



---

## **Vernetzungen „begreifen“ durch forschendes Lernen**

### **Ein Bodenprojekt – Ausgangspunkt einer fächerübergreifenden Projektreihe**

**Peter Maisenbacher**

#### **Zitieren dieses Artikels:**

Maisenbacher, P. (2000). Vernetzungen „begreifen“ durch forschendes Lernen. Ein Bodenprojekt - Ausgangspunkt einer fächerübergreifenden Projektreihe. *Geographie und ihre Didaktik*, 28(2), S. 88-103. doi 10.60511/zgd.v28i2.292

#### **Quote this article:**

Maisenbacher, P. (2000). Vernetzungen „begreifen“ durch forschendes Lernen. Ein Bodenprojekt - Ausgangspunkt einer fächerübergreifenden Projektreihe. *Geographie und ihre Didaktik*, 28(2), pp. 88-103. doi 10.60511/zgd.v28i2.292

## **Vernetzungen „begreifen“ durch forschendes Lernen**

### **Ein Bodenprojekt - Ausgangspunkt einer fächerübergreifenden Projektreihe**

von PETER MAISENBACHER (Pforzheim)

#### **Einleitung**

Die Grundlage dieses Beitrages sind im wesentlichen von einzelnen Schüler-Gruppen erarbeitete Ergebnisse und Berichte über Boden-Projekte. Ursprünglich waren diese Dokumentationen eigentlich nur dazu gedacht, der „nächsten Schülergeneration“ einen leichteren Einstieg in die jeweilige Thematik zu ermöglichen und jeweils neue Fragestellungen zu umreißen. Der für mich offensichtliche große Gewinn aber, den über mehrere Jahre sehr viele Schüler aus dieser Projektreihe gezogen haben, brachte mich neuerdings dazu, diese Arbeiten einmal zusammenzustellen und aufzuarbeiten, nicht zuletzt um Kolleginnen und Kollegen zu ermutigen, ähnliches zu versuchen. Dieser Artikel kann - exemplarisch - als Anregung verstanden werden, ähnliche Projekte (bzw. Projekt-Reihen) durchzuführen.

#### **1. Vom Projekt zur Projektreihe**

Schwermetallverunreinigungen in Ackerböden waren Gegenstand einer Unterrichtswoche am Landesschulzentrum in Adelsheim (im nordöstl. Baden-Württemberg). Aus dieser Projektarbeit ergaben sich etliche weitergehende Fragestellungen, die in den folgenden Jahren von einzelnen Schülern und Schülergruppen aufgegriffen und bearbeitet wurden. Im Rahmen sich ergänzender und aufeinander aufbauender Projekte sowie bei davon ausgehenden Facharbeiten konnten die beteiligten Schüler Vernetzungen sehen, in die Hand nehmen, riechen, fühlen, betasten, begreifen. Dabei waren die herausragenden Methoden und Unterrichtsziele: „Learning by doing“, forschendes Lernen und Teamarbeit gleichzeitig zu realisieren. Vernetztes Denken - ein neueres Schlagwort in der Pädagogik und Didaktik - mußte bei den Interpretationen der Ergebnisse nicht angeregt werden. Es wurde von den Schülern als selbstverständlich und notwendig empfunden.

Eine Schwermetall-Altlast, die im vorliegenden Fall Ausgangspunkt der Arbeiten war, ist dazu aber nicht unbedingt notwendig. Es genügt schon, geeignete Standorte gleicher Bodenarten mit unterschiedlicher Nutzung (Acker, Streuobstwiese, Wald) auszuwählen, um wesentliche Unterschiede verschiedener Bodenparameter zu erfassen und ihre Beziehungen untereinander zu deuten. Bei entsprechen-

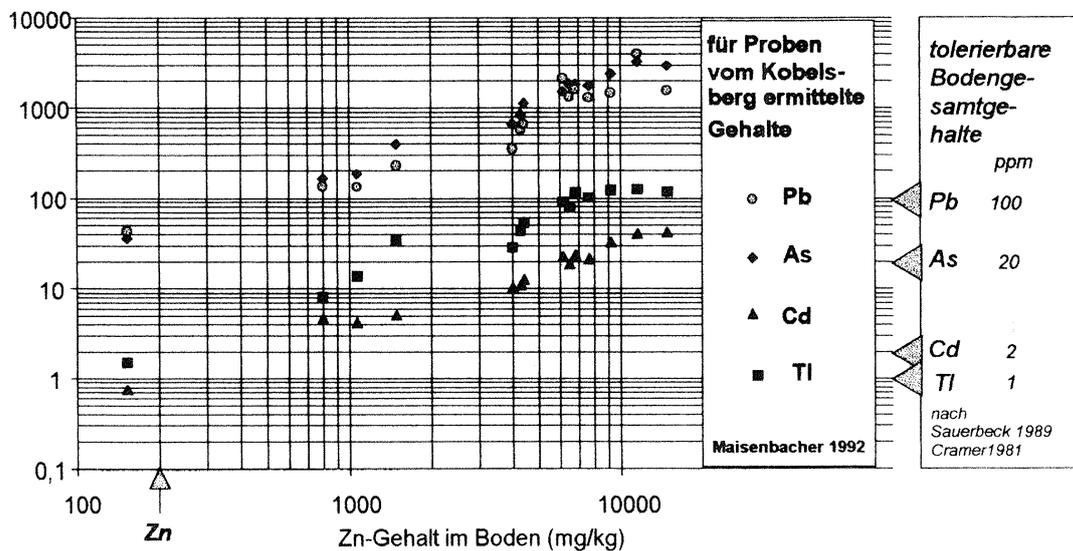
der didaktischer Reduktion könnten solche fächerübergreifenden Bodenprojekte sogar für die Sekundarstufe 1 empfohlen werden.

