mitteldeutschen Raum

Investigation to the Natural Contents of Heavy Metals of Loess in Eastern Germany

Mit 2 Abbildungen und 8 Tabellen

Von KERSTIN BIERING und MANFRED FRÜHAUF

Zusammenfassung: Im Rahmen einer Diplomarbeit (BIERING 1998) wurden Lössproben (aus dem Cc-Horizont) von 23 unterschiedlichen Standorten der mitteldeutschen Lössprovinz hinsichtlich ihrer natürlichen Schwermetallgehalte untersucht. Vorrangiges Ziel war es, nicht nur die absoluten Metallgehalte (Königswasseraufschluß) zu ermitteln, sondern vor allem zu prüfen, ob sich diesbezüglich Unterschiede zwischen den einzelnen Lösssubprovinzen ergeben. Neben den Schwermetallen wurden auch die Textur und die Karbonatgehalte bzw. pH-Werte in diesen Vergleich einbezogen.

Die Ergebnisdiskussion erfolgte zum einen auf der Basis jeder einzelnen Lösssubprovinzen, zum anderen wurden diese miteinander verglichen. Dabei zeigten sich sowohl bei den Karbonat- als auch bei den Schwermetallgehalten signifikante Unterschiede. Diese lassen einen West-Ost-Gradienten erkennen. Ursächlich sind hierfür einerseits rezente sowie paläoklimatische Differenzen zwischen den Untersuchungsräumen verantwortlich. Zum anderen geben die Befunde auch Hinweise auf mineralogischen Variationen. Diese werden durch die Genese der äolischen Ablagerungen verursacht.

Summary: In the framework of a diploma study (BIERING 1998), and using loess probes (from the Cc-horizon), an investigation was undertaken to determine the variations in heavy metal concentrations at 23 different loess locations in eastern Germany. The main aim was not only to determine the heavy metal concentrations using nitric acid but also, above all other factors, to determine and compare any significant variations between the individual loess provinces. Near to the heavy metals, the carbonate content, texture and pH-values were also included in this comparison.

Discussion of the results was given first for every individual loess subprovince, and then by comparison of each province with all others across the whole region. In this way significant variations in both carbonate concentration and heavy metal concentration could be compared and contrasted. These results revealed the presence of an east-west gradient. Both the Recent and Palaeo climate differences across the investigated region play a role in causing this gradient. The results also provide clues to the mineralogical variation, generated by the aeolian deposition conditions of the loess.

1 Problemstellung

Obwohl Untersuchungen zu den Ursachen, Formen und Auswirkungen von Schwermetallbelastungen in Böden zu den heute in der Umweltforschung am häufigsten bearbeiteten Problemfeldern gehören, bleibt oftmals unberücksichtigt, daß man auch von einer natürlichen, substrat- und bodentypenabhängigen Grundbelastung ausgehen muß (FIEDLER & RÖSLER 1988, BLUME 1992). Die litho- bzw. mineralogenen Schwermetallgehalte werden durch die Pedogenese zwar verändert (LICHTFUSS 1989), stellen aber annäherungsweise das dar, was man als geogenen Background bezeichnet. Dieser erfährt durch die unterschiedlichsten anthropogenen Ursachen und verschiedenartige Transportpfade eine Anreicherung bzw. Erhöhung. Bei vielen Umweltanalysen gehen diese geogenen Schwermetallgehalte dann weitestgehend unkritisch in den Gesamtbelastungswert und die Diskussion ein. Die differenzierte Betrachtung der Schwermetallgehalte ist jedoch allein schon unter dem Blickwinkel der Bindungsunter-

schiede (HINDEL & FLEIGE 1991) sowie der dadurch bedingten unterschiedlichen Verfügbarkeit bzw. ökologischen Relevanz der natürlichen bzw. anthropogenen Metallkomponenten von Wichtigkeit.

Wie die bisherigen Untersuchungen zeigten, ist der geogene Gehalt der Schwermetalle in Lössen im Vergleich mit anderen Ausgangssubstraten insgesamt als niedrig einzustufen (LAUTRIDOU et al. 1984, WEN et al. 1984, RUPPERT & SCHMIDT 1987, HINDEL & FLEIGE 1991). Auffallend sind jedoch die zum Teil beträchtlichen Schwankungen der Schwermetallgehalte in den verschiedenen Lössprovinzen. Ob dies auch für den mitteldeutschen Raum zutrifft, in welchen Größenordnungen dabei Schwankungen auftreten bzw. ob sich sogar innerhalb einer Lössprovinz Variationen zeigen und inwieweit diese ggf. mit anderen pedologischen Grundparametern einhergehen, wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ermittelt (BIERING 1998). Aus ihr werden nachfolgend ausgewählte Befunde vorgestellt und entsprechend der eingangs genannten Problematik diskutiert.

2 Das Untersuchungsgebiet

Weichselzeitliche äolische Ablagerungen bilden in Mitteleuropa vor allem im Nördlichen und Östlichen Harzvorland, im Thüringer Becken sowie im sächsischen Raum großflächig das Ausgangsmaterial der Bodenbildung (Abb. 1). Mit Mächtigkeiten von 2 bis 10 m überlagern Löss, Lösslehme und Sandlöss neben mesozoischen Gesteinen vor allem Moränen und glazifluviale Bildungen der Saaleeiszeit (EISSMANN 1995, KNOTH 1995, UNGER & KAHLKE 1995). Manchenorts treten im Liegenden auch ältere Löss auf.

Die mitteldeutsche Lössprovinz kann hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse und ihrer Auswirkungen auf die Lössigenschaften in verschiedene Subprovinzen unterteilt werden, deren Grenzen weitestgehend mit denen der oben genannten Landschaften identisch sind. Für die eigene Problemlösung erwies sich eine Einteilung in fünf Teilregionen als sinnvoll. Diese lassen sich vor allem hinsichtlich der Wirkungen auf das Niederschlagsgeschehen, die von den westlich bzw. südwestlich vorgelagerten Mittelgebirgen ausgehen, unterscheiden. So befinden sich große Teile des Nördlichen und Östlichen Harzvorlandes sowie des Thüringer Beckens im Regenschatten des Harzes und des Thüringer Waldes. Die durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen liegen hier häufig bei oder sogar unter 500 mm. In diesen Trockengebieten herrschen durchschnittliche Jahrestemperaturen von 8,5 °C (BRAMER 1991). Demgegenüber weisen die Jahresniederschläge Nordwestsachsens mit 550 bis 650 mm schon deutlich auf die nachlassende Leewirkung der mitteldeutschen Mittelgebirge hin. Dieser Raum wird deshalb von RICHTER et al. (1970) auch als "Feuchtbereich der Lössbildung" bezeichnet.

