

Handlungsempfehlung
für Sickerwasseruntersuchungen im Altlastenbereich
mit Saugkerzen
für organische Schadstoffe am Beispiel PAK

2004

Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Dezernat Altlasten und Schadensfälle
Herr Zeisberger
Rheingastr. 186
65203 Wiesbaden
0611/6939-748

Auftragnehmer: Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
Meraner Str. 10
01217 Dresden

Bearbeiter: Dipl.-Ing. D. Swaboda
Dr.-Ing. R. Giese
Dipl.-Chem. L. Schmalz

Inhaltsverzeichnis

1 Inhalt und Zielstellung	3
2 Anwendungsbereich	3
3 Einsatzbereich von Saugkerzen	3
4 Grundlagen der Saugkerzenprobennahme	4
4.1 Allgemeine physikalische Grundlagen.....	4
4.2 Stoffspezifische Besonderheiten der PAK	5
5 Saugkerzenauswahl.....	7
5.1 Allgemeine Kriterien.....	7
5.2 Eignungstest des Probennahmesystems	8
6 Technik der Saugkerzenprobennahme	10
6.1 Beispiel-Probennahmesysteme	10
6.2 Probennahme Mess- und Überwachungsparameter für PAK.....	11
7 Qualitätssicherung der PAK-Saugkerzenprobennahme	11
7.1 Probennahme – Wiederfindungsraten	11
7.2 Probenkonservierung – Probenstandzeit	11
7.3 Probenlagerung und Transport.....	12
7.4 Reinigung des Probennahmesystems	13
7.5 Konditionierung	13
7.6 Überwachungsparameter	14
7.7 Mehrfachbeprobung	14
8 Auswertung und Ergebnisinterpretation	14
9 Literatur	15

1 Inhalt und Zielstellung

Diese Handlungsempfehlung basiert auf umfassenden Untersuchungen zur Eignung von Saugkerzen für die Probennahme organischer, altlastrelevanter Schadstoffe (SWABODA et al. 2003, SWABODA et al. 2004). Die Untersuchungen wurden an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) durchgeführt. Mit der Handlungsempfehlung sollen wesentliche Untersuchungsergebnisse der praktischen und behördlichen Nutzung zugeführt werden. Die Handlungsempfehlung stellt Besonderheiten der Probennahme organischer Schadstoffe heraus, die über den in der einschlägigen Literatur (DVWK, 1990; WILSON, 1995; LAWA 2003) dokumentierten Stand der Technik hinausgehen.

2 Anwendungsbereich

Diese Handlungsempfehlung gibt Hinweise zur Probennahme von PAK mit Saugkerzen im Altlastenbereich. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere mittel bis schwer flüchtige (Henrykonstante $K_H < 2.5 \text{ mol/(L}\cdot\text{bar)}$), stark lipophile Stoffe ($\log K_{OW} > 3$) wie z.B. PCB, Pestizide und Phthalate ist im Einzelfall zu prüfen. Als Altlasten werden unversiegelte, mit organischen Schadstoffen belastete Böden betrachtet. Besondere Berücksichtigung findet der partikuläre Transport von Schadstoffen in Böden und dessen Einfluss auf die Saugkerzenprobennahme. Für die Probennahme von **MKW** sind Saugkerzen **nicht geeignet!**

3 Einsatzbereich von Saugkerzen

Die Probennahme mittel- bis schwerflüchtiger organischer Schadstoffe mit Saugkerzen ist möglich als **ergänzende Maßnahme** z.B. **zu Bodenuntersuchungen** im Rahmen der Sickerwasserprognose bzw. als begleitende Maßnahme **bei Prozessuntersuchungen**

- an ungesättigten Säulenversuchen (Minilysimeter),
- an Lysimeteranlagen oder
- bei Feldversuchen insbesondere für Langzeitüberwachungen.

Die **Überwachung der Bodenwasserhydraulik** durch in-situ Wassergehaltsmessung und Tensiometrie in Kombination mit einer Bodenluftprobennahme erhöht die Aussagekraft von

Saugkerzenuntersuchungen, da **Rückschlüsse auf den Bodengashaushalt und die Zonierung des Milieus** ermöglicht werden (LUCKNER & SCHESTAKOW, 1991). Bei dem Einsatz von Saugkerzen sind die physikalischen Grundlagen und der allgemeine Einsatzbereich der Saugkerzenprobennahme zu berücksichtigen (DVWK, 1990; WILSON, 1995). Im Altlastenbereich ist die Saugkerzenprobennahme bei heterogener Schadstoffquelle (Schadstoffe in Phase) und/oder bei Böden, die präferentiellen Fluss begünstigen, wegen „bypassing“ von Saugkerzen nicht sinnvoll. Die Repräsentativität von Saugkerzenproben kann durch Tracerversuche mit konservativen Tracern (z.B. Kaliumbromid) ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, dass das Auftreten präferentiellen Fließens von den i. Allg. instationären hydraulischen Randbedingungen abhängt.