## 2. Zum Arbeitsgebiet

Durch Abraum und Schlacken, die bei der Förderung und Aufbereitung von Blei- und Zinkerzen im Verlauf von 2000 Jahren entstanden sind, ist die Flur im Raum Wiesloch (südl. Heidelberg) teilweise so stark schwermetallbelastet, daß stellenweise Pflanzenschäden auftreten. Zwischen Altwiesloch und Baiertal findet man vor allem am Kobelsberg bis zu 30 x 30 m große, durch Minderwuchs und Gelbfärbung der Anbaupflanzen (Getreide, Raps, Mais, Rüben etc.) ausgezeichnete Stellen. Die stark belasteten Areale innerhalb der Felder heben sich sehr deutlich von den Parzellen ab.

In den Böden liegen die Konzentrationen der umweltrelevanten Schwermetalle: Zn, Pb, As, Cd und Tl teilweise 200 mal höher als die Grenzwerte, die in der Klärschlammverordnung (1982) festgelegt wurden.

Zn im Verhältnis zu anderen Schwermetallen im Boden (Kobelsberg)



Wild wachsende Ackerpflanzen setzen sich an den besonders schwermetallbelasteten Standorten des Kobelsbergs gegen die Anbaupflanzen durch, da sie offenbar schwermetallresistenter sind als jene. Man findet je nach Jahreszeit unter-

schiedliche Arten. Die größte Artenvielfalt zeigt sich jedoch im Frühjahr, wenn die meisten dieser Ackerkräuter blühen. Man findet: Klebkraut, Ackerrittersporn, das gemeine Stiefmütterchen, Ackerrettich, Kornblume, Hornkraut, Klatschmohn, Schafgarbe, Feldehrenpreis, Hirtentäschel u.v.a. Beim Spitzwegerich auf den Haldenstandorten des Kobelsbergs treten sehr häufig Mißbildungen auf. Das Zinkbelastungen anzeigende Leimkraut (*Silene vulgaris humilis*) ist, neben wenigen Bergbaustandorten in Mitteleuropa, auch in Wiesloch zu finden. Die bekannteste Zeigerpflanze, die ausschließlich auf schwer Zink-belasteten Arealen vorkommt - das Galmei-Veilchen (*Viola calaminaria*) - wurde bisher noch nicht nachgewiesen. HILDEBRANDT & BLESZ (1990) berichten über seltene und zum Teil gefährdete Pflanzenarten die sich an den Rändern der Haldenstandorte ansiedeln.

Es ist aus wissenschaftlichen Arbeiten bekannt, daß genutzte Teile von Kulturpflanzen im Bereich der belasteten Standorte Schwermetallgehalte oberhalb der Grenzwerte aufweisen (MAISENBACHER 1990; 1992). Die Stadt Wiesloch hat die Bürger verschiedentlich darauf hingewiesen und Anbauempfehlungen erarbeitet. Verschiedene Gemüse können z.B. so stark belastet sein, daß vom Verzehr abgeraten werden muß (MAISENBACHER 1995).

### **3. Projekt 1:**

#### **Vergleichende Untersuchungen zu Bodeneigenschaften und Bodenfauna eines ehemaligen Zink/Blei-Bergbaugebiets**

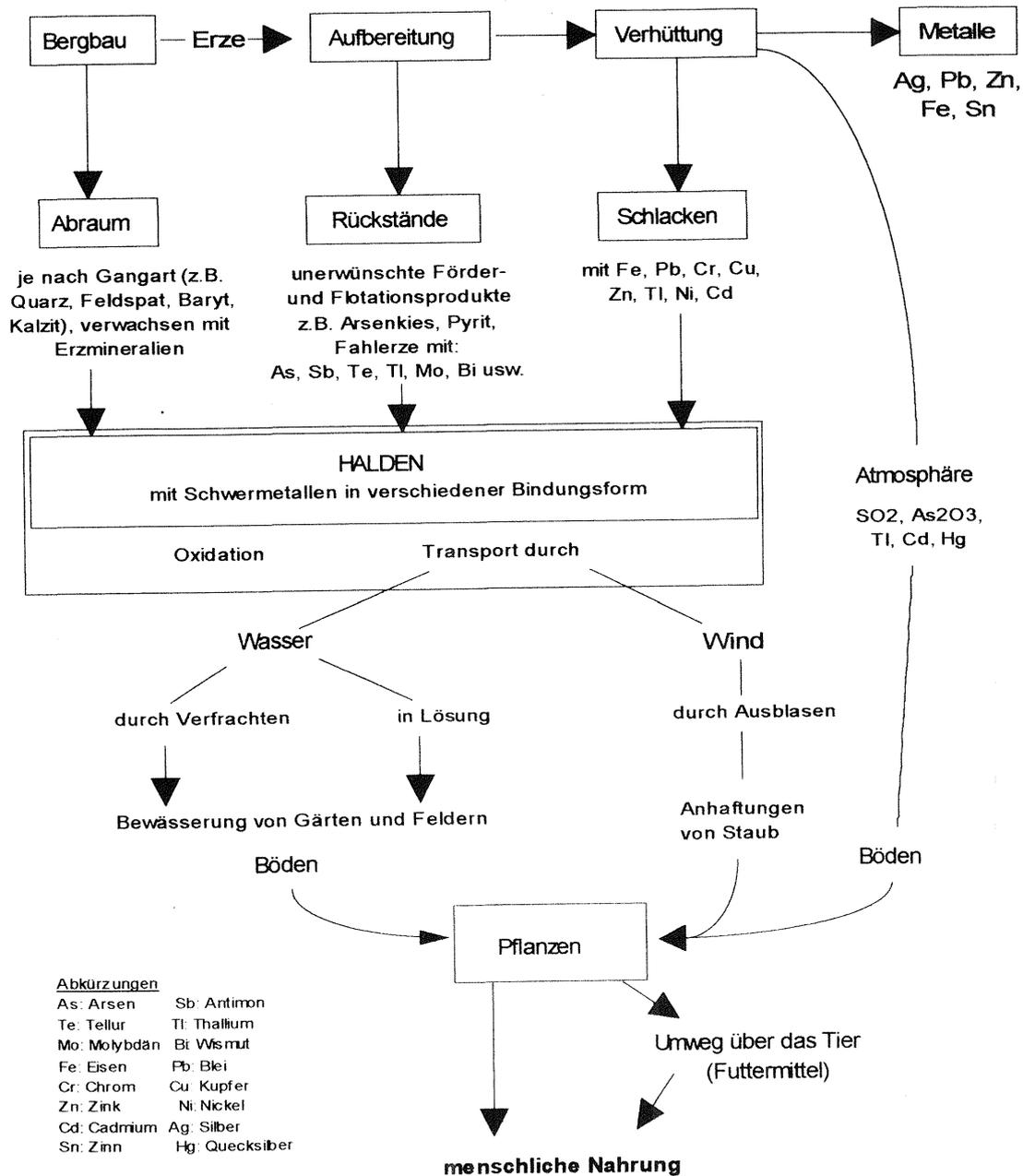
Schüler der Jahrgangsstufe 12 beschäftigten sich im Herbst 1993 mit abraumhaltigen Ackerböden dieses ehemaligen Bergbaugebiets.

