

Nachweis der Stationarität von Schadstofffahnen am Beispiel der PAK-Kontamination der Stürmlinger Sandgrube

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften
an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der
Universität Karlsruhe
vorgelegte Dissertation von

Dipl.-Ing. Michael Christoph Birkle
aus Karlsruhe

Karlsruhe 2004

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2004
Referent : Prof. Dr. Heinz Hötzl
Koreferent : Dr. Baldur Barczewski

Vorwort

Die folgende Dissertation entstand während der Arbeit an dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten F+E-Vorhaben “Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser” bei der Fa. G.M.F. mbH in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für angewandte Geologie der Universität Karlsruhe.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Hötzl, für die große Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit. Herrn Dr. Barczewski danke ich recht herzlich für die Übernahme des Koreferats.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Einführung.....	2
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Stand des Wissens.....	5
2 Modellstandort „Stürmlinger Sandgrube“.....	8
2.1 Standortbeschreibung, Historie.....	8
2.2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse am Standort.....	9
2.3 Ergebnisse der Altlastenerkundung.....	11
2.4 Das Messfeld zur Untersuchung der Abstromfahne.....	16
2.5 Grundwasserbeprobung.....	23
3 Ergebnisse der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen.....	25
3.1 Geologische und hydrogeologische Schichtenbeschreibung, Bohrerergebnisse.....	25
3.2 k_f -Wert, Porosität und Abstandsgeschwindigkeit.....	28
3.3 Grundwasserfließrichtung und Richtungsschwankungen.....	32
3.4 Dispersivitätswerte.....	34
3.5 Die hydrogeologischen Parameter für den Abstrombereich.....	35
3.6 Hydrochemische Charakterisierung des Grundwassers im Untersuchungsgebiet... ..	37
4 Ergebnisse der analytischen Untersuchungen, Schadstoffverteilung im Abstrom.....	40
4.1 Untersuchung der Bodenproben.....	40
4.2 Ergebnisse der Grundwasserbeprobung.....	41
4.3 Messwertstreuung, Ergebnisunsicherheit.....	46
5 Sorption.....	49
5.1 Allgemeine Ansätze.....	49
5.2 Bestimmung der PAK-Ausbeute unterschiedlicher Extraktionsverfahren.....	52
5.3 Bestimmung der Sorptionsisotherme aus Messwerten.....	57
6 Mikrobiologische Verhältnisse.....	61
6.1 Mikrobiologische Verhältnisse im Abstrom.....	61
6.2 Wahl der Abbaufunktion.....	64
6.3 Ermittlung der Abbauraten aus Messwerten.....	66
7 Modellierung des Abstromfeldes.....	70
7.1 Vorbemerkung.....	70
7.2 Die Strömungs- und Schadstofftransportmodellierung.....	70
7.3 Modellgebiet und Randbedingungen.....	72
7.4 Modellierung von Sorption und Abbau.....	74
7.5 Ergebnisse der Simulation.....	76
8 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse.....	84
8.1 Ergebnis.....	84
8.2 Weiterführende Erkenntnisse aus dem Projekt.....	85
8.3 Überlegungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	87
9 Literaturverzeichnis.....	90

Liste der verwendeten Symbole

[C]	Konzentration von C [mg/l]
[E]	Konzentration von E [mg/l]
[E] ₀	Anfangskonzentration von E [mg/l]
[EC]	Konzentration von P [mg/l]
[EC] _{st}	Konzentration von EC [mg/l]
[P]	Quasi-stationäre Konzentration von EC [mg/l]
α_l	Dispersivität longitudinal [m]
α_t	Dispersivität transversal [m]
C	Empirischer Faktor [$1/\text{mm}^2 \cdot \text{m/s}$]
c_b	Konzentration im Boden [[g/kg] oder [mg/kg]]
c_f	Konzentration im Wasser [kg/l] oder [$\mu\text{g/l}$] oder [mg/l]
c_{Rand}	Randkonzentration auf 20 m [mg/l]
c_s	Theoretische Schadstoffkonzentration im porenfreien Festkörper [g/kg] oder [mg/kg]
c_w	Konzentration im Wasser [kg/l] oder [$\mu\text{g/l}$] oder [mg/l]
D_{10}	Korngröße eines Lockergesteins im Schnittpunkt der 10%-Linie mit der Summenkurve [mm]
d_{60}	Korngröße eines Lockergesteins im Schnittpunkt der 60%-Linie mit der Summenkurve [mm]
d_{Boden}	Mittlere Dichte des Bodens, erdfeucht [kg/l]
$\Delta G^0(W)$	Freie Energie
D_l	Dispersionskoeffizient longitudinal [m^2/s]
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff [mg/l]
D_t	Dispersionskoeffizient transversal [m^2/s]
Δt	Zeitlichintervall [s]
d_w	wirksamer Korndurchmesser [mm]
e	Porenzahl [n]
ϕ^{OC}	Fugazität der Schadstoffe, die am organische Aquifermaterial gebunden sind
f_{OC}	Organischer Gehalt der Bodens mit organischem Kohlenstoff [-]
ϕ^w	Fugazität der Schadstoffe im Wasser
h_{GW}	Grundwassermächtigkeit [m]
h_{max}	Oberer Randwert für die hydraulische Höhe [m]
h_{min}	Unterer Randwert für die hydraulische Höhe [m]
I	Hydraulisches Gefälle [%o]
K	Konstante [l/kg]
k_1	Konstante [-]
K_2	Konstante [l/kg]
k_{Ad}	Geschwindigkeitskonstante Adsorption [1/s]
K_D	Verteilungskoeffizient [-]
k_{De}	Geschwindigkeitskonstante Desorption [1/s]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
K_M	Michaelis-Menten-Konstante [mg/l]
K_{OC}	Verteilungskoeffizient zwischen dem im Wasser gelösten und dem am organische Kohlenstoffe gebunden Schadstoffanteil [-]
K_{OW}	Verteilungskoeffizient des Schadstoffe zwischen Oktanol und Wasser [-]
m	Konstante [-]
n	Porenanteil / Porosität[-]

N	Gesamtzahl der Bindungsstellen [-]
n_f	Durchflusswirksamer Hohlraumanteil / Nutzbarer Porenanteil [-]
p	Partialdruck [Pa]
Θ	Bedeckungsgrad [-]
s	Fließstrecke [m]
SAK	spektraler Absorbtionskoeffizient [1/m]
T	Transmissivität [m ² /s]
t_{16}	Zeit nach der 16% des Tracers den Messpunkt passiert haben [s]
t_{50}	Zeit nach der 50% des Tracers den Messpunkt passiert haben [s]
t_{84}	Zeit nach der 84% des Tracers den Messpunkt passiert haben [s]
U	Unförmigkeitsgrad [-]
v_a	Abstandsgeschwindigkeit [m/d]
v_b	Geschwindigkeitskonstante [1/s]
v_b'	Geschwindigkeitskonstante [1/s]
v_c	Geschwindigkeitskonstante [1/s]
v_f	Grundwasserfließgeschwindigkeit [m/s]
v_m	Maximalgeschwindigkeit der enzymatischen Reaktion [mg/l*s]
v_{m^*}	Maximalgeschwindigkeit der enzymatischen Reaktion für Benzol [1*s]
φ	Wassertemperatur [°C]

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Die industrielle Entwicklung des 19. und insbesondere des 20. Jahrhunderts hat eine große Zahl von Altablagerungen oder Altstandorten hinterlassen, die zum Teil hochkontaminiert sind. Diese Altablagerungen häuslicher, industrieller und gewerblicher Abfälle können erhebliche Umweltgefährdungen bewirken. Dies gilt auch für Flächen ehemaliger Industrie- und Gewerbebetriebe, auf denen gefährliche Stoffe abgelagert wurden oder mit gefährlichen Stoffen umgegangen wurde /Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, 1988/. Häufig sind diese Schadstoffe in den Boden gesickert, nachdem die als Müll abgelagert oder auf dem jeweiligen Grundstück entsorgt wurden. Wenn nach fachlicher Beurteilung durch die zuständigen Behörden begründeter Verdacht besteht, dass von solchen Standorten eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung oder Gefahren bzw. Beeinträchtigungen für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt ausgehen können, dann werden sie als „Altlasten“ bezeichnet /Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, 1988/. Bei Altlasten mit größeren Schadstoffeinträgen liegt heute nicht selten neben der Bodenkontamination auch eine Grundwasserkontamination vor. Diese Grundwasserkontamination kann durch Sickerwassereintrag oder durch mit gefährlichen Stoffen verfüllte Gruben, die bis ins Grundwasser bzw. bis in den Grundwasserwechselbereich reichen, entstanden sein. Die Grundwasserströmung lässt im Abstrom solcher Altlasten eine sogenannte „Abstromfahne“ entstehen, d.h. einen Bereich der ebenfalls kontaminiert ist. Dieser Bereich ist je nach Alter, d.h. je nach Emissionsdauer der Schadstoffe ins Grundwasser, meist deutlich größer als die ursprüngliche Altlast und stellt heute häufig das eigentliche Altlastenproblem dar.

Die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 schreibt bei der Überschreitung der Prüfwerte eine Sanierung, d.h. eine Dekontamination oder Sicherung einer solchen Altlast zwingend vor. Die BBodSchV /BBodSchV, 1999/ definiert:

Dekontaminationsmaßnahmen sind zur Sanierung geeignet, wenn sie auf technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die ihre praktische Eignung zur umweltverträglichen Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe gesichert erscheinen lassen. Dabei sind auch die Folgen des Eingriffs insbesondere für Böden und Gewässer zu berücksichtigen.

Sicherungsmaßnahmen sind zur Sanierung geeignet, wenn sie gewährleisten, dass durch die im Boden oder in Altlasten verbleibenden Schadstoffe dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Hierbei ist das Gefahrenpotential der im Boden verbleibenden Schadstoffe und deren Umwandlungsprodukte zu berücksichtigen. Eine nachträgliche Wiederherstellung der Sicherungswirkung im Sinne von Satz 1 muss möglich sein.

Die vom Gesetzgeber geforderten, in der Regel ohnehin schon aufwändigen Maßnahmen zur Sanierung vervielfachen sich dann, wenn im Grundwasserabstrom der ursprünglichen Altlast eine große Kontaminationsfahne (Abstromfahne) vorliegt.

Die Ausdehnung dieser Kontaminationsfahnen im Grundwasser hängt von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab. Neben den physikalisch-chemischen Eigenschaften des jeweiligen Schadstoffes spielen die hydrogeologischen Verhältnisse, die Sorptionseigenschaften des Bodens und vor allem auch die mikrobiologischen Abbauprozesse eine die Fahnenausdehnung bestimmende Rolle, die man unter dem Begriff Natural Attenuation zusammenfasst. Diese in der Natur, ohne menschliches Zutun ablaufenden Prozesse, können unter günstigen Bedingungen die Fahne soweit eingrenzen, dass eine technische Sanierung nicht unbedingt erforderlich ist. In diesen Fällen kann Natural Attenuation eine Alternative zu teuren technischen Sanierungsmaßnahmen sein. Die amerikanische Umweltbehörde EPA (US-EPA) definiert Natural Attenuation als Sanierungsalternative wie folgt /US-EPA OSWER-Directive, 1997/:

Der Begriff Natural Attenuation ist die Eigenschaft eines Aquifers durch Prozesse wie biologischer Abbau, Dispersion, Verdünnung, Sorption, Verflüchtigung, und/oder chemischer oder biologischer Stabilisierung die Masse, Toxizität, Mobilität oder das Volumen der Schadstoffe so weit zu reduzieren, dass die menschliche Gesundheit und das Ökosystem nicht gefährdet sind.

Um Natural Attenuation auch in Deutschland als Sanierungsalternative einsetzen zu können, muss sichergestellt sein, dass der BBodSchV genüge getan wird, d.h. es muss gewährleistet sein, dass durch die im Untergrund vorliegenden Schadstoffe dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen /BBodSchV, 1999/. In der Praxis heißt dies, dass mindestens die Qualität einer Sicherung erreicht werden muss.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es zu klären, unter welchen Randbedingungen und in welchen Zeithorizonten natürliche Abbau- und Sorptionsprozesse geeignet sind, mindestens die Sicherungsanforderungen nach BBodSchV zu erfüllen und damit eine Alternative zu kostenintensiven technischen Sanierungsmaßnahmen sein können. Dabei ist insbesondere zu klären, inwieweit der Nachweis einer Sicherung auf der Basis von Messergebnissen aus der Erkundung des jeweiligen Schadensfalls geführt werden kann. Eine zentrale Frage dabei ist, welche Prozesse in welchen Zeiträumen massgeblich für das Verhalten der Fahnenausdehnung sind, und welche Prozesse bei der Nachweisführung vernachlässigt werden können.

Wenn die zu Natural Attenuation beitragenden Prozesse einen Schadstoffabbau enthalten, dann wird sich im Ausbreitungsbereich der Schadstoffe im Grundwasser eine Zone einstellen, in der sich der Schadstoffzufluss einerseits und Verdünnung und Abbau andererseits die Waage halten. Verallgemeinert gilt: wenn im Ausbreitungsbereich der Schadstoffe eine Schadstoffsene vorliegt, wird dies zu einem stationären oder rückläufigen Fahnenrand führen, wobei dieser Fahnenrand noch genauer zu definieren ist. Als Fahnenrand kann man entweder die analytische Nachweisgrenze für den Schadstoff oder aber Grenz-, Prüf- oder Schwellenwerte einführen, unterhalb denen der Gesetzgeber oder Ordnungsgeber keinen weiteren Handlungsbedarf sieht. Die Qualität einer Sicherung nach BBodSchV ist also sicher dann gegeben, wenn für die Altlast ein stationärer Ausbreitungsrand (Fahnenrand) nachgewiesen werden kann und diese Begrenzung nicht allein durch Verdünnung zustande kommt. In der Praxis wird man fordern müssen, dass dieser Ausbreitungsrand „überwiegend“ durch Schadstoffsinken und nicht primär durch Verdünnung bestimmt ist. Als Schadstoffsinken kommen im wesentlichen biologische Prozesse (z.B. mikrobiologischer

Abbau, Phytoremediation etc.), chemischer Zerfall oder irreversible Festlegung der Schadstoffe in Frage, wobei mikrobiologischer Abbau und irreversible Festlegung (in der Humusmatrix) nach heutigem Wissensstand die wichtigsten Prozesse darstellen. Auch bei gemeinhin als nicht oder schwer abbaubar geltenden Substanzen wie z.B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (BTEX) oder auch bei leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffen (LHKW) findet man häufig nur relativ kleine Abstromfahnen, deren tatsächliche Ausdehnung nur über eine Schadstofffestlegung und/oder über einen ins Gewicht fallenden Schadstoffabbau erklärt werden können.

Eine stationäre oder rückläufige Begrenzung der Kontaminationsfahne im Grundwasser bedeutet, dass auch in Zukunft eine Ausbreitung der Schadstoffe über diese Begrenzung hinaus nicht stattfindet bzw. vernachlässigt werden kann. Eine Aussage über die Stationarität der Fahne gibt also eine Auskunft über die zukünftige Ausbreitung der Schadstoffe im Boden und Grundwasser. Ein wichtiges Hilfsmittel dazu ist die Modellierung des Schadstofftransportes einschließlich der Sorptions- und Senkenprozesse im Untergrund. Unter der vereinfachenden Annahme einer konstanten Emission kann ein derartiges Modell die Grundlage für das Nachvollziehen der Schadstoffausbreitung in der Vergangenheit und für eine Simulation des Schadstoffverhaltens in der Zukunft sein. Bei einer realitätsnahen Parametrierung des Modells lässt sich somit die heute vorliegende Fahne berechnen und es lässt sich errechnen, in welchen Zeiträumen die Fahne den stationären Zustand erreicht hat oder erreichen wird, und ob der heute festgestellte Fahnenrand ein stationärer Zustand ist. Die Übereinstimmung der aus der Emission der Vergangenheit errechneten Schadstoffverteilung im Abstromfeld mit der tatsächlich gemessenen Schadstoffverteilung im Abstrom ist dabei ein Maß für die Qualität sowie die Realitätsnähe der Parametrierung des Modells und damit auch für die Prognose der Schadstoffverteilung in der Zukunft.

Will man die Stationarität von Schadstofffahnen im Abstrom einer Altlast durch Modellierung und Simulation realitätsnah nachweisen, müssen

- die für die Strömungsmodellierung relevanten Parameter (k_f - Wert, Porosität, Dispersionsverhalten etc.)
- die für die Schadstoffretardierung relevanten Sorptionseffekte
- die für den Schadstoffabbau relevanten Prozesse und
- das Emissionsverhalten der Schadstoffquelle

bekannt sein. Unterstellt man, dass die heute gemessene Emission der Schadstoffquelle auch in Zukunft nicht überschritten wird, kann man mit einem geeigneten Modell die Ausbildung der Abstromfahne in Abhängigkeit von der Zeit berechnen. Ergibt sich dabei, dass nach einer endlichen Zeit (möglicherweise langen Zeit) sich die Abstromfahne nicht mehr vergrößert und der heute gemessenen Fahnenrand durch die Modellrechnung bestätigt wird, so kann man davon ausgehen, dass die Qualität einer Sicherung gegeben ist. Dieses Vorgehen stellt dabei insgesamt eine konservative Schätzung dar, da die Annahme einer konstanten Emission für die Zukunft nur gegeben sein kann, wenn in die Altlast auch weiterhin Schadstoffe eingetragen werden, was in der Regel nicht der Fall ist. Der stationäre Fahnenrand wird also bei endlicher Schadstoffmenge in der Altlast eine Maximalausdehnung darstellen, die in der Zukunft mehr oder weniger schnell unterschritten wird oder möglicherweise auch gar nicht erreicht wird.

Eine große Zahl der heute bestehenden Altablagerungen enthalten mehr oder weniger gravierende PAK-Kontaminationen. Ursache sind häufig Schwelbrände bei Hausmülldeponien, die Einlagerung von Brandschutt oder die Einlagerung von Abfällen aus Gaswerken und der Teerchemie. Die spezielle Gefährlichkeit der PAK liegt im karzinogenen Potential eines Teils ihrer Vertreter und in der hohen Resistenz auch gerade der karzinogenen Verbindungen gegen natürliche Abbauprozesse. In früheren Zeiten wurden außerdem stark PAK-haltige Mittel zur Imprägnierung von Holz verwendet / VEGAS, Statuskolloquium 2001/.

PAK entstanden jedoch auch bereits in prähistorischen Zeiten bei Waldbränden, Vulkanausbrüchen etc. Da sie sich in der Biosphäre nicht angereichert haben, ist anzunehmen, dass diese Substanzen – wenn auch langsam – auf natürlichem Weg abgebaut werden bzw. mineralisiert werden. Diese Annahme wird gestützt durch die Tatsache, dass in der Fachliteratur - im Gegensatz zu LHKW – für PAK-Kontaminationsfahnen im Grundwasser auch bei starken Eintragungen ins Grundwasser nur von Fahnenlängen von einigen Hundert Metern berichtet wird /VEGAS, Statuskolloquium 2001/.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit im engeren Sinn ist daher, am Beispiel einer PAK- und BTEX- Altlast, die Stationarität der Abstromfahne nachzuweisen, sowie Kriterien für einen überwiegend durch Senken bestimmten Fahnenrand zu finden. Dabei wird auf Ergebnisse eines vom BMBF geförderten Verbundvorhabens „Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser“ am Pilotstandort „Stürmlinger Sandgrube“ bei Karlsruhe zurückgegriffen und darauf aufbauend Vorgehensstrategien, Messkonzepte und Qualitätsanforderungen abgeleitet, mit denen aus Messungen im Feld und aus Untersuchungen von Proben im Labor die Stationarität der Abstromfahne durch Modellrechnungen belegt und der mikrobiologische Abbau sowie das Sorptionsverhalten der einzelnen Schadstoffe quantifiziert werden kann. Insbesondere wird untersucht, inwiefern die Aussagen zur Stationarität durch Massenbilanzen abgestützt und plausibel gemacht werden können. Ein weiteres Ziel ist es, aus den gewonnenen Daten Kenngrößen und Leitparameter abzuleiten, die es ermöglichen, die Stationarität der Abstromkontaminationsfahne bei anderen Standorten mit reduziertem Aufwand nachzuweisen.

1.2 Stand des Wissens

Natural Attenuation kann die Ausbreitung von Schadstoffen in Grundwasserleitern verlangsamen oder zum Stillstand bringen. In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass Schadstofffahnen im Grundwasser nur eine begrenzte Ausdehnung erreichen /Rice et al., 1995/, /Schiedek et al., 1997/. Die gezielte Nutzung dieser Prozesse ist an geeigneten Standorten eventuell als Alternative zur herkömmlichen Altlastensanierung zu sehen. Überlegungen dazu sind in den letzten Jahren nicht nur in den USA gemacht worden (z.B. /Wiedemeier et al., 1994/) sondern auch auf europäischer Ebene (z.B. /Christensen et al., 2000/, /NATO-CCMS, 1999/). Die Zielsetzung dieser Diskussion ist, die Möglichkeiten von Natural Attenuation als Sanierungsalternative auszuloten.

Damit Natural Attenuation eine Alternative zur herkömmlichen Altlastensanierung sein kann, muss, von Ausnahmen abgesehen, eine Schadstoffdegradation nachgewiesen werden. Eine Schadstoffdegradation kann zum einen durch den irreversiblen Einbau der Schadstoffe (über

eine chemische Bindung) in die Bodenmatrix oder durch mikrobiologischen Abbau der Schadstoffe entstehen.

In Anwesenheit von Sauerstoff lassen sich alle BTEX und PAK mit bis zu 5 Ringen abbauen. Mittlerweile herrscht auch Übereinstimmung darüber, dass sich unter anoxischen Bedingungen die aromatische Kohlenwasserstoffe abbauen lassen. /Schulze, Tiehm, 2004/.

Für die BTEX, d.h. Einringaromaten, sind die Abbauprozesse relativ gut bekannt. Sie werden unter aeroben Bedingungen oxidiert oder von den Mikroorganismen als Kohlenstoff- und energielieferndes Substrat benutzt. Sauerstoff wird dabei als Elektronenakzeptor zu H₂O und CO₂ umgesetzt. Ist der zur Verfügung stehende Sauerstoff verbraucht (anaerobe Bedingungen) werden zunächst Nitrat, dann Eisen (Fe(III)), Manganoxide (Mn(IV)) und Sulfat reduziert /Rügner et al., 2002/. Es wurden einige anaerobe Mikroorganismen isoliert, die Toluol oder Ethylbenzol mit Nitrat, Sulfat und Eisen als Elektronenakzeptoren oder sogar fermentativ abbauen können /Lovley, Lonergan, 1990/, /Evans et al., 1991/, /Rabus et al., 1993/, /Meckenstock et al., 1999/. Xylole können mit Nitrat und Sulfat als Elektronenakzeptor abgebaut werden. Benzolabbau unter Fe(III) und Sulfat reduzierenden Bedingungen konnte im Sediment gezeigt werden. Die Experimente insgesamt zeigen für Benzol, dass es biologisch zwar abbaubar ist, jedoch gibt es nur wenige Hinweise auf die dabei wirksamen Abbauewege /Lovley et al. 1994, 1995/, /Weiner, Lovley, 1998/.

Die Gruppe der PAK verhält sich bezüglich ihres natürlichen Abbau- und Rückhaltvermögens sehr heterogen. Das natürliche Abbau- und Rückhaltevermögen ist von verschiedenen Parametern, wie z.B. Wasserlöslichkeit und Anzahl der (Benzol-)Ringe, abhängig. So werden z.B. Naphthalin und in geringerem Ausmaß auch 3-Ring PAK (Phenol, Acenaphthen, Fluoren etc.) unter aeroben Bedingungen im Labor relativ gut abgebaut /Stieber et al., 1993/. Höher kondensierte PAK sind deutlich schlechter abbaubar. Für PAK mit 4 oder mehr Ringen ist aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit und hohen Sorptionskapazität der meisten Böden und Aquifermaterialien unter Feldbedingungen die Ausbreitung ohnehin stark eingeschränkt bzw. nicht in nennenswertem Maße gegeben /Zamfirescu, 2000/. Diese Aussagen gelten tendenziell, soweit überhaupt Erkenntnisse vorliegen, auch für heterozyklische Verbindungen. Es ist also zu erwarten, dass die Stoffe sich im Grundwasser am weitesten ausbreiten, die zum einen noch gut wasserlöslich, zum anderen aber nur noch eingeschränkt abbaubar sind. In der Literatur werden Verbindungen wie Acenaphthen /Rügner et al., 2002/ genannt. So ergeben sich nach Bockelmann /Bockelmann et al. 2001/ Transportweiten für Acenaphthen von mehreren 100 m.

