

Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie

Branchenbezogene Merkblätter
zur Altlastenbehandlung

Stand: 07/00
Bearbeiter: Kathrin Benndorf
(Prakt. HTW Dresden)
Dipl.-Ing. A. Sohr

Referat Altlasten

15: Historische Meilerstandorte

Seiten: 14

1 Branchentypisches Schadstoffpotential

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Die in der DDR betriebenen Meileröfen wurden nach den gesetzlichen Richtlinien gebaut. Anforderungen an den Umweltschutz waren im Landeskulturgesetz (LKG) vom 14.07.1970 und dessen Durchführungsverordnungen formuliert.

Heute betriebene Meiler unterliegen den gesetzlichen Richtlinien des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG 1974) und sind somit als altlastenrelevanter Standort auszuschließen.

1.2 Geschichtliche Entwicklung

Geschichtliche Forschungen haben ergeben, dass die Holzköhlerei bis in die Steinzeit zurückgeht. In der Bronze- und Eisenzeit verwendete man die Holzkohle zum Schmelzen der Metalle. (Zitat: DUSS, Paul: Die Holzköhlerei ein uraltes Gewerbe. In: <http://www.bramboden.ch/PDKhlerei.htm>, S.1, Stand: 08. 05. 2000). Auch die Regierungen interessierten sich in früheren Zeiten für Holzkohle, da diese neben der Anwendung in den Gold-, Silber-, Kupfer- und Hufschmieden, den Eisengießereien, Ziegeleien und Glashütten, auch zur Schwarzpulverherstellung verwendet wurde.

Benutzte man anfangs noch Erdgruben zur Holzkohlenerzeugung wurde seit dem 13. Jahrhundert das Holz zu Meilern aufgestapelt und verbrannt. Regional bedingt konnten die jeweiligen Meiler unterschiedlich aufgebaut sein, funktionierten aber alle nach dem selben Prinzip. Auch heute noch wird Holzkohle nach dem Meilerverfahren hergestellt, allerdings verwendet man gemauerte oder aus Stahlblech gefertigte Öfen, in die das Holz eingebracht und danach unter geregelter Luftzufuhr verkohlt wird.

Jedoch wurde die Meilerverkohlung nach und nach ab Mitte des vorigen Jahrhunderts durch die Retortenverkohlungen verdrängt und spielt heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Der Vorteil der Retortenverkohlungen liegt darin, dass die zur Holzverkohlungen erforderliche Wärmeenergie nicht durch Verbrennen eines Teils der Holzcharge erzeugt wird, sondern durch äußere Beheizung der Retorte bzw. durch Einleiten heißer Spülgase in die Retorte bereitgestellt wird, wodurch die Holzkohleausbeuten entsprechend höher liegen. Damit das Handwerk des Köhlers nicht in Vergessenheit gerät, werden heute noch in einigen Regionen Meiler nach der selben Bauweise von damals errichtet und, meist zu großen Veranstaltungen, entzündet und somit Holzkohle wie vor Jahrhunderten üblich erzeugt.

1.3 Technologie

1.3.1 Meilerstandorte

Es werden nur die historischen Meilerstandorte betrachtet.

Der historische Meilerbau ist Präzisionsarbeit. Schon bei der Auswahl der Meiler- bzw. Kohlstätten mussten folgende Punkte beachtet werden:

- 1) die Beschaffenheit des Bodens, hinsichtlich
 - a) des Aggregatzustandes
 - b) der chemischen Natur,
- 2) die Lage und sonstige Umstände.

Zu 1)[a] Der Boden der Stätten musste wasseraufnahmefähig und luftdurchlässig sein; jedoch durfte weder zuviel noch zu wenig Durchzug gestattet sein. So eignete sich ein nicht steiniger Lehmboden am besten für die Köhlerei bzw. ein Gemisch aus Lehmerde und etwas schwarzer Lauberde. Ungeeignet waren dagegen reine Lauberden und Sande (zu luftdurchlässig) sowie steinige Böden (ungleichmäßiger Luftzug) und Tonböden (wasser- und luftundurchlässig).

Zu 1)[b] Die chemische Beschaffenheit des Bodens war wichtig für den Verkohlungsprozess. Benutzte man zum Beispiel Tonerde zum Abdecken der Meiler, so backte diese beim Verkohlungsprozess zusammen und bildete über dem Holz eine feste Kruste, die leicht rissig werden konnte und somit luftdurchlässig-

sig. An diesen Stellen verbrannte dann mehr Holz und die Ausbeute an Holzkohle verringerte sich entsprechend.

Zu 2) Neben der Bodenbeschaffenheit war es wichtig, dass sich in der Nähe des Standortes Wasser befand, der Platz wind- und vor Überschwemmungen geschützt war und wenn möglich, sich das nötige Verkohlungsholz in der nahen Umgebung befand.

Wenn dennoch ein Platz als zukünftiger Meilerstandort gewählt wurde, der die gewünschten Eigenschaften nicht erfüllte, so wurden Anpassungsmaßnahmen (z.B.: Mischen von Bodenarten, zerkleinern von Klumpen, Anlegen von Windfängen ...) vorgenommen damit maximale Ausbeuten erzielt werden konnten.