Da alle Faktoren, die zur Bodenbildung beitragen, miteinander verknüpft sind (vgl. Abb. unten), konnte als Arbeitshypothese davon ausgegangen werden, daß bei der sichtbaren Veränderung eines Faktors, hier der Vegetation, auch Unterschiede bei weiteren Bodenparametern feststellbar sein müßten. Beim Vergleich der Eigenschaften von belasteten und nicht belasteten Stellen sollten sich Unterschiede der Bodeneigenschaften und der Bodenfauna zeigen, die u.U. auf den Störfaktor Bergbau zurückgeführt werden können.

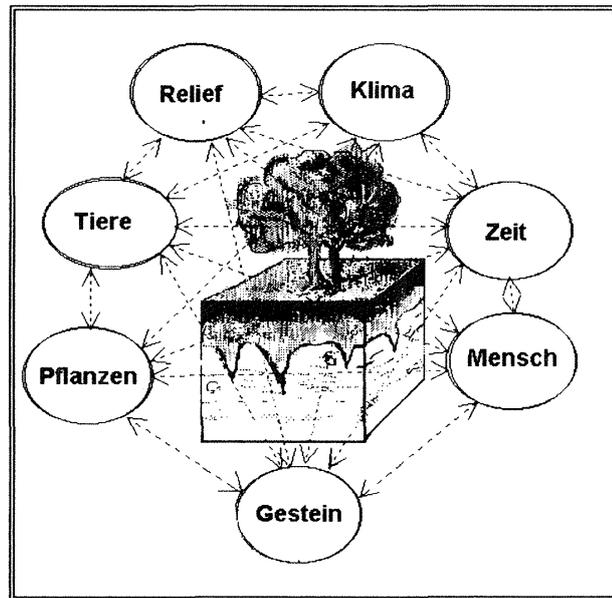
Um bei der Interpretation der Versuchsergebnisse Vergleiche zu haben - und auch um die Einflüsse verschiedener Bodensubstrate (Sand, Löss, Kalk) und verschiedener Nutzung (Acker, Streuobstwiese, Wald) bei der Bodenbildung allgemein deutlich werden zu lassen, schien es geboten, weitere Proben vor allem aus der näheren Umgebung heranzuziehen.

# Schwermetall-Altlasten durch Bergbau

## allgemeine Übersicht



## Boden.....



.....hat viele Eltern.

Die Untersuchungen wurden am Landesschulzentrum für Umwelterziehung (Adelsheim) im Rahmen einer Unterrichtswoche durchgeführt.<sup>3</sup> Referate zur Entstehung der Lagerstätte, der Aufarbeitung der Erze usw. dienen u.a. dazu, Lerninhalte früherer Klassenstufen zu wiederholen bzw. zu vertiefen, u.a. das Rösten sulfidischer Erze und die Schwefelsäureherstellung. Daneben wurden wichtige Bezüge zwischen verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern (v.a. Erdkunde - Chemie - Biologie) aufgezeigt.

### Vorbereitung Projekt 1:

Unter den Schülern wurden zu Beginn des Schuljahrs folgende Referatthemen verteilt.

1. Leben im Boden
2. Aufbau von Tonmineralien
3. Huminstoffe
4. Löss
5. Hydrothermale Erzlagerstätten
6. Gewinnung und Verwendung von Zink
7. Gewinnung und Verwendung von Blei
8. Phytotoxizität von Schwermetallen
9. Bedeutung der Schwermetalle in Nahrungsketten

<sup>3</sup> Am LSZU können Schulklassen aller Schularten zusammen mit ihren begleitenden Lehrern mehrtägige Projekte mit umweltrelevanter Thematik durchführen. Dazu stehen Räumlichkeiten, u.a. Labors mit entsprechender Einrichtung zur Verfügung.

In Vorversuchen wurden die Methoden zur Probennahme getestet.

Jeder Schüler hatte neben seinem Referat noch ein bis zwei Experimente vorzubereiten, die mit seinem Referatthema eng verwandt waren. Die Versuche zu den Bodenuntersuchungen wurden in Arbeitsteilung von einzelnen Schülern bzw. Schülergruppen durchgeführt. Als sichtbare Ergebnisse vorlagen, konnte die Theorie zu den Experimenten von den Durchführenden referiert werden und sich eine gemeinsame Auswertung anschließen.

Ein vorab erstelltes Schema zur Entnahme der Bodenproben und ihrer weiteren Aufarbeitung erleichterte die Geländearbeit und die Organisation der Laborarbeiten sehr.