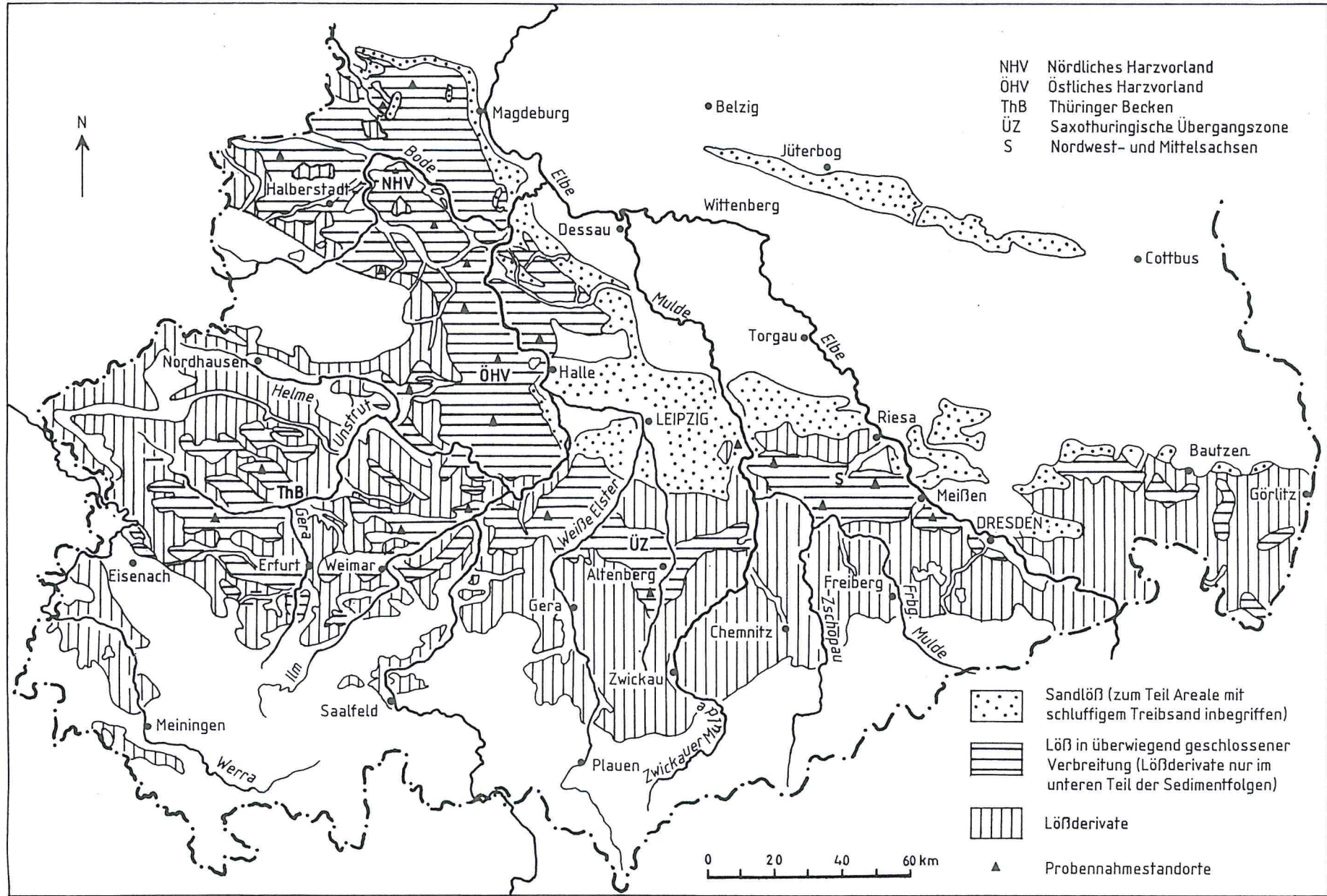
3 Methodik

Für die Probenahme im Gelände wurde vorrangig auf in der Literatur beschriebene sowie neuere (temporäre) Aufschlüsse orientiert. Leider waren von den in der älteren Literatur ausgewiesenen Profilen, insbesondere solchen mit einer detaillierteren Beschreibung unterschiedlich alter und faziell verschiedenartiger äolischer Straten, nur noch wenige aufgeschlossen. Deshalb mußte meistens auf temporäre Aufschlüsse zurückgegriffen werden. Schürfe wurden selbst angelegt oder es erfolgte eine Beprobung mit dem Bohrstock. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 23 Standorte beprobt, quartärgeologisch-bodenkundlich dokumentiert und fotografiert. Wie Abb. 1 zeigt, galt es bei den Beprobungen sowohl die zentralen als auch die randlichen Bereiche der jeweiligen Lösssubprovinz zu berücksichtigen.

Die Probenahme erfolgte aus dem Cc-Horizont unterhalb des häufig auftretenden Karbonateinwaschungshorizontes. Im Labor wurden das entnommene Material danach luftgetrocknet, zerkleinert und gesiebt. Die Bestimmung des Gesamtkarbonatgehaltes erfolgte gasvolumetrisch mittels der Scheiblerschen Apparatur, wobei für jede Probe eine Doppelbestimmung durchgeführt wurde. Bei Substraten, die sich als karbonatfrei erwiesen, erfolgte die Analyse der Gesamtacidität (DIN 19684 - Teil 1). Die Korngrößenverteilung wurde mit Hilfe des Laserdiffraktometers ermittelt.

Für die nach Königswasseraufschluß (DIN 38414 - Teil 7) durchgeführte Schwermetallbestimmung mittels des Atomabsorptionspektrometers (Flamme) - AAS - wurden folgende Elemente ausgewählt:

Abb. 1 (S. 85): Vereinfachte Darstellung der Verbreitung von Löss und Lössderivaten im Weichsel-Periglazial der neuen Bundesländer
(nach einer Karte von HAASE et al. 1970, S. 100 - 101, verändert)



Untersuchung zu den natürlichen Schwermetallgehalten von Lössen

Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, Cd und Ag. Zur Feststellung der Reproduzierbarkeit der Werte erfolgte von einem Drittel der gesamten Proben eine Doppelbestimmung.

Wie Abb. 2 zeigt, ergaben sich für die Elemente Cd und Ag Zweifel in Hinblick auf die Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der ermittelten Daten. Ursächlich spielen hierbei vor allem die geringen Konzentrationen, die sich im Bereich der unteren Nachweisgrenze des AAS befanden, die entscheidende Rolle. Diese beiden Elemente wurden deshalb aus der Diskussion ausgeklammert. Die Werte der übrigen bestimmten Elemente zeigten demgegenüber eine gute Reproduzierbarkeit.

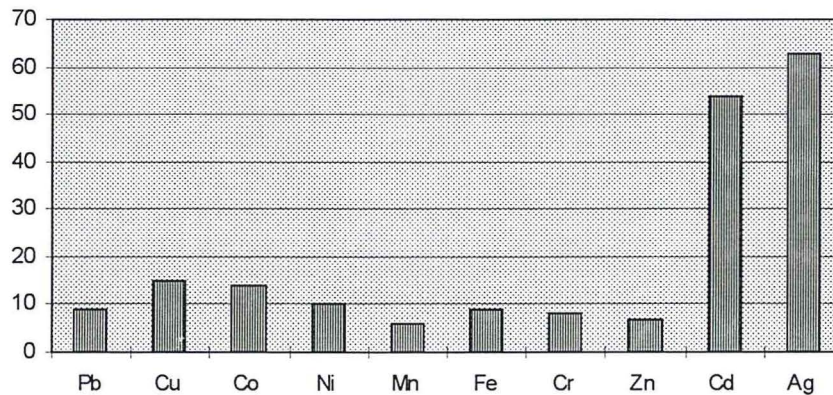


Abb. 2: Elementspezifische relative Standardabweichungen (in %) der Doppelbestimmungen

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Karbonatgehalte

Die ermittelten Karbonatgehalte der Lößproben zeigen eine nicht erwartete Streuung (Standardabweichung - SA). Von den fünf Subprovinzen weisen die äolischen Sedimente des Nördlichen Harzvorlandes und des Thüringer Beckens die höchsten Werte auf (Tab. 1). Der Mittelwert beträgt für das Nördliche Harzvorland 18 %. Die relative Standardabweichung (RSA) ist mit 36 % allerdings recht hoch und weist auf eine größere Wertestreuung hin. Für das Thüringer Becken konnten mit 22 % sogar noch etwas höhere durchschnittliche Karbonatgehalte ermittelt werden. Die Werte streuen im Vergleich zum Nördlichen Harzvorland mit einer relativen Standardabweichung von 15 % allerdings wesentlich weniger.