4 Grundlagen der Saugkerzenprobennahme

4.1 Allgemeine physikalische Grundlagen

Die Sickerwasserprobennahme in der ungesättigten Bodenzone erfordert die Trennung der unter Unterdruck stehenden Wasserphase von der Gasphase durch den Einsatz phasenspezifischer Separatoren. Für die Phasenseparation werden feinstporöse Stoffe (Filter) aus Keramik, PTFE, Edelstahl, Sinterglas oder Polymeren (v.a. als Separatorfolien) eingesetzt (DVWK, 1990). Die Entnahme von Bodenwasser erfolgt durch Anlegen eines Unterdrucks an die Wasserphase, wobei der Differenzdruck (Kapillardruck p_c – Probennahmedruck p_{PN}) zwischen dem anstehenden Bodenwasser und dem Bodenwasser in der Kerze einen Wasserfluss durch den Separator bewirkt. Der Wasserentzug reduziert die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens, die den Probenfluss limitiert. Die Bodenwasserprobennahme erfolgt deshalb vorzugsweise druckgesteuert. Die Trennung der Herkunft der Probe nach Makroporenwasser (Bodenwasser unter geringem Kapillardruck $p_c < 100$ mbar) und Matrixwasser wird durch eine enge Druckbereichslimitation angestrebt.

Bei der Bodenwasserentnahme ist eine lange Probennahmedauer von mehreren Wochen typisch. Für die Berechnung von Stofffrachten ist die Repräsentativität der Mischprobe durch eine kontinuierliche Probennahme sicherzustellen, da die Stofffrachten mit der Strömungsdynamik im Boden korrelieren (Grossmann et al., 1987).

4.2 Stoffspezifische Besonderheiten der PAK

PAK als im Wasser gelöste Stoffe haben aufgrund ihrer Lipophilie und geringen Löslichkeit eine starke Affinität zu organischen Feststoffoberflächen (z.B. organischer Kohlenstoff des Bodens ($C_{org.}$) oder Kunststoffteile des Probennahmesystems). Lösungsvermittler (Cosolventen) wie BTEX erhöhen die Löslichkeit der PAK (scheinbare Löslichkeit) und verringern die Sorptionsneigung. Cosolventen können damit, ebenso wie mobile partikuläre Festphasen, die Mobilität von PAK im Boden erhöhen (HOFMANN, 1998). Bei der Probennahme von PAK treten Verluste an Zielsubstanz durch Sorption am Probennahmesystem auf. Diese Verluste werden mit Ad-/Desorptionsexperimenten ermittelt und für die Berechnung von Wiederfindungsraten der Saugkerzenprobennahme verwendet. Mit Saugkerzen werden partikulär gebundene PAK nicht oder nur teilweise erfasst. Verluste an partikulär gebundenen PAK sind nicht mit Wiederfindungsraten korrigierbar. Dies ist bei der Auswertung und Interpretation von PAK-Konzentrationen aus Saugkerzenproben zu berücksichtigen (vgl. Kap. 8).

Die Sorption von PAK auf silikatischen Oberflächen (Sand, Glas) ist bei der Präsenz organischer Feststoffoberflächen vernachlässigbar (K_{OC} -Prinzip). Für die Probenbearbeitung hat jedoch die Sorption an Glaswandungen als potentielle Verlustquelle insbesondere bei langer Kontaktzeit Wasser-Glas Bedeutung und erfordert die Spülung von Probengefäßen mit Extraktionsmittel. Wurde Einschlammmaterial eingesetzt (z. B. Quarzmehl), um den hydraulischen Kontakt zwischen Saugkerze und Boden herzustellen, kann die Sorption am Einschlammmaterial relevant sein.