Entscheidend für Natural Attenuation ist der gesicherte Nachweis des mikrobiologischen Abbaus der Schadstoffe. Der Abbau der Schadstoffe ist entscheidend von den vorhandenen Elektronenakzeptoren abhängig. Sind keine Elektronenakzeptoren vorhanden, findet eine methanogene Umsetzung der organischen Verbindungen statt. Dabei werden die organischen Verbindungen durch fermentative Bakterien vergoren und dann durch methanogene Bakterien zu Methan umgesetzt. Generell kann gesagt werden, dass die Abbauraten unter anaeroben Bedingungen jedoch sehr viel geringer als unter aeroben Bedingungen sind /Rügner et al., 2002/. Unter aeroben Bedingungen wird der Sauerstoff nicht nur als terminaler Elektronenakzeptor verwendet, sondern auch als Reaktionspartner für enzymatische Prozesse /Fritsche, Hofrichter, 2000/, /Kästner, 2000/. Unter anoxischen Bedingungen spielt vor allem Nitrat als Elektronenakzeptor eine große Rolle. So wurde über den Abbau von PAKs unter denitrifizierenden Bedingungen mehrfach berichtet /Leduc et al. 1992/, /McNally et al. 1998/.

Felduntersuchungen weisen darauf hin, dass ein Abbau von aromatischen Kohlenwasserstoffen auch mit Fe(III) als Elektroneakzeptor möglich ist /Anderson, Lovley, 1999/. Über die Abbauprozesse ist nur wenig bekannt, obwohl Fe(III) häufig in Böden und Sedimenten vorkommt.

Die normalerweise untersuchten PAK nach US-EPA sind nur ein kleiner Ausschnitt aus der großen Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. Sie wurden zwar als typische Vertreter dieser Stoffgruppe von der US-EPA ausgewählt, können aber die gesamte Stoffgruppe sicher nicht vollständig abdecken. Die Untersuchungen beschränken sich in der Literatur meistens auf diese 16 US-EPA PAK, auch deshalb, weil nur für Vertreter dieser Gruppe Prüfwerte, Grenzwerte etc. festgelegt sind. Die folgenden Überlegungen beschränken sich deshalb ebenfalls auf diese 16 PAK nach US-EPA.

Im Zuge des mikrobiologischen Abbaus der PAK entstehen Metabolite. Diese Abbauprodukte sind zum Teil relativ gut wasserlöslich, ein Teil gilt auch als relativ schlecht abbaubar /Rügner et al., 2002/. Diese Verbindungen sind teilweise kurzlebig und teilweise nur sehr schwer nachweisbar, bzw. identifizierbar. Zudem besitzen sie teilweise toxische Eigenschaften /Rügner et al., 2002/. Diese Stoffe, soweit sie bekannt und analysierbar sind, haben sich jedoch in der Biosphäre ebenfalls nicht angereichert, so dass davon auszugehen ist, dass auch hier ein Abbau, ähnlich dem der PAK, stattfindet.

2 Modellstandort „Stürmlinger Sandgrube“

2.1 Standortbeschreibung, Historie

Die Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“ liegt im Bundesland Baden-Württemberg im Norden der Stadt Karlsruhe. Sie liegt zwischen der Nordweststadt und dem Stadtteil Neureut im Gewann Kirchfeld auf städtischem Gelände mit der Flurstücksnummer 11617 (Lage s. Übersichtslagepläne in Anlage 1.1 und 1.2).

Das Altablagerungsgelände ist ca. 1,5 ha groß und war vor der Verfüllung eine Sandgrube. Der Sandabbau wurde ca. 1925 eingestellt und reichte bis zum anstehenden Grundwasser in ca. 8 m Tiefe unter Geländeoberkante (GOK). Danach wurde die Sandgrube bis 1955/56 wieder verfüllt, den Akten nach vorwiegend mit Bauschutt und Erdaushub aber auch mit Haus- und Gewerbemüll. Hervorzuheben ist hierbei, dass im Zeitraum von 1949 bis ca. 1955 Rückstände aus der Gas- und Benzolerzeugung des Gaswerks Karlsruhe abgelagert wurden. Die Akten sprechen hierbei von „Teerölen“, die direkt in die Grube gepumpt wurden. Desweiteren können bei der Nähe der Ablagerung zu den ehemaligen Kasernen der amerikanischen Streitkräfte auch wilde Ablagerungen nicht ganz ausgeschlossen werden. Die im Zuge der Altlastenerkundung gefundenen LHKW, die in den Akten nicht erwähnt sind, gehen möglicherweise darauf zurück.

Nach Aktenlage und den Erkundungsergebnissen kann das Volumen der Auffüllung auf ca. 90 000 - 105 000 m³ abgeschätzt werden. Bezüglich des eigentlichen Auffüllkörpers lassen sich für die Mengenanteile der einzelnen Materialgruppen folgende Schätzwerte angeben:

Bauschutt:	35-40 %
Schlacken, Brandschutt/Verbrennungsrückstände, Straßenaufbruch:	30-35 %
Erdaushub:	10-15 %
Hausmüll:	ca. 10 %
Industrie-/Gewerbeabfälle (u. a. Gaswerksabfälle/Teeröle):	ca. 10 %

Bezüglich möglicher Deponiegasemissionen wurden bereits im Jahr 1992 im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Karlsruhe durch die DVGW-Forschungsstelle (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe Bodenluftmessungen auf dem Areal „Stürmlinger Sandgrube“ durchgeführt. Dabei wurde auf deponiespezifische Komponenten wie Methan, Kohlendioxid, BTEX-Aromaten, Restkohlenwasserstoffe, chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) untersucht. In den meisten Fällen waren die untersuchten Schadstoffe nicht nachweisbar oder wurden nur in sehr geringen Konzentrationen angetroffen. Angesichts des relativ hohen Alters der Ablagerung und des eher geringen Hausmüllanteils erscheint dieses Ergebnis auch plausibel. Mit nennenswerten Deponiegasemissionen ist demnach nicht zu rechnen.

Nach der Verfüllung wurde das Gelände mehr oder weniger gut eingeebnet und Teile davon von der Stadt Karlsruhe als Oberbodenzwischenlager genutzt. Heute ist im südwestlichen Bereich eine Teilfläche als Freizeitgelände gestaltet (Bolzplatz, Basketballfeld etc.). Der Rest

der Fläche ist als Brachfläche mit Büschen und Bäumen überwuchert. Die nähere Umgebung der Altablagerung ist nicht besiedelt, insbesondere der Abstrombereich wird größtenteils landwirtschaftlich genutzt. In der Zeit von 1989 - 2002 wurde die Altlast entsprechend dem Altlastenprogramm des Landes Baden-Württemberg von der Gesellschaft für Meß- und Filtertechnik mbH (G.M.F. mbH) erkundet /G.M.F., 1997/ und /G.M.F., 2002/.

2.2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse am Standort

Morphologisch gehört die „Stürmlinger Sandgrube“ zur Oberrheinischen Tiefebene. Sie liegt geologisch in der Zone der Niederterrasse des Oberrheingrabens im Bereich der zentralen Grabenscholle, ca. 5,5 km vom Rhein entfernt /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ und /Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 1985/. Eine direkte Beeinflussung der hydrogeologischen Verhältnisse durch schwankende Rheinwasserstände ist somit nicht gegeben. Die GOK der verfüllten Sandgrube liegt zwischen 112,8-115,6 m ü. NN.

Aus der hydrogeologischen Kartierung wurde eine kurze Gliederung der quartären Schichtenfolge im Raum Karlsruhe entnommen, die zum besseren Verständnis der nachfolgenden detaillierten Erläuterungen - zusammen mit den hydrogeologischen Einheiten - hier kurz wiedergegeben sei:

lithologische Gliederung		hydrogeologische Gliederung
Jungquartär	Deckschichten	
	Oberes Kieslager (OKL)	1. Grundwasserstockwerk Grundwasserleiter OKL
	Oberer Zwischenhorizont (OZH)	
	Mittleres Kieslager (MKL)	2. Grundwasserstockwerk Grundwasserleiter MKL
Altquartär		Altquartärer Grundwasserleiter
Tertiär (Pliozän)		Pliozäner Grundwasserleiter

/Hydrogeologische Kartierung, 1988/

Die zentrale Grabenscholle beinhaltet relativ mächtige und großräumig korrelierbare Quartärabfolgen. Das quartäre Schichtpaket kann lithologisch in das überwiegend feinklastische Altquartär und das in vielen Teilen sehr grobklastische Jungquartär untergliedert werden. Der Grenzbereich Jungquartär/Altquartär ist im Raum Karlsruhe teilweise durch stärkere Schichtausfälle - bedingt durch stärkere Erosion am Beginn des Jungquartärs - gekennzeichnet. Die Grenze Jungquartär/Altquartär wird an die Basis des MKL gelegt.

Das Altquartär besteht überwiegend aus Sanden, Schluffen und Tonen, untergeordnet an der Basis auch aus Kiesen. Es enthält viel alpines Material und ist daher kalkhaltig.

Das Jungquartär lässt sich im Niederterrassenbereich (Hochgestade) und in der Rheinniederung aufgrund der lithologischen Ausbildung der Sedimente von unten nach oben in drei Einheiten untergliedern, das MKL, den OZH und das OKL.

Das MKL ist in der zentralen Grabenscholle durchgehend ausgebildet und besteht hauptsächlich aus alpinen Kiesen mit Sandeinlagerungen. Es erreicht im Raum Karlsruhe – Speyer Mächtigkeiten zwischen 5-10 m und über 30 m.

Der OZH ist auf der zentralen und östlichen Grabenscholle bis auf wenige Gebiete vorhanden, seine Ausbildung und Mächtigkeit wechseln allerdings stark. Innerhalb der jungquartären Schichtenfolge beinhaltet er vielfach markante Ton-/Schluff-Horizonte, bereichsweise überwiegen aber auch Sandeinschaltungen (meist graue Fein- bis Mittelsande, seltener Grobsande). Holz und organogene Einlagerungen sind häufig vorhanden. Die Abgrenzung des OZH von den über- und unterlagernden Kieslagern ist besonders dort problematisch, wo entweder die Kieslager feinkörnig sind oder der OZH überwiegend aus gröberen Sanden besteht bzw. gar nicht vorhanden ist.

Die Basis des OKL liegt im Raum Karlsruhe bei ca. 90 m ü. NN. Die kiesige Abfolge des OKL wird selten durch Sandeinschaltungen unterbrochen, Einschaltungen von Schluff, organogenen Sedimenten und Hölzern sind besonders im unteren Teil der Abfolge vorhanden. Im Bereich der Niederterrasse ist das OKL ca. 15-25 m mächtig.

Wasserwirtschaftlich von Bedeutung sind vor allem die beiden jungquartären Grundwasserleiter, die im wesentlichen den kiesigen Anteil des Jungquartärs umfassen. Mit Ausnahme bestimmter Bereiche wird das Jungquartär durch den OZH in zwei Grundwasserleiter, den Grundwasserleiter OKL und den Grundwasserleiter MKL getrennt. Wo keine Untergliederung des Jungquartärs möglich ist, wird es dem Oberen Grundwasserleiter zugerechnet. Mächtigkeit und Ausbildung des OZH sind von entscheidender Bedeutung für den Grad der Trennwirkung. Bei überwiegend sandiger Ausbildung sind die vertikalen Durchlässigkeiten stark erhöht, so dass eine hydraulische Trennung der beiden Kieslager durch den OZH häufig nicht mehr vorhanden ist. Das OKL ist der wasserwirtschaftlich am intensivsten genutzte Grundwasserleiter.

Auf der Altablagerungsfläche selbst und auch in ihrer unmittelbaren Umgebung ist meist nur eine geringmächtige Oberflächenabdeckung (bis zu 20 cm) aus Mutterboden und Erdaushubmaterial vorhanden. Darunter folgt im Randbereich des Ablagerungskörpers eine geringmächtige Auffüllung (0,2 bis 0,8 m u. GOK), die aus Erdaushub mit wechselnden Bauschuttanteilen (Ziegel, Keramik) besteht. Die Mächtigkeit der Auffüllung im Bereich des Altablagerungskörpers selbst schwankt zwischen 1,30 m im Böschungsbereich der verfüllten Sandgrube und 8,20 m im tiefsten Teil der Sandgrube. Unter der geringmächtigen Auffüllung im Randbereich des Ablagerungskörpers wurden die natürlich anstehenden Lockersedimente der ungesättigten Bodenzone aufgeschlossen. Es handelt sich um Wechsellagen aus Fein- bis Mittel- bzw. Mittel- und Grobsanden mit wechselnden Kiesanteilen. Diese sandige Schichtenfolge setzt sich bis unterhalb der Grundwasseroberfläche (ca. 8 m u. GOK) fort und geht in ca. 13 bis 15 m Tiefe in die Sande und Kiese des OKL über.

Nach der hydrogeologischen Kartierung /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ bilden die unter der Deponiesohle anstehenden gut durchlässigen Sande und Kiese des OKL den Oberen

Grundwasserleiter, dessen Oberfläche (ca. 8 m u. GOK) im Bereich der Deponiesohle ansteht. Die Mächtigkeit des OKL dürfte im Raum Neureut bzw. im Bereich der Altablagerung nach bisherigen Kenntnissen ca. 23 bis 27 m betragen. Darunter folgen die Schichten des OZH, die das OKL vom MKL trennen. Dieser ist jedoch nicht flächendeckend überall ausgebildet, sondern weist Lücken auf, in denen die verschiedenen Kieslager in hydraulischem Kontakt stehen. Da in allen niedergebrachten Bohrungen in der entsprechenden Tiefe von ca. 25 m u. GOK keine hydraulisch trennenden Schichten angetroffen wurden, liegt die Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“ offensichtlich im Bereich einer solchen Lücke, in dem der OZH weitgehend fehlt. Die erbohrten sandigen Kiese des Grundwasserleiters umfassen somit wohl das OKL und das MKL. Es besteht daher im Bereich der Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“ ein einziger zusammenhängender oberer Grundwasserleiter, der bis zur Basis des Jungquartärs in einer Tiefe von ca. 40 m u. GOK reicht, in den die Schadstoffemission der Altablagerung erfolgt. Das Grundwasser fließt im Untersuchungsgebiet großräumig nach Nordwesten mit einer Fließgeschwindigkeit von ca. 0,5-1 m pro Tag. Zumindest in nassen Jahren liegt die Deponiesohle im Grundwasser-wechselbereich bzw. teilweise im Grundwasser.

2.3 Ergebnisse der Altlastenerkundung

Als Teil der kommunalen Altlastenerkundung, finanziert durch den Altlastenfond des Landes Baden-Württemberg, wurde die „Nähere-/Detailerkundung“ im Zeitraum von 1995 bis 2002 durchgeführt (s. Berichte der G.M.F. mbH /G.M.F., 1997/ und /G.M.F., 2002/). Dabei ergab sich zunächst ein Schadstoffinventar, das der in den Akten dokumentierten Einlagerung entspricht. Gefunden wurden Phenole, LHKW, MKW (Mineralölkohlenwasserstoffe) und Schwermetalle (Blei, Kupfer, Zink und Quecksilber) mit Konzentrationen, die über den Prüfwerten (Prüfwerte gemäß BBodSchV vom 12.07.1999 /BBodSchV, 1999/ im Anhang 2 und soweit in der BBodSchV nicht vorhanden, Prüfwerte gemäß der „Verwaltungsvorschrift (VwV) über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen“ vom 16.03.1993 in der Fassung vom 01.03.1998“ des Landes Baden-Württemberg) /VwV, 1998/ liegen.

Diese Kontaminationen treten jedoch in den Hintergrund, gegenüber den PAK- und BTEX-Belastungen, die im nordwestlichen und untergeordnet auch im gesamten nördlichen Bereich gefunden wurden. Hier fand ganz offensichtlich die Einlagerung der in den Akten genannten Teeröle statt, die den Erkundungsergebnissen nach in den Sohlbereich der ehemaligen Sandgrube gepumpt wurden. Ab einer Tiefe von ca. 6 m unter GOK wurden Teeröle in Phase gefunden. Unter Teeröl in Phase wird hier pastöses Bodenteerölgemenge verstanden, in dem das Bodenkorn und Gesteine mit einem schwarzen Überzug versehen sind. Der als Teerölphasenkörper bezeichnete Teil der Altablagerung liegt im nordwestlichen Teil der ehemaligen Sandgrube im Sohlenbereich und im anschließenden natürlichen Untergrund vor. Die vertikale und horizontale Ausdehnung des Teerölphasenkörpers ist in Abb. 2.1 und 2.2. dargestellt. Die Teeröle aus der Gas- und Benzolerzeugung sind mehr oder weniger hochviskose Stoffgemische, die PAK, aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW) und verschiedene aliphatische Kohlenwasserstoffverbindungen (in der Regel über die Messgröße MKW erfasst) enthalten. Die niederviskosen Bestandteile haben ein spezifisches Gewicht, das meist $\leq 1 \text{ g/cm}^3$ ist. Die höherviskosen Bestandteile liegen mit ihrem spezifischen Gewicht über 1 g/cm^3 . Die Teeröle als Gemische dieser Komponenten weisen erfahrungsgemäß eine

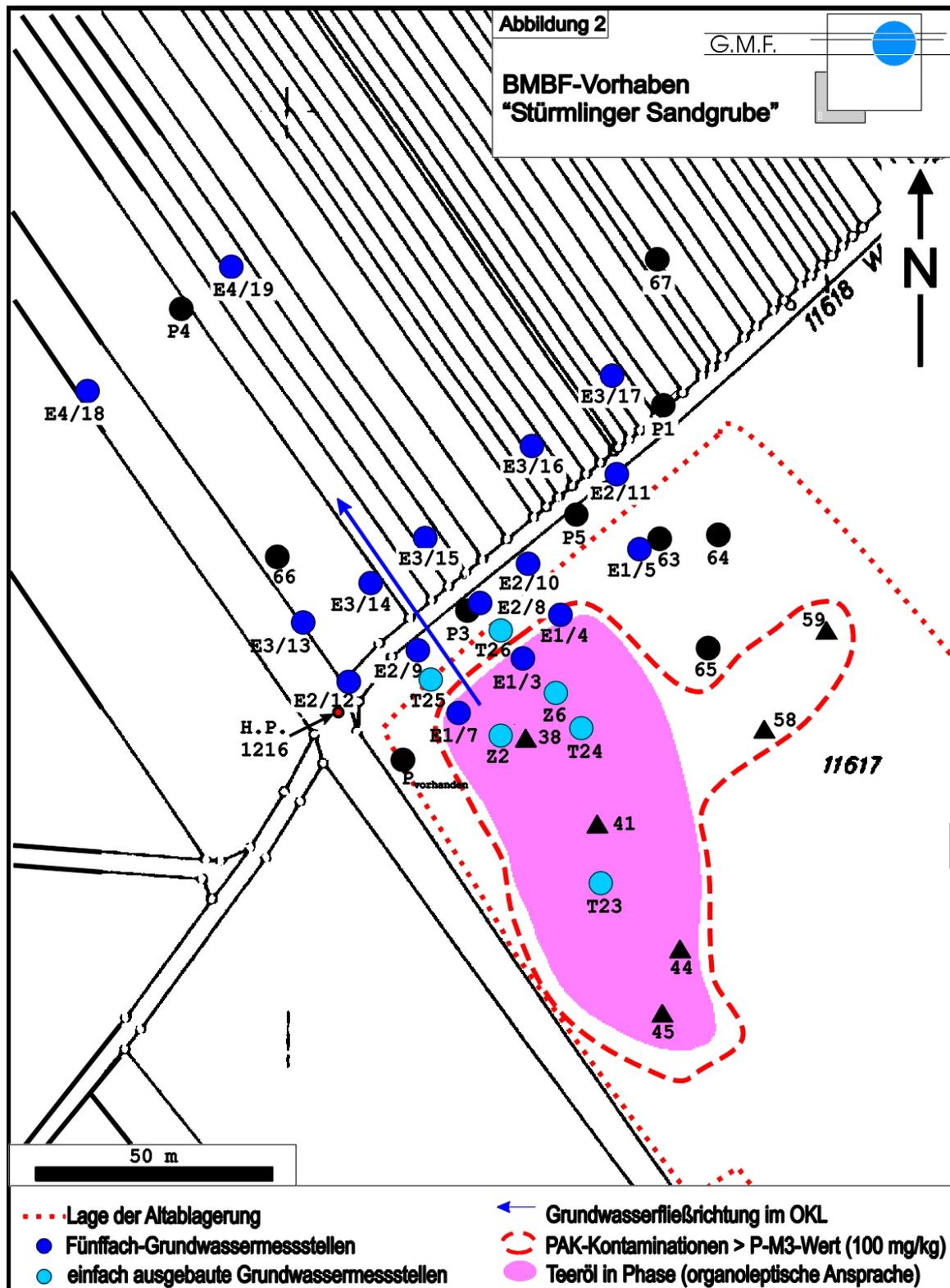


Abb. 2.1 : Horizontale Ausdehnung des Teerölphasenkörper in der „Stürmlinger Sandgrube“

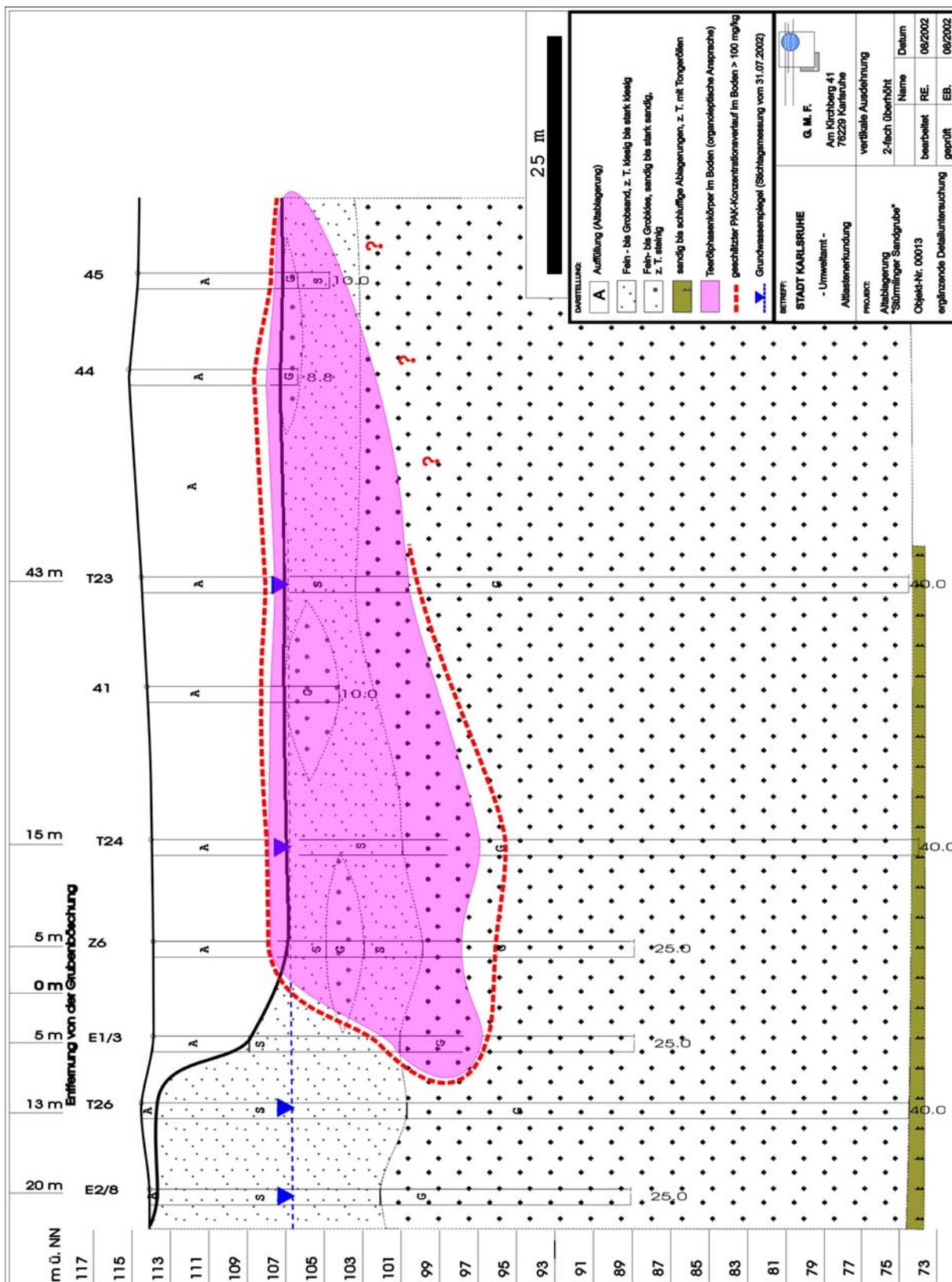


Abb. 2.2 : Vertikale Ausdehnung des Teerölphasenkörper in der „Stürmlinger Sandgrube“

mittlere bis hohe Viskosität und ein spezifisches Gewicht wenig über 1 g/cm³ auf. Man musste im vorliegenden Fall also davon ausgehen, dass die eingeleiteten Teeröle in den Grundwasserleiter und in den anstehenden Untergrund unter der Sandgrube eingedrungen sind. Die bei den Bohrungen angetroffene klebrige, hochviskose Masse, die als „Teeröl in Phase“ bezeichnet wurde, legte jedoch den Schluss nahe, dass die Mobilität des „Teeröls in Phase“ gering und damit die Eindringtiefe in den anstehenden, wassergesättigten Untergrund auf etwa 1-2 m begrenzt war. Überraschender Weise ist jedoch der größte Teil des Teerölphasenkörpers in den Grundwasserleiter abgesunken und reicht im Abstrombereich ca. 10 m über den Grubenrand hinaus und bis in eine Tiefe von ca. 17 m unter GOK. Es ist davon auszugehen, dass die Teeröle direkt auf die Grubensohle gepumpt wurden, und dass Lösungsvermittler den Schadstofftransport in die Tiefe begünstigt haben. Als Lösungsvermittler kommen in diesem Fall neben den BTEX auch LHKW in Betracht, die gefunden wurden, für die sich in den Akten aber keine Hinweise ergeben und die als Indiz auf nicht unerhebliche wilde Einlagerungen angesehen werden können. Der Teerölphasenkörper lässt sich relativ gut abgrenzen und stellt die dominierende Quelle für Schadstoffemissionen ins Grundwasser dar.