Hatte man einen passenden Standort gewählt, wurde dieser vor der Meilererrichtung wie folgt vorbereitet:

Der Platz musste möglichst eben sein; notfalls wurden Unebenheiten beseitigt. In der Mitte setzte der Köhler dann einen Pfahl (sogenannter Quandelpfahl) und zog um diesen mit einem langen, an den Pfahl gehaltenen, Stock einen Kreis. Dieser Kreis war die Begrenzung des Meilers und maß zwischen 26 und 30 Fuß im Durchmesser. Er wurde bis zu einer Tiefe von einem Fuß umgegraben und sowohl von Wurzeln als auch von Steinen befreit. Die umgegrabene Erde wurde dann zur Verhinderung des Eindringens von Nässe und zur Verbesserung des Luftzuges zur Mitte des Platzes hin kegelförmig aufgehäuft und danach sorgfältig festgestampft. Die Höhe der Anhäufung richtete sich nach der chemischen Zusammensetzung des Bodens und konnte bei sogenannten kalten Böden (Tonerden) bis zu einem Fuß zur Mitte hin betragen. Es war weiterhin sinnvoll, um die bearbeitete Grundfläche einen 30 bis 40 cm tiefen Graben zu ziehen, um den Standort gegen Überschwemmungen zu schützen. Dann wurde in der Mitte leicht entzündliches Brennmaterial kegelförmig geschichtet oder in einem Viereck als Feuerschacht angelegt. Abhängig von der nun folgenden Schichtung des zu verkohlenden luftgetrockneten Holzes unterscheidet man stehende und liegende Meiler. Beim stehenden Meiler wurden die zu verkohlenden Holzscheite um den entstandenen Quandelschacht in mehreren Lagen, so dicht wie möglich gepackt, schräg aufgerichtet, so dass die Neigung der Außenfläche 60° betrug. Auf dieses 1. Stockwerk folgten meist noch bis zu 3 weitere, so dass der Meiler übermannshoch war und nur noch mit Leitern die Mitte (Quandelschacht) erreicht werden konnte. Das letzte Stockwerk wurde durch flacher gelegte Holzscheite abgerundet, so dass der Meiler die Gestalt eines abgerundeten Kegels hatte.

Beim seltener vorgekommenen liegenden Meiler wurden die Scheite um den Quandelschacht aufeinandergelegt, so dass sich eine halbkugelförmige Gestalt ergab.

Jetzt wurde mit Zweigen und Laub letztendlich mit einer Schicht Erde der Meiler luftdicht abgedeckt; lediglich 4 bis 12 Öffnungen im unteren 1. Stockbereich für die Luftzufuhr wurden nicht mit Erde bedeckt. Die Entzündung des Meilers erfolgte, indem der Köhler die Lufteintrittsöffnungen durchstach und den Quandelschacht mit glühender Holzkohle und trockenem Holz füllte und mit einem Deckel verschloss; gegebenenfalls mehrfach Holz nachwarf. Die Verkohlung begann, indem der Köhler in die Decke des Meilers Rauchabzugslöcher stach. Die Verkohlungszone wurde so in der Form eines sich erweiternden Trichters vom Quandelschacht her zum Fuß des Meilers hingezogen. Die Aufgabe des Köhlers bestand nun Tag und Nacht darin, die Decke des Meilers während des Kohlensvorganges dicht zu halten und eingesunkene Stellen zu öffnen, mit Holzstücken nachzufüllen und erneut zu verschließen. Die Steuerung des Kohlensvorganges geschah im wesentlichen nach der Farbe des Rauches:

weißer Rauch deutete auf die Holz Trocknung,
grauer Rauch auf die beginnende Verkohlung,
gelblicher Rauch auf die Verkohlung und
blauer Rauch auf das Ende der Verkohlung hin.

Je nach Holzart und -menge dauerte der Schwelungsprozess meist 3 bis 4 Wochen. Nach dem Ablöschen des Meilers und dem Auskühlen des Meilergutes erfolgte das Kohleziehen, das Ausbringen, das Sortieren und das Einsacken der erzeugten Holzkohle.

Danach wurde der Meilerplatz gesäubert und ein neuer Meiler auf dem selben Platz errichtet. Pro Saison errichtete der Köhler 4 selten 5 (wetterabhängig) Meiler (auch Umgänge genannt), wobei sich vom 1. bis 4. bzw. 5. Umgang die Holzkohlenausbeute in der Regel steigerte. In der nächsten Saison und/oder bei Benutzen eines vorher schon von anderen Köhlern genutzten Platzes musste der Köhler sich vergewissern, ob sich Brandschurf gebildet hatte. Brandschurf entstand durch das Versickern des bei der Holzverkohlung (wenn auch in geringem Maß) entstandenen heißen Teers in den Boden, welcher einige Zentimeter eingedrungen, sich abkühlte und so mit dem Boden eine Art feste schwarze Kruste bildet. Diese konnte nach 5 Umgängen schon Dicken von bis zu einem Fuß erreicht haben und machte Wasser- und Luftdurchlässigkeit unmöglich. Deshalb musste der Brandschurf aufgehackt werden, bevor der Köhler einen neuen Meiler auf diesem Standort errichtete (Freytag, 1831; Wienhaus, 1984).

Der Produktionszeitraum der jeweiligen Meiler ist in der Regel genau angebar, damit kann jedoch nichts über die Häufigkeit der Nutzung gesagt werden, weil ein Meilerstandort nach dessen Betreiben für unbestimmte Zeit unbenutzt oder genauso ohne Unterbrechung über Jahre hinweg genutzt worden sein konnte.