Tab. 1: Durchschnittliche Karbonatgehalte (in %) bzw. pH-Werte der Lößsubprovinzen

Statistisches Maß	Nördliches Harzvorland	Östliches Harzvorland	Thüringer Becken	Saxothüringische Übergangszone	Mitteldeutsche Lößprovinz	Nordwest- und Mittelsachsen
	CaCO ₃					pH-Wert
Arith. Mittel	18	11,5	22	6	11	6,4
Median	16	11	24	6	11,5	6,2
Minimum	10	10	17	0	6	6,15
Maximum	36	15	24	12	22	7
SA	6	2	3	6	8	0,32
RSA in %	36	15	15	50	72	5

In den Lößen des Östlichen Harzvorlandes beträgt der durchschnittliche Karbonatgehalt 11,5 % und erreicht damit die gleiche Größenordnung wie die Mittelwerte der Karbonatanteile der gesamten mitteldeutschen Lößprovinz. Die Werte streuen im Vergleich zum Nördlichen Harzvorland geringer. Die relative Standardabweichung als Maß für die Streuung besitzt mit 15 % hier den gleichen Wert wie im Thüringer Becken.

In der sich östlich an das Thüringer Becken anschließenden Saxothuringischen Übergangszone tritt mit 6 % ein niedrigerer Karbonatgehalt auf. Allerdings erreicht hier die Streuung mit einer relativen Standardabweichung von 50 % den höchsten Wert der fünf Subprovinzen.

Der in räumlicher Hinsicht erkennbare Trend einer zunehmenden Entkalkung setzt sich in östlicher bzw. nordöstlicher Richtung fort. Die beprobten Löße (bzw. Lößlehme) Nordwest- und Mittelsachsens sind generell karbonatfrei. Der pH-Wert liegt durchschnittlich bei 6,4. Die Streuung der pH-Werte ist mit 5 % sehr gering.

4.2 Korngrößenverteilungen

Die Korngrößenverteilung aller untersuchten Löße in den verschiedenen Regionen variiert bis auf den relativ konstanten Mittelschluff in mehr oder weniger großen Wertebereichen (Tab. 2).

Tab. 2: Korngrößenverteilung (in Vol.-%) in den Lößen der Subprovinzen

Statist. Maß	Fraktion (in μm)					
	< 2	> 2 - 6,3	> 6,3 - 20	> 20 - 63	> 63 - 200	> 200 - 630
Nördliches Harzvorland						
Ar. Mittel	15	11	22	42	10	0
Median	14	10	23	45	6	0
Minimum	7	5	12	12	0	0
Maximum	24	28	35	57	27	0
SA	6	7	7	13	8	0
RSA in %	40	64	32	31	80	0
Östliches Harzvorland						
Ar. Mittel	13	10	22	45	10	0
Median	13	10	23	45	10	0
Minimum	12	8	18	41	8	0
Maximum	14	12	26	50	15	0
SA	1	1	2	3	2	0
RSA in %	6	14	11	7	24	0
Thüringer Becken						
Ar. Mittel	20	15	28	34	7	0
Median	19	16	26	32	8	0
Minimum	17	12	25	30	4	0
Maxi	23	16	34	40	9	0
SA	2	2	4	4	2	0
RSA in %	12	13	14	13	31	0
Saxothuringische Übergangszone						
Ar. Mittel	15,5	14,5	24	37	9	0
Median	15,5	14,5	24	37	9	0
Minimum	14	12	23	35	8	0
Maximum	17	17	26	38,5	9,5	0
SA	2	3	2	2	1	0
RSA in %	14	18	6	5	9	0
Sachsen						
Ar. Mittel	11	10	23	45	10	1
Median	10	11	22	47	8,5	0
Minimum	7	6	18	44	6	0
Maximum	14	12	27	48	21	4
SA	2	2	3	1	6	2
RSA in %	21	21	14	3	56	200

Die Löße des Thüringer Beckens weisen mit einem Mittelwert von 20 Vol.-% die höchsten Tongehalte auf. Einander ähnliche, in Bezug auf das Untersuchungsgebiet mittlere und hohe Gehalte in der Tonfraktion besitzen die Löße des Nördlichen Harzvorlandes mit 15 Vol.-% und der Saxothuringischen Übergangszone mit 15,5 Vol.-%. Im Östlichen Harzvorland sind durchschnittlich 13 Vol.-% in der Tonfraktion enthalten, während für die Löße Sachsens mit 11 Vol.-% die geringsten Werte nachgewiesen wurden.

Die Löße des Thüringer Beckens und der Saxothuringischen Übergangszone weisen mit 15 bzw. 14,5 Vol.-% die höchsten Anteile an der Feinschlufffraktion auf. Im Nördlichen und Östlichen Harzvorland sowie in Sachsen nimmt die Feinschlufffraktion in der Kornverteilung mit 10 und 11 Vol.-% einen etwas geringeren Anteil ein.

Mit durchschnittlich 28 Vol.-% weisen die Löße des Thüringer Beckens die höchsten Mittelschluffanteile auf. Die Gehalte dieser Kornfraktion sind mit 22 Vol.-% im Nördlichen und Östlichen Harzvorland, mit 24 Vol.-% in der Saxothuringischen Zone sowie mit den 23 Vol.-% Sachsens in den übrigen Lößregionen des Untersuchungsgebietes ähnlich.

Die höchsten Grobschluffanteile mit 45 Vol.-% treten in den Lößen Sachsens und des Östlichen Harzvorlands auf. Ähnliche Werte konnten für das Nördliche Harzvorland (42 Vol.-%) und die Saxothuringische Übergangszone (37 Vol.-%) ermittelt werden. Die geringste Grobschluffmenge besitzen die Löße des Thüringer Beckens mit 34 Vol.-%.

Die Feinsandfraktion hat in den Lößen des Nördlichen und Östlichen Harzvorlandes sowie Sachsens einen Anteil von 10 Vol.-%. Mit Werten von 7 und 9 Vol.-% ist der Anteil dieser Korngrößenfraktion in den Proben des Thüringer Beckens und der Übergangszone nur unwesentlich geringer.

Nach diesen Befunden kann für die einzelnen Lößsubprovinzen folgende Bezeichnung der durchschnittlichen Bodenart (nach DIN 4220 in SCHLICHTING et al. 1995) verwendet werden:

- Thüringer Becken: stark lehmiger Schluff
- Nördliches Harzvorland und Saxothuringische Übergangszone: mittel lehmiger Schluff
- Östliches Harzvorland und Sachsen: schwach lehmiger Schluff

Vergleicht man die relativen Standardabweichungen der Texturanalysen in den einzelnen Subprovinzen, so läßt sich feststellen, daß in jeder Korngrößenfraktion die Gehalte des Nördlichen Harzvorlandes am meisten streuen. Die Werte betragen für die Tonfraktion 40 %, für die Feinschluffklasse 64 % und für den Mittel- und Grobschluff 32 bzw. 31 %. Die größte Streuung tritt mit einer relativen Standardabweichung von 80 % in der Feinsandfraktion auf.