Aus den zum Abschluss der bisherigen Erkundungen durchgeführten Emissions-/Immissionsbetrachtungen ging hervor, dass gegenwärtig immer noch ein sehr starker Eintrag von organischen Schadstoffen (PAK und BTEX) ins Grundwasser erfolgt. Es ist davon auszugehen, dass in den vergangenen 40 Jahren mindestens u.a. ca. 1000 bis 1500 kg Summe PAK nach US-EPA-Liste ohne Naphthalin ausgetragen und mit dem Grundwasser verfrachtet worden sind. Die Emissionsberechnungen wurden nach dem Altlastenhandbuch der LfU /LfU, 1996/ „Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser“ für unterschiedliche Messwertkombinationen durchgeführt und liegen in Anlage 3 bei. In Tab. 2.1 sind die ermittelten Emissionen als direkte Emission (aus den Daten des Phasenkörpers (Gefahren- bzw. Schadensherd) berechnet) und als indirekte Emission (aus den Daten des Grundwasserabstroms berechnet) aufgelistet.

Tab. 2.1: Ermittelte Emissionsraten der Einzelkomponenten aus dem Teerölphasenkörper

Komponente	Direkte Emission [g/d]		Indirekte Emission [g/d]	
	Minimal	Maximal	Minimal	Maximal
Acenaphthylen	3,03	7,27	1,23	2,33
Acenaphthen	23,85	58,80	22,86	45,27
Fluoren	13,91	34,15	6,12	12,12
Phenanthren	6,02	14,83	6,08	12,14
Anthracen	0,83	2,03	0,35	0,7
Fluoranthen	0,57	1,33	0,39	0,78
Pyren	0,36	0,85	0,16	0,32
Benzo(a)anthracen	0,09	0,22	0	0
Chrysen	0,06	0,15	0	0,01
Benzo(b,k)fluoranthen	0,07	0,16	0	0
Benzo(a)pyren	0,03	0,08	0	0
Indeno(1,2,3,c,d)perylene	0,03	0,07	0	0
Dibenzo(a,h)anthracen	0,01	0,02	0	0
Benzo(g,h,i)perylene	0,04	0,10	0	0
Σ PAK ohne Naphthalin	48,91	120,03	37,19	73,67
Naphthalin	549,66	1373,01	208,81	417,62

Komponente	Direkte Emission [g/d]		Indirekte Emission [g/d]	
	Minimal	Maximal	Minima	Minimal
Benzol	1015,18	2524,44	622,77	1245,10
Toluol	175,28	438,08	76,73	153,45
Ethylbenzol	54,36	135,32	38,56	77,08
m+p+o-Xylol	169,24	422,64	99,14	198,27
Summe BTEX	1414,05	3520,48	837,20	1673,90

Eine überschlägige Abschätzung des Volumens des Phasenkörpers ergab ein Volumen von ca. 29000 m³. Durch eine Abschätzung der Bodendichte mit 1,8 t/m³ ergibt sich die Masse des Phasenkörpers zu 52200 t Teeröl-Bodengemisch. In Tab. 2.2 wurden die vorhandenen Bodenwerte horizontal und vertikal gemittelt, um die Gesamtmenge der gemessenen Schadstoffkomponenten im Teerölphasenkörper abzuschätzen.

Tab. 2.2: Massenabschätzung der im Phasenkörper vorhandenen PAK und BTEX

	Mittelwert [mg/kg]	in kg/t	Gesamt- menge
Σ PAK (nach US-EPA) ohne Naphthalin	1920	1,92	100,22 t
Naphthalin [mg/kg]	1030	1,03	53,77 t
Σ BTEX [mg/kg]	265	0,265	13,83 t
Benzol [mg/kg]	130	0,13	6,79 t

Bei Annahme einer gleichbleibenden Emissionsrate lässt sich eine grobe Abschätzung der Emissionsdauer ermitteln (Tab. 2.3). Die Zeitdauer ist wahrscheinlich zu niedrig, da davon auszugehen ist, dass sich gegen Ende der Zeiten die Emissionsraten verringern.

Tab. 2.3: geschätzte lineare Emissionsdauer für PAK und BTEX

	gemittelte Emission heute	Lineare Emissionsdauer (angenommen 365 d/a)
Σ PAK (nach US-EPA) ohne Naphthalin	0,09 kg/d	3050 a
Naphthalin	1 kg/d	147 a
Σ BTEX	2,5 kg/d	15 a
Benzol	1,8 kg/d	10 a

Die Vergleichsweise hohen Emissionen, der eng begrenzte Quellbereich (Teerölphasenkörper), die vergleichsweise gut bekannten geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Standortes, der unbebaute, im städtischen Besitz befindliche und damit gut zugängliche Grundwasserabstrombereich und der gut bekannte und relativ kurze Einlagerungszeitraum ergaben insgesamt günstige Randbedingungen um die in Kapitel 1 skizzierten Überlegungen unter realen Bedingungen zu überprüfen. Der Teerölphasenkörper als solcher stellt eine brauchbare Näherung für eine über Jahrzehnte hinweg konstante Emissionsquelle der Schadstoffe dar, da die Emission durch die Diffusionseffekte aus der Teerölphase heraus in das umgebende Wasser dominiert sein dürfte und sich die Struktur dieses Teerölphasenkörpers nach 1956 kaum geändert haben dürfte. Nach Aktenlage sind die Einlagerungen nach 1956 abgeschlossen und danach abgedeckt und eingeebnet worden, so

dass ab diesem Zeitpunkt nennenswerte wilde Ablagerungen ausgeschlossen werden können. Die heute ermittelten Emissionsraten dürften somit eine gute Schätzung (am unteren Rand) für die Emissionen in den vergangenen 45 Jahren und eine konservative Schätzung (am oberen Rand) für die Zukunft darstellen.

Der Standort wurde wegen der genannten günstigen Verhältnisse für das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F+E-Vorhaben)

“Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser”

Stadt Karlsruhe (Umweltamt)	(ohne Förderkennzeichen)
G.M.F. Gesellschaft für Mess- und Filtertechnik mbH, Karlsruhe	(Förderkennzeichen 02WT0008/8)
Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau / VEGAS	(Förderkennzeichen 02WT9955/3)
DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe	(Förderkennzeichen 02WT9957/9)
Fraunhofer Gesellschaft (FhG) - IITB, Karlsruhe	(Förderkennzeichen 02WT9958/1)

ausgewählt. Gegenstand dieses Vorhabens war die Untersuchung der hydrogeologischen, chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Verhältnisse in der Kontaminationsfahne im Abstrom der Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“.

2.4 Das Messfeld zur Untersuchung der Abstromfahne

Im Zuge der technischen Erkundung der Altlast „Stürmlinger Sandgrube“ nach Altlastenhandbuch Baden-Württemberg /Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, 1988/ wurden auch erste Erkundungsmaßnahmen im Grundwasserabstrom der Altlast durchgeführt. Diese Erkundungen ergaben, dass sich im Grundwasserabstrom eine Kontaminationsfahne befindet, die noch in ca. 100 m Entfernung von der Altablagerung in der damals errichteten Grundwassermessstelle P4 nachgewiesen werden konnte.

Zur weiterführenden und genaueren Erkundung des Grundwasserabstroms waren im Rahmen des oben genannten Verbundprojektes senkrecht zur Hauptausbreitungsachse der Schadstofffahne vier Untersuchungsebenen geplant. Jede Untersuchungsebene enthält 3-4 Messstellen. An jeder Messstelle wurden in 5 Tiefenzonen Grundwasseraufschlüsse installiert, über die die entsprechenden Grundwasserzonen beprobt werden konnten. Die Abstände und die Lage der Grundwassermessstellen und Untersuchungsebenen sind in Abb. 2.3 und 2.4 dargestellt.

Die erste Untersuchungsebene befindet sich im unmittelbaren Randbereich zu der Hauptkontaminationszone und repräsentiert somit den Schadstoffeintrag in den Fahnenkörper. Die zweite Untersuchungsebene wurde in einem Abstand von ca. 15 m, die dritte Ebene in einem Abstand von ca. 35 m und die vierte Ebene in einem Abstand von ca. 105 m zur ersten

Ebene errichtet. Damit sollte die Schadstofffahne durch ca. 80 Messpunkte (Grundwasseraufschlüsse) erfasst werden. Ergänzt wurden diese Grundwassermessstellen noch durch zwei zusätzliche Messstellen in einem Abstand von ca. 165 m und 260 m zur ersten Ebene, mit denen entlang der Hauptkontaminationsachse das Ende der Ausbreitungsfahne festgestellt werden sollte. Zu diesen Messstellen wurde noch eine oberstromige Messstelle zur Kontrolle des "unbelasteten Zustrombereiches" installiert.

Um eine möglichst gute Positionierung der Messstellen sicherzustellen, wurden die Bohrungen und die Errichtung der Grundwassermessstellen schrittweise durchgeführt. Es wurde jeweils eine Messstellenebene installiert und dann anhand der Analysenergebnisse von Bodenproben und ersten Wasserproben die genaue Position der Grundwassermessstellen der nächsten Ebene festgelegt. Dieses Vorgehen war zwar zeitintensiv, verhinderte aber Fehlpositionierungen weitgehend.

Bei den ersten Bohrungen an Z2 und Z6 zeigte sich, dass die ursprünglich geplante Ebene 1, die direkt neben dem Böschungsfuß liegen sollte, noch den über den Grubenrand hinausreichenden Hochkontaminationsbereich erfasst. Die Ebene 1 wurde daher gegenüber der ursprünglichen Planung um ca. 10 m nach Nordwesten verschoben. Die zwei Bohrungen Z2 und Z6 die den Phasenkörper durchteufen, und die Messstelle E1/7, die noch den Rand des Teerölphasenkörpers erfasst, wurden als einfache Grundwassermessstellen mit HDPE-Rohren und abschnittsweiser Verfilterung ausgebaut. Ferner wurde im Januar 2001 noch eine weitere Grundwassermessstelle E6/22 im weiteren Abstrom (ca. 260 m entfernt vom Rand des Schadstoffherdes) errichtet, die aus Kostengründen ebenfalls als einfache Grundwassermessstelle aus HDPE-Rohren mit 5 Entnahmetiefen ausgebaut wurde. Es wurden somit insgesamt 18 Mehrfachmessstellen und vier einfache Grundwassermessstellen eingebaut, so dass mit insgesamt ca. 100 Entnahmestellen in 5 Tiefenbereichen für Grundwasserproben ein enges, für die Modellierung des Schadstoffabstroms gut geeignetes Messraster vorliegt. Die genauen Abstände der Messstellen sind der Abb. 2.3 zu entnehmen. Die Lage der Grundwassermessstellen ist in Abb. 2.4 und Abb. 2.4a dargestellt.

Mit den Messstellen E0/1, E1/3, E1/4, E1/5, E1/7, E2/8, E2/9, E2/10, E2/11, E2/12, E3/13, E3/14, E3/15, E3/16, E3/17, E4/18, E4/19, E4/20, E5/21 und E6/22 war der Kern des Messfeldes, der zu den drei Beprobungskampagnen im Jahr 2001 herangezogen wurde, errichtet. Die Bohrungen und Messungen ergaben, dass, wie bereits beschrieben, der obere Zwischenhorizont im Bereich der „Stürmlinger Sandgrube“ fehlt, und damit die Schadstofffahne nach unten nicht abgegrenzt werden konnte. Des Weiteren zeigte sich, dass einige Schadstoffkomponenten noch über die Ebene 6 (Messpunkt E6/22) hinaus reichten. In einem weiteren Schritt wurden deshalb in 2002/2003 noch weitere Grundwassermessstellen im Tiefenbereich bis 40 m installiert, und der Kern des Messfeldes um die Messstellen T25, T26, E3/T15, E5/T21, E6/T22 und E7/T27 sowie E0/T28 ergänzt. Die Messstelle E7/T27 liegt auf der Hauptachse des Abstroms (Centerline, von E1/3 nach E7/T27) in einer Entfernung von ca. 450 m von der Schadstoffquelle (Rand des Phasenkörpers) entfernt. Die Lage der Grundwassermessstellen ist in Abb. 2.4 und Abb. 2.4a dargestellt. Damit konnte die Schadstofffahne horizontal und vertikal weitgehend abgegrenzt werden. Die Daten der Errichtung und die Ausbautiefen der einzelnen Messstellen sind in Tab. 2.4 dargestellt.

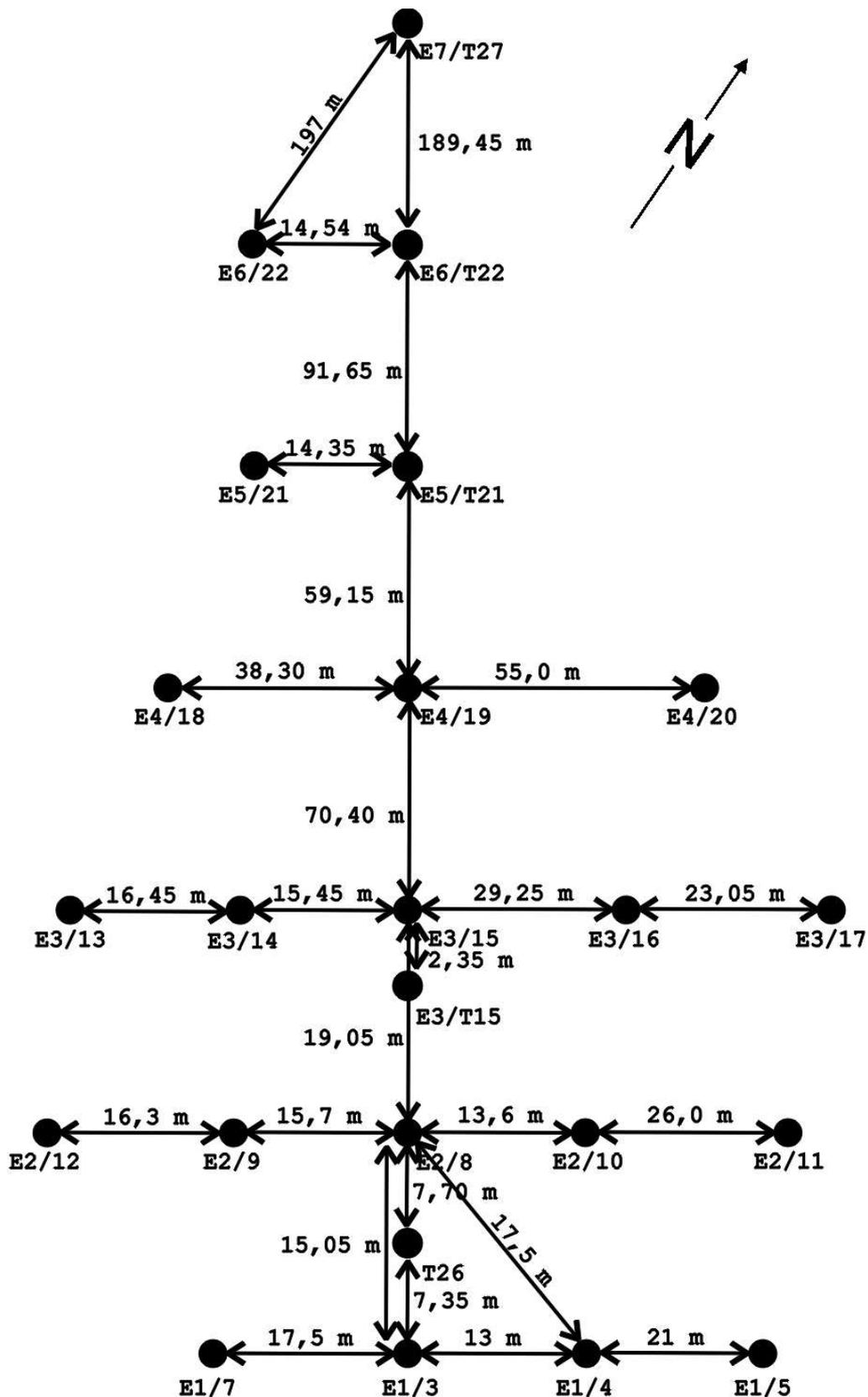


Abb. 2.3 : Abstände der Grundwassermessstellen zueinander, Versuchsfeld „Stürmlinger Sandgrube“

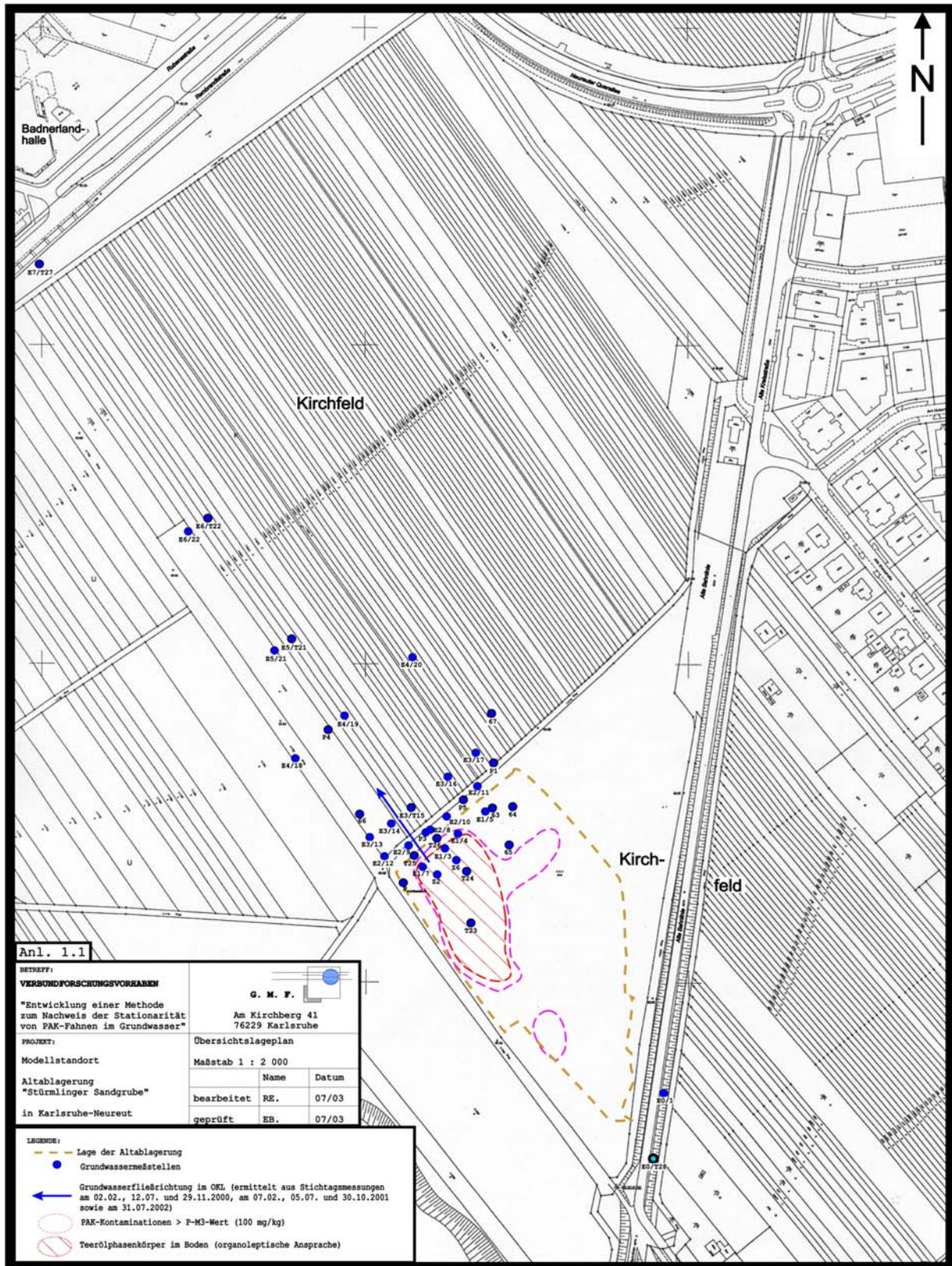


Abb. 2.4 : Lage der Messstellen und Lage der Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“