### Projekt 1: Kurzbeschreibung der untersuchten Bodenproben

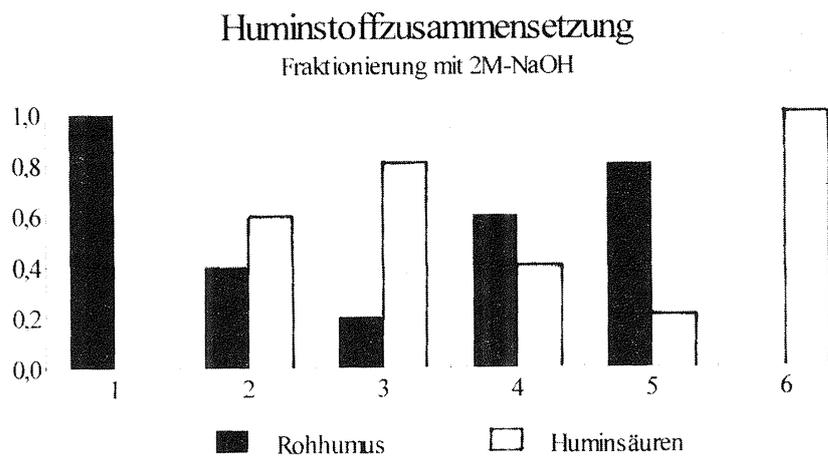
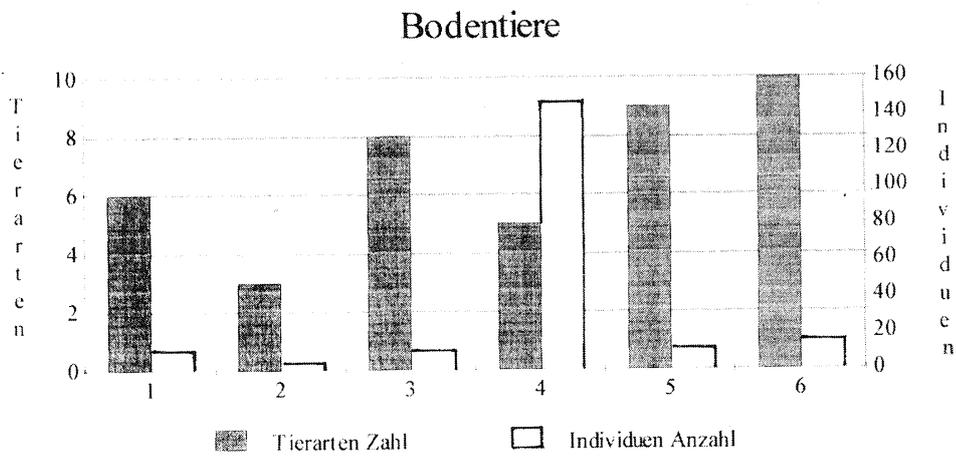
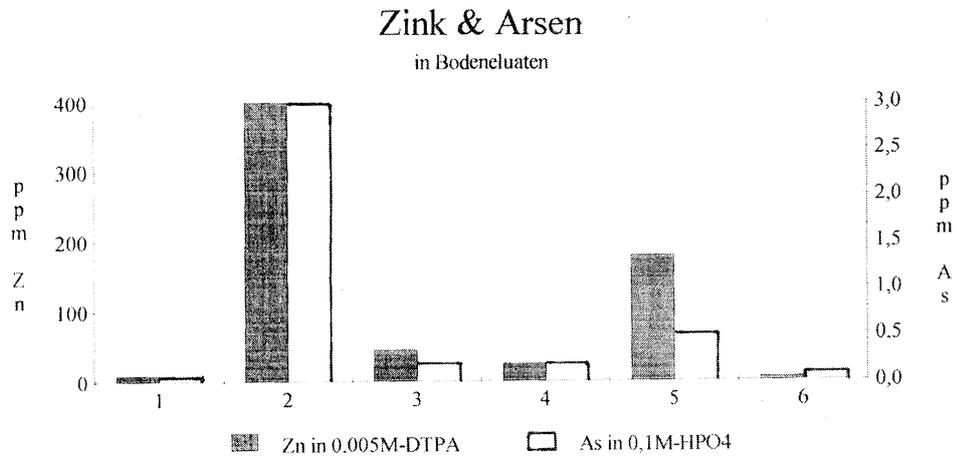
- Probe 1* stammt von einem bewaldeten Dünenkamm südlich von Sandhausen.
- Probe 2* stammt vom Kobelsberg von der Stelle eines Ackers mit sehr deutlichen Vegetationsschäden. Die Blätter junger Wintergetreidepflanzen (Aussaat Spätjahr 1993) zeigten intensive Gelbfärbung. Auffällig bei der Probennahme waren in diesem Areal einige bis faustgroße Kalksteine und gelbe Erzbrocken.
- Probe 3* wurde ca. 20 m westlich auf dem selben Acker wie die Probe 2 genommen. Exposition, Höhenlage und Pflugrichtung waren bei beiden Standorten identisch. Es waren hier weder Vegetationsschäden noch Steine zu sehen.
- Probe 4* naturnahe Streuobstwiese. Eine Sondierung mit dem Pürkhauer-Bohrer ergab einen zweiten A-Horizont in ca. 80cm Tiefe. Dieser Horizont war wie der obere kalkhaltig und muß daher sehr jung sein. Da das Gelände hier teilweise terrassiert ist, kann davon ausgegangen werden, daß Löß aufgeschüttet wurde und sich über den älteren Bodenschichten die heutigen entwickelt haben.
- Probe 5* Waldrand am Oberhang des westlichen Kobelsbergs.
- Probe 6* Wald beim Landesschulzentrum für Umwelterziehung (Adelsheim)