Im Östlichen Harzvorland betragen demgegenüber die Wertestreuungen in der Feinschluff- und in der Feinsandfraktion nur 14 % bzw. 24 %. Die Abweichungen in den anderen Fraktionen liegen bei 10 %.

In den Lößen des Thüringer Beckens erreicht die relative Standardabweichung für Ton, Fein-, Mittel- und Grobschluff Werte zwischen 12 und 14 %. Stärker weichen die Gehalte in der Feinsandfraktion (31 %) voneinander ab.

Zwischen den Lößproben der Saxothuringischen Übergangszone bestehen hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung kaum Unterschiede. Nur in den Fraktionen des Tons und des Feinschluffs (14 und 17 %) beträgt die relative Standardabweichung mehr als 10 %.

Die sächsischen Lößproben weisen bei einer relativen Standardabweichung von jeweils 21 % in der Ton- und Feinschlufffraktion die gleiche Größenordnung auf. Geringer sind hier die Schwankungen in der Mittelschlufffraktion mit der relativen Standardabweichung von 14 %. Wesentlich größer sind demgegenüber die Werteschwankungen in der Feinsandfraktion mit 56 %.

4.3 Schwermetallgehalte

Wie Tab. 3 ausweist, liegen die im Königswasserauszug bestimmten geogenen Schwermetallgehalte für Kobalt und Kupfer etwa in gleichen Größenordnungen. So beträgt der durchschnittliche Kobaltgehalt der Löße des gesamten mitteldeutschen Raumes 12 ppm. Diese durchweg niedrigen Gehalte

schwanken um 4 ppm. Für Kupfer wurden Durchschnittswerte von 9 ppm ermittelt. Bei diesem Element schwanken die Werte ebenfalls nur geringfügig.

Tab. 3: Durchschnittliche Schwermetallgehalte (in ppm) der Lößsubprovinzen

<i>Statistisches Maß</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
<i>Nördliches Harzvorland</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	12	10	24	66	22	26	440	15100
<i>Median</i>	11	10	23	66	22	26	460	15100
<i>Minimum</i>	10	8	20	59	19	23	360	12700
<i>Maximum</i>	14	11	30	73	24	30	480	17500
<i>SA</i>	1	1	2	4	1,5	2	36	1253
<i>RSA in %</i>	8	9	10	6	7	7,5	8	8
<i>Östliches Harzvorland</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	12	8,5	21	67	23	31	500	17550
<i>Median</i>	11,5	8,5	21	65,5	22	30,5	505	17950
<i>Minimum</i>	10	7	19	63	19	27	410	14900
<i>Maximum</i>	14	10	23	77	27	35	600	19500
<i>SA</i>	1,5	1	1,5	5	3	3	59	1590
<i>RSA in %</i>	13	15	7	7	13	9	12	9
<i>Thüringer Becken</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	15	11	26	80	27	37	690	21100
<i>Median</i>	15	10	27	79	28	36	610	20900
<i>Minimum</i>	13	10	23	77	24	36	570	20000
<i>Maximum</i>	17	12	27	83	30	38	900	22300
<i>SA</i>	2	1	2	2,5	2,5	1	147	946
<i>RSA in %</i>	11	9	7	3	9	2,6	21	4,5
<i>Saxothuringische Übergangszone</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	11	9	20	70	21	31	802	19425
<i>Median</i>	11	9	20	70	21	31	802	19425
<i>Minimum</i>	9	7	18	69	15	29	555	18600
<i>Maximum</i>	13	10	21,5	71	27	33,5	1050	20250
<i>SA</i>	5	1,5	2	1	5	2	247,5	825
<i>RSA in %</i>	15	15	8	1	22	7	45	4
<i>Sachsen</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	12	8	20	75	24	36	564	22180
<i>Median</i>	12	8	20	76	25	36	560	21600
<i>Minimum</i>	11	7	17	67	22	34	510	19600
<i>Maximum</i>	13	9	23	82	26	36	620	24600
<i>SA</i>	1	1	2	6	1	2	36	1730
<i>RSA in %</i>	6	8	10	8	5,5	4	6	8
<i>Mitteldeutsche Lößprovinz</i>								
<i>Arithm. Mittel</i>	12	9	22	72	23	32	599	19070
<i>Median</i>	12	9	21	70	23	31	564	19425
<i>Spannweite</i>	4	3	6	14	6	11	362	7080
<i>SA</i>	1	1	2	5	2	4	131	2529
<i>RSA in %</i>	11	10,5	11	7	9	12	22	13

Blei und Nickel treten mit einem durchschnittlichen Anteil von 22 ppm bzw. 23 ppm in der mitteldeutschen Lößprovinz auf. Die Streuung der Elemente ist mit relativen Standardabweichungen von 9 % (Nickel) und 11 % (Blei) gering.

Chrom ist in den mitteldeutschen Lößen mit durchschnittlich 32 ppm und Zink mit 72 ppm vertreten. Die Gehalte schwanken im Einzelnen mit 11 ppm für Chrom und 14 ppm für Zink in einer ähnlichen Größenordnung. Für Zink konnte nur eine geringe relative Standardabweichung von 7 %, für Chrom eine unwesentlich größere mit 12 % nachgewiesen werden.

Die durchschnittlichen Anteile an Mangan und Eisen liegen im gesamten Untersuchungsgebiet bei 599 bzw. 19.070 ppm. Die Gehalte der Lößsubprovinzen differieren mit Spannweiten von 131 ppm (Mangan) und 2.529 ppm (Eisen) stärker. Mangan streut mit einer relativen Standardabweichung von 22 % im Vergleich zu allen anderen Schwermetallen am stärksten. Die relative Standardabweichung des Eisens ist die zweithöchste mit 13 %.

Vergleicht man die durchschnittlichen Eisen-Mangan-Verhältnisse, so ergibt sich folgendes Bild:

In den Lößten der beiden Harzvorländer ist die Proportion annähernd gleich (34 bzw. 35 : 1). Ein ähnliches Verhältnis tritt im Thüringer Becken auf (31 : 1), obwohl hier die absoluten Elementgehalte im Vergleich zu denen der anderen Lößregionen sehr hoch sind. Für die Saxothuringische Übergangszone ist das engste Eisen-Mangan-Verhältnis ermittelt worden (24 : 1). Umgekehrt zeigt sich die Situation in der sächsischen Lößsubprovinz. Das Verhältnis zwischen Eisen und Mangan ist mit 39 : 1 das weiteste im Untersuchungsraum. In dieser Region wurden der höchste Eisengehalt des mitteldeutschen Lößgebietes und ein mittlerer Mangananteil nachgewiesen. In der Saxothuringischen Übergangszone ist die Rangfolge der absoluten Gehalte dieser beiden Elemente umgekehrt, d.h. der Manganwert ist der höchste des gesamten Untersuchungsgebietes, während Eisen in durchschnittlichen Mengen in den Lößten enthalten ist.

Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen treffen:

Für die Löße des Thüringer Beckens wurde nicht nur der höchste Karbonatgehalt gemessen, sondern es wurden auch - bis auf Eisen und Mangan - die höchsten Schwermetallgehalte des gesamten Untersuchungsgebietes ermittelt. Die durchschnittlichen Eisen- und Manganwerte sind im Vergleich mit denen der anderen Lößsubprovinzen und mit dem Durchschnittswert des gesamten Untersuchungsraumes die zweithöchsten. Ordnet man die Schwermetallgehalte nach "Rängen" (Tab. 4), so erreichen die Löße des Thüringer Beckens unter den fünf Subprovinzen oftmals den "Spitzenplatz".

Tab. 4: Ordnung der Regionen nach elementspezifischen Durchschnittsgehalten

Rang	CaCO₃	Co	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Mn	Fe
1. Rang	ThB	ThB	ThB	ThB	ThB	ThB	ThB	ÜZ	S
2. Rang	NHV		NHV	NHV	S	S	S	ThB	ThB
3. Rang	ÖHV	NHV, ÖHV,S	ÜZ	ÖHV	ÜZ	ÖHV	ÜZ, ÖHV	S	ÜZ
4. Rang	ÜZ		ÖHV		ÖHV	NHV		ÖHV	ÖHV
5. Rang	S	ÜZ	S	ÜZ, S	NHV	ÜZ	NHV	NHV	NHV

NHV - Nördliches Harzvorland ÖHV - Östliches Harzvorland
 ThB - Thüringer Becken ÜZ - Saxothuringische Übergangszone
 S - Nordwest- und Mittelsachsen

Bei den Karbonat- und Bleigehalten belegt das Nördliche Harzvorland den zweiten Rang innerhalb der mitteldeutschen Lößprovinz. Die Durchschnittswerte der anderen Elemente sind jedoch im Unterschied zum Thüringer Becken die geringsten des gesamten Untersuchungsgebietes. Wie erwähnt, entspricht der für die Subprovinz des Östlichen Harzvorlandes nachgewiesene Karbonatwert dem durchschnittlichen Gehalt der mitteldeutschen Lößprovinz. Ähnlich sind die Schwermetallwerte einzuordnen. Im Vergleich mit den Elementmittelwerten der anderen Subprovinzen erreichen die des Östlichen Harzvorlandes meistens die Rangstufen 3 und 4. In der Saxothuringischen Übergangszone liegen die Karbonatgehalte der Löße deutlich unter denen des subherzynen Trockenraumes. Die Schwermetalle weisen im Vergleich mit den anderen vier Lößsubprovinzen, bis auf Mangan, mittlere bis geringe Gehalte auf. Der Mangananteil ist demgegenüber der höchste der mitteldeutschen Lößprovinz. In der Ranghierarchie der Schwermetallgehalte dominieren mittlere und niedrige Werte.

Die durchschnittlichen Elementgehalte der karbonatfreien sächsischen Löße zeigen innerhalb der Ranghierarchie der fünf Lößsubprovinzen kein einheitliches Verhalten. Für Nickel, Chrom und Zink konnten die zweithöchsten Werte des mitteldeutschen Raumes ermittelt werden. Der Eisengehalt ist sogar der höchste. Bei den anderen Elementen erreicht die sächsische Lößsubprovinz im Vergleich zu den anderen Lößregionen mittlere bis geringe Werte. Insgesamt weisen die Schwermetallgehalte im sächsischen Raum unter dem Blickwinkel dieser Ranghierarchie die größten Schwankungen auf.

5 Diskussion

5.1 Vergleich der durchschnittlichen Elementgehalte des Untersuchungsgebietes mit den mittleren Werten Bayerns und der Altbundesländer

Da die gewählte Beprobungstiefe anthropogene Schwermetallkontaminationen ausschließt, können die ermittelten Spurenelementgehalte als die geogenen Backgroundwerte der Löße und Lößlehme der mitteldeutschen Lößprovinz bezeichnet werden. Im Vergleich zu den Angaben über die natürlichen Grundgehalte der Löße der Altbundesländer bzw. Bayerns ergeben sich jedoch einige Modifikationen (Tab. 5).

Tab. 5: Natürliche Schwermetallgehalte (in ppm) von Lößen nach verschiedenen Bearbeitern

Raum	Ni	Co	Cr	Cu	Zn	Pb	Mn	Fe
Mitteldeutschland ¹	23	12	32	9	72	22	599	19800
BRD (alt) ²	28	9	67	15	53	34	470	18900
Bayern ³	27	-	75	18	60	20	600	3800
¹ BIERING (1998)		² HINDEL & FLEIGE (1991)		³ RUPPERT & SCHMIDT (1987)				

Wie Tab. 5 zeigt, liegt der durchschnittliche Chromgehalt der Löße des eigenen Untersuchungsgebietes wesentlich unter den für die bayerischen Löße (RUPPERT & SCHMIDT 1987) und die lößartigen Sedimente der Altbundesländer (HINDEL & FLEIGE 1991) angegebenen Werten. Die Nickel- und Kupferanteile sind in den mitteldeutschen Lößen ebenfalls geringer als die von den genannten Autoren ermittelten Gehalte. Allerdings sind die Differenzen weniger deutlich als bei Chrom.

Im Vergleich zu den bayerischen Lößen und Lößlehmen und zu dem Mittelwert von HINDEL & FLEIGE (1991) tritt Zink in der mitteldeutschen Lößprovinz mit einem erhöhten Durchschnittsgehalt auf. Der Kobaltwert der mitteldeutschen Löße ist dem der Altbundesländer ähnlich (HINDEL & FLEIGE 1991). Für die bayerischen Löße und Lößlehme fehlt allerdings der Vergleichswert für dieses Element. Während der für die mitteldeutsche Lößprovinz ermittelte Bleigehalt dem bayerischer Löße ähnelt, ist er gegenüber dem für die Altbundesländer angegebenen Durchschnittswert um ca. ein Drittel geringer. Eisen und Mangan erreichen im eigenen Untersuchungsgebiet etwas höhere Anteile als die von HINDEL & FLEIGE (1991) mitgeteilten Gehalte. Während der Manganwert der mitteldeutschen Löße bzw. Lößlehme dem der bayerischen äolischen Sedimente entspricht, liegt der Eisengehalt deutlich höher als dort.

Allerdings ist bei diesen Vergleichen die Anwendung unterschiedlicher Extraktionsverfahren durch die verschiedenen Bearbeiter zu berücksichtigen. Während die Schwermetallanteile der Proben des mitteldeutschen Raumes im Königswasseraufschluß gelöst wurden, fanden bei der Extraktion der Spurenelemente in den obengenannten Quellen Totalaufschlußverfahren Anwendung. Beim Königswasseraufschluß werden nur 70 bis 90 % der Spurenelemente gelöst (ALLOWAY 1995, BOCK 1972). Die geringere Wirksamkeit dieses Verfahrens kann somit eine mögliche Ursache für die niedrigeren eigenen Durchschnittsgehalte an Nickel, Blei, Kupfer und Chrom sein.

Die gegenüber den Durchschnittswerten von HINDEL & FLEIGE (1991) erhöhten königswasserlöslichen Zink-, Eisen- und Mangananteile der untersuchten Sedimente der mitteldeutschen Lößprovinz werfen die Frage auf, ob die Löße und Lößlehme des Untersuchungsgebietes intensiver syn- bzw. postgenetisch überprägt wurden oder ob diese Elementgehalte auf eine abweichende mineralische Zusammensetzung zurückzuführen sind.