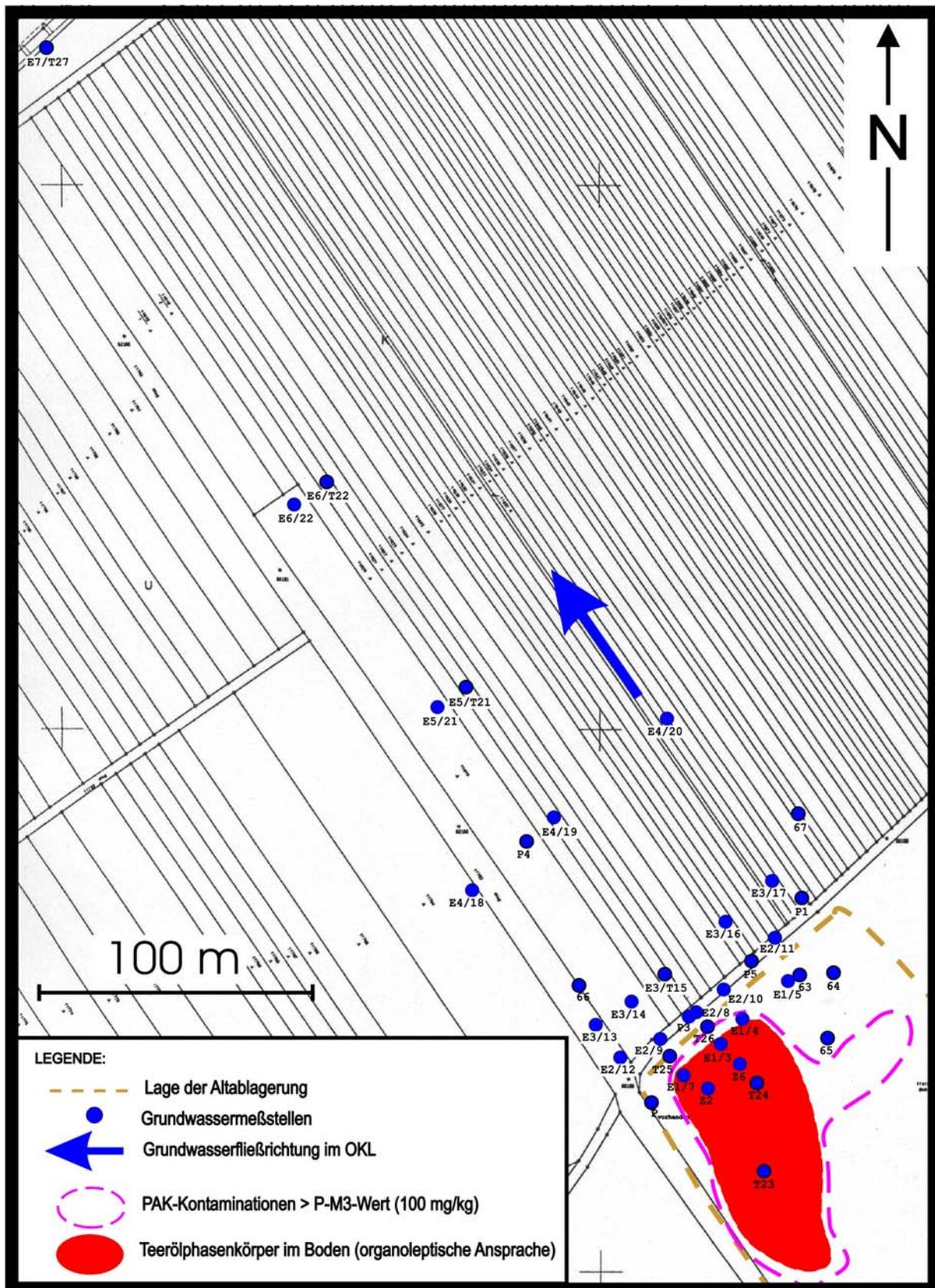


Abb. 2.4a : Messstellen im Abstrom und im Schadenszentrum der „Stürmlinger Sandgrube“

Tab. 2.4: Übersicht über Ausbau, Errichtungsdatum und Beprobungen der Messstellen

Messstelle	Ausbauart	Verfilterung [m u. GOK]	Datum der Errichtung	Beprobungen
P _{vorhanden}	Einfachmessstelle	Sohlentiefe 12,5 m u. GOK (Filterstrecke nicht bekannt)	Mrz. 82	
P1	Einfachmessstelle	7,7-10,7	Aug. 92	
P3	Einfachmessstelle	6,2-18,2	Okt. 95	
P4	Einfachmessstelle	6,2-15,2	Okt. 95	
P5	Einfachmessstelle	7 – 19	Sep. 97	
63	Einfachmessstelle	8 – 10	Sep. 97	
64	Einfachmessstelle	7 – 10	Sep. 97	
65	Einfachmessstelle	7 – 10	Sep. 97	
66	Einfachmessstelle	7 – 10	Sep. 97	
67	Einfachmessstelle	7 – 10	Sep. 97	
E0/T28	3-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 24,0 – 25,0 / 39,0 – 40,0	Jun. 03	08.03
E0/1	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	8,9-9,9 / 12,7-13,7 / 16,4-17,4 / 20,2-21,2 / 23,9-24,7	Mai. 00	01.01/06.01/ 10.01
Z2	Einfachmessstelle mit Mehrfachverfilterung	15,3-17,1 / 18,1-19,9	Mai. 00	02.01/
E1/3	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	8,9-9,9 / 12,7-13,7 / 16,4-17,4 / 20,2-21,2 / 23,9-24,7	Mai. 00	01.01/07.01/ 11.01/06.03
E1/4	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Mai. 00	02.01/07.01/ 11.01/
E1/5	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,7-13,7 / 16,5-17,5 / 20,2-21,2 / 24,0-24,7	Mai. 00	02.01/07.01/ 11.01/
Z6	Einfachmessstelle mit Mehrfachverfilterung	7,8-10,4 / 15,4-17,2 / 18,3-20,1 / 23,1-24,9	Jun. 00	02.01/
E1/7	Einfachmessstelle mit Mehrfachverfilterung	7,8-10,4 / 15,4-17,1 / 18,2-20,0 / 23,1-24,9	Jun. 00	02.01/07.01/ 11.01/
E2/8	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Jun. 00	01.01/07.01/ 10.01/06.03
E2/9	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Jun. 00	01.01/07.01/ 10.01/
E2/10	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,2-10,2 / 13,0-14,0 / 16,7-17,7 / 20,5-21,5 / 24,2-25,0	Jun. 00	01.01/07.01/ 10.01/
E2/11	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,2-10,2 / 13,0-14,0 / 16,7-17,7 / 20,5-21,5 / 24,2-25,0	Jul. 00	01.01/07.01/ 11.01/
E2/12	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	8,6-9,6 / 12,4-13,4 / 16,1-17,1 / 19,9-20,9 / 23,6-24,4	Jul. 00	01.01/07.01/ 10.01/
E3/13	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Aug. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E3/14	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Aug. 00	01.01/06.01/ 10.01/

Messstelle	Ausbauart	Verfilterung [m u. GOK]	Datum der Errichtung	Beprobungen
E3/15	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Aug. 00	01.01/07.01/ 10.01/06.03
E3/T15	3-fach Messstelle (Rohrbündel)	29-30 / 34-35 / 39-40	Jan. 03	06.03
E3/16	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,1-10,1 / 12,9-13,9 / 16,6-17,6 / 20,4-21,4 / 24,1-24,9	Aug. 00	01.01/06.01/ 10.01/
E3/17	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,2-10,2 / 13,0-14,0 / 16,7-17,7 / 20,5-21,5 / 24,2-25,0	Aug. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E4/18	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Okt. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E4/19	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	8,8-9,8 / 12,6-13,6 / 16,3-17,3 / 20,1-21,1 / 23,8-24,6	Okt. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E4/20	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	8,8-9,8 / 12,6-13,6 / 16,3-17,3 / 20,1-21,1 / 23,8-24,6	Okt. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E5/21	5-fach Messstelle (Rohrbündel)	9,0-10,0 / 12,8-13,8 / 16,5-17,5 / 20,3-21,3 / 24,0-24,8	Okt. 00	01.01/06.01/ 10.01/06.03
E5/T21	3-fach Messstelle (Rohrbündel)	13 – 14 / 29-30 / 34-35	Mrz. 03	06.03
E6/22	Einfachmessstelle mit Mehrfachverfilterung	8,7-9,6 / 12,5-13,4 / 16,3-17,2 / 19,2-20,1 / 24,0-25,0	Jan. 01	02.01/06.01/ 11.01/06.03
E6/T22	3-fach Messstelle (Rohrbündel)	13 – 14 / 29-30 / 38-39	Mrz. 03	06.03
T 23	Einfachmessstelle	17 – 40	Feb. 02	07.02
T 24	Einfachmessstelle	20 – 40	Mrz. 02	07.02
T 25	Einfachmessstelle, Messstelle abgepackert	8 – 40	Mrz. 02	07.02
T26	3-fach Messstelle (Rohrbündel)	13 – 14 / 29-30 / 39-40	Jan. 03	07.02 06.03
E7/T27	6-fach Messstelle (2 dreifach-Rohrbündel)	13 – 14 / 16,5-17,5 / 20-21 / 24-25 / 29-30 / 39-40	Jan. 03	06.03
Grundwassermessstellen, errichtet im Rahmen der Erkundungsmaßnahmen				
Messfeldkern (Abstromfeld)				
Grundwassermessstellen, zur Erweiterung des Messfeldkerns (Abstromfeld)				

Zum besseren Verständnis dieser Tabelle sollen hier noch einige nähere Erläuterungen aus dem DVGW-Merkblatt 245 /1997 /DVWK, 1997/ dienen.

Bei den in Tab 2.4 aufgeführten „Einfachmessstellen“ handelt es sich um voll verfilterte Messstellen gemäß DVGW-Merkblatt 245 /DVWK, 1997/, die oftmals über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters bzw. bis zur jeweiligen Endbohrteufe der Bohrungen ausgebaut sind. In Ausnahmefällen (Lage der Messstellen im Bereich des Teerölphasenkörpers) wurden die entsprechenden Messstellen erst unterhalb der Sohle des Phasenkörpers verfiltert.

Bei den „Einfachmessstellen mit Mehrfachverfilterung“ handelt es sich um mehrfach verfilterte Messstellen gemäß DVGW-Merkblatt 245 /DVWK, 1997/, die aus mehreren, durch Vollwandrohre getrennten Filterstrecken bestehen. Die einzelnen Filterstrecken sind durch

Dichtungen in der Ringraumfüllung im Bereich der Vollwandrohre zwischen den einzelnen Filterstrecken voneinander hydraulisch getrennt.

Bei den 5-fach-Messstellen bzw. 3-fach-Messstellen handelt es sich um Messstellenbündel gemäß DVGW-Merkblatt 245 /DVWK, 1997/, die aus mehreren, in unterschiedlichen Tiefen verfilterten und in einer Bohrung installierten Messstellen bestehen. Dabei wurden zwei verschiedene Arten von Messstellenbündeln errichtet. Die 5-fach-Messstellen bis 25 m Tiefe bestehen aus einer von der Universität Stuttgart - Institut für Wasserbau - Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) speziell für dieses Projekt entwickelten Spezialkonstruktion aus Stahlrohren (sog. Multilevelmessstellen) mit jeweils 5 voneinander getrennten Entnahmetiefen, die in der Werkstatt von VEGAS vorgefertigt und am Bohrpunkt aus jeweils drei Teilstücken zusammengesetzt und eingebaut wurden /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/. Die 3-fach-Messstellen bis max. 40 m Tiefe wurden aus Kostengründen aus 2“-PVC-Rohren errichtet, die im jeweils untersten Meter ein Kiesbelagfilter mit Stützverkiesung und darüber Vollwandrohre aufweisen. Der Ausbau dieser tiefenorientierten Messstellen erfolgte entsprechend dem Verfüllfortschritt nacheinander, wobei die einzelnen Entnahmehorizonte durch Dichtungen mit Quellton voneinander getrennt wurden.

Damit stand ein Messfeld zur Untersuchung des Abstroms mit 26 Grundwassermessstellen und insgesamt 122 Messpunkten zur Verfügung. Die meisten Messstellen sind als Messstellenbündel ausgebaut. Die Einfachmessstellen wurden in den entsprechenden Tiefenhorizonten beprobt.

2.5 Grundwasserbeprobung

Zunächst wurden drei Beprobungskampagnen im Jahr 2001 an den bis dahin errichteten Messstellen durchgeführt. Die drei Beprobungskampagnen der G.M.F. mbH im Jahr 2001 erfolgten als sog. “Winterbeprobung“ im Zeitraum vom 17.01.2001 bis zum 14.02.2001, als sog. “Sommerbeprobung“ im Zeitraum vom 25.06.2001 bis zum 05.07.2001 und als sog. “Herbstbeprobung“ im Zeitraum vom 22.10.2001 bis zum 07.11.2001. Neben der eigentlichen Grundwasserbeprobung wurde bei jeder Kampagne auch eine Stichtagsmessung zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung bzw. des hydraulischen Gefälles durchgeführt. Die drei Stichtagsmessungen erfolgten am 07.02.2001, am 05.07.2001 und am 30.10.2001.

Die 18 Mehrfachgrundwassermessstellen sind, um Sorptionen an der Messstellenwandung zu minimieren, aus jeweils 5 Edelstahlrohren aufgebaut, die im Bereich der Probenahmetiefe über jeweils einen Meter verfiltert sind. Zur Probenahme wurde pro Probenahmetiefe eine Unterwasserpumpe mit Edelstahlgestänge als Steigleitung eingebaut. Vor jeder Probenahme wurden im mittel 150 l bis 200 l Grundwasser pro Tiefenhorizont abgepumpt. Bei jeder Probenahme wurden die Vor-Ort-Parameter (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redox-Potential, Sauerstoffgehalt) gemessen. Erst nach Erreichen einer Messwertkonstanz wurden die Proben entnommen. Die Beprobung der mit HDPE-Rohren ausgebauten Messstellen verlief ähnlich, allerdings wurden zur Abgrenzung der Tiefenhorizonte Packer eingebaut oder ein 2-Pumpen-System verwendet. Die Zuordnung der entnommenen Proben zu den entsprechenden Tiefenhorizonten ist somit im Rahmen der Unsicherheiten bei Einfachmessstellen gewährleistet. Die tiefenhorizontierte Zuordnung ist bei den

Messstellenbündeln sicher genauer wie bei den einfach ausgebauten Messstellen Z6, Z2, E1/7, und E6/22.

Ursprünglich, d.h. bei der Winterbeprobung wurden auch die beiden ebenfalls mit HDPE-Rohren ausgebauten Grundwassermessstellen Z2 und Z6 mit einbezogen, bei der Sommer- und der Herbstbeprobung jedoch nicht mehr. Grund dafür war, dass sich bei der Winterbeprobung in diesen beiden Messstellen Hinweise ergeben hatten, dass die Filterstrecken mehr oder weniger stark durch das pastöse “Teeröl in Phase“ zugesetzt waren. Daher wurden die aus den dort entnommenen Wasserproben ermittelten Laborergebnisse als nicht repräsentativ angesehen.

Die entnommenen Wasserproben wurden zur laboranalytischen Untersuchung unmittelbar im Anschluss an die Probenahme zum chemischen Labor Dr. Vogt bzw. zum Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe und zu VEGAS in Stuttgart gebracht. Die PAK-Bestimmung erfolgte als Doppelbestimmung an zwei nacheinander entnommenen Proben, die BTEX-Bestimmung als Einfachbestimmung. Bei den Analysen zeigte sich auch, dass Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole die wichtigsten Vertreter der Einring-Aromaten (AKW) waren, so dass die ursprünglich vorgesehene AKW-Untersuchung auf BTEX eingeeengt werden konnte.

Darüber hinaus wurde jede Probe vom TZW im Labor auf die physikalisch-chemischen Parameter Sauerstoff, Redoxpotential, pH-Wert, Säure- und Basekapazität, Calcium, Magnesium, Chlorid, Eisen, Mangan, Sulfat, Sulfid, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphat, DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), SAK (spektraler Absorptionskoeffizient) und Methan sowie auf die mikrobiologischen Parameter Gesamtzellzahlen, Gesamtkeimzahlen, Keimzahlen der PAK-, BTEX- und Mineralölverwerter und Keimzahlen der Denitrifikanten und Sulfatreduzierer untersucht. Die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten an ausgewählten Proben. An den Proben der Messstellen Z2, Z6 und E1/7 erfolgten keine Untersuchungen durch das TZW.

Nachdem die Erweiterung des Messfeldes bis auf 40 m Tiefe und bis ca. 450 m Entfernung in den Abstrom hinein im Winterhalbjahr 2002/2003 durchgeführt werden konnte, wurde im Sommer 2003 eine vierte und letzte Beprobungskampagne durchgeführt, bei der die Messstellen E1/3, T26, E2/8, E3/13, E3/15, E3/T15, E3/17, E4/18, E4/19, E4/20, E5/21, E5/T21, E6/22, E6/T22, E7/T27 und E0/T28 beprobt wurden.

3 Ergebnisse der geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen

3.1 Geologische und hydrogeologische Schichtenbeschreibung, Bohrergergebnisse

Die Bohrgutansprache ergab, dass im Bereich der Altablagerung „Stürmlinger Sandgrube“ und des untersuchten Abstromfeldes der obere Zwischenhorizont (OZH) als Trennschicht zwischen dem oberen Kieslager (OKL) und dem mittleren Kieslager (MKL) weitgehend fehlt, so dass ein zusammenhängender Grundwasserleiter zwischen ca. 8 m u. GOK und ca. 40 m u. GOK vorliegt. Bei den Bohrungen konnte im Bereich von ca. 25 m u. GOK und ca. 27 m u. GOK ein geringfügiger Wechsel von sandigem Kies zu einem stark sandigem Kies beobachtet werden, darunter folgte bis ca. 40 m u. GOK wieder ein sandiger Kies. Diese 1-2 m mächtige, stark sandige Kiesschicht entspricht dem hier nicht bzw. nur rudimentär ausgebildeten OZH, der im Untersuchungsgebiet zwar keine Trennschicht darstellt, der aber aufgrund der geringfügig modifizierten Struktur in seinen Ansätzen erkennbar ist.

In den insgesamt 9 Tiefenbohrungen wurden teilweise der StauhORIZONT an der Basis des sog. Oberen Grundwasserleiters erbohrt bzw. Hinweise auf das Vorhandensein dieser Basis in geringem Abstand zur Endbohrteufe gefunden. In den beiden Tiefenbohrungen E5/T21 und E6/T22 wurde in 35,7 m bzw. 39,4 m u. GOK ein fester Tonhorizont angetroffen. In insgesamt 6 weiteren Tiefenbohrungen wurden im tiefsten Bohrmeter stark sandige bzw. schwach schluffige bis tonige Sedimente (etwas Schlamm, einige Tongerölle) erbohrt. Lediglich in der am weitesten abstromig gelegenen Tiefenbohrung E7/T27 ergaben sich keine Hinweise auf das Vorhandensein des Grundwasserstauers in 40 m Tiefe u. GOK. Diese etwas unregelmäßige, schwankende Höhenlage und auch die unterschiedliche Ausbildung des Grundwasserstauers sind in dem schematischen Profil in Abb. 3.1 zu erkennen.

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse in der Rheinebene bei Karlsruhe sind insgesamt recht gut bekannt. In den Flußablagerungen in diesem Teil der Rheinebene muss mit örtlich stark schwankenden und kleinräumig wechselnden organischen Anteilen und damit mit deutlich schwankender Zusammensetzung bei den einzelnen entnommenen Bodenproben gerechnet werden. So wurden in manchen Bohrungen Einlagerungen von Organik (insbesondere von Holzresten) festgestellt, die in jeweils unterschiedlichen Tiefen angetroffen wurden und auch in unterschiedlichen Mengen (von wenigen Holzsplittern bzw. -fasern bis hin zu größeren Holzstücken, die evtl. von dicken Ästen oder kleineren Baumstämmen stammen) erbohrt wurden. Besonders in den Bohrungen E3/13, E4/18 und E7/T27 wurden größere Mengen bzw. größere Einzelstücke Holz angetroffen, während in benachbarten Bohrungen – z.B. in E3/14, E4/ 19, E4/20 und E6/22 – überhaupt kein Holz gefunden wurde. Dies lässt darauf schließen, dass das Holz offenbar im Laufe mehrerer Ereignisse (z.B. Überschwemmungen) in lokalen Anschwemmungen abgelagert wurde und daher nicht an einen bestimmten, über das Testfeld hinweg durchgehenden Tiefenhorizont gebunden ist.

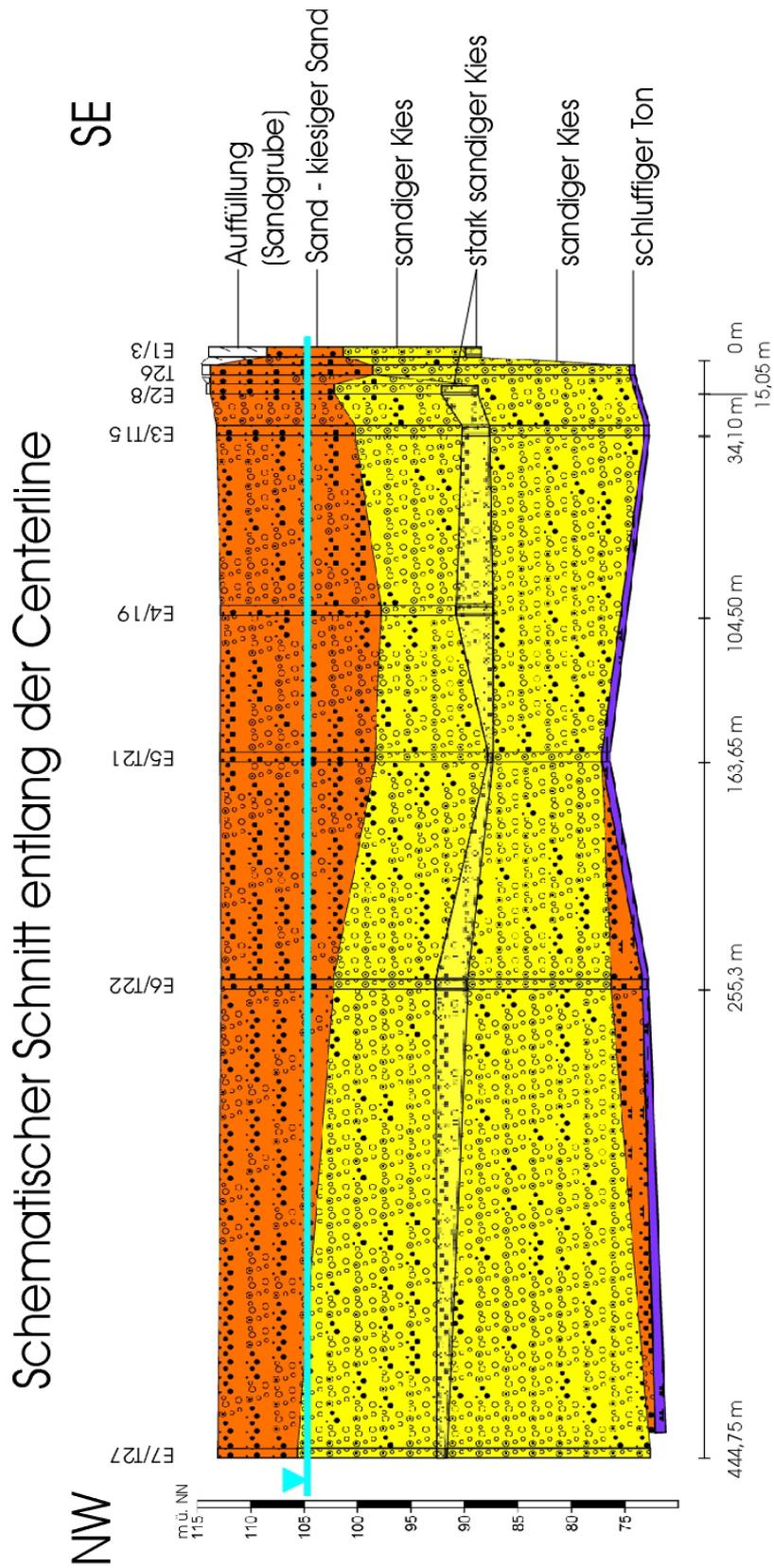


Abb. 3.1: Schematischer geologischer Schnitt des Versuchsfeldes „Stürmlinger Sandgrube“ entlang der Centerline (E1/3 – E7/T27)

Insgesamt gesehen kann man jedoch den Grundwasserleiter des Testfeldes trotz der auftretenden lokal begrenzten kleinräumigen Inhomogenitäten als ein über die Ausdehnung des Testfeldes relativ homogenes Gebilde ansehen, das über OKL und MKL bis zur Basis des Jungquartärs reicht. Die einzelnen, einander überlagernden Schichten können in ihrer mesoskaligen horizontalen Ausdehnung (d. h. über den untersuchten Abstrombereich hinweg) in ausreichend guter Näherung mit einem jeweils für die ganze Schicht gültigen Parametersatz beschrieben werden. Allerdings ist mit lokal sehr stark schwankenden Zusammensetzungen des Bodenmaterials und damit mit einem von Bodenprobe zu Bodenprobe wechselnden f_{oc} -Wert zu rechnen, was sich auch in den Messergebnissen der Boden- und Wasserbeprobungen niederschlägt. Der f_{oc} -Wert ist ein Maß für den Gehalt des Bodens mit organischem Kohlenstoff (s. Kapitel 5.1)

Ebenso ist auch die Basis des Oberen Grundwasserleiters, der Stauhorizont des Altquartärs, lokal in unterschiedlichen Tiefen anzutreffen (s. oben). Über die Ausdehnung des Testfeldes betrachtet, sind diese eher geringen Höhenschwankungen jedoch vernachlässigbar. Nach mündlicher Auskunft von Herrn Dr. Watzel vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB) liegt die Basis des Jungquartärs (MKL) im Bereich des Testfeldes bei ca. 75 m ü. NN. Das darunter anstehende Altquartär ist deutlich feinkörniger und besteht aus ca. 10 bis 50 % aus schwach kiesigem Sand sowie Ton- und Schluffanteilen. Speziell die oberste Schicht des Altquartärs besteht nach diesen Auskünften aus tonigem, schwach feinsandigem Schluff und ist ca. 2 bis 5 m mächtig. In einer Entfernung von ca. 1 km vom Testfeld gibt es drei Bohrungen, wo die Basis des Jungquartärs in jeweils 35 bis 38 m u. GOK erbohrt wurde, was einer Tiefe von ca. 75 bis 78 m ü. NN entspricht.