### Auswertung Projekt 1

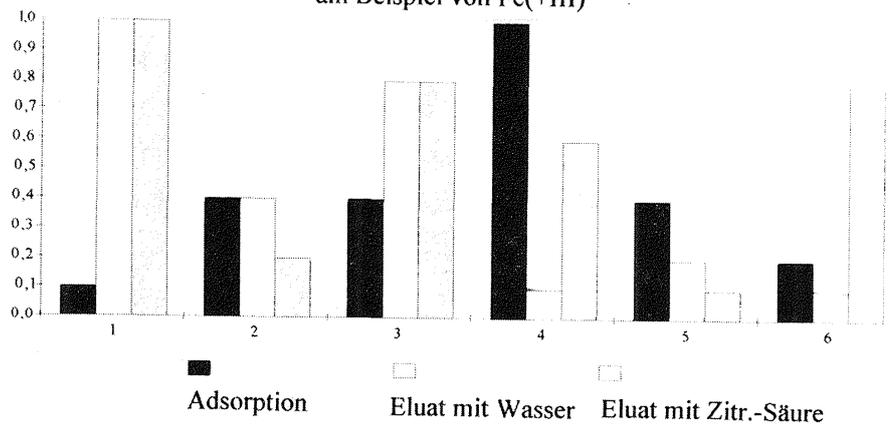
#### Sandboden (Probe 1) im Vergleich zu den lehmigen Böden (Proben 5 und 6):

Die Bodenprobe des Dünenkamms (Probe 1) zeigte als einzige Probe deutlich saure Reaktion. Das bedeutet, daß dieser Boden nur sehr wenig austauschbare basische Kationen ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ...) enthält, die als Nährstoffe große Bedeutung für die Fruchtbarkeit der Böden haben. Die Nährstoffarmut führt zur ge-

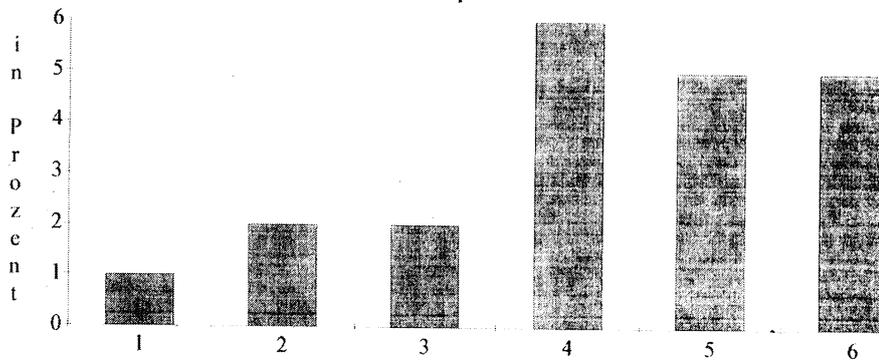
# Graphische Darstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse - Projekt 1



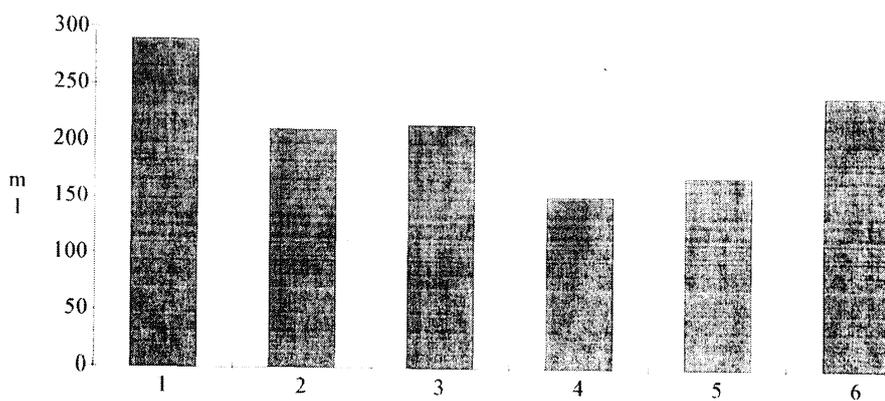
### Kationenadsorption am Beispiel von Fe(+III)



### Kalkgehalt in Böden halb quantitativ



### Bodenluft in 850 ml Boden



ringeren Aktivität des Bodenlebens. Die Streu wird nur sehr langsam abgebaut, daher findet sich sehr viel Rohhumus. Kationen können, wie das Beispiel Fe+III zeigt, kaum festgehalten werden. Eine sehr starke Auswaschung ist bereits durch destilliertes Wasser möglich. Also hat dieser Boden eine sehr geringe Austauschkapazität und könnte künstlich aufgebrauchten Dünger nur ungenügend fixieren. Der hohe Bodenluftanteil ist beim Dünenboden auf die Hohlräume im Substrat zurückzuführen.

Acker mit Vegetationsschäden (Probe 2) im Vergleich zur Probe ohne Vegetationsschäden (Probe 3):

Die Bodenprobe des Ackers mit chlorotisch verfärbten Pflanzen (neue Einsaat mit Wintergetreide) zeigte im Unterschied zur Vergleichsprobe in 20 m Entfernung deutlich erhöhte Arsen- und Zinkgehalte in verschiedenen Bodenextrakten (DTPA- und Dinatriumhydrogenphosphat-Lösung). Die Kationenadsorption von Fe+III war bei beiden Proben gleich hoch, aber das Wiederauswaschen von Fe+III bei der Probe ohne erhöhte Schwermetallgehalte sowohl mit Wasser als auch mit Zitronensäure leichter möglich, was auf den geringfügig höheren Tonanteil und die andere Huminstoffzusammensetzung der kontaminierten Probe zurückzuführen sein dürfte (siehe unten). Bei den pH-Werten und Kalkanteilen wurden keine Abweichungen festgestellt.

In der schwermetall-kontaminierten Probe wurden kaum Bodentiere gefunden (nur 3 Tierarten und insgesamt 4 Individuen). Die entsprechenden Zahlen für die Vergleichsprobe lagen jeweils mehr als doppelt so hoch. Da beide Proben denselben Luftgehalt zeigten, muß dieser von der Bodenbearbeitung herrühren. Er kann nicht über die auflockernde Tätigkeit von Bodenorganismen erklärt werden. Das Bodenextrakt des kontaminierten Standortes mit Natronlauge war deutlich dunkler gefärbt als das der unbelasteten Vergleichsprobe desselben Ackers. Das ließ vermuten, daß aus der Schwermetallbelastung auch Unterschiede in der Zusammensetzung der Huminstoffe resultieren.