1.3.2 Holzverkohlung im Meiler

Die Meilerverkohlung ist ein Verfahren, bei dem die für die Pyrolyse erforderliche Wärme durch den partiellen Abbrand von Holz erzeugt wird. Dazu wird der Meiler zunächst unter Zufuhr von Luft in Brand gesetzt bis die nötige Verkohlungs-temperatur von etwa 270°C erreicht ist. Bis zu etwa 170°C tritt kaum eine merkbare Zersetzung der Holzsubstanz ein, hauptsächlich wird das mechanisch gebundene Wasser herausgetrieben. Lediglich geringe Mengen bilden sich bereits an Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Ameisen- und Essigsäure aus den thermisch instabilsten Holzbestandteilen. Erst oberhalb 170°C beginnt sich das Holz - zunächst endotherm - zu zersetzen, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid wird in großen Mengen freigesetzt. Es setzt dann bei 270°C eine stürmische exotherme Reaktion ein, was sich durch heftiges Qualmen des Meilers bemerkbar macht. Durch Abdecken der Luftlöcher durch den Köhler wird jetzt die Zufuhr der Verbrennungsluft unterbunden. Erst jetzt beginnt der eigentliche Verkohlungsprozess, bei dem die Temperatur im Meiler durch die chem. Zersetzung des Holzes bis auf ca. 400°C ansteigt. In diesem Stadium wird die weitest-gehende Menge der flüssigen und gasförmigen Zersetzungsprodukte gebildet, wie Essigsäure, Holzgeist, Holzteer und Kohlenwasserstoffe, während sich im festen Rückstand der Kohlenstoffgehalt erhöht und der Sauerstoffgehalt vermindert, d. h. sich das Holz in **Holzkohle** umwandelt. Art und Menge der einzelnen entstandenen Zersetzungsprodukte hängen auch von der Holzart ab. So konnte beim Verbrennen von harzreichem Nadelholz **Holzteer** destilliert und von kaliumreichen Holz (z. B. Buche) **Pottasche** gewonnen werden.

1.4 Schadstoffe

Holz besteht im Wesentlichen aus 3 Bestandteilen: Cellulose, Lignin und Hemicellulosen, die je nach Holzart in unterschiedlichen Mengenanteilen vorliegen. Bei der Pyrolyse des Holzes laufen eine Vielzahl komplexer chemischer Zersetzungsreaktionen ab, bei denen folgende Stoffe freigesetzt werden:

- Holzgas: Zusammensetzung schwankt je nach dem Stadium der Verkohlung, anfangs mehr Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, gegen Ende mehr Methan und Wasserstoff.
- Holzessig: Gemisch aus ca. 75% Wasser, 12% Essigsäure, Holzgeist sowie 10% gelöster Teer.
 - Essigsäure: mit ca. 10% Ameisensäure und höheren Homologen.
 - Holzgeist: Gemisch aus Methanol, Aceton, Methylacetat und sog. Holzgeistölen.
 - löslicher Teer: Gemisch aus Anhydroglucosen, Oxisäuren, Lactonen, Phenolen, Phenolharzen u.a..
- Holzkohle: kompliziertes Gemisch organischer Verbindungen mit 81-90% Kohlenstoff, 6% Sauerstoff, 3% Wasserstoff, 1% Stickstoff, 6% Feuchtigkeit und 1-2% Asche.
- Holzteer: Gemisch aus aliphatischen und aromatischen Verbindungen besonders Phenole bzw. substituierte Phenole, Phenoether und Guajakol.
- Holz-asche: Gemisch aus Carbonaten, Sulfaten, Phosphaten, Chloriden und Silicaten der Alkali- und Erdalkalimetalle und Eisenoxide, das wenn kaliumreich zur Pottascheherstellung weiterverwendet wurde.

Tabelle 1 zeigt aus welchem Bestandteil des Holzes die jeweiligen Produkte entstanden sind:

| Holzbestandteil | Anteil [%] | Daraus entstandene Produkte |
|-----------------|------------|--|
| Lignin | 20 - 30 | Holzkohle, Holzteer, Wasserstoff, Methanol, Methan, Ethen, Wasser, Teeröle, phenolhaltige Kondensate |
| Cellulose | 40 - 50 | Holzkohle, Holzteer, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Essigsäure, Ameisensäure, Wasser |
| Hemicellulose | 10 - 30 | Essigsäure, Ameisensäure, Kohlenmonoxid, Methanol, Furfural, Wasser, phenolhaltige Kondensate |

Die neben der Holzkohle entstandenen Produkte sind jedoch zum Teil aus der Schadstoffbetrachtung herauszunehmen. Denn sowohl das Holzgas als auch der Holzessig und Teile des Holzteers verflüchtigten sich bei den im Meiler herrschenden Temperaturen und gelangten in die Atmosphäre; im Fall des Holzessigs und des Holzteeres in Form von Aerosolen (Stoffgemisch, das aus einem gasförmigen Dispersionsmittel und flüssigen oder festen Bestandteilen, sog. Schwebstoffen besteht), die im allgemeinen nur wenige Stunden beständig sind. Danach setzen sich die Schwebstoffe auf dem Boden ab und die gasförmigen Bestandteile entweichen. Es ist demnach durchaus möglich, dass sich die Schwebstoffe in unmittelbarer Meilerstandort-nähe abgelagert haben und aus der Betrachtung nicht zu streichen sind. Die nicht flüchtigen Bestandteile des Holzteers gelangten in den Boden und bildeten mit diesem den sogenannten Brandschurf.

Demnach ist auf dem Gelände von Meilerstandorten mit folgenden Schadstoffen zu rechnen:

- Schadstoffe:
- PAK: Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen, Naphthalin, Benzo(a)pyren
 - BTEX
 - Phenole
 - MKW

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

Das Gefahrenpotential, welches von ehemaligen Meilerstandorten ausgeht, wurde jahrhundertlang nicht beachtet und eher zufällig 1994 - 1996 im Zusammenhang mit den Erkundungsarbeiten an den ehemaligen Mülldeponien Ansprung und Olbernhau (Erzgebirge) entdeckt.