Wie die Analysen ergaben, schwanken die Eisen- und Mangangehalte der Löße in den verschiedenen Lößregionen des eigenen Untersuchungsgebietes teilweise beträchtlich. Sie decken sich im Nördlichen und Östlichen Harzvorland mit den Durchschnittswerten oder sind geringer als diese, während sie in den übrigen Lößregionen höher liegen. Unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse in der mitteldeutschen Lößprovinz sind die variierenden Eisen- und Mangananteile der niederschlagsärmeren Regionen (Nördliches und Östliches Harzvorland sowie Thüringer Becken) wahrscheinlich auf eine unterschiedliche Mineralführung der Löße zurückzuführen. In der Saxothuringischen Übergangszone und in Nordwest- und Mittelsachsen, Regionen mit höheren Niederschlägen, ist die syn- und postge-

netische Überprägung die Ursache für die variierenden, generell erhöhten Eisen- und Mangangehalte in den Lößben und Lößlehm.

Die Zinkgehalte sind in allen Lößregionen des Untersuchungsgebietes gegenüber den von RUPPERT & SCHMIDT (1987) und HINDEL & FLEIGE (1991) genannten Durchschnittswerten erhöht. Diese insgesamt höheren königswasserlöslichen Zinkgehalte in den Sedimentproben des Untersuchungsraumes können jedoch nicht nur durch syn- und postgenetische Überprägungen aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen innerhalb der verschiedenen Lößsubprovinzen erklärt werden. Eine Kontamination des Materials während der Probenahme kann aufgrund unterschiedlicher Beprobungsverfahren (sowohl mit Hilfe eines Plastikspatels, d.h. metallfrei, als auch mit Bohrstock und Bohrgerät aus Edelstahl) ausgeschlossen werden. Des Weiteren ist eine Verunreinigung im Labor ebenso unwahrscheinlich, da die Proben nicht systematisch nach ihrer Herkunft behandelt und aufgeschlossen wurden und die Gehalte innerhalb der Regionen kaum streuen. Die Wiederholungsmessungen ergaben eine gute Reproduzierbarkeit der ermittelten Zinkwerte. Insofern stellt sich die Frage, ob die Elementbestimmung mit Hilfe des AAS fehlerbehaftet gewesen ist (Richtigkeit der Werte) oder ob die erhöhten Zinkwerte der mitteldeutschen Lößprovinz mit einer abweichende Mineralführung zu begründen sind. Diese Frage konnte nicht abschließend und endgültig beantwortet werden. Die Kobaltwerte, die ebenfalls in allen Lößregionen des Untersuchungsraumes höher liegen als die genannten Durchschnittswerte der alten Bundesrepublik, untermauern jedoch zumindest die Vermutung einer variierenden Mineralführung.

5.2 Diskussion der durchschnittlichen Gehalte der Lößsubprovinzen mit den Hintergrundwerten der jeweiligen Bundesländer

5.2.1 Sachsen Anhalt

Beim Vergleich der Hintergrundwerte für lößbetonte Sedimente in Sachsen-Anhalt (FELDHAUS et al. 1996) mit den ermittelten Elementgehalten des Nördlichen und Östlichen Harzvorlandes (Tab. 6) fällt auf, daß die eigenständig bestimmten Kupferanteile etwas geringer sind. Demgegenüber sind der gemessene Nickel-, Blei- und Chromgehalt der Proben aus dem Nördlichen Harzvorland und die vom geologischen Landesamt für Sachsen-Anhalt ermittelten Werte annähernd gleich.

Tab. 6: Schwermetallgehalte (in ppm) sachsen-anhaltischer Löße

	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>
<i>Hintergrundwerte</i> ¹	20	25	12	55	25
<i>Nördliches Harzvorland</i> ²	22	26	10	66	24
<i>Östliches Harzvorland</i> ²	23	31	8,5	67	21
¹ FELDHAUS et al. (1996)		² BIERING (1998)			

In den Proben aus dem Östlichen Harzvorland ist Blei in geringeren und Chrom in geringfügig größeren Mengen im Vergleich zu den Hintergrundwerten Sachsen-Anhalts enthalten. Die annähernd identischen Zinkanteile der beiden Lößsubprovinzen liegen dagegen höher. Die Problematik des vergleichsweise höheren Zinkgehaltes wurde bereits in Kap. 5.1 diskutiert. Für Kobalt, Eisen und Mangan wurden vom Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt keine Werte veröffentlicht.

5.2.2 Thüringen

Für Chrom, Kobalt, Kupfer und Nickel sind in der Lößregion des Thüringer Beckens geringere Konzentrationen im Vergleich zu den von SCHRAMM et al. (1997) angegebenen Hintergrundwerten ermittelt worden. Blei und Zink weisen dagegen höhere Gehalte im Vergleich zu den Hintergrundwerten auf (Tab. 7).

Tab. 7: Schwermetallgehalte (in ppm) thüringischer Löße

	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Co</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>
<i>Hintergrundwerte</i> ¹	11	25	12	10	80	24
<i>Thüringer Becken</i> ²	25	48	15	11	49	16
¹ SCHRAMM et al. (1997)		² BIERING (1998)				

In dieser Lößregion wurden nur drei Standorte beprobt. Zwei der Probenahmepunkte befinden sich im Bereich bzw. in der Nähe des Muschelkalkausstrichs.

Neben dem Muschelkalk ist im Thüringer Becken der Buntsandstein das dominierende liegende Gestein der periglazialen Decksedimente. Vergleicht man die Schwermetallgehalte von aus Buntsandstein bestehenden Deckschichten (ROTSCHKE 1973, SCHRAMM et al. 1997) mit den Spurenelementanteilen muschelkalkdominierter Decklagen (SCHRAMM et al. 1997, WUNDERLICH 1997), so ergibt sich, daß die Werte im Muschelkalk durchschnittlich erhöht sind. Da der Löß nicht nur ein Bildungsprodukt der nach einem Ferntransport akkumulierten Schluffkörner ist, sondern auch durch einen gewissen, aus der naheliegenden Umgebung stammenden Anteil charakterisiert wird (RICHTER et al. 1970), ist eine Beeinflussung der Schwermetallgehalte der Löße durch die Liegendgesteine (infolge von Beimengungen) in Form von Verdünnung bzw. Anreicherung wahrscheinlich.

Mit nur zwei Probenahmepunkten im Bereich des Muschelkalkausstrichs bei insgesamt drei Proben war die Probenanzahl im Thüringer Becken gering. Dies mag eine Ursache für die im Vergleich mit den Hintergrundwerten differierenden Elementgehalte der Löße dieser Subprovinz sein. Die bestimmten Elementgehalte sind somit nur als eingeschränkt repräsentativ zu betrachten. Eine weitere Ursache können die von den verschiedenen Bearbeitern angewandten Aufschlußmethoden sein. Während SCHRAMM et al. (1997) elementspezifische Totalaufschlußverfahren nutzten, wendete BIERING (1998) den Königswasseraufschluß zur Schwermetallextraktion an.

5.2.3 Sachsen

Die Hintergrundwerte für die Löße des Bundeslandes Sachsen und die ermittelten Schwermetallgehalte der mittelsächsischen Lößlehme differieren kaum (Tab. 8).

Tab. 8: Schwermetallgehalte (in ppm) sächsischer Löße

	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Co</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>
Hintergrundwerte¹	21	30	10	13	63	22
Mittelsachsen²	24	36	8	12	75	20
¹ BUFE & SUNTHEIM (1993) ² BIERING (1998)						

Die von BIERING (1998) bestimmten Anteile für Nickel, Chrom und Zink liegen im Vergleich zu den in der Literatur angegebenen Hintergrundwerten bei den mittelsächsischen Lößlehmern höher, während für Blei und Kobalt Gehalte festgestellt wurden, die mit diesen Werten gut übereinstimmen.