Diese Beobachtungen legten somit den Schluß nahe, daß hier ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Schwermetallkontamination und der Beeinträchtigung des Bodenlebens besteht. Die hier vermutete unterschiedliche Huminstoffzusammensetzung im Vergleich zu der nicht kontaminierten Stelle würde sehr gut in dieses Bild passen, da die Vorgänge bei der Humifizierung auch wesentlich von der Aktivität der Bodenorganismen abhängen.

### Facharbeiten im Anschluß an das Projekt 1

Etliche Schüler griffen in Facharbeiten Teilaspekte des Themas auf. Das heißt, sie beschäftigten sich weiter mit Problemen, die sie während der Projektarbeit kennengelernt hatten. Sie experimentierten an der Schule und z.T. sogar zu Hause weiter. Ein Schüler untersuchte verschiedene Möglichkeiten der Schlämmanalyse zur exakteren Bestimmung von Tonanteilen in Bodenproben. Die Tonminerale haben ja hinsichtlich der Fixierung von Schwermetallen sehr große Bedeutung. Analysiert wurden in einer anderen Arbeit die Auswirkungen der Schwermetalle Zink, Blei, Kupfer und Cadmium in verschiedenen Konzentrationen auf die Keimung von Kresse und Gras. Eine Literatarbeit beschäftigte sich mit der Toxizität von Blei und Quecksilber und der Problematik dieser Schwermetalle in den Nahrungsketten.

#### **4. Projekt 2: Extrahierbarkeit von Huminstoffen aus schwermetallbelasteten und unbelasteten Bodenproben.**

Im Herbst 1994 konnten die Vermutungen bezüglich der Huminstoffzusammensetzung in schwermetallhaltigen Bodenproben experimentell überprüft werden. Dazu wurden die Standorte der Proben 2 und 3 von Schülern einer Arbeitsgemeinschaft erneut untersucht, auf extrahierbare Schwermetalle getestet und zunächst die Extrahierbarkeit von Huminstoffen mit verschiedenen konzentrierten Lösungsmitteln geprüft. Bei 0,5%-iger Natronlauge und bei 2%-iger Ammoniaklösung waren keinerlei Unterschiede feststellbar. Jedoch bei höher konzentrierter Natronlauge (1 und 2%) ergaben sich deutlich die bereits aus Projekt 1 bekannten Farbunterschiede. Diese Bodenextrakte konnten am Engler-Bunte Institut der Universität Karlsruhe noch eingehender analysiert werden. Nach Filtern durch Membranfilter (Maschenweite 0,45µm) wurden Absorptionsspektren im Wellenlängenbereich zwischen 200 und 500nm aufgenommen und die Gehalte an gelöstem organisch gebundenem Kohlenstoff (Abkürzung: DOC) bestimmt (vgl. Tabelle „Analyseergebnisse der Bodenextrakte mit Natronlauge“).

Aus der schwermetallhaltigen Bodenprobe wurden bei gleicher Konzentration des Extraktionsmittels jeweils deutlich mehr Huminstoffe extrahiert als aus der Vergleichsprobe. Darüber hinaus ergaben sich aus den Spektren sehr deutlich strukturelle Unterschiede der Huminstoffe:

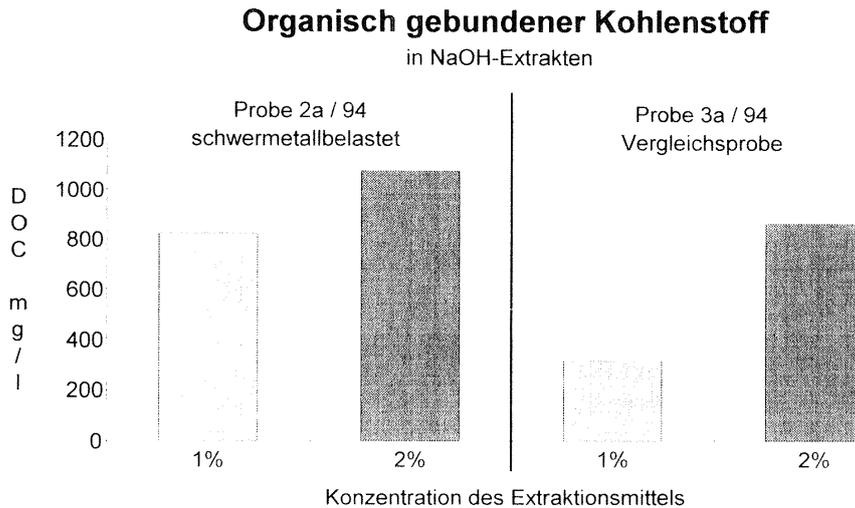
Die Bildung von Dauerhumus ist bei Probe 3a / 94 (Vergleichsprobe, ohne erhöhte Schwermetallanteile) sehr weit fortgeschritten. Dies ergibt sich aus dem Verhältnis des bei 254nm zu dem bei 436nm absorbierten Lichts. Die um über

### Analyseergebnisse der Bodenextrakte mit Natronlauge

	Probe 2a / 94 - schwermetallkontaminiert		Probe 3a / 94 - Vergleichsprobe	
	1%	2%	1%	2%
Konzentration der Natronlauge				
pH	10	11	10	11
DOC(mg/l)	826,8	1077,0	317,6	867,6
UV(254nm); m <sup>-1</sup>	2296	2816	456	1468
VIS(436nm); m <sup>-1</sup>	214	238	18	114
<b>Zn</b> im Feinboden- extrakt mit 0,005- M-DTPA	200mg/l		10mg/l	
<b>As</b> im Feinboden- extrakt mit 0,1 M- Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	15mg/l		0,5mg/l	

das Doppelte zunehmenden Gehalte an organisch gelöstem Kohlenstoff bei der Extraktion mit 2%-iger NaOH deuten darauf hin, daß bei dieser Vergleichsprobe durch die höhere Konzentration der Lauge eine ganz andere Huminstofffraktion mobilisiert wird als durch die 1%-ige Lösung. Es liegt nahe anzunehmen, daß bei dieser Probe relativ wenig Carboxylgruppen an den Huminstoffen vorkommen. Dagegen dürften nach den experimentellen Befunden vor allem dem Phenol ähnliche Bauelemente zur starken Erhöhung des DOC bei der höher konzentrierten Lauge beitragen.