PAK werden durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen) direkt oder cometabolisch abgebaut (mineralisiert) oder zu intermediären Zwischen- oder dead-end-Produkten metabolisiert (SCHWIENING, 1999). Relativ gut abbaubar sind die 2er- und 3er-Ringe. PAK-Metaboliten sind besser wasserlöslich und können damit toxischer sein als deren Ausgangsprodukte. Cosolventen erhöhen die PAK-Löslichkeit und damit die Bioverfügbarkeit der PAK. Für PAK ist vor allem der aerobe Abbau wegen hoher Stoffumsatzleistungen von Bedeutung und ist bei der Probennahme wirksam zu unterbinden.

Die Analytik von PAK im Spurenbereich erfordert große Probenvolumina, wenn geringe Nachweisgrenzen zu erzielen sind. Um eine ausreichende Probenmenge zu erhalten, ist häufig eine lange Beprobungsdauer (bis zu mehreren Wochen) erforderlich. Hierbei ist zu beachten, dass bei langen Standzeiten der Proben im Feld bzw. Technikum deutliche Verluste durch Abbau und Verflüchtigung auftreten können. Besondere Bedeutung hat deshalb die Probenkonservierung während der Probennahme, mit der Verluste an Zielanalyten zu minimieren sind. Die Wirksamkeit der Probenkonservierung ist im Rahmen der Qualitätssicherung der

Probennahme für die prognostizierte Probennahmedauer durch Alterungsversuche experimentell nachzuweisen. Die Maßnahmen zur Probenkonservierung sind auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Analyten und die Extraktions- und Analysenmethode (GC-MS, HPLC) abzustimmen.

Bei der Probennahme von PAK mit Saugkerzen sind deshalb folgende typische Limitationen zu beachten:

- generell lange Probennahmedauer und geringes Probenvolumen,
- begrenzte Lagerfähigkeit der Proben wegen biologischem Abbau und Verflüchtigung der Zielanalyten,
- große Probenvolumina für den Nachweis geringer PAK-Konzentrationen erforderlich (Spurenanalytik),
- Änderung der Probeneigenschaften im Vergleich zum realen Bodenwasser bei der Saugkerzenprobennahme infolge Ad-/Desorption von Zielanalyten am Probennahmesystem und/oder Filtration partikulär gebundener PAK,
- Verlagerung bevorzugter Fließwege in der ungesättigten Bodenzone durch Saugkerzeninstallationen,
- Gefahr des Verlusts der hydraulischen Ankopplung der Saugkerzen, v.a. bei grobkörnigen Böden,
- Verluste durch Adsorption am Einschlammmaterial
- Verstopfung der Separatorporen durch mikrobiellen Bewuchs,
- Separatoralterung (z.B. durch pH- bzw. Redoxänderungen) und Kontaktkolmation im Langzeitbetrieb,
- Zerstörungsgefahr der Saugkerzen durch Frosteinfluss.

5 Saugkerzenauswahl

5.1 Allgemeine Kriterien

Bei der Auswahl von Saugkerzen für die Probennahme organischer Schadstoffe sind die allgemeinen Anforderungen, die an Saugkerzen gestellt werden müssen, zu berücksichtigen. Dies betrifft einen ausreichend hohen Lufteintrittsdruck (engl.: bubble point) p_b des Separators und eine große wirksame Filterfläche bzw. Fließrate. Die Saugkerze darf keine zu analysierenden Stoffe an die Probe abgeben (Blindwertfreiheit) und muss dauerhaft beständig gegenüber der Probe und deren Inhaltsstoffen sein. Für den Einsatz im Altlastenbereich müssen Saugkerzen deshalb frei von Klebeverbindungen sein, da viele altlastenrelevante Stoffe wie z.B. BTEX potenzielle organische Lösungsmittel darstellen und Klebeverbindungen angreifen können. Das Probennahmesystem ist so zu konstruieren, dass medienberührende Teile aus Kunststoff (Schläuche, Verbinder) nicht in dauerhaftem Kontakt zur (nicht extrahierten) Probe stehen. Dies ist z.B. durch eine Probensammlung im Kerzenschaft realisierbar. Tabelle 1 stellt die wesentlichen Anforderungen an Saugkerzen und Richtwerte für typische Kenngrößen zusammen. Geeignete Materialien für Separatoren sind Glas, Keramik und Edelstahl.