Im Abstrombereich der „Stürmlinger Sandgrube“ liegt demnach also ein zusammenhängender Grundwasserleiter von ca. 8 - 40 m u. GOK vor, für den drei einander überlagernde Schichten (8 – 25 m, 25 – 27 m, 27 – 40 m u. GOK) unterschieden werden können, Für diese mussten die hydrogeologischen Parameter ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

Zur Parametrierung des Modellansatzes für die Grundwasserströmung und den grundwasser- gebundenen Stofftransportes mussten die folgenden Parameter für den Betrachtungsraum (Abstrombereich) ermittelt werden:

- k_f -Wert (Durchlässigkeitsbeiwert)
- Porosität n des Untergrundes
- Durchflußwirksamer Porenraum
- Logitudinale und transversale Dispersivität
- Fließgeschwindigkeit des Grundwassers v_a (Abstandsgeschwindigkeit)
- Grundwasserfließrichtung

Die Grundwasserfließrichtung und die Abstandsgeschwindigkeit v_a werden in dem verwendeten Programmsystem FEFLOW aus den gemessenen Wasserstandshöhen in den Grundwassermessstellen direkt ermittelt. Damit können Strömungsanomalien bedingt durch Umströmeffekte bei ins Grundwasser reichenden Einlagerungen zumindest näherungsweise abgebildet werden.

Da im Testfeld sandig-kiesiges und damit relativ gut durchlässiges Material mit höheren Fließgeschwindigkeiten vorliegt, wurde hier die molekulare Diffusion im Rahmen der

Strömungs- und Transportmodellierung vernachlässigt. Mit dem Strömungs- und Transportmodell als dem Kern der Abstrommodellierung werden der Schadstofftransport mit dem Grundwasser und die Verdünnungseffekte beschrieben. Die damit ermittelte Schadstoffverteilung in der Abstromfahne wird von den oben genannten Parametern direkt beeinflusst. Es ist daher für die Bestimmung einer realitätsnahen Schadstoffverteilung im Abstrom erforderlich, diese Parameter relativ genau für den jeweiligen Standort zu ermitteln. Die aus großräumigen hydrogeologischen Kartierungen oder der Literatur entnehmbaren Zahlenwerte sind dazu in der Regel zu ungenau.

3.2 k_f -Wert, Porosität und Abstandsgeschwindigkeit

Bestimmung des k_f -Wertes anhand der Korngrößenanalyse

Im Mai/Juni 2001 wurden im bodenmechanischen Labor von VEGAS in Stuttgart Siebanalysen an den bei den Bohrungen gewonnenen, ungestörten Bodenproben aus der gesättigten Zone der Bohrungen E0/1, E1/3 und E2/8 (Tiefe von 6 m bis 25 m u. GOK) durchgeführt. Diese Bohrungen wurden herangezogen, weil sie im Zustrombereich bzw. im unmittelbaren Abstrombereich an der Hauptabstromachse liegen. Weiterhin wurden im Februar/März 2003 Siebanalysen an den entnommenen Bodenproben aus der gesättigten Zone der ebenfalls im Abstrombereich der Hauptabstromachse gelegenen Tiefenbohrung E3/T15 (Tiefe von 6 - 40 m u. GOK) durchgeführt. Mittels der Siebanalysen wurden die Kornsummenkurven ermittelt, die dann die Grundlage zur Ermittlung der jeweiligen k_f -Werte bildeten.

Nach Langguth /Langguth, Voigt, 1980/ ist es möglich, aus der spezifischen Durchlässigkeit eines Lockergesteins den Durchlässigkeitskoeffizienten für Wasser zu errechnen. Daher liegt es nahe, Kornverteilungskurven oder Sieblinien unter Benutzung der Formel

$$k_f = C * d_w^2 \quad (\text{Gl. 3.1})$$

k_f = Durchlässigkeit

C = empirischer Faktor

d_w = wirksamer Korndurchmesser

auszuwerten. Dies bietet sich an, da in der Praxis die Ausführung von Korngrößenanalysen die schnellste und billigste Möglichkeit ist, Werte für die Durchlässigkeit k zu bestimmen.

Die Korngrößenverteilung von beim Bohren gewonnenen oder im Aufschluss von Hand entnommenen Lockergesteinsproben wird nach DIN 18123 /DIN 18123, 1996/ durch Sieben und/oder Schlämmen festgestellt. Die Korngrößen werden in halblogarithmischer Darstellung gegen die entsprechenden Gewichtsprozente aufgetragen und anschließend nach einem der nachfolgenden beschriebenen Verfahren ausgewertet.

Laut Hölting /Hölting, 1996/ ist in einem Lockergestein der Feinkornanteil hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit entscheidend. Von dieser Überlegung ausgehend führte bereits Hazen /Hazen, 1893/ zahlreiche Versuche durch und kam zu folgender Beziehung:

$$k_f = C * d_{10}^2 \quad (\text{Gl. 3.2})$$

$$C = \frac{0,7 + 0,3\varphi}{86,4} = \text{temperaturabhängiger Faktor}$$

d_{10} = Korngröße eines Lockergesteins im Schnittpunkt der 10%-Linie mit der Summenkurve in mm

φ = Wassertemperatur in °C

Bei einer Grundwassertemperatur von 10°C, wie sie in Deutschland größenordnungsmäßig vorliegt, errechnet sich C zu 0,0116, so dass sich der Durchlässigkeitsbeiwert ergibt zu:

$$k_f = 0,0116 * (d_{10} [\text{mm}])^2 [\text{m/s}]$$

Die Größe d_{10} wird als “wirksame Korngröße“ bezeichnet, woraus sich ergibt, dass der Korngrößenanteil bis 10% des Gesamtgemenges ein wesentlicher Faktor für die hydraulische Leitfähigkeit eines Lockergesteins ist. Die Hazen-Formel gilt allerdings nur, wenn der Ungleichförmigkeitsgrad $U \leq 5$ ist. U ist definiert als:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

d_{60} = Korngröße eines Lockergesteins im Schnittpunkt der 60%-Linie mit der Summenkurve

Laut Hölting /Hölting, 1996/ wird die Hazen-Formel in der Hydrogeologie häufig angewandt. Wenn der Grundwasserleiter nicht zu inhomogen ist, ergeben sich in der Regel recht gute Übereinstimmungen mit Pumpversuchsergebnissen.

Beyer /Beyer, 1964/ wandelte die Hazen-Formel ab, indem er den Proportionalitätsfaktor C in der Hazen-Formel je nach Ungleichförmigkeitsgrad U variierte (für Wassertemperatur $t = 10^\circ\text{C}$) und damit auch für größere Werte von U anwendbar machte.

U		C	
1,0	...	1,9	$110 * 10^{-4}$
2,0	...	2,9	$100 * 10^{-4}$
3,0	...	4,9	$90 * 10^{-4}$
5,0	...	9,9	$80 * 10^{-4}$
10,0	...	19,9	$70 * 10^{-4}$
	> 20		$60 * 10^{-4}$

Die Ermittlung der k_f - Werte erfolgte aus der Korngrößenanalyse nach den o.g. empirischen Formeln von Hazen und Beyer. Teilweise konnte aufgrund der hohen Ungleichförmigkeitsgrade in manchen Proben auch nur die Beyer-Formel herangezogen werden.

Bei der Auswertung der Siebkurven ergaben sich k_f - Werte von $3,41 * 10^{-4}$ m/s (in E1/3, 6-25 m Tiefe), von $3,54 * 10^{-4}$ (E2/8, 6-25 m Tiefe) und $3,84 * 10^{-3}$ m/s (in E3/T15, 6-25 m Tiefe),

woraus sich ein Durchschnitts- k_f Wert von $1,51 \cdot 10^{-3}$ m/s errechnen ließ. Im E3/T15 lag der ermittelte k_f Wert (gemittelt von 6-40 m Tiefe bei $3,09 \cdot 10^{-3}$ m/s.).

Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit und des k_f Wertes aus Tracerversuchen

Bei zwei von der Universität Stuttgart (Institut für Wasserbau / VEGAS) im Zeitraum von November 2001 bis April 2002 durchgeführten Tracerversuchen wurde im unmittelbaren Abstrombereich die tiefengemittelte (für 8-25 m Tiefe) Abstandsgeschwindigkeit festgestellt /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/.

Bei beiden Tracerversuchen erfolgte die Tracerzugabe (jeweils verwendeter Tracerfarbstoff: Uranin) in der im unmittelbaren Abstrom der Altablagerung auf der Hauptabstromachse gelegenen Messstelle E1/3. Beim ersten Tracerversuch wurde der Tracer in der Tiefenstufe b (12,8-13,8 m u. GOK) zugegeben und der Konzentrationsverlauf des Farbstoffes an E2/8 beobachtet. Überraschender Weise ergab sich das Maximum der Farbintensität in der Tiefenstufe c (16,5-17,5 m u. GOK) und nicht wie erwartet in der Tiefenstufe b. Beim zweiten Tracerversuch wurde der Tracer in der Tiefenstufe d (20,2 – 21,2 m u. GOK) eingegeben. Das Konzentrationsmaximum bei der Messstelle E2/8 ergab sich hier in der Tiefenstufe d. Des Weiteren wurde der Tracerdurchgang auch noch in der weiter entfernt (ca. 36 m von E1/3) gelegenen Messebene 3 an der Messstelle E3/15 beobachtet. Die Tracerdurchgänge ergaben hier nur sehr flache Verlaufskurven, die deshalb zur Auswertung nicht herangezogen wurden. Die Tracerversuche lieferten somit primär Daten für die Abstandsgeschwindigkeit im Bereich zwischen E1/3 und E2/8, die im folgenden als repräsentativ für das gesamte Messfeld angesehen wurden. Nach Mattheß /Mattheß, 1990/ ergibt sich die Abstandsgeschwindigkeit v_a als der Quotient aus der Fließstrecke s zwischen der Eingabestelle E1/3 und der Beobachtungsstelle E2/8 sowie dem Zeitintervall t .

$$v_a = \frac{s}{t} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

Aus der Durchgangskurve am Beobachtungspunkt kann relativ einfach die Zeit t_p als die Zeit des Auftretens der maximalen Tracerkonzentration ermittelt werden. Aus der Integration der Durchgangskurve kann die Zeit t_{50} als die Zeit bestimmt werden, zu der 50% der wiedergefundenen Tracermenge den Messpunkt passiert haben. Nach Käss /Käss, 1992/ ergibt sich mit $t = t_{50}$ die beste Schätzung für v_a , wobei anzumerken ist, dass t_{50} im Vergleich zu t_p mit einem größeren Bestimmungsfehler behaftet ist. Die Tracerversuche ergaben für $t = t_{50}$ ein v_a um 0,5 m/d und bei Verwendung von $t = t_p$ ein v_a um 0,7 m/d. Im Folgenden wurde mit $v_a = 0,6$ m/d gerechnet. Dieser Wert liegt gut im Bereich der publizierten Werte für den Oberrheingraben im Bereich Karlsruhe (0,5 – 1 m/d).

Laut der deutschen geologischen Gesellschaft /Deutsche Geologische Gesellschaft, 1999/ ist die Abstandsgeschwindigkeit v_a die reale Fließgeschwindigkeit eines Teilchens, das den durchflusswirksamen Hohlraumanteil n_f durchfließt. Sie errechnet sich nach folgender Formel:

$$v_a = \frac{v_f}{n_f} [m/s] \quad (\text{Gl. 3.5})$$

Die gleiche Abstandsgeschwindigkeit gilt auch für den advektiven Transport. Dieser ist die Bewegung von gelösten Wasserinhaltsstoffen in Richtung der Sickerwasser- oder Grundwasserströmung mit der Größe der Abstandsgeschwindigkeit v_a .

$$v_a = \frac{v_f}{n_f} = \frac{k_f * I}{n_f} [m/s] \quad (\text{Gl. 3.6})$$

k_f = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

I = hydraulisches Gefälle [‰]

n_f = durchflusswirksamer Hohlraumanteil / nutzbarer Porenanteil

Für die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes ergibt sich aus Gl. 3.6:

$$k_f = \frac{v_a * n_f}{I} [m/s] \quad (\text{Gl. 3.7})$$

Zugrundegelegt wurde bei der Berechnung des k_f - Wertes ein mittleres hydraulisches Gefälle von $I = 1,0$ ‰, welches anhand von Stichtagsmessungen zwischen der Messstellenebene 1 und der Messstellenebene 7 ermittelt wurde. Weiterhin wurden Literaturwerte /Prinz, 1991/ für die Nutzporosität n_f für kiesigen Sand von 0,15 bis 0,20 bzw. für sandigen Kies von 0,20 bis 0,25 herangezogen. Je nach verwendeter Nutzporosität ergeben sich folgende k_f - Werte:

$$\begin{aligned} n_f = 0,15 &\rightarrow k_f = 1,04 * 10^{-3} \text{ m/s} \\ n_f = 0,20 &\rightarrow k_f = 1,39 * 10^{-3} \text{ m/s} \\ n_f = 0,25 &\rightarrow k_f = 1,74 * 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Der aus diesen Einzelwerten errechnete Durchschnitts- k_f - Wert von $1,39 * 10^{-3}$ m/s stimmt relativ gut mit dem aus der Siebkurvenauswertung ermittelten k_f - Wert von $1,51 * 10^{-3}$ m/s überein.

Vergleich mit Literaturwerten

Die Ermittlung eines mittleren k_f - Wertes von ca. $1,45 * 10^{-3}$ m/s aus zwei unterschiedlichen Ansätzen (Auswertung von Siebkurven aus Laborversuchen und Auswertung von im Gelände durchgeführten Tracerversuchen) lässt darauf schließen, dass dieser k_f - Wert als relativ zuverlässig angesehen werden kann.

Eine weitere Absicherung dieses k_f - Wertes kann über aus der Literatur entnommenen Transmissivitätswerten erfolgen. Die Transmissivität ist nach der deutschen geologischen Gesellschaft /Deutsche Geologische Gesellschaft, 1999/ das Produkt aus dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f und der Grundwassermächtigkeit h_{GW} . Sie errechnet sich nach der Formel:

$$T = k_f * h_{GW} [m^2/s] \quad (\text{Gl. 3.8})$$

Aus dem ermittelten k_f - Wert von ca. $1,45 * 10^{-3}$ m/s und aus der festgestellten Grundwassermächtigkeit von 32 m im Bereich des Testfeldes errechnet sich nach der o. g.

Formel eine Transmissivität T von $464 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Dieser Wert passt sehr gut zu den Transmissivitätswerten, die in der hydrogeologischen Kartierung /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ angegeben sind (ca. 400 bis $500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) und aus Pumpversuchen an Messstellen in der weiteren Umgebung (ca. 350 m entfernt von E7/T27) ermittelt wurden.

Eine wichtige Rolle in den o.g. Berechnungen des k_f - Wertes spielt die angesetzte Porosität des betrachteten Grundwasserleiters. Aufgrund der Korn- oder Wabenstruktur enthalten Böden immer ein bestimmtes Porenvolumen, das je nach dem, ob es auf das Gesamtvolumen oder auf die porenfreie Festmasse bezogen wird, als Porenanteil (n) oder Porenzahl (e) bezeichnet wird /Prinz, 1991/.

$$\text{Porenanteil } n = \frac{\text{Volumen der Poren}}{\text{Gesamtvolumen}}$$

$$\text{Porenzahl } e = \frac{\text{Volumen der Poren}}{\text{Volumen der Festmasse}}$$

Für hydraulische Fragen ist nicht der Porenanteil n sondern der durchflusswirksame oder nutzbare Porenanteil n_f maßgebend. Dieser entspricht nur bei sehr hohen Durchlässigkeiten ($k_f \geq 10^{-2} \text{ m/s}$) nahezu dem Gesamtporenanteil. Bei kleineren Durchlässigkeiten ist der nutzbare Porenanteil wesentlich geringer.

Laut der Deutschen Geologischen Gesellschaft /Deutsche Geologische Gesellschaft, 1999/ ist der durchflusswirksame Hohlraumanteil n_f der Anteil des durchflossenen Hohlraumvolumens am Gesamtvolumen. Nicht berücksichtigt ist hierbei das Haftwasservolumen.

Mittlere Porenanteile und Porenzahlen nach Busch /Busch, Luckner, 1974/:

	e	n	n_f
Ton, schluffig	0,82 – 1,5	0,45 – 0,60	0,01 – 0,05
Schluff, tonig	0,66 – 1,2	0,40 – 0,55	0,03 – 0,08
Schluff, sandig (Lehm)	0,43 – 0,66	0,30 – 0,40	0,05 – 0,10
Mittelsand, gleichkörnig	0,43 – 0,66	0,30 – 0,40	0,10 – 0,15
Sand, kiesig	0,38 – 0,54	0,28 – 0,35	0,15 – 0,20
Kies, sandig	0,33 – 0,54	0,25 – 0,35	0,20 – 0,25

(aus /Prinz, 1991/)

Für die Berechnung der Durchlässigkeit (k_f - Wert) wurden diejenigen Literaturwerte der Porosität ausgewählt, die der Ansprache des Bohrgutes im Messfeld entsprachen.

3.3 Grundwasserfließrichtung und Richtungsschwankungen

Im Bereich des Testfeldes wurde in mehreren Stichtagsmessungen eine relativ konstante Grundwasserfließrichtung ermittelt. Durchgeführt wurden insgesamt 10 Stichtagsmessungen - vier parallel zu Beprobungskampagnen - am 02.02.2000, am 12.07.2000, am 29.11.2000, am

07.02.2001, am 05.07.2001, am 30.10.2001, am 31.07.2002, am 18.03.2003, am 12.05.2003 sowie am 12.08.2003 (am 18.03.2003 und am 12.08.2003 nur ausgewählte Messstellen). Ermittelt wurde dabei im Abstrombereich der Altablagerung (ab Messstellenebene 2) übereinstimmend eine Hauptgrundwasserfließrichtung nach Nordwesten (in der hydrogeologischen Kartierung /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ ist ebenfalls eine nordwestliche Grundwasserfließrichtung mit Wasserständen zwischen 106 und 105,5 m ü. NN ausgewiesen), wobei bei den einzelnen Stichtagsmessungen je nach Wahl der einbezogenen Messstellen bzw. je nach jahreszeitlich und witterungsbedingtem Grundwasserstand geringfügige Abweichungen von dieser nord-westlichen Hauptgrundwasserfließrichtung festgestellt wurden. Die Abweichungen lagen im Bereich von ± 3 Grad um die Nordwestrichtung. Diese Abweichungen sind abhängig vom jeweiligen Grundwasserstand und dürften den hier nur noch geringen Einfluss des Rheinwasserstandes auf die Grundwasserfließrichtung widerspiegeln.

Im unmittelbaren Nahbereich der Altablagerung ergaben sich größere Abweichungen der Grundwasserfließrichtung nach Norden. Dieses Phänomen geht mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Umströmungseffekte des Teerölphasenkörpers zurück, die sich in dessen unmittelbarem Abstrombereich naturgemäß stärker auswirken als in weiterer Entfernung. Verursacht werden diese Umströmungseffekte durch die deutliche Verminderung der Durchlässigkeit im Teerölphasenkörper, die zu einem lokalen Aufstauen des Grundwassers führen. Erkennbar ist dies auch durch ein reduziertes Grundwassergefälle im Anstrombereich des Teerölphasenkörpers. Das Grundwassergefälle im Zustrom von der oberstromigen Grundwassermessstelle E0/1 bis zum Teerölphasenkörper ist mit einem Wert von 0,42 ‰ deutlich geringer als das Grundwassergefälle im abstromig zum Teerölphasenkörper gelegenen Messfeld, wo der entsprechende Wert 1,0 ‰ beträgt. Die durch die Umströmungseffekte bedingte, lokale Drehung der Grundwasserfließrichtung im Nahbereich nach Norden wurde vor allem bei den flach ausgebauten Messstellen in diesem Bereich deutlich und führt zu einer Verbreiterung der Abstromfahne im unmittelbaren Nahbereich.

Die Schwankungen des Grundwasserstandes bei den Stichtagsmessungen im Jahr 2001 („Winterbeprobung“ am 07.02.2001, „Sommerbeprobung“ am 05.07.2001 und „Herbstbeprobung“ am 30.10.2001) betragen ca. 45-50 cm zwischen dem niedrigsten Grundwasserstand am 07.02.2001 und dem höchsten Grundwasserstand am 05.07.2001. Die Grundwasserstände bei den Stichtagsmessungen der Jahre 2002 und 2003 bewegten sich innerhalb dieses Intervalls.

VEGAS hat in ausgewählten Messstellen (E0/1 im Zustrom, P66 und P67 im nahen Abstrom des Altablagerungskörpers) mittels automatischer Messeinrichtungen die Wasserstände im Zeitraum vom 30.10.2001 bis 26.09.2002 beobachtet. Hierbei wurden Wasserstandsschwankungen von ebenfalls ca. 45-50 cm festgestellt.

Ferner standen noch Daten des Tiefbauamtes der Stadt Karlsruhe zur Verfügung, die bei über mehrere Jahre bis Jahrzehnte durchgeführten Wasserstandsmessungen (Daten liegen bis Oktober 2000 vor) in mehreren Grundwassermessstellen in der Umgebung des Messfeldes ermittelt wurden. Es handelt sich um die Grundwassermessstellen F.08.1 an der Badnerlandhalle Neureut (im Abstrom des Messfeldes), F.08.2 an der Straße „Alte Bahnlinie“ (im Zustrom des Messfeldes) und G.08.1 an der Schweigenerstr. (in etwas größerer Entfernung südwestlich des Messfeldes gelegen). In der von Januar 1992 bis Oktober 2000 beobachteten Messstelle F.08.2 wurde eine maximale Grundwasserschwankung von 1,13 m

ermittelt, in der von Januar 1979 bis Oktober 2000 beobachteten Messstelle F.08.1 eine maximale Grundwasserschwankung von 1,56 m und in der von Januar 1970 bis Oktober 2000 beobachteten Messstelle G.08.1 sogar eine maximale Grundwasserschwankung von 3,14 m (bedingt durch einen extremen Grundwassertiefststand im September 1973).

Anhand dieser Grundwasserstandsdaten muss für die Emissionszeit der Altlast von ca. 50 Jahren mit Grundwasserfließrichtungsschwankungen gerechnet werden, die schätzungsweise im Bereich von $\pm 10^\circ$ um die Nordwestrichtung liegen dürften.