Die durch den Verbrennungsvorgang des Holzes entstehenden Stoffe können vor allem eine Gefahr für das Grundwasser, aber auch für Boden und Oberflächengewässer darstellen.

Das **Grundwasser** kann durch Auswaschen der in Punkt 1.4. genannten Schadstoffe verunreinigt werden. Dies ist besonders kritisch, wenn dieses Grundwasser zur Trinkwassergewinnung verwendet wird.

Die Kontamination des **Bodens** und des **Oberflächenwassers** spielen eine untergeordnete Rolle; können aber im Einzelfall (z.B.: auf dem ehemaligen Standort befindet sich derzeit ein Kinderspielplatz oder im Oberflächengewässer wird Berufs- und Sportfischerei betrieben) sehr wohl relevant sein.

Emissionen in die **Luft** sind auf grund der Stilllegung nicht mehr relevant.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Folgende Schutzgüter können gefährdet sein :

- Grundwasser,
- Boden,
- Oberflächenwasser.

Menschen, Tiere und Pflanzen sind durch Nutzung der o. g. Schutzgüter bzw. durch direkten Kontakt gefährdet.

2.3 Gefährdungsabschätzung

Wegen des möglichen Gefährdungspotentials ist in jedem Fall eine Gefährdungsabschätzung nach der Sächsischen Altlastenmethodik (Stufenprogramm) erforderlich.

Die schadstoffabhängigen Einflussfaktoren werden im folgenden spezifiziert. Im BN 1 wird vom ungünstigsten Fall innerhalb des möglichen Spektrums ausgegangen. Im BN 2 wird die Bewertung auf die als relevant ermittelten Schadstoffparameter ausgerichtet.

2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Die Verdachtsfallerfassung und Erstbewertung erfolgt nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997) im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA). Folgende Kriterien sind bei Meilerstandorten besonders zu beachten:

- (7) **Art der Verdachtsfläche:** Meilerstandorte sind prinzipiell als Altstandorte zu betrachten und zu bewerten.
- (14) **Fläche:** Die Größe der Betriebsfläche von Meilern ist sehr unterschiedlich; maximale Grundflächen betragen erfahrungsgemäß 1000 m². Die Ausdehnung der Verdachtsfläche wird mittels Holzkohle-funden und Standortauffälligkeiten erfasst. Typisch für die Verdachtflächen ist, dass auf diesen mehrere Meiler (jedoch nicht zeitgleich) betrieben worden sind und deren nicht verwendbare Produkte (z.B.: Asche, nicht brauchbare Holzkohlestücke, Brandschurf) auf einer Art Halde neben den eigentlichen Meilern abgelagert wurden. Diese Halden konnten eine Mächtigkeit von mehreren Metern aufweisen, bedeckten aber nur kleine Flächen und werden deshalb in der Abschätzung und der Bewertung der einzelnen Stufen flächenmäßig zum Standort dazugezählt aber nicht extra betrachtet.
- (20S) **Einordnung in Branchenschlüssel und Belastungsstufe:** Meilerstandorte zählen zur Hauptgruppe 1: Produzierendes und verarbeitendes Gewerbe

Branchenschlüssel
0960

Branche
Kohlemeiler

Gefährdungsklassen
34

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Die Historische Erkundung ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998) durchzuführen und nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a) für Boden, nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b) für Grundwasser und nach Fertigstellung entsprechend SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. a) für Oberflächengewässer entsprechend SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.) zu bewerten.

Zugehöriges EDV-Programm: GEFA V3.0 nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 a und b).

Stoffgefährlichkeit - r_o :

- $r_o = 0.5-5.5$, nach Brancheneinstufung
- Da beim Meilerbetrieb ausschließlich Holz verbrannt wurde, sind dessen Verbrennungs- und Zersetzungsprodukte zu betrachten.
Relevante Stoffe hierfür sind: PAK; BTEX; MKW und Phenole.
- Die r_o Werte für die jeweiligen Aufnahme-/Wirkpfade:

| | | | |
|--------|---|----------------------------|-----------------------------|
| Mensch | { | ➤ oral: | ▪ Σ PAK $r_o = 5,4$ |
| | | | ▪ MKW $r_o = 2,3$ |
| | | | ▪ Σ BTEX $r_o = 3,6$ |
| | | ▪ Phenol $r_o = 2,9$ | |
| | | ➤ Inhalativ (staubförmig): | ▪ Σ PAK $r_o = 5,2$ |
| | | | ▪ MKW $r_o = 2,2$ |
| | | | ▪ Σ BTEX $r_o = 3,5$ |
| | | | ▪ Phenol $r_o = 1,9$ |
| | | ➤ Ökotoxikologischer Wert: | ▪ Benzo(a)pyren $r_o = 6,0$ |
| | | | ▪ MKW $r_o = 5,5$ |
| | | | ▪ Phenol $r_o = 4,6$ |

[Quelle: SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.)]

- Bei Oberflächengewässern ist die Stoffgefährlichkeit humantoxikologisch als $r_o(\text{hum})$ und ökotoxikologisch als $r_o(\text{öko})$ zu beachten und eine Bewertung nach dem im Handbuch zur Altlastenbehandlung Teil 5: Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser, angegebenen Schema vorzunehmen.
- Ist der Boden ökologisch bedeutsam und ist Benz(a)pyren nachgewiesen, so ist der r_o - Wert auf 6 aufzuwerten.
- Die Inhalationstoxizität für gasförmige Stoffe wird nicht angesetzt, da die meisten Meilerstätten schon seit Jahren nicht mehr betrieben werden und deshalb keine relevanten Emissionen mehr stattfinden.