Tab. 1 wesentliche Kriterien für die Saugkerzenauswahl mit Richtwerten für die betreffenden Kenngrößen

Kriterium	Materialien/Richtwerte
Lufteintrittsdruck	≥ 500 mbar
Fließrate	≥ 10 ml/(min·bar)
geeignete Materialien	Glas, Keramik, Edelstahl

5.2 Eignungstest des Probennahmesystems

Da die Sorptionseigenschaften der Zielanalyten von den Stoffeigenschaften und von deren effektiven Löslichkeit in der Realprobe abhängen, sind Sorptionsverluste am Probennahmesystem stoff- und standortspezifisch experimentell mit Realwasser zu ermitteln. Dazu sind mit unfiltriertem Realwasser (Bodeneluate, Sickerwasser oder eine für den Messpunkt repräsentative Grundwasserprobe) Adsorptionsversuche und mit steril-filtrierte Leitungswasser (Filtration über 0,1 µm Membranfilter) Desorptionsversuche als Zeitreihenexperimente durchzuführen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

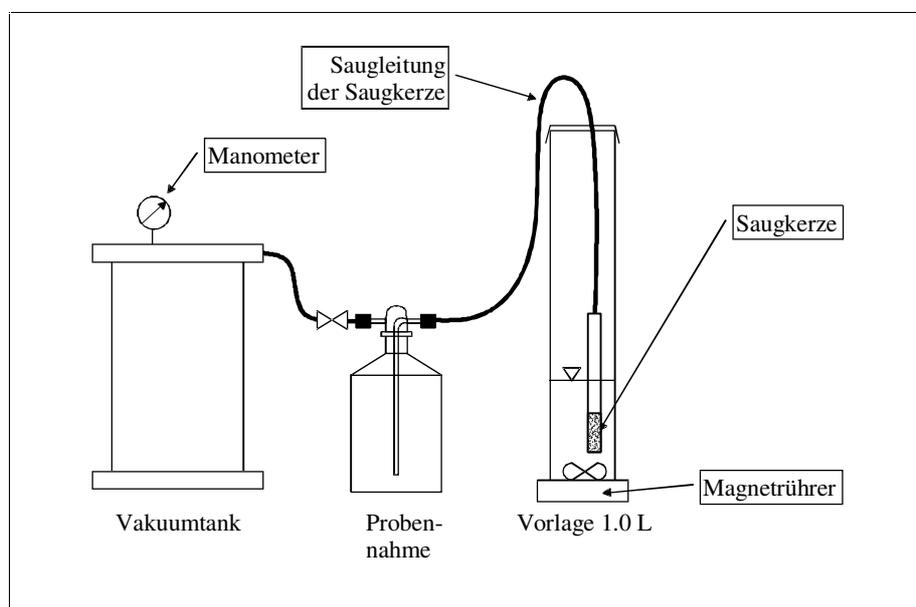


Abb. 1 Versuchsaufbau Ad-/Desorptionsexperiment

Für PAK werden dazu 1000 mL unfiltriertes Realwasser für den Adsorptionsschritt und 1000 mL steril filtrierte Leitungswasser für den Desorptionsschritt durch die Saugkerze gezogen und jeweils nach 100 mL, 200 mL, 400 mL und 1000 mL beprobt. Um PAK-Verluste während der Probennahme zu minimieren, wird Extraktionsmittel in die Probenflasche vorgelegt und die Probe in der Probenflasche extrahiert. Für gering belastete Proben ist das Probenvolumen so zu erhöhen, dass die Zielanalyten sicher nachgewiesen werden können.

Die PAK-Konzentration der Vorlage (Nullkonzentration c_0) wird vor und nach dem Adsorptionsschritt überprüft. Nach der Probennahme sind die Saugkerzen mindestens dreimal mit Lösungsmittel (ca. fünffaches Porenvolumen der Saugkerze bzw. > 50 mL) rückzuspülen. Die Spüllösung wird analysiert und die rückgespülte Stoffmenge in die Massenbilanz entsprechend Gleichung 1 einbezogen.

$$\sum_{i=1}^{n=4} V_i \cdot c_0 = \sum_{i=1}^{n=4} V_i \cdot c_{1,i} + \sum_{j=1}^{m=4} V_j \cdot c_{1,j} + \sum_{k=1}^z V_k \cdot c_{s,k} \quad (1)$$

- | | |
|--|-----------------------------------|
| i... Zähler der Proben des Adsorptionsschritts | V... Probenvolumen |
| j... Zähler der Proben des Desorptionsschritts | c... Stoffkonzentration |
| k... Zähler der Spülungsproben | 0... Index der Vorlage (Nullwert) |
| n... Probenanzahl des Adsorptionsschritts | 1... Index für filtrierte Probe |
| m... Probenanzahl des Desorptionsschritts | s... Index für Spülungsprobe |
| z... Anzahl der Spülungsproben | |