5.3 Lößgenetische Aussagen

Aus den Untersuchungsbefunden ergibt sich die Frage, ob die festgestellten Unterschiede der Karbonat- sowie Schwermetallgehalte durch unterschiedliche Herkunfts- bzw. Ausblasungsgebiete bedingt sind. Obwohl zu dieser Problematik schon in der älteren Literatur über den mitteldeutschen Raum Aussagen gemacht wurden (NEUMEISTER 1965, RICHTER et al. 1970), konnten mittels der eigenen Untersuchungsmethodik nur erste Hinweise, jedoch keine endgültigen Antworten gefunden werden.

So scheinen die höheren Karbonatgehalte der Löße der Harzvorländer, des Thüringer Beckens sowie des westlichen Bereiches der Saxothuringischen Übergangszone vor allem durch die karbonathaltigen Gesteine der Hochflächen und die kalksteinreichen Schotter der hier vorhandenen Flußterrassen, wie z.B. der Saale, begründet zu sein. Aufgrund des geringeren Karbonatgehaltes der elster- und saalezeitlichen Moränen (tiefgründige Entkalkung nach Akkumulation des Materials während nachfolgender Warmzeiten) sowie der nahezu kalksteinfreien Schotterführung lokaler Flüsse (z.B. Elster, Mulde, Pleiße) sind die Lößstäube des westlichen saxothuringischen und nordwestsächsischen Raumes mit großer Wahrscheinlichkeit bereits primär karbonatarm bis -frei gewesen (LIEBEROTH 1962, NEUMEISTER 1966).

Im mittelsächsischen Bereich, wie im Raum Lommatzsch (Lommatzcher Pflege), wiesen die äolischen Sedimente demgegenüber ursprünglich höhere Karbonatgehalte auf. Dies wird auf die nahegelegenen Vorkommen von karbonatführenden Zechsteinsedimenten zurückgeführt (NEUMEISTER 1966, RICHTER et al. 1970).

Wie in der Literatur belegt, begründen unterschiedliche Ausblasungsgebiete auch eine differenzierte mineralische Zusammensetzung (z.B. Karbonatgehalt, Schwermineralassoziationen) sowie Texturunterschiede. Obwohl für die Problemlösung deshalb eine schwermineralogische Analyse notwendig wäre, konnte diese aus verschiedenen Gründen im Rahmen einer Diplomarbeit nicht durchgeführt werden. Trotzdem wurde versucht, die zu diesem Problem über das Untersuchungsgebiet vorliegenden Informationen (MÜLLER 1959, ALTERMANN & FIEDLER 1975) für die Ergebnisfindung zu nutzen. Für die Quantität und Qualität der Schwermetallspektren sind dabei die Ton- und Schwermineralgarnitur der Sedimente von großer Bedeutung. Der mineralische Hauptbestandteil des Lößes ist jedoch der Quarz. Es ist daher verständlich, daß die Schwankungen der geogenen Schwermetallgehalte kaum größere Dimensionen erreichen können.

Damit ergibt sich wiederum die Frage nach der Bedeutung syn- und postgenetischer, insbesondere klimatisch determinierter Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung dieser äolischen Sedimente als Ursache für die festgestellten Unterschiede in den Metallspektren der Lößsubprovinzen. Unter diesem Blickwinkel muß beim Vergleich der natürlichen Schwermetallgehalte berücksichtigt werden, daß die Regenschattenwirkung des Harzes und des Thüringer Waldes bei Westwinddominanz in östlicher Richtung abnimmt. Nach POSER (1951) dominierte während des Weichselglazials eine den gegenwärtigen Bedingungen vergleichbare zonale Gliederung der klimatischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet. Insgesamt war aber während des Weichselhochglazials das Klima semiarid bis arid. Zur Zeit der Lößsedimentation war im Thüringer Becken und in den Harzvorländern (rezente Trockengebiete) eine höhere Aridität ausgeprägt als gegenwärtig. In den rezenten feuchteren Bereichen der Saxothuringischen Übergangszone und Sachsens herrschte unter Berücksichtigung der Aussagen von POSER (1951) ein semiarides Klima. Die Verwitterung des Lößstaubs konnte daher in den karbonatarmen bis -freien sächsischen Lößten bereits syngenetisch einsetzen. Dies zeigte sich vor allem in den karbonathaltigen Lößten Mittelsachsens durch die Lösungsverwitterung in Form von Karbonatverlagerung.

Mit der Zunahme der Niederschläge beim Übergang vom Hochglazial über das Spätglazial zum Holozän verstärkte sich das Entbasungs- und Verwitterungsgeschehen. Die pH-Werte wurden in den sächsischen Lößten bis in den neutralen bzw. schwach sauren Bereich abgesenkt. Eine Entkalkung zog die relative Anreicherung von Schwermetallen sowie eine Änderung der Bindungsverhältnisse nach sich. Die sächsischen Lößte weisen daher die zweithöchsten Gehalte an königswasserlöslichem Nickel, Chrom und Zink im mitteldeutschen Untersuchungsgebiet auf.

6 Fazit

Die festgestellten Schwankungen der natürlichen (königswasserlöslichen) Schwermetallgehalte in den weichselzeitlichen äolischen Sedimenten der fünf Lößsubprovinzen des mitteldeutschen Raumes lassen sich zum einen durch die variierende mineralogische Zusammensetzung, die auf unterschiedliche Herkunftsgebiete des transportierten Materials zurückzuführen ist, erklären. Des Weiteren spielen hierfür klimatisch determinierte Einflüsse, die aus der unterschiedlichen Lage im oder zum subherzynen Trockenraum resultieren, eine entscheidende Rolle. Dadurch wurden die Art, Intensität und die Dauer der syn- und postgenetischen Überprägungen der Löße bzw. Lößlehme und somit auch die Schwermetallzusammensetzung der äolischen Ablagerungen entscheidend geprägt.

Für die Lößregionen des Trockenbereiches (Thüringer Becken, Nördliches und Östliches Harzvorland) konnten aus den oben genannten Gründen beim interregionalen Vergleich der Schwermetallgehalte keine oder nur sehr geringe Streuungen in den zur räumlichen Differenzierung entwickelten Ranghierarchien festgestellt werden. Im Vergleich hierzu treten in den niederschlagsreicheren Lößregionen Nordwest- und Mittelsachsens die größten Unterschiede bei den rangbezogenen Analysen der Schwermetallanteile auf. Eine ähnliche Tendenz weist auch schon die im Übergangsbereich vom Trocken- zum Feuchtgebiet lokalisierte Lößsubprovinz (Saxothuringische Übergangszone) auf.

Damit ist erkennbar, daß mit zunehmender hygrischer Beeinflussung der Lößgenese das Mobilitäts- und Bindungsverhalten der einzelnen Elemente für die geogenen Schwermetallgehalte der Löße und Lößlehme eine immer größere Bedeutung gewinnt. Demnach sind die Schwermetalle im Löß nicht nur als lithogene Komponente vorhanden, sondern sie sind in Abhängigkeit von der Art, Intensität und Dauer der Überprägung auch in zunehmendem Maße in pedogenen Bindungsformen enthalten.