Örtliche Bedingungen, m-Werte:

Im folgenden werden die schadstoffabhängigen Einflussfaktoren eingegrenzt. Die spezifischen Standortbedingungen sind bezogen auf den Einzelfall zu bewerten.

Grundwasser - m_1

- Oberflächenabdeckung: Bei Meilerstandorten ist eine Oberflächenabdeckung durch Bewuchs erfahrungsgemäß vorhanden: $\Delta m = +/- 0$.
- Oberflächenabdichtung: Bei Meilerstandorten erfahrungsgemäß nicht vorhanden: $\Delta m = +/- 0$.
- Kontaminationsfläche des Standortes: Flächen von maximal 1000 m².

- Löslichkeit/ Aggregatzustand: Da leichtlösliche und flüssige Komponenten (z.B. Benzol, Toluol, Xylol und Phenole) als Schadstoffe eine Rolle spielen: $\Delta m = +/- 0$.

Grundwasser - m_{II}

- Sorption: Die Sorbierbarkeit (log SC) der vorkommenden Schadstoffe liegt zwischen 1,8 (Benzol, Toluol) und 5,3 (Benz(a)pyren). Für den Austrag wird die geringste Sorbierbarkeit herangezogen. In Abhängigkeit vom Humus- und Tongehalt ergeben sich dann folgende Werte: Anteil Humus bzw. Ton schwach-mittel: $\Delta m = +/- 0$ bzw. stark: $\Delta m = - 0,1$.
- Lösungsvermittler: Benzol wirkt gegenüber PAK als Lösungsvermittler: $\Delta m = + 0,1$.
- Acidität des Bodens: pH - Wert bei Meilerstandorten erfahrungsgemäß sauer (pH <6), aufgrund des jahrhundertlang erfolgten Nachforstens schnellwüchsiger Baumarten (Fichte) um die Holzversorgung zu gewährleisten.
- Abbaubarkeit: Der Abbau von PAK's, BTEX, Phenol und MKW ist möglich, zum Teil aber mit langen Abbaueiten verbunden (z.B.: Toluol und Xylol langsamer Abbau, Benzol leichter abbaubar, PAK biologisch schlecht abbaubar, abhängig von der Ringanzahl der Verbindungen), es erfolgt deshalb kein Abschlag: $\Delta m = +/- 0$.

Grundwasser - m_{III}

- Abbaubarkeit: Abbau der relevanten Schadstoffe ist prinzipiell möglich, aber mit langen Abbaueiten verbunden, teilweise sind nur Transformationen zu erwarten (z.B. kann Xylol transformiert werden). Kein Abschlag möglich: $\Delta m = +/- 0$.

Grundwasser - m_{IV}

- Aufbereitungsmöglichkeiten: Standard in Trinkwassergewinnungs-/Wasseraufbereitungsanlagen ist eine mechanische Reinigung (Abfiltern von Schwebestoffen), Belüftung des Wassers, das Entfernen von Eisen und Mangan und eine Desinfektion (Chlorierung).

Boden - m_I

- Fallzuweisung: Bei Meilerstandorten im allgemeinen Fall 1: Der zu schützende Boden ist die Altlast selbst; daraus ergibt sich der Ausgangswert $m_I = 1,0$.
- Kontaminationsfläche des Standortes: Flächen bis maximal 1000 m².
- Abdeckung und Bewuchs: Erfahrungsgemäß vorhanden: $\Delta m = +/- 0$. Jedoch fehlt aufgrund der Abholzung der alte Baumbestand (z.B.: Buche) um die Meilerstätten – teilweise sogar gar kein Baumbewuchs vorhanden.

Boden - m_{II}

- Entfernung: Wenn die zu schützende Fläche selbst Altlastverdachtsfläche ist: Ausgangswert $m_{II} = 1,2$.

Boden - m_{III}

- Abbaubarkeit im Boden: Wesentlicher chemischer und mikrobieller Abbau der relevanten Schadstoffe Phenol, MKW, BTEX möglich; bei PAK ist der Abbau möglich (abhängig von der Ringanzahl): daraus ergibt sich der Ausgangswert $m_{III} = 0,9$.
- Verweilzeit im Boden: BTEX und Phenol sind leicht lösliche Stoffe, die PAK sind teilweise schwer löslich: $\Delta m = +/- 0$.
- Sorption-Bindungsstärke:
 - Bewertung bzgl. oraler Schadstoffaufnahme: Bei den PAK weisen Benz(a)pyren und Phenanthren hohe Sorptionskoeffizienten auf, Phenol und BTEX niedrige; in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Bodens ist die Sorption einzuschätzen: $\Delta m = -0,1$ bis $+ 0,1$.
 - Bewertung bzgl. Bioverfügbarkeit: Organische Stoffe sind gering (PAK) bis gut (Phenol) bioverfügbar; $\Delta m = +/- 0$.

Boden - m_{IV}

Im Stadium der Historischen Erkundung liegen im allgemeinen keine Analysenwerte vor.