Treten bei unfiltriertem Realwasser keine signifikanten Verluste auf (WFR > 80%), werden Probennahme-Wiederfindungsraten aus den Sorptionsverlusten der unfiltrierten Probe berechnet. Bei höheren Verlusten ist zu prüfen, ob eine Filtration partikulär gebundener PAK eine Rolle spielt. Dazu ist der Partikelgehalt der Probe durch Zentrifugation herabzusetzen und die PAK-Konzentration der zentrifugierten Probe zu bestimmen. Die Proben sollten wegen potentieller Adsorptionsverluste an Filtern nicht filtriert werden. Wird die PAK-Konzentration durch die Zentrifugation signifikant reduziert dominieren partikulär gebundene PAK in der Realprobe. Die Proben sind in diesem Fall für die Ermittlung von Adsorptionsverlusten nicht geeignet. Liegen nach hinreichender Prüfung keine geeigneten Eluate vor entfällt die Messwertkorrektur mit Probennahmewiederfindungsraten.

6 Technik der Saugkerzenprobennahme

6.1 Beispiel-Probennahmesysteme

Die Probennahme organischer Stoffe mit Saugkerzen muss temperiert ($T = 5 \dots 15^\circ\text{C}$) erfolgen. Für eine flüssig/flüssig-Extraktion wird für den horizontalen Einbau eine Probennahme im Probennahmeschacht, für den vertikalen/geneigten Einbau eine Schaftsammlung, wie in **Abb. 2** dargestellt, vorgeschlagen. Für den Messstellenausbau wird ein tiefenorientiertes Monitoring empfohlen.