Bei der schwermetallkontaminierten Probe 2a / 94 steigt im Vergleich dazu der Gehalt an organisch gelöstem Kohlenstoff bei Steigerung der Laugenkonzentration nur unwesentlich. Dies ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, daß hier Carboxylgruppen als Strukturelemente der Huminstoffe vermehrt auftreten. So wäre zu erklären, daß bereits mit geringer konzentrierter Natronlauge ca. 80% dessen ausgelaugt werden kann, was mit höher konzentrierter NaOH möglich ist.



Aus diesen Überlegungen kann man folgern, daß an den schwermetallkontaminierten Standorten die Bildung von Dauerhumus tatsächlich langsamer verläuft. Die aus den Beobachtungen sich ergebenden Unterschiede der Huminstoffe in *Quantität* und *Qualität*, dürften sich auch auf die Mobilität der Schwermetalle an den verschiedenen Standorten auswirken (vgl. stärkere Fixierung von Fe+III bei der schwermetallhaltigen Probe - Projekt 1).

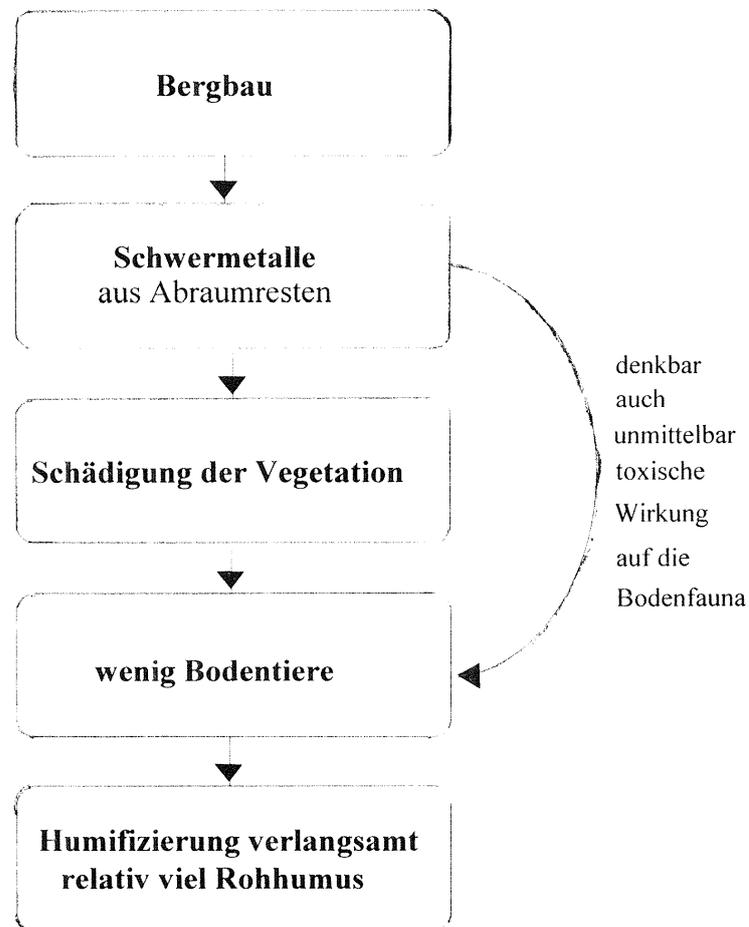
#### Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse

Die bezüglich der Bodenparameter gemachten Beobachtungen legen in einer Gesamtbetrachtung den Schluß nahe, daß an den stark schwermetallbelasteten Stellen des Kobelsbergs ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Schwermetallkontamination (verursacht durch die Bergbauaktivitäten), der Beeinträchtigung des Bodenlebens und der Humusbildung besteht. Die unterschiedliche Huminstoffzusammensetzung im Vergleich zu der nicht kontaminierten Stelle paßt sehr gut in dieses Bild, da die Vorgänge bei der Humifizierung auch wesentlich von der Aktivität der Bodenorganismen abhängen. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die in der folgenden Abbildung „Auswirkungen des Schwermetalleintrags ...“ dargestellte Wirkungskette wahrscheinlich.

#### **5. Projekt 3: Erstellung von Postern zur Präsentation der Ergebnisse an der Schule**

Während eines Aufenthalts am LSZU gestaltete eine Klasse im Dezember 1994 unter dem Titel: **Auswirkungen von Schwermetallen** eine Posterausstellung. Nachdem das Thema „Boden“ (im Lehrplan für Gymnasien in Erdkunde Klasse 11) zunächst in allgemeiner Form erarbeitet worden war, werteten die Schüler in

## Auswirkungen des Schwermetalleintrags auf Bodenbildungsprozesse in stark belasteten Arealen des Kobelsbergs



Gruppenarbeit eigene Beobachtungen und die Meßergebnisse ihrer Mitschüler aus (insgesamt an die 400).

Übersichten, Texte und Diagramme zu folgenden Teilbereichen wurden zusammengestellt:

- Wie kommt es zu Schwermetallbelastungen?
- Erzbildung im Raum Wiesloch
- Erzaufarbeitung und Verhüttung
- Wirkung von Schwermetallen im Boden
- Schwermetalle in Nahrungsketten
- Was tun bei Schwermetallbelastung?

## **6. Projekt 4: Film-Projekt mit dem Titel „Schwermetallbelastung im Boden“ (Untertitel: Killing me softly...)**

Eine 11. Klasse nutzte im Juli 1997 eine Projektwoche zum Erstellen eines Drehbuchs und zum Drehen eines Films. Inhalt waren aber nicht nur die bis dahin von Mitschülern erarbeiteten Sachverhalte. Eine Exkursion nach Wiesloch wurde dazu genutzt, vor Ort Fachleute über den historischen Bergbau bei Wiesloch zu befragen und sich über die Verhüttung und Aufarbeitung der Erze zu unterrichten.