Oberflächenwasser - m_I

- Fallzuweisung: Prinzipiell sind alle 6 Fälle möglich, jedoch werden nur die Fälle 1,2 und 3 (3. nur bei spärlichem Bewuchs) betrachtet, da die restlichen 3 Fälle als wenig relevant angenommen werden können.
 - Fall 1: (Schadstoffe im Grundwasser): Der m_I -Faktor wird aus dem beim Grundwasserpfad bestimmten Faktoren $m_{I(G)}$, $m_{II(G)}$ und $m_{III(G)}$ gebildet.
 - Fall 2: (Schadstoffe im Sickerwasser): Ausgangswert $m_I(2) = 1,2$.
- Oberflächenabdeckung: wirksame Oberflächenabdeckung erfahrungsgemäß vorhanden: $\Delta m = +/- 0$.
- Oberflächenabdichtung: erfahrungsgemäß keine wirksame Oberflächenabdichtung vorhanden: $\Delta m = +/- 0$.
- Kontaminationsfläche des Standortes: erfahrungsgemäß maximal 1000 m².
- Löslichkeit/ Aggregatzustand: Da leichtlösliche und flüssige Komponenten (z.B. Benzol, Toluol, Xylol und Phenole) als Schadstoffe vorhanden sind: $\Delta m = +/- 0$.
- Fall 3: (Wasser- und Winderosion): Ausgangswert $m_I(3) = 1,0$.
- Löslichkeit/ Aggregatzustand (bei Wassererosion): Da leichtlösliche und flüssige Komponenten (z.B. Benzol, Toluol, Xylol und Phenole) als Schadstoffe eine Rolle spielen: $\Delta m = + 0,1$.

Oberflächenwasser - m_{II}

Der Schadstoffeintrag ist für die relevanten Fälle getrennt zu ermitteln.

Fall 1: Der Eintrag ist um so größer, je

- größer die Übergangsfläche Grundwasser/ Oberflächenwasser im Abstrombereich des Schadherdes ist,
- größer die Transportgeschwindigkeit im Grundwasser ist,
- geringer der Schadstoffrückhalt beim Übergang ist.

Fall 2: Der Eintrag ist um so größer, je

- häufiger ein Sickerwasserzutritt erfolgt,
- größer die zufließende Sickerwassermenge ist.

Fall 3: Der Eintrag ist um so größer, je

- näher das Gewässer am Schadherd ist,
- größer das Gefälle auf der Strecke Schadherd/ Gewässer ist (Wassererosion),
- ungehinderter der Abfluss erfolgen kann (Wassererosion),
- größer die Gewässeroberfläche im Einflussbereich der Winderosion ist,
- geringer der Staubrückhalt durch Vegetation ist (Winderosion).

Oberflächenwasser - m_{III}

Ausschlaggebend für den m_{III} - Ausgangswert ist, in welchem Maße eine Verdünnung erfolgt.

Biologischer Abbau: Abbau der relevanten Schadstoffe möglich; in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit des Gewässers Abschlüsse von - 0,1 bis - 0,3 möglich.

Oberflächenwasser - m_{IV}

Es wird im Wesentlichen die Nutzung des Oberflächenwassers durch den Menschen bewertet, ausgehend von der humantoxikologischen Stoffgefährlichkeit.

Wird ein weiterer Handlungsbedarf festgestellt, folgt die Orientierende Untersuchung (E_{1-2}).

2.3.3 Orientierende Untersuchung und Bewertung (Beweisniveau 2)

Die Orientierende Untersuchung ist nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT- UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b) für Boden, nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a) für Grundwasser und nach Fertigstellung entsprechend SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. a) für Oberflächengewässer durchzuführen und die Bewertung nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.) vorzunehmen.

Um Kenntnisse über Art und räumliches Ausmaß der Kontamination zu erlangen, sind chemisch-physikalische Untersuchungen notwendig.

Das folgende Untersuchungsprogramm enthält das – im konkreten Fall nach den Ergebnissen der Historischen Erkundung anzupassende – Analysenspektrum für Boden und Grundwasser (bzw. Eluat) sowie eine mögliche Parametererweiterung für die Detailuntersuchung (Beweisniveau 3). Spezielle Einzelsubstanzen werden im Stadium der Orientierenden Untersuchung meist noch nicht untersucht. Auf Beweisniveau 2 nachgewiesene Substanzen müssen selbstverständlich bei der Detailuntersuchung weiter untersucht werden.

Bei der Analytik sind die jeweiligen DIN-Verfahren anzuwenden.

Untersuchungen des Grundwassers: Die Entnahme von Grundwasserproben hat im Zu- und Abstrom zu erfolgen. Die jeweiligen Entnahmetiefen richten sich nach den jeweiligen Standortgegebenheiten.

- Bestimmungen bei der Probenahme:
 - Wassertemperatur
 - Geruch
 - Färbung
 - Trübung
 - pH-Wert
 - Redoxpotential
 - Leitfähigkeit
 - Sauerstoffgehalt
 - Gesamthärte

- Untersuchungen im Labor:
 - Organische Parameter:
 - PAK (16 Einzelsubstanzen nach EPA)
 - BTEX
 - MKW
 - Phenolindex

Untersuchungen des Bodens: Mittels Bodenproben aus unterschiedlichen Teufenbereichen (zuerst oberflächennah) ist das relevante Schadstoffspektrum von Meilerstandorten zu untersuchen. Zur Ermittlung des Hintergrundwertes ist eine Vergleichsprobe außerhalb der altlastverdächtigen Fläche zu entnehmen.

- Bestimmung bei der Probenahme:
 - Aussehen
 - Geruch
 - Konsistenz
 - Homogenität
 - Trockenrückstand
 - pH-Wert

- Eluat aus der Bodenprobe:
 - Geruch
 - Färbung
 - pH-Wert
 - Leitfähigkeit

- Organische Parameter:
 - PAK (16 Einzelsubstanzen nach EPA)
 - BTEX
 - MKW
 - Phenolindex

Untersuchungen der Oberflächengewässer:

Um eine Beeinträchtigung durch Schadstoffe festzustellen, sind physikalisch-chemische Untersuchungen im Wasser sowie im Sediment erforderlich. In Fließgewässern sollte mindestens eine Probe im Anstrom oberhalb des Meilerstandortes genommen werden, um die Hintergrundbelastung zu ermitteln. Es sind die gleichen Parameter wie bei den Grundwasser- und Bodenproben zu ermitteln. Es erfolgt ein Vergleich der im Gewässer gemessenen Schadstoffgehalte mit den entsprechenden Orientierungswerten.