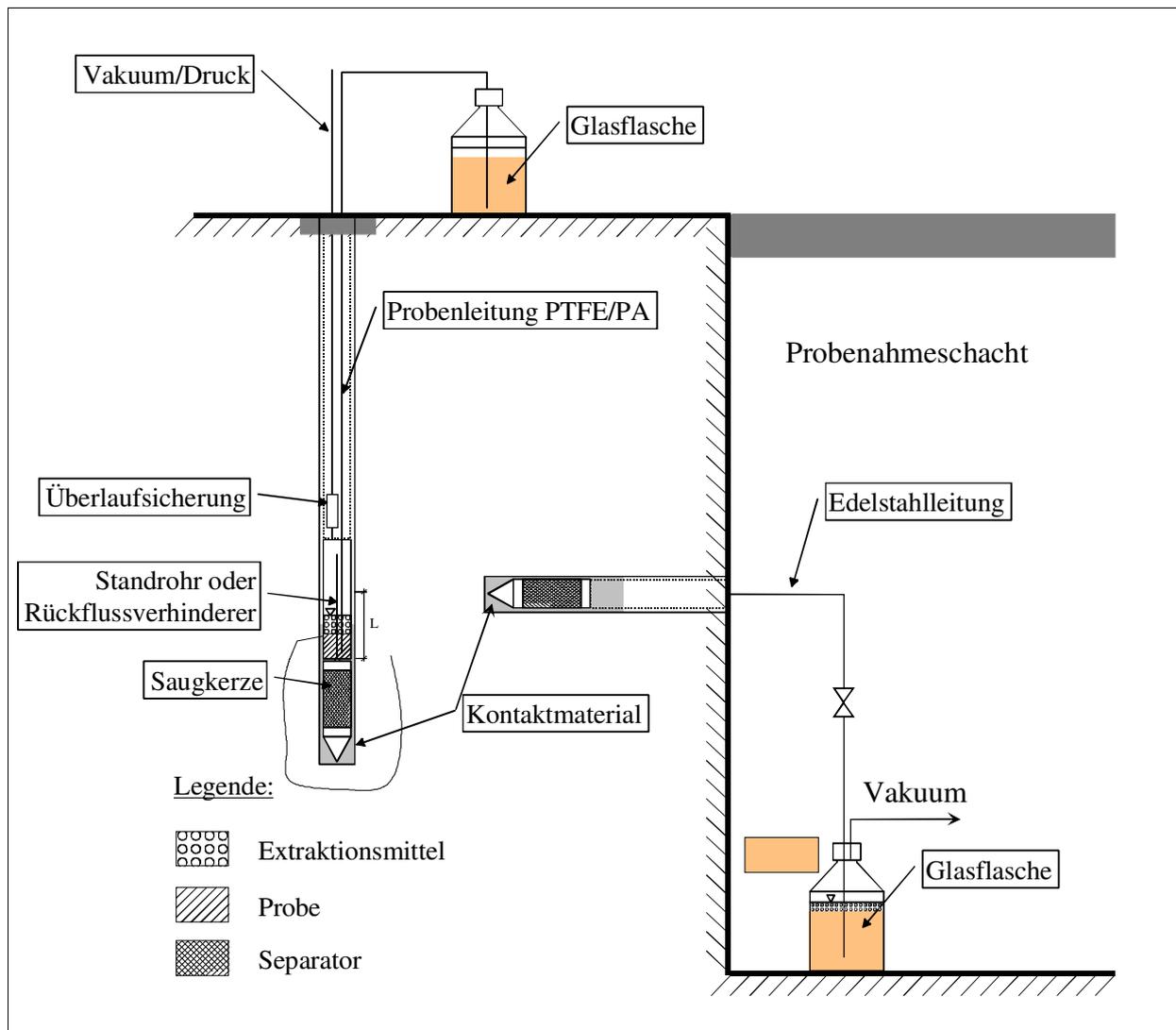


Abb. 2 Probennahmesysteme für horizontalen und vertikalen Einbau mit Extraktionsmittelvorlage

6.2 Probennahme Mess- und Überwachungsparameter für PAK

Neben der Analytik von PAK wird für die sachgerechte Interpretation von PAK-Saugkerzenproben im Altlastenbereich die Analyse folgender optionaler Begleitparameter (ohne Extraktionsmittelvorlage) empfohlen:

Begleitparameter (optional): DOC, SAK 254 (nach DIN 38404-C3),
 SAK 436 (nach DIN EN ISO 7887 [DEV C1]),
 evtl. Ionenstärke, Trübung (nach DIN 38 404),
 pH, elektr. Leitfähigkeit

Überwachungsparameter: Temperatur, Standzeit der Proben, Extraktionsmittelvolumen,
 Probenvolumen (manuelle Füllstandsmessung)

7 Qualitätssicherung der PAK-Saugkerzenprobennahme

7.1 Probennahme – Wiederfindungsraten

Verluste von Zielsubstanz am Probennahmesystem sind, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, durch Ad-/Desorptionsexperimente zu ermitteln. Die gemessenen PAK-Konzentrationen aus Saugkerzenproben sind entsprechend der ermittelten Sorptionsverluste mit Wiederfindungsraten zu korrigieren. Die Wiederfindungsraten und deren Ermittlung sind zu dokumentieren.

7.2 Probenkonservierung – Probenstandzeit

Für die Qualitätssicherung der Probennahme organischer Schadstoffe mit Saugkerzen sind Verluste von Zielanalyten während der Probennahme infolge

- Sorption an Probennahmeflaschen,
- Verflüchtigung und
- biologischem Abbau

zu unterbinden. Die Methodik der Probennahme (Gestaltung des Probennahmesystems und der Probenextraktion) ist auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Zielanalyten (Dampfdruck, Wasserlöslichkeit, Lipophilie, Abbaubarkeit) und die Laboranalytik abzustimmen.

Verluste an Zielanalyten durch biologischen Abbau können während der Saugkerzenprobennahme minimiert werden durch:

- Extraktionsmittelvorlage
(Vorlage von Extraktionsmittel in die Probennahmeflasche),
- Inhibierung
(z.B. durch Vorlegen von NaN_3 -Lösung in die Probennahmeflasche) und
- Festphasenextraktion
(Einsatz von Festphasenkartuschen für die Probenextraktion im Feld).

Die Wirksamkeit der Probenkonservierung ist experimentell nachzuweisen. Dazu sind mit Sickerwasser, Bodeneluat des Standorts oder mit einer bzgl. der Schadstoffbelastung repräsentativen Grundwasserprobe des Standorts Zeitreihenversuche unter probennahmetypischen Bedingungen (Temperatur, Druck) für die prognostizierte Probenstandzeit durchzuführen. Für die Saugkerzenprobennahme wird die Beprobung von Teilproben mit einem (saugkerzentypischen) Probenvolumen von $V_{\text{Probe}} = 100 \text{ mL}$ nach 0 d, 1 d, 3 d, 7 d, 14 d, 28 d, 56 d empfohlen. Die Proben sind als Parallelansätze abzufüllen, entsprechend der Versuchzeit zu lagern und im Probengefäß (Vial) zu extrahieren. Damit wird die Stammprobe nicht durch die wiederholte Probennahme beeinflusst und die Spülung mit Extraktionsmittel kann entfallen. Aus den Zeitreihen ist die maximal zulässige Probenstandzeit abzuleiten. Der Einsatz von Giftstoffen zur Probenkonservierung sollte aus Gründen des Umweltschutzes nur dann erfolgen, wenn relevante mikrobielle Abbauprozesse zu erwarten sind. Die erforderliche Dosis ist in Abhängigkeit der Probenstandzeit durch Parallelansätze zu ermitteln.