3.4 Dispersivitätswerte

Zur Parametrierung des Strömungs- und Transportmodells werden auch Zahlenwerte für die longitudinale und die transversale Dispersivität benötigt. Aus den Tracerversuchen konnten diese Werte abgeschätzt werden. Als hydrodynamische Dispersion wird jeder mechanische Vermischungsprozeß von Wasserinhaltsstoffen durch Fortbewegung in porösen Medien bezeichnet /Deutsche Geologische Gesellschaft, 1999/. Die Auffächerung erfolgt sowohl in Fließrichtung (longitudinal) als auch senkrecht dazu (transversal). Ein Maß für die mechanische Vermischung von Wasserinhaltsstoffen sind die Dispersionskoeffizienten D_l (longitudinal) und D_t (transversal), die von der Abstandsgeschwindigkeit v_a abhängig sind.

$$D_l = \alpha_l * v_a \qquad D_t = \alpha_t * v_a \qquad (\text{Gl. 3.9 und Gl. 3.10})$$

α_l und α_t sind dabei die jeweiligen Dispersivitäten als konstante Kenngrößen eines porösen Mediums.

Die Berechnung der longitudinalen Dispersivität erfolgte mittels nachstehender Formeln /Rausch 2002; Käss, 1992/ zunächst jeweils getrennt für die beiden einzelnen Tracerversuche:

$$D_l = \frac{0,25 * (v_a * \Delta t)^2}{(2t_{50})} \qquad (\text{Gl. 3.11})$$

D_l = longitudinaler Dispersivitäts-Koeffizient

v_a = Abstandsgeschwindigkeit = 0,6 m/d

Δt = zeitliche Unschärfe ($t_{84} - t_{16}$ aus Tracerversuch)

t_{84} = Durchgangszeit für 84 % der Tracermenge

t_{16} = Durchgangszeit für 16 % der Tracermenge

t_{50} = Durchgangszeit für 50 % der Tracermenge

$$\alpha_l = \frac{D_l}{v_a} \qquad (\text{Gl. 3.12})$$

α_l = longitudinale Dispersivität

Aus den beiden Tracerversuchen ergaben sich die beiden longitudinalen Dispersivitäten α_{l1} (1. Tracerversuch) = 1,49 m und α_{l2} (2. Tracerversuch) = 2,86 m. Hieraus ergibt sich als Mittelwert ein

$$\alpha_l = 2,18 \text{ m}$$

Im Gegensatz zu der longitudinalen Dispersivität kann die transversale Dispersivität aufgrund zu geringer Messstellendichte quer zur Grundwasserfließrichtung mit dem Tracertest in der Regel nicht bestimmt werden. In der Literatur wird häufig von einem konstanten Verhältnis von transversaler zu longitudinaler Dispersivität ausgegangen. Aus Laborversuchen wird von einem Verhältnis von $\alpha_t/\alpha_l = 0,1$ berichtet /Rausch, 2002/, während aus Feldstudien Werte für α_t/α_l von 0,001 bis 0,3 berichtet wird /Kinzelbach, Rausch, 1995/, /Rausch, 2002/.

Die in Feld- bzw. Tracerversuchen bestimmten Dispersivitäten beschreiben die Makrodispersion, die stark von Inhomogenitäten im Aquifer bestimmt wird. Sie ergibt sich aus einem Mittelungsprozess über räumliche Fluktuationen des Geschwindigkeitsfeldes. Diese räumlichen Fluktuationen des Geschwindigkeitsfeldes sind skalenabhängig. Im Zentimeterbereich kommen hierzu Mikrostrukturen der sedimentären Ablagerungen zum tragen, die sich bis in den Meterbereich fortsetzen können und dort durch eingelagerte Schichten oder Linsen repräsentiert werden. In noch größeren Skalen spielen Wechsel der Gesteinseinlagerungen aber auch Torfschichten und Schluffeinlagerungen usw. eine Rolle.

Wenn es also eine räumliche Fluktuation des Geschwindigkeitsfeldes auf unterschiedlichen Skalen gibt, ist die Größe der Dispersionskoeffizienten eine Frage des Mittelungsvolumens. Mit größer werdenden Mittelungsvolumen sind größere Dispersivitäten zu erwarten. Bei einer Mittelung über das Fahnavolumen mit einigen hundert Meter Länge ist aufgrund dieser Überlegungen mit longitudinalen Dispersivitäten im Bereich von einigen Metern zu rechnen /Rausch, 2002/. Der aufgrund des Tracerversuches über einen Abstand von ca. 16 m ermittelte Wert für $\alpha_l = 2,18$ m ist für die gesamte Fahne mit einer Länge von ca. 450 m sicher zu klein. Für die Modellierung muss deshalb der aus dem Tracerversuch ermittelte Wert mit einem „Skalierungszuschlag“ erhöht werden /Rausch, 2002/.

3.5 Die hydrogeologischen Parameter für den Abstrombereich

Wie in Kapitel 2.2 ausgeführt, liegt im Abstrombereich der „Stürmlinger Sandgrube“ ein Grundwasserleiter mit 32 m **Aquifermächtigkeit** vor, der von 8-40 m u. GOK reicht. Der OZH zwischen OKL und MKL fehlt weitgehend. Er war bei der Ansprache der Bohrkern teilweise nur als erhöhter Sandanteil im durchgehend sandigen Kies des Untergrunds zu erkennen. Dieser etwas erhöhte Sandanteil wurde zwischen 25 und 27 m u. GOK gefunden und kann nicht als stauende bzw. trennende Schicht bezeichnet werden. Bei der Modellbildung wurde diese Schicht jedoch entsprechend der Bohrgutansprache unterschieden und mit gering abweichenden Parametern beschrieben, so dass für die Modellierung der gesättigten Zone **drei Schichten** mit teilweise unterschiedlichen Parametern angesetzt wurden (siehe Abb. 3.2).

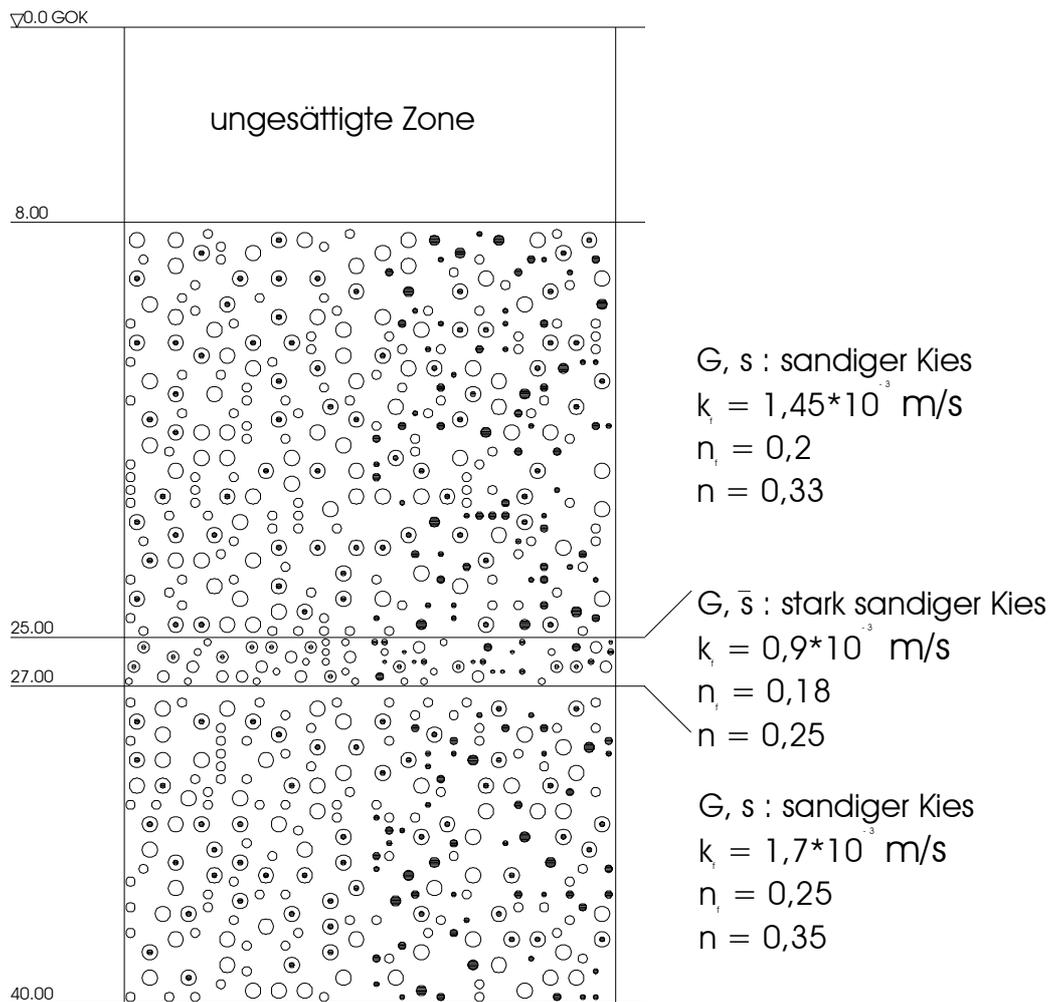


Abb. 3.2: Vereinfachter Aufbau des oberen Grundwasserleiters in den Tiefenbereichen 8 m (Beginn der gesättigten Zone) bis 40 m

Der k_f -Wert wurde primär für das OKL, d.h. für den Bereich 8–25 m u. GOK, bestimmt, und zwar als Mittelwerte über Messergebnisse mit relativ starker lokaler Schwankung. Für das OKL lag eine genügend große Anzahl von Messwerten für eine gesicherte k_f -Wert Bestimmung vor. Die aus den Messwerten erkennbare Phänomenstreuung und die hinzukommende Messverfahrensstreuung ließen eine gesicherte Differenzierung der drei Schichten anhand der Messergebnisse jedoch nicht zu. Die in der Bohrgutansprache unterscheidbare Schichtung konnte daher anhand der streuenden Messergebnisse nicht belegt werden. Sie wurde deshalb für die Modellierung mit geschätzten Parameterabweichungen auf der Basis der Mittelwerte aus dem OKL, d.h. der Schicht von 8–25 m u. GOK beschrieben, wobei die Abweichungen innerhalb der Messwertstreuung liegen.

Die ohnehin mit starken Bestimmungsunsicherheiten belasteten Modellparameter α_l und α_t (**longitudinale und transversale Dispersivität**) wurden für alle Schichten als gleich angesetzt. Aus der ermittelten longitudinalen Dispersivität $\alpha_l = 2,18 \text{ m}$ für einen Skalierungsbereich von ca. 16 m wurde anhand von veröffentlichten Skalenabhängigkeiten von α_l /Rausch, 2002; Balke, Beims, Heers, 2000/ für den Fahnenbereich von ca. 450 m ein α_l von etwa 3 m abgeleitet.

Unter der Annahme, dass die transversale Dispersivität in horizontaler und vertikaler Richtung in erster Näherung gleich ist, kann man aus dem Tracerversuch die Messwerte, soweit aus dem darunter oder darüber liegenden Messhorizont vorliegend, nutzen, um zu Abschätzungen für α_t zu kommen /FhG, 2003/. Diese Abschätzungen ergaben ein α_t von 0,033 m. Dieser Wert entspricht einem Verhältnis $\alpha_t/\alpha_l \approx 0,01$ und liegt damit sehr gut in dem von /Rausch, 2002/ angegebenen Bereich für Felduntersuchungen.

Insgesamt gesehen ergab sich für das Abstromfeld eine mittlere **Abstandsgeschwindigkeit** für das Grundwasser von etwa 0,6 m/d und eine **Hauptfließrichtung** des Grundwassers (Aufgrund von 10 Stichtagsmessungen) nach NW mit einer Schwankung von $\pm 3^\circ$. Diese Grundwasserfließrichtungsschwankungen gehen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Schwankungen des Grundwasserstandes zurück.

3.6 Hydrochemische Charakterisierung des Grundwassers im Untersuchungsgebiet

Für die hydrochemische Kennzeichnung von Grundwässern gibt es zahlreiche Klassifikationsschemata, die sich häufig auf die Angabe der Hauptinhaltsstoffe, auf Ionen-(Äquivalent-)Verhältnisse, z.B. Ionenquotienten, beziehen oder auf graphischen Gliederungen von Drei- oder Vierstoffdiagrammen beruhen. Bei der qualitativen Charakterisierung des Grundwassers im Testfeld wurde das sog. zusammengezogene Vierkomponenten-Diagramm /Furtak, Langguth, 1967/ zugrundegelegt, welches den DVWK-Schriften /DVWK Bd. 125, 1999/ entnommen wurde. In diesem Diagramm erfolgt die Untergliederung nach dem Anteil der Hauptinhaltsstoffe. Dabei ergeben die jeweiligen übergeordneten Typen a bis g die nachfolgende Einteilung:

	Typ:
Erdalkalische Grundwässer:	
überwiegend hydrogencarbonatisch	a
hydrogencarbonatisch-sulfatisch	b
überwiegend sulfatisch	c
Erdalkalische Grundwässer mit höherem Alkaligehalt:	
überwiegend hydrogencarbonatisch	d
überwiegend sulfatisch	e
Alkalische Grundwässer:	
überwiegend (hydrogen-)carbonatisch	f
überwiegend chloridisch	g

Herangezogen wurden die Grundwasseranalysen des TZW von Messstellen des Zustroms und des weiteren Abstroms (zum Vergleich bzw. zur Ermittlung der Beeinflussung durch die Altablagerung wurden auch Messstellen im unmittelbaren Abstrombereich betrachtet), aus denen ausgewählte Hauptinhaltsstoffe der Grundwassercharakterisierung zugrundegelegt wurden.

Insgesamt handelt es sich beim Grundwasser im Bereich des Testfeldes um ein Grundwasser des o.g. Typs „a“, im Zustrom und im weiteren Abstrom (ab Messstellenebene 5, in einer

Entfernung von etwa 170 m vom Rand der Altablagerung) mit einer leichten Tendenz zu Typ „b“; insgesamt also um ein erdalkalisches Grundwasser, das überwiegend hydrogen-carbonatisch ist, mit einer Tendenz zu hydrogencarbonatisch-sulfatisch. Der Anteil der Erdalkalien wird dabei von Calcium (Ca^{2+}) dominiert. Die Größenordnungen der Konzentrationen der wichtigsten Inhaltsstoffe im Zustrom und im weiteren Abstrom (d.h. außerhalb des direkten Einflussbereichs der Altablagerung) sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Betrachtet wurden die Beprobungsergebnisse aus den Untersuchungen des TZW entlang der Hauptabstromachse (Centerline), wobei der Schwerpunkt auf den oberen Grundwasserbereich (ca. 8-25 m Tiefe) gelegt wurde. Da sich in größerer Tiefe (ca. 30–40 m) gelegentlich abweichende Werte ergaben, sind auch diese mit angegeben.

Tab. 3.1: Ionenkonzentrationen in den Wasserproben der Centerline

Parameter	Einheit	Konzentration im Tiefenbereich 8-25 m	Konzentration im Tiefenbereich 25-40 m
Calcium (Ca)	mg/l	115-165	105-140
Magnesium (Mg)	mg/l	10-20	6-18
Natrium (Na)	mg/l	10-25	10-25
Kalium (K)	mg/l	1,5-12	1,5- 12
Chlorid (Cl)	mg/l	21-33	18-19
Sulfat (SO_4)	mg/l	80-210, meist 100-140	30-90, meist ca. 50
Karbonathärte	°dH	14-22	14-22
Nitrat (NO_3)	mg/l	0-23	0

Dieser erdalkalische, überwiegend hydrogencarbonatische Grundwassertyp ist hier im oberen Grundwasserleiter des Oberrheingraben auch so zu erwarten, da hier ein sog. Kalkschotterwasser vorliegt. Dies bedeutet, dass es sich um Wasser aus einem sandig-kiesigen Porengrundwasserleiter handelt, das aus Kalksteingeröllen bzw. kalkhaltigen Sanden durch Lösung einen größeren Anteil an CaCO_3 aufgenommen hat.

Der Sulfatgehalt im Zustrom und im weiteren Abstrom ist im oberen Grundwasserbereich etwas erhöht, während in größerer Tiefe auch im weiteren Abstrombereich wieder der Grundwassertyp „a“ (überwiegend hydrogencarbonatisch) dominiert, aufgrund des mit der Tiefe abnehmenden Sulfatanteils. Erhöhte Sulfatgehalte im oberflächennahen Grundwasser sind hier nördlich von Karlsruhe offenbar auf anthropogene Einflüsse der Landwirtschaft oder von Siedlungen zurückzuführen.

Die ermittelten Werte passen recht gut zu der in der hydrogeologischen Kartierung des Raumes Karlsruhe-Speyer /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ angegebenen Beschaffenheit des oberen Grundwassers im nördlichen Bereich von Karlsruhe. Hier sind in einer hydrochemischen Karte im oberen Grundwasser Sulfatkonzentrationen von ca. 150–200 mg/l angegeben, für tiefere Grundwässer werden geringere Sulfatgehalte von meist unter 50 mg/l genannt.

Im nahen Abstrombereich der Altablagerung macht sich eine deutliche Störung dieser natürlichen Grundwasserbeschaffenheit durch den Einfluss der Altablagerung bemerkbar. Beispielsweise nimmt der Sulfatgehalt im oberen Grundwasserbereich deutlich ab (auf Werte von 30-50 mg/l, teilweise auf unter 20 mg/l) und steigt erst im weiteren Abstrom (ab Messstellenebene 5) wieder auf die Werte im Zustrom an. Dies ist auf die Sulfatreduktion

zurückzuführen, die durch den mikrobiologischen Schadstoffabbau im Einflussbereich der Altablagerung bedingt ist.

Gleichzeitig nimmt die Karbonathärte im nahen Abstrombereich der Altablagerung von etwa 15°-20°dH um etwa das Doppelte (auf ca. 35°-45°dH) zu, um sich im weiteren Abstrom (wiederum ab Messstellenebene 5) wieder an den Wert im Zustrom anzugleichen. Diese festgestellte starke Aufhärtung im Einfluss der Altablagerung ist höchstwahrscheinlich auf im Altablagerungskörper eingelagerte Anteile an mineralischem Bauschutt zurückzuführen. Durch Einträge in das oberflächennahe Grundwasser wird dieses höher mineralisiert. Beispielsweise steigen in den Messstellen E1/3 und E2/8 die Konzentrationen der Erdalkaliionen deutlich an, z.B. von Calcium auf Werte von 200-300 mg/l und von Magnesium auf bis zu über 100 mg/l (jeweils in den beiden obersten Tiefenhorizonten, die nur wenig unter dem Sohlbereich der Altablagerung liegen).

4 Ergebnisse der analytischen Untersuchungen, Schadstoffverteilung im Abstrom

4.1 Untersuchung der Bodenproben

Bei den Bohrungen in den Jahren 2000/2001 und bei den ergänzenden Tiefenbohrungen im Jahr 2002/2003 wurden durchgehend Bodenproben entnommen, von denen primär die untersucht wurden, die dem Niveau der Grundwasserentnahmehorizonte entsprechen. Da zwischen den Bohrungen und den Grundwasserentnahmen jeweils mehrere Monate lagen, entsprechen die Bodenproben zwar lokal den entsprechenden Grundwasserproben, sind aber zeitlich nicht direkt entsprechend. Unter der Annahme dass die mesoskalige Schadstoffverteilung (im Bereich des gesamten Messfeldes) im Boden und im Grundwasser stationär ist, oder sich nur langsam ändert, entspricht die Schadstoffverteilung im Boden sicher auch der mittleren Schadstoffverteilung im Grundwasser, wobei diese Aussage an den einzelnen Messpunkten durchaus nur eingeschränkt gültig sein kann. Die Messergebnisse der Bodenproben des Abstrombereichs und des Umströmungsbereichs sind in der Anlage 2.1 tabelliert. Das sind insbesondere die Messstellen Z2 und Z6 sowie T23 und T24, die den Teerölphasenkörper mehr oder weniger durchteufen. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen an den Bohrpunkten T23-T26 sind in Anlage 2.4 tabelliert. Bei den Messstellen E1/3 werden die Ebenen b und c, bei E1/4 die Ebene b und bei E1/7 die Ebenen a und c dem Randbereich des Teerölphasenkörpers zugeordnet, da bei diesen Teile des Bodenkörpers noch mehr oder weniger ausgeprägt, schwarze, klebrige Teeröleinlagerungen aufweisen. Bei diesen Messpunkten ergaben sich durchweg hohe PAK-Belastungen.

Wie aus der Anlage 2.4 hervorgeht, reicht das kontaminierte Bodenmaterial unter der Ablagerung bis zur Sohle des Grundwasserleiters in 40 m Tiefe, wenngleich die Bodenkontamination im tieferen Bereich unter der Ablagerung gering ist (keine Prüfwertüberschreitungen).

Für den eigentlichen Abstrombereich stellt die Messstellenebene 1 mit den Messstellen E1/3, E1/4, E1/5 und E1/7 den Grenzbereich zwischen dem Emissionsherd und der Abstromfahne dar. Diese Ebene wird auch in der Modellierung als die Modelleingangsebene betrachtet. Im Abstrombereich selbst überrascht die geringe Reichweite, innerhalb der noch Bodenkontaminationen nachgewiesen werden konnten. Im wesentlichen ist das Ende des Ausbreitungsbereiches mit der Messstellenebene 2 (ca. 15 m Abstand von der Ebene 1) erreicht. Lediglich in der Centerline konnten in der Ebene 3 (ca. 35 m Entfernung von der Ebene 1) noch geringe Bodenkontaminationen im Bereich der Nachweisgrenze festgestellt werden. Die Nachweisgrenze für PAK im Boden liegt bei 0,02 mg/kg und ist damit um ca. drei Größenordnungen über der Nachweisgrenze für PAK im Wasser.

Aufgrund der in der Abstromfahne nachgewiesenen BTEX-Kontamination wurden die Bodenproben aus den Bohrungen für die Messstellen T23-T26 zu einem erheblichen Teil zusätzlich auch auf BTEX untersucht. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der Anlage 2.4 enthalten und ergeben im wesentlichen das gleiche Bild wie die PAK, was die Schadstoffverteilung im Boden unterhalb der Altlast und im nahen Abstrom anbelangt.

4.2 Ergebnisse der Grundwasserbeprobung

Die drei Beprobungskampagnen der G.M.F. im Jahr 2001 erfolgten im Zeitraum vom 17.01.2001 bis zum 14.02.2001 (Winterbeprobung), im Zeitraum vom 25.06.2001 bis zum 05.07.2001 (Sommerbeprobung) und im Zeitraum vom 22.10.2001 bis zum 07.11.2001 (Herbstbeprobung). Hinzu kam nach Fertigstellung der ergänzenden Tiefenmessstellen eine Teilbeprobung im Sommer 2003 im Zeitraum vom 02.06.2003 bis zum 16.06.03 (4. Beprobung), bei der im wesentlichen die Messstellen der Centerline und Messstellen am linken und rechten Rand des Messfeldes beprobt wurden. Die Ergebnisse sind in der Anlage 2.2 tabelliert. Die Tabellen enthalten für PAK jeweils den Mittelwert aus den Doppelbestimmungen (an den zeitlich nacheinander entnommenen Proben) und für BTEX die Einzelergebnisse.

Bei der Grundwasserbeprobung wurden nicht nur die Proben zur standardisierten Routineanalytik, sondern auch Proben für die mikrobiologischen Untersuchungen des TZW und für die Sorptionsuntersuchungen bei VEGAS entnommen. Im Rahmen dieser Untersuchungen beim TZW und bei VEGAS wurden zum Teil auch die Konzentrationen für PAK und BTEX in diesen Proben ermittelt, so dass die Ergebnisse der Routineuntersuchungen insbesondere im Bereich der Nachweisgrenze durch Ergebnisse des TZW und von VEGAS ergänzt werden konnten, da hier durch modifizierte Nachweisverfahren in Teilbereichen des Messbereichs eine größere Ergebnissicherheit erzielt werden konnte.