Im Vergleich mit den aus anderen Bundesländern vorliegenden Befunden stimmen die ermittelten Schwermetallgehalte der verschiedenen Lößsubregionen Mitteldeutschlands weitestgehend mit diesen überein. Eine gewisse Ausnahme stellen jedoch die Hintergrundwerte für das Thüringer Becken dar.

Insgesamt weisen jedoch alle untersuchten Standorte im Vergleich zu anderen Ausgangssubstraten der Bodenbildung dieses Raumes nur sehr geringe Metallgrundgehalte auf. Für weiterführende Aussagen (in geoökologischer und lößgenetischer Hinsicht) bezüglich der Überprägung dieser Sedimente, der Bindungsformen und Verfügbarkeit der einzelnen Elemente sind weitere Untersuchungen - wie eine sequentielle Extraktion der Schwermetalle oder die Anwendung der Schwermineralanalyse - erforderlich.

Literatur

- ALLOWAY, B.J. [Hrsg.] (1995): Heavy Metals in Soils. Glasgow.
- ALTERMANN, M. & H.-J. FIEDLER (1975): Substrat- und Bodenwechsel am nördlichen Lößrand des Schwarzerdegebietes der DDR. *Hercynia, N.F.*, **12**, 2, 130 - 159.
- BIERING, K. (1998): Untersuchung zu den natürlichen Schwermetallgehalten von Lößen im mitteldeutschen Raum. Dipl.-Arb., Univ. Halle, Inst. f. Geogr.
- BLUME, H.-P. [Hrsg.] (1992): Handbuch des Bodenschutzes. 2. Aufl., Landsberg.
- BOCK, R. (1972): Aufschlußmethoden der anorganischen und organischen Chemie. Weinheim.
- BRAMER, H. [Hrsg.] (1991): Physische Geographie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. Gotha.
- BUFE, J. & L. SUNTHEIM (1993): Belastung sächsischer landwirtschaftlich genutzter Böden mit Schwermetallen. *Neue Landwirtschaft*, **11**, 37 - 38.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1977): Chemische Laboruntersuchungen. Bestimmung des pH-Wertes des Bodens und Ermittlung des Kalkbedarfs. Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau. **DIN 19684**, Teil 1. Berlin.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1983): Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen (S7). Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. **DIN 38414**, Teil 7. Berlin.
- EISSMANN, L. (1995): Sachsen. In: Benda, L. [Hrsg.]: Das Quartär Deutschlands. Berlin, Stuttgart, 171 - 198.
- FELDHAUS, D., H. SCHRÖDTER & U. GUTTECK (1996): Hintergrundwerte für Schwermetalle der Böden des Landes Sachsen-Anhalt. *Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt*, **2**, 205 - 212.
- FIEDLER, H.J. & H.J. RÖSLER (1988): Spurenelemente in der Umwelt. Stuttgart.
- HAASE, G. et al. (1970): Sedimente und Paläoböden im Lößgebiet. In: Richter, H. et al. [Hrsg.]: Periglazial - Löß - Paläolithikum im Jungpleistozän der Deutschen Demokratischen Republik. Gotha, Leipzig, 99 - 212 (= Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-H. **274**).
- HINDEL, R. & H. FLEIGE (1991): Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile. Berlin (= UBA-Texte, **13/91**).
- KNOTH, W. (1995): Sachsen-Anhalt. In: Benda, L. [Hrsg.]: Das Quartär Deutschlands. Berlin, Stuttgart, 148 - 170.
- LAUTRIDOU, J.P., J. SOMMEU & M. JAMAGNE (1984): Sedimentological, mineralogical and geochemical characteristics of the loesses of North-West France. In: Pesci, M. [Hrsg.]: Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols. Budapest, 121 - 132.
- LICHTFUSS, R. (1989): Geogene, pedogene und anthropogene Schwermetallgehalte in Böden. In: Behrend, B. & I. Wiesner [Hrsg.]: Schwermetallkonzentrationen in Böden. Frankfurt/Main, 119 - 135.
- LIEBEROTH, I. (1962): Die mittel- und jungpleistozänen Löße Nordsachsens. In: Viète, G. [Hrsg.]: Das Pleistozän im sächsisch-thüringischen Raum. Exkursionsführer u. Kurzreferate z. Herbsttagung d. Sekt. Quartärgeol. d. Geol. Ges. d. DDR v. 19. - 21. Okt. 1962 in Leipzig u. Erfurt. Berlin, 51 - 61.
- MÜLLER, H. (1959): Schwermineralanalytische Untersuchungen am Löß von Zehren. *Jahrb. Staatl. Mus. Min. u. Geol. Dresden*, **8**, 39 - 51.
- NEUMEISTER, H. (1965): Probleme der nördlichen Lößgrenze. In: Leipziger Geographische Beiträge. Leipzig, 137 - 146.
- NEUMEISTER, H. (1966): Die Bedeutung der äolischen Sedimente und anderer Periglazialerscheinungen für die Bodenentwicklung in der Umgebung von Leipzig. Diss., Univ. Leipzig.
- POSER, H. (1951): Die nördliche Lößgrenze in Mitteleuropa und das spätglaziale Klima. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **1**, 27 - 55.
- RICHTER, H., G. HAASE, I. LIEBEROTH & R. RUSKE [Hrsg.] (1970): Periglazial - Löß - Paläolithikum im Jungpleistozän der Deutschen Demokratischen Republik. Gotha, Leipzig (= Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-H. **274**).
- ROTSCHKE, J. (1973): Mineralogische und geochemische Untersuchungen an ausgewählten Bodenprofilen auf Thüringer Buntsandstein unter besonderer Berücksichtigung der quartärgeologischen Verhältnisse. *Zschr. geol. Wiss.*, **1**, 11, 1449 - 1462.

- RUPPERT, H. & F. SCHMIDT (1987): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. München.
- SCHLICHTING, E., H.-P. BLUME & K. STAHR (1995): Bodenkundliches Praktikum. Berlin, Wien.
- SCHRAMM, H., A. POHL, J. WUNDERLICH & R. BISCHOFF (1997): Atlas der Schwermetallgehalte Thüringer Böden 1 : 400.000. Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in Oberböden und bodenbildenden Substraten typischer Bodengesellschaften. Weimar.
- UNGER, K.P. & R.-D. KAHLKE (1995): Thüringen. In: Benda, L. [Hrsg.]: Das Quartär Deutschlands. Berlin, Stuttgart, 199 - 219.
- WEN QI-ZHONG, YANG WEI-HUA, DIAO GUI-YI, SUN FU-QING, YU SU-HUA & YOU-MEI LIU (1984): The evolution of chemical elements in loess of China and paleoclimatical conditions during loess deposition. In: Pesci, M. [Hrsg.]: Lithology and Stratigraphy of Loess and Paleosols. Budapest, 161 - 170.
- WUNDERLICH, J. (1997): Zur Modifikation des geogenen Schwermetallgehaltes im Oberen Muschelkalk durch Verwitterung und Pedogenese in Muschelkalkböden des Thüringer Beckens. In: Geowiss. Mitt. Thüringen, 5, 149 - 206.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. Kerstin Biering
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Lessingstraße 8
D-07743 Jena
e-mail: c9bike@uni-jena.de

Prof. Dr. Manfred Frühauf
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Geographie
Domstraße 5
D-06108 Halle (Saale)
e-mail: fruehauf@geographie.uni-halle.de