Für PAK mit GC-MS-Analyse kann für temperierte Proben ($T \leq 15 \text{ °C}$) und eine Probenahmedauer bis 7 d die Übersichtung mit Extraktionsmittel empfohlen werden. Durch den längeren Kontakt der Probe mit Extraktionsmittel kann sich die Extraktionsausbeute verändern. Für Probennahmezeiten $> 7 \text{ d}$ ist die Extraktionsmittelvorlage deshalb nicht geeignet. Verdunstungsverluste des Extraktionsmittels sind unter den empfohlenen Randbedingungen vernachlässigbar bzw. gut kontrollierbar (getestet für Cyclohexan). Verdunstungsverluste können durch Verwendung von weniger flüchtigen Extraktionsmitteln wie Toluol und Xylol gesenkt werden.

Die Sorption von PAK an der Probennahmeflasche ist im Fall der Probennahme mit Extraktionsmittelvorlage oder Inhibierung durch eine Extraktion der Proben in der Probensammelflasche oder durch die Spülung der Probensammelflasche mit Extraktionsmittel zu berücksichtigen.

7.3 Probenlagerung und Transport

PAK-Proben und Extrakte sind lichtgeschützt bei Temperaturen $< 10\text{ °C}$ zu lagern und zu transportieren. Die Lagerfähigkeit der Proben wird, wie in Kapitel 7.2 beschrieben, experimentell ermittelt, wobei die Lagerfähigkeit der Proben der maximalen Probenstandzeit entspricht. Extrakte sind gasdicht verschlossen unter diesen Bedingungen mehrere Wochen lagerfähig.

7.4 Reinigung des Probennahmesystems

Saugkerzen können durch wiederholtes Spülen (mindestens dreimal mit fünffachem Porenvolumen oder 50 mL) mit Lösungsmittel (z.B. Aceton) von innen nach außen (Rückspülung) oder durch wiederholte Reinigung im Ultraschallbad gesäubert werden. Für die Entfernung anorganischer Rückstände wird 1 N HCL (Glas-, Keramiksaugkerze) bzw. 1...10% HNO₃ (Edelstahlsaugkerze) als Lösungsmittel verwendet (WILSON, 1995). Das Lösungsmittel ist durch Spülung mit $V_{\text{Spülung}} \geq 1.0\text{ L}$ bzw. bis zur pH-Konstanz mit steril-filtriertem Leitungswasser zu entfernen.

Der Erfolg der Reinigung ist bei Wiederverwendung des Probennahmesystems (Saugkerze, Saugleitung, Probennahmeflasche einschließlich Verbindungselemente) durch einen Blindwerttest mit filtriertem Wasser nachzuweisen. Für PAK müssen dazu 1.0L Wasser durch die Kerze gezogen werden. Glasware (Probennahmeflaschen) sind vor der Wiederverwendung zu Reinigen und Auszuheizen (z.B. 2 h bei 180 °C).

7.5 Konditionierung

Eine Konditionierung von Saugkerzen bezüglich organischer Schadstoffe wie PAK ist aufwändig, da Vorkehrungen gegen biologischen Abbau der Analyten bis zur Equilibrierung der Saugkerzen unter in-situ Bedingungen erforderlich sind. Der Nutzen einer Konditionierung ist dagegen als gering einzuschätzen (geringe Sorption von PAK an Materialien wie Glas, Keramik und Edelstahl). Die **Einarbeitung der Saugkerzen unter in-situ Bedingungen** sollte deshalb einer Konditionierung vorgezogen werden.

7.6 Überwachungsparameter

Während der Probennahme sind die Überwachungsparameter (s. Kap. 6.2) regelmäßig abzuprüfen. Die Ergebnisse sind in einem Proben- und Überwachungsprotokoll zu dokumentieren.