Die Messwerttabellen sind einer kritischen Sichtung im Konsortium unterzogen und an den Stellen ergänzt bzw. korrigiert worden, an denen eine Plausibilitätsbetrachtung anhand von Messergebnissen unterschiedlicher Herkunft möglich war. Die Herkunft der Ergebnisse ist in den Tabellen dokumentiert. Dabei sind die Messwerte wie folgt gekennzeichnet:

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse in Anlage 2.2 auch recht gut den organoleptischen Befund. In der im Zustrom gelegenen Messstelle E0/1 war das Wasser klar, farblos und geruchlos. In den Messstellen unmittelbar im Abstrom der Altablagerung (Ebenen 1 und 2) war meist ein deutlicher, zuweilen sogar starker bis stechender PAK-Geruch und im Nahbereich ein leichter H₂S-Geruch festzustellen, wobei der PAK-Geruch meist in den drei oberen Tiefenstufen, der H₂S-Geruch in den unteren Tiefenstufen auftrat. In den Messstellen der Ebenen 3, 4, 5 und 6 setzte sich dieses Bild mit Abschwächung (meist nur noch leichter Geruch, nur in Ausnahmefällen deutlicher Geruch, überwiegend in der zweitobersten Tiefenstufe b) fort.

In der im Zustrom gelegenen Messstelle E0/1 konnte in der Winter- und in der Sommerbeprobung eine geringe PAK-Belastung des Grundwassers festgestellt werden, die zumindest den Prüfwert nach BBodSchV geringfügig überschreitet. Die höchsten Werte

wurden im tieferen Grundwasserbereich festgestellt. Der Verdacht auf einen weiter entfernt liegenden PAK-Eintrag im Oberstrom sowie auf einen Abbau der von diesem Eintrag ausgehenden Kontaminationsfahne durch Sauerstoff bzw. Nitratreintrag in den oberen Grundwasserbereichen (Hinweise in dieser Richtung hatten sich bereits im Rahmen der näheren Erkundung (E_{2,3}) bei der Beprobung von P2 (siehe Abb. 2.4 und Abb. 2.4a) im Jahre 1997 ergeben) wurde somit bekräftigt /G.M.F., 1997/.

Anzumerken ist an dieser Stelle noch, dass z.T. hohe PAK-Konzentrationen auch in Messstellen festgestellt werden konnten, bei denen die Bodenproben keine über der Nachweisgrenze liegende PAK-Belastungen aufwiesen (in erster Linie die Messstellen der Ebenen 4, 5 und 6, s. auch Anlage 2.1 und 2.2).

Tab. 4.1: Geschätzte (lineare Abschätzung) der Reichweiten der PAK-Fahnen

	Prüf-/Grenzwerte [µg/l]	Fahnenrandwert [µg/l]	Nachweisgrenze [µg/l]	Reichweite Fahnenrand [m]
Acenaphthylen		0,2	0,01	305
Acenaphthen		0,2	0,01	440
Fluoren		0,2	0,01	310
Phenanthren		0,2	0,01	250
Anthracen		0,2	0,01	235
Fluoranthren		0,2	0,01	240
Pyren		0,2	0,01	220
Benzo(a)anthracen		0,02	0,01	195
Chrysen		0,02	0,01	165
Benzo(b,k)fluoranthren		0,02	0,01	35
Benzo(a)pyren		0,02	0,01	< 15
Indeno(1,2,3,c,d)perylen		0,02	0,01	< 15
Dibenzo(a,h)anthracen		0,02	0,01	< 15
Benzo(g,h,i)perylen		0,02	0,01	< 15
Summe PAK ohne Naphthalin	0,2	0,2	0,01	440
Naphthalin	2,0	0,2	0,01	255
Benzol	1,0	1,0	1,0	430
Toluol		1,0	1,0	165
Ethylbenzol		1,0	1,0	255
m+p+o-Xylol		1,0	1,0	240
Summe BTEX	20,0	1,0	1,0	430

Tab. 4.2: Abstände der Messstellenebenen

Abstände der Messebenen von E1	
E1 → E2	15,05 m
E1 → E3	34,10 m
E1 → E4	104,50 m
E1 → E5	163,65 m
E1 → E6	255,30 m
E1 → E7	444,75 m

Definiert man einen Fahnenrand im Grundwasser entsprechend der Tabelle 4.1, so ergeben sich aus den Messwerttabellen (Anlage 2.2) für die einzelnen Komponenten die ebenfalls in Tabelle 4.1. aufgeführten Reichweiten, angegeben als Reichweite entlang der Centerline im Abstand von der Ebene 1. Dabei muss insgesamt berücksichtigt werden, dass sich die Reichweiten für die einzelnen Komponenten aus der Emissionsstärke und aus der Abbaubarkeit der Komponente ergeben.

Die Wahl des Fahnenrandes hat sich bei den Komponenten, für die Grenzwerte oder Prüfwerte vorgegeben sind, an diesen Werten orientiert. Bei den PAK erreicht dieser Fahnenrand für Acenaphthen den größten Abstand von der Eingangsebene, gefolgt von Acenaphthylen und Fluoren. Die Wahl des Fahnenrandes von $0,2 \mu\text{g/l}$ ist der Prüfwert für Summe PAK ohne Naphthalin und insofern für die Einzelkomponenten etwas willkürlich. Nimmt man anstelle des Fahnenrandes von $0,2 \mu\text{g/l}$ die Nachweisgrenze für die einzelnen Komponenten, so erreicht Fluoranthen, gefolgt von Pyren und Phenanthren den größten Abstand von der Eingangsebene. Diese drei Komponenten weisen entlang der Centerline einen deutlich kleineren Konzentrationsgradienten auf als Acenaphthen, Acenaphthylen und Fluoren. Insgesamt muss berücksichtigt werden, dass die niedermolekularen PAK im Mittel mit einer höheren Wasserlöslichkeit eine höhere Eingangsquellstärke aufweisen, d.h. mit höheren Eingangskonzentrationen in die Ausbreitungsfahnen emittiert werden, als die höhermolekularen PAK (s. Tabelle 4.3). Auf der anderen Seite nimmt die biologische Abbaubarkeit der PAK im Mittel mit ihrer Wasserlöslichkeit zu und mit der Ringzahl ab. Es ist daher zu erwarten, dass die Dreiring-PAK und einige Vierring-PAK die größten Reichweiten erreichen. Für die höhermolekularen PAK, also im wesentlichen die Fünf- und Sechsring-PAK wird die Reichweite der Fahne durch die geringe Wasserlöslichkeit begrenzt. Im Messfeld ist die Nachweisbarkeit dieser Komponenten auf den Nahbereich, d.h. maximal bis zur Messebene 3 begrenzt, wobei diese Ebene 3 auch nur von Benzo(b,k)fluoranthen erreicht wird. Die Fünf- und Sechsring-PAK dürften daher bei den Überlegungen zur Stationarität von Ausbreitungsfahnen im Grundwasser insofern eine untergeordnete Rolle spielen, als sich für diese Komponenten mit der heutigen Messtechnik nachweisbare Ausbreitungsfahnen wohl kaum ausbilden.

Bei den BTEX hat die Benzolfahne die größte Reichweite, gefolgt von Ethylbenzol. Die Toluolfahne hat die geringste Reichweite. Dabei muss berücksichtigt werden, dass für Benzol die Konzentration beim Eintritt in den Fahnenbereich die bei weitem höchste ist, gefolgt von Toluol. Die Eintrittskonzentration von Toluol ist dabei um fast eine Größenordnung kleiner als bei Benzol. Dies deutet insgesamt darauf hin, dass zwar Unterschiede in der Abbaubarkeit der einzelnen BTEX-Komponenten bestehen, dass aber die Abbaubarkeit für alle vier Komponenten in etwa der gleichen Größenordnung liegt.

In der Abb. 4.1 sind als Beispiele die aus den Messwerten abgeleiteten Draufsichten auf die Fahnen von Acenaphthen und Benzol als den am weitesten ausgedehnten Fahnen dargestellt. Dabei sind bedingt durch die Messstellenverteilung die Fahnenbreiten im weiteren Abstrom, also jenseits der Messstellenebene 4 nur grob geschätzt. Dennoch fällt in den Darstellungen auf, dass die Fahnen nicht symmetrisch zur Centerline sind und mit einer größeren Ausdehnung nach N-NE. Diese Asymmetrie ist besonders ausgeprägt im unmittelbaren Abstrom des Teerölphasenkörpers, d.h. in der Messstellenebene 1 und resultiert mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Umströmungseffekten um den Teerölphasenkörper.

Tab. 4.3: Löslichkeit und spezifische Gewichte der PAK /LfU, 1997/

Stoff	Löslichkeit in Wasser (mg/l)	Bei Temperatur (° C)	Ringe	Spezifisches Gewicht (g/cm ³)	Bei Temperatur (° C)
PAK					
Naphthalin	32	25	2	1,1789 / 20°C	20
Acenahthylen	3,93	25	3	0,899	-
Acenaphthen	3,8	25	3	1,07	-
Fluoren	1,9	25	3	1,20	-
Phenanthren			3		-
Anthracen	1,29	25	3	1,24 / 20°C	20
Fluoranthren	0,22	25	4	1,18 / 20°C	20
Pyren			4	-	-
Benzo(a)anthracen	0,044	24	4	1,274 / 20°C	20
Chrysen	0,006	25	4	1,274 / 20°C	20
Benzo(b)fluoranthren	0,0012	25	5	-	-
Benzo(k)fluoranthren	0,0122	-	5	-	-
Benzo(a)pyren (BaP)	0,0045	15-30	5	1,351 / 20°C	20
Dibenz(a,h)anthracen	0,0025E-6	-	5	-	-
Indeno(1,2,3,c,d)	0,062	-	6	-	-
Benzo(g,h,i)perylen	0,3E-6	20	6	-	-

- = keine Angaben

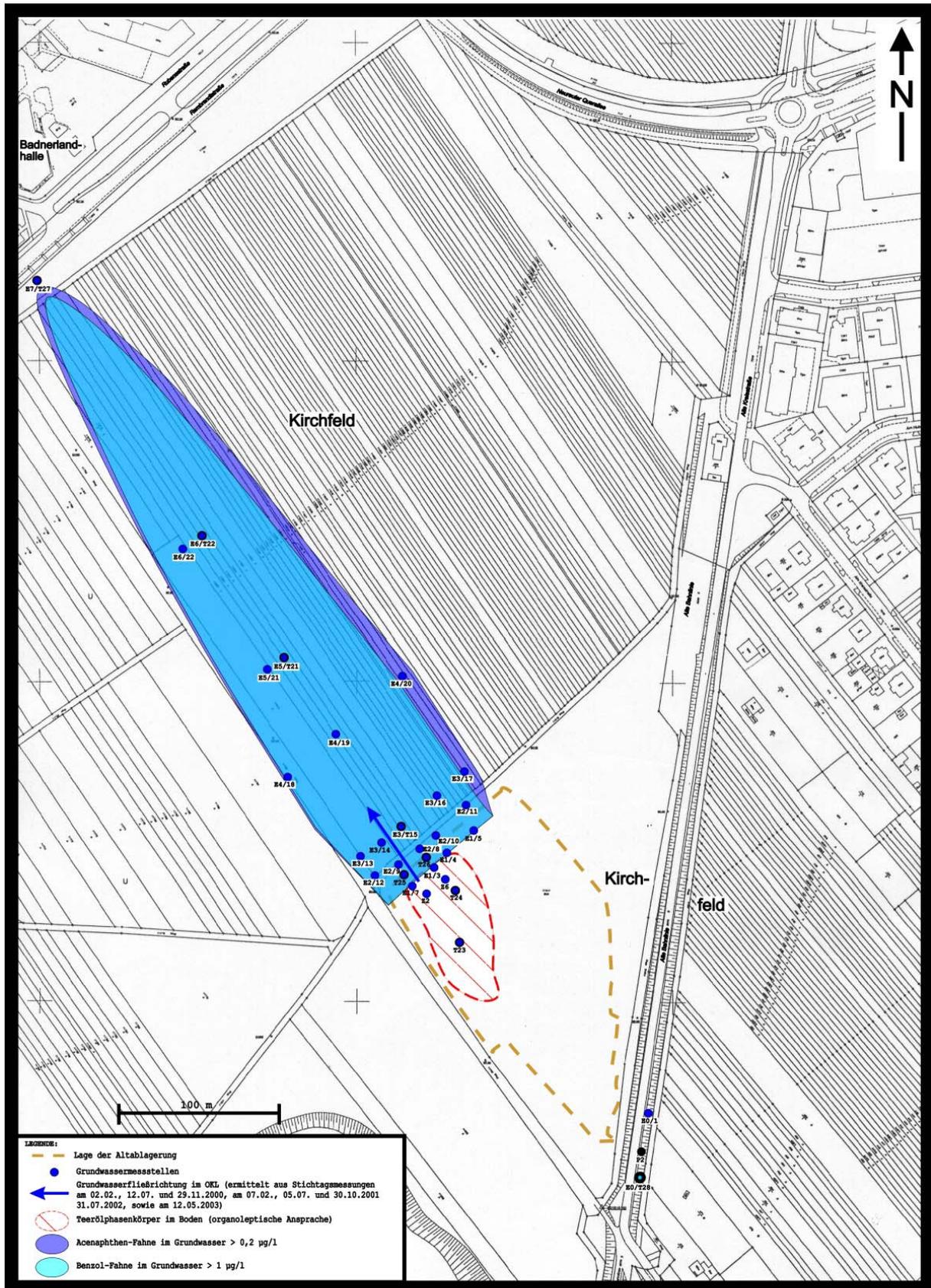


Abb. 4.1 : Acenaphthen und Benzol-Fahne (geschätzte horizontale Ausdehnungen)

4.3 Messwertstreuung, Ergebnisunsicherheit

Bei den vier Beprobungskampagnen wurden für die Grundwasserproben im wesentlichen die gleiche Probenahmetechnik eingesetzt. Bei jeder Beprobungskampagne wurden pro Messpunkt zwei getrennte Wasserproben für die Doppelbestimmung bei der PAK-Analytik zeitlich direkt nacheinander aus den Messstellen entnommen. Für die BTEX-Analytik wurde aus Aufwandsgründen nur jeweils eine Probe pro Messpunkt und Beprobungskampagne untersucht. Die Ergebnisse sind in Anlage 2.2 zusammengestellt, wobei für PAK die Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen aufgeführt sind.

Insgesamt fallen die relativ großen Unterschiede zwischen den Messergebnissen der einzelnen Beprobungskampagnen an den jeweils gleichen Messpunkten auf. Über den Betrachtungszeitraum hinweg liegt also eine nicht unerhebliche Streuung der Einzelergebnisse um den Mittelwert aus allen vier Beprobungskampagnen und damit eine entsprechende Ergebnisunsicherheit vor. Diese Ergebnisstreuung, quantifiziert über die Standardabweichung, bestimmt jeweils aus den drei bzw. vier Einzelergebnissen, kann sich dabei aus einer Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse zusammensetzen. Es stellt sich die Frage nach den Hauptursachen dieser Messergebnisstreuung.

Grundsätzlich setzt sich die Messergebnisstreuung aus der **messverfahrensbedingten Streuung** der Ergebnisse und aus der **Phänomenstreuung**, also aus Schwankungen des Messobjektes während des Betrachtungszeitraums zusammen /VDI 2449, 1987; DIN ISO 6879, 1996; DIN1319, 1983; GUM, 1995; DIN EN ISO 14956, 2003; DIN ISO 11222, 2001/. Der Betrachtungszeitraum reicht von der Winterbeprobung 2001 bis zur Beprobung im Sommer 2003, wobei das Jahr 2002 nur durch vereinzelte Kontrollbeprobungen an wenigen Messpunkten belegt ist, deren Ergebnisse im Streubereich der vier Beprobungskampagnen lagen.

Zur **messverfahrensbedingten Streuung** der Ergebnisse tragen neben Trivialfehlern (die zwar nie vollständig auszuschließen sind, aber durch Mehrfachmessungen und Plausibilitätsbetrachtungen erkannt und beseitigt werden können und wurden) vor allem Fehler und Unzulänglichkeiten bei der Probenahme, bei Transport, Lagerung und Aufbereitung der Probe sowie bei der analytischen Untersuchung bei. Dabei können Streuungen bei der Analytik weitgehend vernachlässigt werden, da die Unterschiede bei den Ergebnissen der Doppelbestimmungen verglichen mit den anderen Einflüssen sehr klein waren. Bei der messverfahrensbedingten Streuung dürften die Haupteinflüsse aus der Probenahme stammen. Bei der Probenahme werden die unterschiedlichen Tiefenbereiche mit jeweils einer eigenen Filterstrecke angesprochen, über die Wasser aus dem Tiefenbereich abgepumpt wird. Theoretisch wird unterstellt, dass das Wasser aus der jeweiligen Filterstrecke stammt. In der Praxis sind die Tiefenbereiche nicht ideal getrennt, so dass sich die Einzugsbereiche bei der Probenahme von Entnahme zu Entnahme etwas verändern können. Dieser Effekt führt besonders dann zu erheblichen Einflüssen beim Messergebnis, wenn die Entnahme in Zonen mit starken Konzentrationsgradienten, also im Nahbereich der Altablagerung, erfolgt.

Eine weitere Quelle für Messfehler dürfte darin liegen, dass einige Proben aus E1/3, E1/4 und E1/7 teilweise noch Reste der Teerölphase (als Partikel oder aufschwimmende Schlieren) enthielten, was zu Aufbereitungsproblemen und zu Memory-Effekten in den Apparaturen führen kann. Dazu kommt, dass im Bereich der hohen Konzentrationen die Proben entweder verdünnt werden mussten oder zu HPLC als Messverfahren gewechselt werden musste. Es ist

davon auszugehen, dass die messverfahrensbedingten Fehler aus den genannten Gründen im Bereich hoher Konzentrationen stärker ins Gewicht fallen als in Bereichen mit niedrigeren Konzentrationen.

Jahreszeitliche Schwankungen der Emissionsintensität, der Abbaurate und des Grundwasserstandes waren als Ursache für **Phänomenstreuung** bei den gemessenen Konzentrationen vermutet worden. Das Konsortium hatte sich daher entschieden, mindestens drei Beprobungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchzuführen, um die Schwankungsbreiten abschätzen zu können. Diese jahreszeitlichen Schwankungen gehen zum einen auf jahreszeitlich schwankende Grundwasserstände und auf Schwankungen der Grundwasserfließrichtung innerhalb des in Kapitel 3.3 diskutierten Schwankungsbereichs und zum anderen auf kleinräumige Inhomogenitäten der Bodenmatrix zurück, was in der Folge dann auch zu erheblichen Schwankungen der mikrobiologischen Verhältnisse und der Sorptionsgleichgewichte führen kann.

Ohne weitergehende Untersuchungen, die im Vorhaben nicht vorgesehen waren, können Phänomenstreuung und Messverfahrensunsicherheit nicht getrennt quantifiziert werden. Auch sind die einzelnen Messwertkollektive mit jeweils drei bzw. vier Werten zu gering, um statistisch gesicherte Aussagen machen zu können. Trotzdem wird hier, aus Plausibilitätsbetrachtungen abgeleitet, unterstellt, dass zumindest im überwiegenden Teil des Fahnenkörpers die Phänomenstreuung der dominierende Beitrag zur Ergebnisstreuung und damit zur Ergebnisunsicherheit ist. Die relativ großen Streubreiten finden sich sowohl bei der Bestimmung der hydrogeologischen Parameter und bei den gemessenen Konzentrationswerten als auch bei den Ergebnissen der mikrobiologischen Untersuchungen, so dass Probennahmefehler als Ursache der Ergebnisstreuung weniger wahrscheinlich sind als die Phänomenstreuung.

Sowohl aus der täglichen Praxis als auch aus der Literatur sind zum Teil erhebliche Ergebnisstreuerungen bei Feldmessungen bekannt. Sie wurden in der Regel den Unzulänglichkeiten der eingesetzten Messverfahren oder der messenden Institution zugeschrieben. Die in diesem Vorhaben durchgeführten und im Verhältnis zu üblichen Erkundungen sehr umfangreichen Messungen belegen jedoch, dass zeitliche und kleinräumige Phänomenstreuerungen der dominierende Anteil bei der Ergebnisstreuung sind und dass man bei der Messplanung für eine Erkundung diese Phänomenstreuung nicht außer Acht lassen darf, was insgesamt den messtechnischen Aufwand im Rahmen der Erkundung erhöht.

Für Langzeitbetrachtungen der Stationarität der Ausbreitungsfahne sind die Ergebnisstreuerungen jedoch insgesamt eher von untergeordneter Bedeutung. Zur Modellierung und Stationaritätsbetrachtung muss ohnehin auf räumlichen und zeitlichen Mittelwerten aufgesetzt werden, da die lokalen und kurzzeitigen Einzelphänomene nicht mit vernünftigem Aufwand modelliert werden können. Bei großer Streuerung der Ergebnisse können diese Mittelwerte nicht durch Werte aus einzelnen Messungen ersetzt werden. Da der vorliegende Aquifer als insgesamt „relativ homogen“ bezeichnet werden kann und trotzdem eine erhebliche Ergebnisstreuung aufweist, ergibt sich daraus, dass sich im Normalfall aufgrund der Phänomenstreuung ein beträchtlicher Mindestaufwand bei der messtechnischen Erkundung ergibt, der nicht nur die Konzentrationsmessungen sondern auch die Messungen zur Ermittlung der hydrogeologischen Parameter, der Sorptionsgleichgewichte und der mikrobiologischen Parameter betrifft.

Auch wenn die jahreszeitlichen Schwankungen an den einzelnen Messpunkten erheblich sein können, ergibt dies für die räumliche Ausdehnung der Schadstofffahne nur vergleichsweise geringe Schwankungen. Wegen der Interpolations- und Extrapolationsunsicherheiten bei der Bestimmung der Fahnenränder kann die räumliche Ausdehnung der jeweiligen Ausbreitungsfahne ohnehin nur abgeschätzt werden. Die in den Messwerttabellen (Anlage 2.2) dokumentierten jahreszeitlichen Schwankungen der Konzentrationswerte an den einzelnen Messpunkten führen zu einem "Atmen" der Fahne in der horizontalen und vertikalen Ausdehnung. Aus den Messwerten kann abgeschätzt werden, dass diese jahreszeitlichen Schwankungen bei etwa 10-15 % oder weniger der horizontalen Ausdehnung (in der Breite und in der Länge) der jeweiligen Schadstofffahne liegen, und für Stationaritätsbetrachtungen beim derzeitigen Kenntnisstand im Bereich der Modellunsicherheiten liegen und somit wenig relevant sind. Diese Aussage gilt nicht nur für die einzelnen PAK, sondern auch für BTEX.

5 Sorption

5.1 Allgemeine Ansätze

Generell liegen Schadstoffe in der wassergesättigten Zone des Untergrunds nach dem Erreichen eines stationären Gleichgewichts sowohl am Bodenkorn adsorbiert als auch im Wasser gelöst vor. Das Gleichgewicht zwischen dem im Wasser gelösten und dem am Feststoff adsorbierten Anteil des Schadstoffs im Untergrund ist ebenso wie die Einstellzeit für dieses Gleichgewicht vom Schadstoff und von der Bodenmatrix abhängig. Dieses Gleichgewicht, häufig kurz als Sorption oder Sorptionsgleichgewicht bezeichnet, wird in der Regel über den K_D -Wert beschrieben. Der K_D -Wert gibt als Verteilungskoeffizient das Verhältnis der am Bodenkorn vorliegenden Schadstoffkonzentration (c_b) zu der im Wasser gelösten Schadstoffkonzentration (c_w) an /Wiedemeier et al., 1999/. Es gilt :

$$K_D = \frac{c_b}{c_w} \quad (\text{Gl. 5.1})$$

Der K_D -Wert ist unter anderem von der Temperatur abhängig. Da man im Grundwasser in der Regel gleichbleibende und nur wenig schwankende Temperaturen hat, werden die Abhängigkeiten des K_D -Wertes durch Isothermen beschrieben, deren Ansätze von den physikalischen Phänomenen der Sorption abgeleitet werden. Die einfachste theoretische Herleitung einer Isotherme beruht auf folgenden Annahmen /Atkins, 1996/:

1. Die Adsorption führt höchstens zu einer Monolage adsorbierter Moleküle
2. Die Oberfläche ist einheitlich (d.h. auf molekularem Maßstab ideal glatt) und alle Bindungsstellen sind gleichwertig
3. Die Fähigkeit eines Moleküls, an eine bestimmte Bindungsstelle zu binden, hängt nicht von der Besetzung benachbarter Bindungsstellen ab.