FORMALE BEWERTUNG

Die formale Bewertung ist analog Punkt 2.3.2 mit entsprechend genaueren Aussagen durchzuführen.

Stoffgefährlichkeit - r_0 :

Die Stoffgefährlichkeit wird nicht mehr anhand der Branche bestimmt wie im Beweismiveau 1, sondern anhand der als relevant ermittelten Schadstoffparameter aus dem Untersuchungsprogramm. Dabei ist die höchste Stoffgefährlichkeit der als relevant ermittelten Schadstoffe maßgebend. Konnten keine der für Meilerstandorte als relevant bekannten Schadstoffe auf einer Verdachtsfläche nachgewiesen werden, so ist die untere Grenze $r_0 = 0,5$ bei der weiteren Berechnung zu verwenden.

Ausnahme: Wenn sich aufgrund der spezifischen Standort- und Stoffeigenschaften sowie der Stoffmengen aus einem niedrigeren r_0 – Wert ein höherer Risikowert ergibt, so ist dieser Stoff für die Bewertung auszuwählen.

Grundwasser - m_I bis m_{III}

- Löslichkeit: Die Löslichkeit ist entsprechend den Untersuchungsergebnissen für die als relevant ermittelten Stoffe zu spezifizieren.
- Sorption: Die Sorption ist entsprechend den Untersuchungsergebnissen zu spezifizieren. Sind z. B. nur PAK relevant und der Standort weist mittel humosen Boden auf, so wird die Sorption mit $\Delta m = -0,1$ bewertet.
- Abbaubarkeit: Die Abbaubarkeit ist entsprechend den Untersuchungsergebnissen zu spezifizieren.

Grundwasser - m_{IV}

Die Bewertung ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.) vorzunehmen. Es sind auch die aktuellen LAWA - Werte enthalten.

Boden - m_I bis m_{III}

- Löslichkeit: Die Löslichkeit ist anhand der Untersuchungsergebnisse zu spezifizieren.
- Sorption: siehe Boden Pkt. 2.3.2
- Abbaubarkeit: Die Abbaubarkeit ist anhand der Untersuchungsergebnisse zu spezifizieren. Z.B.: werden ausschließlich leichter abbaubare Stoffe wie Phenole und BTEX nachgewiesen, so ist $m_{III} = 0,8$ anzusetzen.

Boden - m_{IV}

Zur Bewertung des Bodens ist die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (Anhang 2 BBodSchV) (1999) mit den darin enthaltenen Prüf- und Maßnahmenwerten heranzuziehen. Ergänzend zu den gesetzlichen Werten sind die Besorgniswerte und Dringlichkeitswerte nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.) zu verwenden.

Oberflächenwasser - m_I bis m_{III}

Die jeweiligen Parameter sind anhand der Untersuchungsergebnisse zu spezifizieren.

Oberflächenwasser - m_{IV}

Zur Bewertung von Oberflächengewässern werden Besorgniswerte nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.) entsprechend den Zielvorgaben der LAWA verwendet.

Nach der Bewertung auf BN 2 folgt bei weiterem Handlungsbedarf die Detailuntersuchung (E 2-3).

2.3.4 Detailuntersuchung und Bewertung auf Beweismiveau 3

Für die als Pilotprojekt von ENMOTEC Ingenieures.mbH untersuchten Holzmeilerstandorte südlich der Stadt Olbernhau wurden keine Detailuntersuchungen notwendig, da die Bewertung der Ergebnisse gemäß der

Sächsischen Altlastenmethodik ergeben hat, dass die ursprünglich anhand von Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Deponien Anspurg / Olbernhau – Rübenauer Strasse konstatierte hohe Gefährdung der Schutzgüter Boden und Wasser durch kohlmeilertypischer Schadstoffe nicht bestätigt werden konnte. Die Belastung wurde nach den vorliegenden Ergebnissen für das Schutzgut Grundwasser als gering, für das Schutzgut Boden als sehr gering und für das Schutzgut Oberflächenwasser als nicht nachweisbar eingeschätzt.

Prinzipiell sind Detailuntersuchungen nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. b) mit dem Ziel durchzuführen, genaue Kenntnisse über Art und Ausmaß der Kontamination gegenüber den Schutzgütern (Boden, Grund- und Oberflächenwasser) zu erhalten bei Überschreitung von Prüf- bzw. Besorgniswerten (innerhalb der OU). Die Bewertung erfolgt nicht mehr mittels GEFA.

Besonders wichtige Punkte der Detailuntersuchung sind:

- genauest mögliche Abgrenzung der Kontamination in der Tiefe bzw. deren Verbreitung,
- verbale, standort- und nutzungsbezogene Expositions Betrachtung; Sickerwasserprognose
- nicht mehr nur punktuelle Konzentrationsbetrachtungen sondern Frachtbetrachtungen

In der Phase der Detailuntersuchung ist das Untersuchungsspektrum bei entsprechenden Hinweisen aus der Orientierenden Untersuchung gezielt auf spezielle Schadstoffe auszudehnen.

Im Ergebnis der Gefährdungsabschätzung kann der Bedarf einer Sanierung mit Sanierungsuntersuchung, einschließlich eventueller Nutzungseinschränkung, eine fachtechnische Überwachung, ein Belassen im oder ein Ausscheiden (im Ausnahmefall) des Altlastenverdachtsfalles aus dem Altlastenkataster stehen.