7.7 Mehrfachbeprobung

PAK werden im Boden teilweise partikulär/kolloidal transportiert. Die über Partikel transportierte Stoffmenge unterliegt großen Schwankungen. Mit Saugkerzen können jedoch nur zeitlich integrierende Aussagen abgeleitet werden. Für deren Absicherung sind deshalb stets Mehrfachbeprobungen mit $n \geq 3$ Messungen auszuwerten.

8 Auswertung und Ergebnisinterpretation

Bei der Auswertung und Interpretation von Saugkerzenproben ist zu berücksichtigen, dass Saugkerzen partikulär gebundene PAK nicht bzw. nur teilweise erfassen und damit nur ein Teilstrom der Gesamtbelastung bei Saugkerzenuntersuchungen betrachtet wird. Saugkerzenproben weisen deshalb i. Allg. kleinere Konzentrationen als reale Sickerwässer auf. Der **Vergleich von Schadstoffkonzentrationen aus Saugkerzenproben mit Grenzwerten**, wie z.B. Maßnahme- bzw. Prüfwerten liefert deshalb **nur im Fall der Konzentrationsüberschreitung eindeutige** Ergebnisse (Positivnachweis).

Durch die Filtration partikulär gebundener PAK kann es zur Anreicherung von PAK auf Saugkerzen und bei sinkender PAK-Konzentration im Sickerwasser zu Überbestimmungen infolge „Memory“-Effekten kommen. „Memory“-Effekte wurden jedoch, wahrscheinlich wegen biologischem Abbau der PAK nicht beobachtet. Treten starke Konzentrationsschwankungen bei der Saugkerzenprobennahme auf, ist von einer Relevanz des partikelgetragenen PAK-Transports auszugehen.

Die Berechnung von Frachten aus Saugkerzenproben ist in DVWK (1990) beschrieben. Die Ermittlung flächenbezogenen Frachten erfordert einen erhöhten Überwachungsaufwand für die repräsentative Beschreibung des durchströmten Querschnitts. Derartige Untersuchungen

sollten mit Prozessuntersuchungen und numerischen Simulationen des Wasser- und Stofftransports in der ungesättigten Bodenzone abgesichert werden.

9 Literatur

- DVWK (1990): *Gewinnung von Bodenwasserproben mit Hilfe der Saugkerzen-Methode*, Bd. 217, Verlag Paul Parey, Hamburg.
- GREMM, T., HUBER, S., FRIMMEL, F.H. (1993): *Untersuchung über den Einfluß gelöster Huminstoffe auf die Analytik organischer Schadstoffe*, in: *Vom Wasser*, 80, S. 109-121.
- GROSSMANN, J., QUENTIN, K.-E. & UDLUFT, U. (1987): *Sickerwassergewinnung mittels Saugkerzen – eine Literaturstudie*. In: *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 150, S. 258-261.
- HOFMANN, T. (1998): *Kolloidale und suspendierte Partikel – Herkunft, Transport und Relevanz von mobilen Festphasen im Hinblick auf die künstliche Grundwasseranreicherung*, in: *Dortmunder Beiträge zur Wasserforschung, Veröffentlichungen des Inst. für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH*, 56, Diss.
- LAWA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2003): *Sickerwasser, Richtlinie für Beobachtung und Auswertung*, Gelbdruck Stand 3.4.2003
- LUCKNER LUDWIG UND W. SCHESTAKOW (1991): *Migration processes in the Soil and Groundwater Zone*. Lewis Publishers, Florida.
- SCHWIENING, S. (1999): *Mikrobieller Abbau von ¹⁴C-markiertem Benzo[a]pyren durch PAK-adaptierte Bakterienmischkulturen*, in: *Akademische Edition Umweltforschung, Publikationsreihe des interdisziplinären Umwelt-Formus der RWTH Aachen*, Band 3.
- SWABODA, D., GIESE, R., SCHMALZ, L. (2003): *Anwendungstauglichkeit von Saugkerzen für die Untersuchung von Sickerwasser im Altlastenbereich*, Abschlussbericht des DGFZ e.V. zum F&E Vorhaben d. HLUG, unveröffentlicht.
- SWABODA, D., GIESE, R., SCHMALZ, L. (2004): *Sickerwasseruntersuchung im Altlastenbereich mit Saugkerzen – Erstellung und Begründung einer Arbeitshilfe für organische Schadstoffe*, Abschlussbericht des DGFZ e.V. zum F&E Vorhaben d. HLUG, unveröffentlicht.
- WILSON, N. (1995): *Soil Water and Ground Water Sampling*, Lewis Publishers, London.