Ein Interview mit der Umweltbeauftragten der Stadt Wiesloch informierte über den Umgang der Kommune und der Landesbehörden mit dieser Altlast. Die Schüler erfuhren, wie Anbauempfehlungen erarbeitet und der Bevölkerung nahegebracht werden können und daß in den Nachbargemeinden Wieslochs bereits Anbauverbote vom Regierungspräsidium ausgesprochen wurden. Überdies lernten sie in der Diskussion befindliche Sanierungskonzepte kennen: z. B. das Aufbringen einer 1 m mächtigen Lössschicht auf die belasteten Äcker und die mit solchen Vorhaben verbundenen Schwierigkeiten bei der Umsetzung.

Eine Schülergruppe hat sich angeregt durch die Projektreihe „Jugend forscht“ eingehend mit Bodenatmung beschäftigt und ihre Ergebnisse bei „Jugend forscht“ unter dem Titel: „Messung der Bodenatmung von Mikroorganismen unter verschiedenen Bedingungen“ eingereicht. Die Arbeit wurde bei der Projektvorstellung in Mannheim 1998 mit dem Sonderpreis Umwelt ausgezeichnet.

## **7. Resümee**

Die ersten Projekte brachten zwar Ergebnisse zu bestimmten Fragestellungen, warfen aber gleichzeitig eine ganze Reihe weiterer Fragen auf, die z.T. noch auf ihre Beantwortung warten:

- Wie könnten die Huminstoffe mit einfacheren analytischen Mitteln weiter charakterisiert werden, um bei Reihenversuchen bessere Vergleichsmöglichkeiten zu haben?
- Lassen sich auch quantitative Bezüge zwischen Bodenfauna, extrahierbaren Schwermetallen und Huminstoffen finden?
- Wieviel organische Substanz fällt in verschiedenen Bereichen des Ackers pro Jahr im Durchschnitt an?
- Wie unterscheiden sich die Mikrofauna und -flora in den beprobten Arealen?

- Reagieren bestimmte Bodenorganismen ganz besonders empfindlich auf bestimmte Schwermetalle?
- Fehlen bestimmte Bodentierarten auf schwermetallbelasteten Arealen, sind aber sonst vorhanden?
- In welchem Ausmaß tragen wühlende Bodentiere zur Mobilisierung von Schwermetallen bei?

Besonders motivierend scheint sich bei den Projekten ausgewirkt zu haben, daß die Schüler und Schülergruppen auf Ergebnissen vorhergehender Untersuchungen aufbauen konnten, die von Mitschülern erarbeitet worden waren. Ein Ende der Projektreihe ist bei der Vielzahl noch offener Fragen derzeit nicht absehbar, und ich wünsche es mir auch nicht, wenn ich an die Einsatzbereitschaft, den Enthusiasmus, die Kreativität, den Spaß und vor allem an die Zufriedenheit der Schüler denke, die sich nicht zuletzt auch aus ihrem Gefühl ableitet, bei einer großen Sache dabeigewesen zu sein und etwas geleistet zu haben. Die erfreulichste von sehr, sehr vielen positiven Äußerungen läßt den Schluß zu, daß die Schüler bei ihrer Arbeit am Beispiel Boden ein vernetztes System „begreifen“ können:

*„...es ist mir hier zum ersten Mal bewußt geworden, wie die Dinge zusammenhängen.“*

## **Literatur**

- DENNINGER, T./KAPPES, M./KNOBLOCH, J. (1998): Messung der Bodenatmung von Mikroorganismen unter verschiedenen Bedingungen. 12 Seiten; Jugend forscht 1998 Regionalwettbewerb Nordbaden - Sonderpreis Umwelt.
- HILDEBRANDT, L./BLESZ, D. (1990): Pflanzen und Tiere auf schwermetallbelasteten Standorten in Wiesloch und Nußloch. Kurpfälzer Winzerfest-Anzeiger. Sonderausgabe der Wochenzeitung Wieslocher Woche vom 2.9. 1990, S. 33-42. - Wiesloch.
- MAISENBACHER, P. (1990): Schwermetallverteilung in Rapspflanzen eines ehemaligen Bergbaugebiets. - In: Bericht über das 2. Statuskolloquium. Forschungszentrum Karlsruhe, Projekt: Wasser, Abfall, Boden 5 1990, S. 157-165.

- MAISENBACHER, P.; PUCHELT, H. (1992): Schwermetallaufnahme durch Ackerpflanzen in verschiedenen höher belasteten Gebieten Baden-Württembergs auf neutralen bis schwach alkalischen Böden. Forschungszentrum Karlsruhe, Projekt: Wasser, Abfall, Boden 10. - Forschungszentrum Karlsruhe.
- MAISENBACHER, P. (1993): Vergleichende Untersuchungen zu Bodeneigenschaften und Bodenfauna eines ehemaligen Zn/Pb - Bergbaugebiets. Arbeitsergebnisse und Versuchsanleitungen zu einer Unterrichtswoche am Landesschulzentrum für Umwelterziehung Adelsheim (Baden-Württemberg). - Materialien des Gymnasiums Karlsbad im Rahmen der Aktion: Schulen als Transferzentren für Umwelterziehung Schuljahr 1993/94.
- MAISENBACHER, P. (1995): Auswirkungen einer Schwermetall-Altlast am Schnittpunkt von Kraichgau, Odenwald und Rheinebene. - In: Badische Heimat, H. 1, 75. Jg, S. 131-148.
- MERIAN, E. (1991): Metals and their Compounds in the Environment. - Weinheim.
- SAUERBECK, D. (1989): Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. - In: Behrens, D./Wiesner, J. (Hrsg.), DECHEMA- Fachgespräche, S. 281-316.
- SCHEFFER, F. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. - 11. Aufl., Stuttgart.