Bei der Entscheidung für eine Sanierung ist für jeden relevanten Schadstoff ein vorläufiger Sanierungszielwert festzulegen.

2.4 Sanierungsuntersuchung

Hat die Gefährdungsabschätzung die Notwendigkeit einer Sanierung ergeben, ist auf der Basis eines vorläufigen Sanierungszielwertes eine Sanierungsuntersuchung nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999) durchzuführen.

2.5 Sanierung

Prinzipiell ist der Einsatz aller Sanierungsverfahren, d.h. Dekontaminations- und Sicherungsverfahren, oder falls deren Anwendung nicht möglich oder unzumutbar ist, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen denkbar.

Die Wahl des Verfahrens hängt von den standortspezifischen Bedingungen und von den Schadstoffverteilungen ab.

Grundwasserdekontaminationsverfahren eignen sich für Phenole, PAK und BTEX, jedoch gibt es keine Angaben über geeignete Verfahrenskombinationen mit denen Schadstoffe parallel entfernt werden können.

Das selbe Problem taucht auch bei den Bodendekontaminationsverfahren auf. Grundsätzlich jedoch:

- sind pneumatische Verfahren als Methode auszuschließen, da diese sowohl für Phenole, als auch für BTEX bzw. PAK nicht geeignet sind,
- können mikrobiologische Verfahren angewandt werden, da die relevanten Schadstoffe PAK, Phenole, BTEX und MKW prinzipiell biologisch abbaubar sind,
- eignen sich thermische Behandlungen, jedoch werden bei einigen dieser Verfahren besondere Anforderung an das zu sanierende Bodenmaterial gestellt; z.B. nichtmineralische Komponenten (Holz) dürfen nur in begrenzten Mengenanteilen bzw. gar nicht im kontaminierten Material vorhanden sein,
- eignen sich bei den chemisch - physikalischen Verfahren Waschverfahren für die Schadstoffentfernung.

Die Durchführung der Sanierung erfolgt nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (2000).

2.5.1 Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung

Firmen und Einrichtungen, die sich mit der Behandlung von Altlasten beschäftigen, sind dem Anbieterverzeichnis von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen zu entnehmen. Informationen aus diesem Verzeichnis sind über die IHK- Niederlassungen Sachsens erhältlich.

3 Literaturangaben

Hinweis:

Das Branchenblatt wurde im Rahmen des praktischen Semesters der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie bearbeitet und erstellt.

FALBE, Jürgen; REGITZ, Manfred(Hrsg) (1992): Römpps Chemie - Lexikon, 9.Aufl., Bd. 2, Thieme, New York

DUSS, Paul (08.05.2000): Die Holzköhlerei ein uraltes Gewerbe, <http://www.bramboden.ch/PDKhlerei.htm>

ENMOTEC Ingenieures.mbH(1997): Historische Meilerstandorte Olbernhau - Orientierende Erkundung. - Abschlussbericht, Zwickau

EULITZ, Christa - Maria; SCHEUERMANN, Sigrid; THIER, Hans - Joachim(verantwortliche Redakteure) (1971): Brockhaus abc Chemie, 1. Aufl., 3. Nachdruck, Bd. 1, Brockhaus, Leipzig

FREYTAG, Ferdinand (1831): Von der vorteilhaften Verkohlung des Holzes in Meilern, mit besonderer Rücksicht auf das in der Grafschaft Stollberg - Wernigerode übliche Verfahren, Verlag von Gottfr. Basse, Quedlinburg

HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1993): Stoffdaten altlastenrelevanter Stoffe. - Untersuchung altlastenverdächtiger Flächen, Teil 3, Wiesbaden

MACKENBROCK, Ulrike; KOPP - HOLTWIESCHE, Bettina; BLANK, Wolfgang(1994): Zur biologischen Abbaubarkeit von Industriechemikalien. - Terratech 4/1994

MOMBÄCKER, Rudolf; AUGUSTIN, Hans(1993): Holzlexikon - Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft. 3. unbearb. Aufl., Bd. 1, DRW Verlag, Stuttgart

PAPPERITZ, Bernd (09.05.2000): Der Meilerplatz in Tharandt, <http://www.tharandt.de/meilerpl.htm>

RADKAU, Joachim; SCHÄFER, Ingrid(1987): Holz - Ein Naturstoff in der Technikgeschichte, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998): Historische Erkundung von Altlastenverdachtsfällen. - Materialien zur Altlastenbehandlung, 4/1998, Dresden

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1999): Altlasten-Aktuell Nr.5. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Dresden

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorb.): Handhabung von Orientierungswerten sowie Prüf- und Maßnahmenwerten zur Gefahrenverdachtsermittlung für die Altlastenbehandlung. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. Anlage 7: Schadstoffpfad Grundwasser; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. Anlage 7: Schadstoffpfad Boden; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997): Erfassung von Verdachtsfällen und Formale Erstbewertung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999): Sanierungsuntersuchung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (2000): Sanierung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 9, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. b): Detailuntersuchung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7, Dresden

ULLMANN (1957): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., Bd. 8 "Holzverkohlung", Urban und Schwarzenberg, München - Berlin

ULLMANN (1976): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl., Bd. 12 "Holzverkohlung", Weinheim, New York

WIENHAUS, Otto (1984): Die thermisch - chemische Veredlung von Holzresten zu Holz- und Aktivkohlen. - Techn. Univ. Diss., Dresden

Abkürzungen

| | |
|------|----------------------------------|
| IHK | Industrie- und Handelskammer |
| LAWA | Länderarbeitsgemeinschaft Wasser |