Das dynamische Gleichgewicht wird unter diesen Annahmen durch die Geschwindigkeitskonstanten k_{Ad} für die Adsorption und k_{De} für die Desorption bestimmt. Die Änderung des Bedeckungsgrades der Oberfläche durch Adsorption ist proportional zum Partialdruck p der entsprechenden Substanz A und zur Zahl $N(1-\Theta)$ (Θ = Bedeckungsgrad, d.h. das Verhältnis der besetzten zu den vorhandenen Adsorptionsstellen) der freien Bindungsstellen an Sorptionsmaterial M. Dabei ist N die Gesamtzahl der Bindungsstellen. Es gilt :

$$\frac{d\Theta}{dt} = k_{Ad} * p * N(1 - \Theta) \quad (\text{Gl. 5.2})$$

Die Änderung des Bedeckungsgrades durch Desorption ist proportional zur Zahl der adsorbierten Teilchen, $N\Theta$:

$$\frac{d\Theta}{dt} = k_{De} * N * \Theta \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Im Gleichgewicht ändert sich der Bedeckungsgrad nicht mehr, und durch Auflösen der Gleichungen (Gl. 5.2 und Gl. 5.3) nach Θ erhält man die Langmuir-Isotherme:

$$\Theta = \frac{p * \frac{k_{Ad}}{k_{De}}}{1 + p * \frac{k_{Ad}}{k_{De}}} \quad (\text{Gl. 5.4})$$

Im vorliegenden Fall kann in erster Näherung mit $c_b = m * \Theta$ die Langmuir-Isotherme wie folgt formuliert werden:

$$c_b = f(c_w) = m \frac{Kc_w}{1 + Kc_w} \rightarrow K_D = \frac{c_b}{c_w} = f^*(c_w) = \frac{mK}{1 + Kc_w} = \frac{m}{\frac{1}{K} + c_w} = \frac{k_1}{1 + k_2c_w} \quad (\text{Gl. 5.5})$$

mit den beiden im Einzelfall zu ermittelnden standortabhängigen Parametern k_1 und k_2 . Als Sonderfälle ergeben sich:

$$\begin{aligned} k_2 * c_w \ll 1 &\rightarrow c_b = k_1 * c_w \text{ (Henry-Sorption)} \\ k_2 * c_w \gg 1 &\rightarrow c_b = k_1/k_2 = \text{konstant (Sättigungszustand)} \end{aligned}$$

Die Langmuir-Sorption beschreibt im wesentlichen das sich schnell einstellende Gleichgewicht aufgrund von Oberflächensorption. Abweichungen experimentell ermittelter Sorptionsisothermen von der Langmuir-Isotherme rühren in der Regel daher, dass die eingangs genannten, vereinfachenden Voraussetzungen nicht erfüllt sind. Man kann dann auf die Temkin- oder Freundlich-Isotherme ausweichen, die durch einen logarithmischen bzw. exponentiellen Verlauf gekennzeichnet sind /Atkins, 1996/. Mit experimentell bestimmten Parametern können die verschiedenen Isothermen die experimentellen Ergebnisse über beschränkte Bereiche mehr oder weniger gut beschreiben.

Experimentell bestimmt werden kann die Funktion des K_D -Wertes bzw. die entsprechende Isotherme aus Wertepaaren c_b und c_w von Messpunkten in der Abstromfahne. Wegen der in Kapitel 4.3 beschriebenen Streuung benötigt man für gesicherte Ergebnisse eine genügend große Zahl von Messwerten, da die Streuung des K_D -Wert sowohl die Streuung von c_b als auch die von c_w enthält.

Die Erfahrung zeigt, dass das Sorptionsverhalten der Bodenmatrix in hohem Masse vom Kohlenstoffgehalt des Bodens abhängig ist /Karickhoff et al., 1979/. Stehen nicht genügend Wertepaare c_b und c_w zur Verfügung so kann der K_D -Wert über den Kohlenstoffgehalt des Bodens und über den Verteilungskoeffizienten K_{OC} abgeschätzt werden, wenn dieser bekannt ist. K_{OC} ist der Verteilungskoeffizient zwischen dem im Wasser gelösten Schadstoffanteil und dem am organischen Kohlenstoff sorbierten Schadstoffanteil. Er ist definiert über das Verhältnis der Fugazitäten des Schadstoffs im Wasser ϕ^w und der Fugazität des am organischen Aquifermaterials gebundenen Schadstoffs ϕ^{oc} /Karickhoff, 1981/:

$$K_{OC} = \frac{\phi^w}{\phi^{oc}} \quad (\text{Gl. 5.6})$$

Häufig wird ersatzweise anstelle des schwer zu ermittelnden K_{OC} -Wertes näherungsweise der im Labor bestimmte K_{OW} -Wert verwendet. Der K_{OW} -Wert ist der Verteilungskoeffizient des jeweiligen Schadstoffes zwischen Oktanol und Wasser. Er ist ein Maß für die Polarität einer Verbindung, d.h. je höher der Wert ist, desto unpolarer bzw. lipophiler ist eine Substanz, und um so höher ist auch ihre Tendenz, die polare Wasserphase zu verlassen und an den organischen Bestandteilen des Aquifermaterials zu adsorbieren /Schäfer, 1999/. Um diesen im Labor bestimmten Verteilungskoeffizienten K_{OW} in einen Verteilungskoeffizienten zwischen natürlichem organische Aquifermaterial und Wasser K_{OC} umzurechnen, wurden von verschiedenen Autoren, z.B. Karickhoff /Karickhoff, 1981/ Korrelationsfaktoren ermittelt. Der Proportionalitätsfaktor ist das Verhältnis der Fugazität der gelösten Substanz in Oktanol (gesättigt mit Wasser) (ϕ^O) und der Fugazität der am natürlichen organischen Aquifermaterial gebundenen Substanz (ϕ^{OC}) /Karickhoff, 1981/.

$$K_{OC} = \frac{\phi^O}{\phi^{OC}} * K_{OW} \quad (\text{Gl. 5.7})$$

Als empirische, stoffunabhängige Näherung ergibt sich laut Karickhoff /Karickhoff, 1981/:

$$K_{OC} = 0,411 * K_{OW} \quad (\text{Gl. 5.8})$$

Der Zusammenhang zwischen K_D und K_{OC} ist näherungsweise über den f_{OC} gegeben. Der f_{OC} -Wert ist ein Maß für den Gehalt des Bodens mit organischem Kohlenstoff. Es gilt /Wiedemeier et al., 1999/ :

$$K_D \propto f_{OC} * K_{OC} \quad (\text{Gl. 5.9})$$

Aufgrund der in der Literatur für typische Bodenarten angegebene Werte für f_{OC} und K_{OC} bzw. K_{OW} /Wiedemeier et al., 1999; Karickhoff, 1981/ kann man zu ersten Schätzungen des K_D -Wertes kommen, auch wenn keine direkten und statistisch gesicherten Messergebnisse vom Standort vorliegen.

Berücksichtigt man die pro Volumeneinheit vorliegenden Wassermengen und Mengen des Feststoffes so ergibt sich:

$$K_D = \frac{c_b}{c_w} = \frac{K_{oc} * f_{oc} * (1-n) * d_{Boden}}{n} \quad (\text{Gl. 5.10})$$

n = Porosität (s. Kapitel 4.5, mittlerer Wert am Standort $\approx 0,32$)

d_{Boden} = Mittlere Dichte des Bodens, erdfeucht (mittlerer Wert am Standort $\approx 2,5$ kg/l)

Ist die K_D -Wert-Funktion (Isotherme) für den jeweils interessierenden Schadstoff bekannt, kann aus der Schadstoffverteilung im Grundwasser auf die Schadstoffverteilung im Boden geschlossen werden und damit die im Fahnenvolumen insgesamt vorliegende Schadstoffmasse berechnet werden. Dazu muss aus dem als Verhältnis der hier gemessenen Konzentrationswerte definiertem K_D -Wert das Verhältnis der Volumenkonzentration c_s/c_w bestimmt werden. In einem Liter wassergesättigtem Boden der Porosität n liegen n Liter

Wasser und $(1-n)$ Liter Bodenmaterial (Festkörper) vor. Am Festkörperanteil dieses Liters wassergesättigten Bodens ist eine Schadstoffmasse von $c_b d_{\text{Boden}}$ gebunden. Damit ergibt sich eine (theoretische) Bodenkonzentration für den porenfreien Festkörper von

$$c_s = \frac{d_{\text{Boden}}}{(1-n)} c_b \quad (\text{Gl. 5.11})$$

$$c_s = \frac{d_{\text{Boden}}}{(1-n)} c_b = \frac{d_{\text{Boden}}}{(1-n)} * \frac{mKc_w}{1+Kc_w} = \frac{k_1}{1+k_2c_w} \quad (\text{Gl. 5.12})$$

Über c_s und $c_w=c_f$ werden in FEFLOW die in der Fahne gespeicherten Massen bestimmt. Die Faktoren k_1 und k_2 sind in Tab. 5.2 in Kapitel 5.3 zusammengestellt. Voraussetzung dafür ist, dass bei den analytischen Bodenuntersuchungen der sorbierte Anteil vollständig erfasst wird. Das wirft die Frage nach der Extraktionseffizienz bzw. nach der Vollständigkeit der Extraktion bei den gängigen Bodenanalytikverfahren auf. Ein Teilthema, das von der Universität Stuttgart (VEGAS) bearbeitet wurde, war deshalb die Bestimmung der Extraktionsausbeuten bei den gängigen, zur Bodenanalytik eingesetzten Verfahren. Es war insbesondere die Frage zu klären, ob ein ins Gewicht fallender Teil des sorbierten Materials stärker, d.h. mit langen Einstellzeiten für das Wasser/Bodenkorn-Gleichgewicht, gebunden vorliegt und mit dem eingesetzten Extraktionsverfahren (DEV-S4, bzw. HLUG-Verfahren) nicht vollständig erfasst werden kann /HLUG, 1998/, /DIN 38414-4, 1984 /.

Anzumerken ist, dass in der Literatur über unterschiedliche Sorptionsmechanismen (Oberflächensorption, Intrapartikelsorption, Chemiesorption, etc.) berichtet wird, die zu sehr unterschiedlichen Einstellzeiten führen können. Im Folgenden werden der Sorption nur reversible Anlagerungen zugerechnet. Irreversible Anlagerungen, die bei der Chemiesorption in der organischen Bodenmatrix entstehen können, werden nicht als Sorption betrachtet. Dieser Prozess der Bildung sogenannter „bound residues“ aufgrund der Einbindung organischer Stoffe in die Humusmatrix wird auch Humifizierung der Schadstoffe genannt. Die eingebundenen Schadstoffe sind dabei mit organischen Lösemitteln nicht aus dem Boden extrahierbar. Eine Freisetzung dieser durch chemische Bindung umgewandelten Schadstoffe ist nach Mahro /Mahro, 2003/ nicht mehr in nennenswertem Umfang möglich. Die Ergebnisse von Markierungsversuchen /Mahro, 2003/ zeigen, dass zumindest für PAK die Humifizierung auch mit einem deutlichen Abbau zu CO_2 verbunden ist. Humifizierung bzw. eine dauerhafte Festlegung (irreversible Sorption) der Schadstoffe wird daher dem Schadstoffabbau zugerechnet. Eine reversible Sorption mit sehr langen Einstellzeiten des Gleichgewichts (Jahrzehnte oder Jahrhunderte) ist jedoch nicht dem Schadstoffabbau zuzurechnen.

5.2 Bestimmung der PAK-Ausbeute unterschiedlicher Extraktionsverfahren

In der Literatur wird berichtet, dass neben der Oberflächenadsorption am Bodenkorn mit Einstellzeiten von Wochen oder weniger zumindest für PAK auch eine Intrapartikelsorption mit langen Einstellzeiten in der Größenordnung von Jahren oder Jahrzehnten in Betracht gezogen werden muss /Schüth, 1994/. Unter Intrapartikelsorption wird eine Sorption verstanden, bei der Schadstoffmoleküle in die inneren Hohlräume (Intrapartikelporen) diffundieren und dort adsorbiert werden /Rügner et al., 1997/. Die in der Fachliteratur publizierten Arbeiten zur Intrapartikelsorption wurden im wesentlichen an bindigem Material

durchgeführt. Für das sandig-kiesige Material im Abstrombereich der „Stürmlinger Sandgrube“ war von den Teilnehmern des Forschungsvorhabens vermutet worden, dass die Intrapartikelsorption eine untergeordnete Rolle spielt bzw. vernachlässigt werden kann. Der Nachweis dafür war aber, dessen ungeachtet, zu führen.

Sorptionsprozesse mit sehr langen Einstellzonen in der wassergesättigten Zone führen dazu, dass bei den gängigen Extraktionsverfahren und Extraktionszeiten (einige Stunden bis Tage) Minderbefunde bei den am Bodenkorn sorbierten PAK auftreten. Eine Verschärfung des Extraktionsprozesses bei der Untersuchung der Bodenproben (z.B. Aufmahlen der Proben, Eintrag von mechanischer Energie, Einsatz stärkerer Lösemittel etc.) würde dann zu höheren Messwerten führen. Bei den Untersuchungen zur Frage der messtechnischen Erfassung sorbierter PAK stand deshalb die Untersuchung der Ausbeute unterschiedlich starker Extraktionsverfahren an den in der „Stürmlinger Sandgrube“ gewonnen Bodenproben im Vordergrund.

Die Untersuchungen zur PAK-Extraktionsausbeute bei unterschiedlichen Extraktionsverfahren wurden von VEGAS /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/ durchgeführt. Dazu wurde eine Extraktionssequenz eingesetzt, bei der das Aquifermaterial mit verschiedenen Extraktionsmitteln zunehmender Elutionsstärke behandelt wird. Mit Hilfe dieser sequentiellen Extraktion sollten dabei Rückschlüsse auf die Bindungsform der PAK am Aquifermaterial möglich werden, d.h. die Anteile der Gesamt-PAK ermittelt werden, die oberflächlich oder tiefer in den Poren und gegebenenfalls mit gängigen Verfahren unzugänglich sorptiv gebunden sind. Der schematische Ablauf der Extraktionssequenz ist in Abb. 5.1 dargestellt.

Die Untersuchungen wurden an mit Teeröl kontaminiertem, sandigem Material aus dem Randbereich des Teerölphasenkörpers durchgeführt.

Die Extraktionssequenz beginnt mit Wasser, als dem polarsten Lösungsmittel. Im Verlauf der Sequenz wird dann das Lösungsmittel zunehmend unpolarer. In Bezug auf die Extraktion mit Wasser wurden zwei Extraktionsverfahren ausgewählt. Zum einen die Wasserextraktion nach DEV-S4, bei der der Boden 24 h einer Wasserextraktion mittels Überkopfschüttler ausgesetzt wird und zum anderen eine neu entwickelte Methode, bei der durch Verwendung eines Amberlitharzes der ständige Entzug der im Wasser gelösten PAK gewährleistet wird. Damit ist dieses modifizierte Extraktionsverfahren im Gegensatz zu der DEV-S4 Methode nicht durch die maximale Löslichkeit der PAK im Wasser limitiert. Zudem müssen bei dem modifizierten Verfahren die Schwebstoffe nicht abgetrennt werden. Im letzten Extraktionsschritt wurde schließlich mit Toluol extrahiert. Toluol weist aufgrund seines aromatischen Ringsystems die höchste Affinität zu den PAK auf und besitzt daher die größte Extraktionsstärke der Lösungsmittel innerhalb dieser Extraktionssequenz.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abb. 5.2 zusammenfassend dargestellt.

Sequentiellen Extraktion zur Charakterisierung der standortspezifischen Sorptionsphänomene

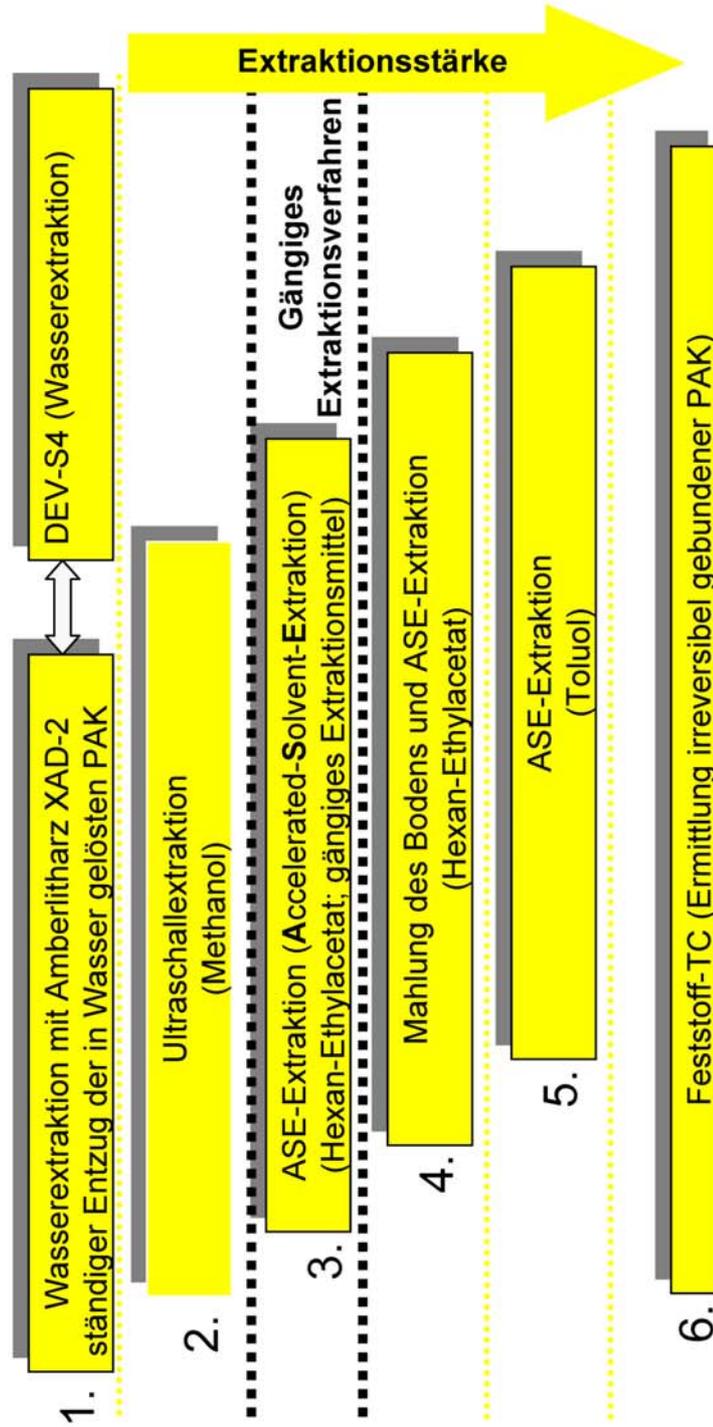


Abb. 5.1 : Von VEGAS verwendete Extraktionssequenz /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/

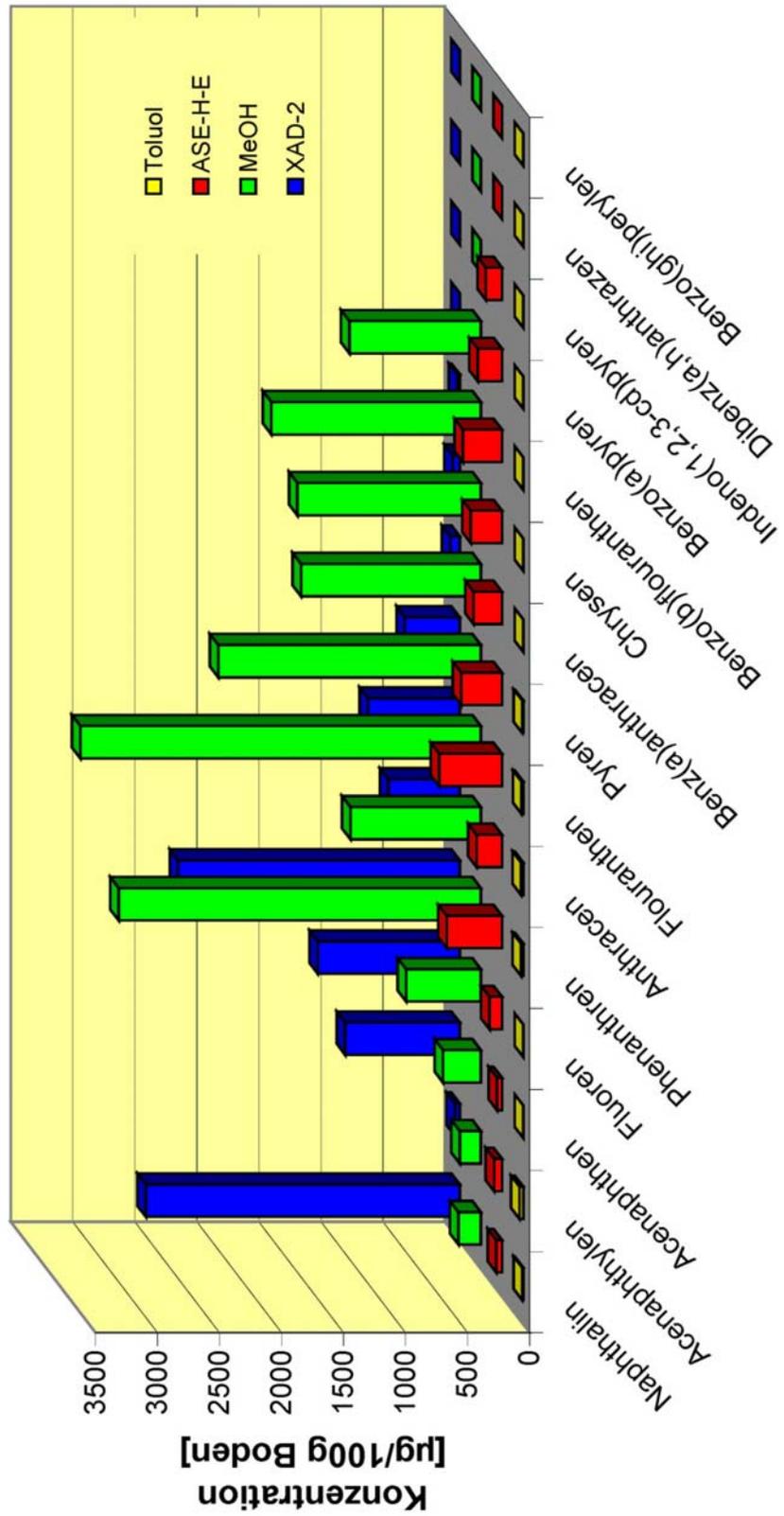


Abb. 5.2 : Vergleich der Extraktionsausbeuten der verschiedenen Extraktionsstufen /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/

Wie aus Abb. 5.2 hervorgeht, sind die PAK trotz des mit Teeröl gealterten, kontaminierten Materials schwächer gebunden als zunächst vermutet wurde. Mit Wasser und Methanol, die sehr polare Lösemittel darstellen, konnten über 90% der an dem Referenzboden sorbierten PAK eluiert werden. Schon im ersten Extraktionsschritt, in dem mit dem Amberlitharz die im Wasser gelösten PAK extrahiert wurden, zeigte sich, dass der überwiegende Teil der PAK mit Wasser zugänglich ist. Limitierend wirkte sich hier lediglich die beschränkte Extraktionsdauer von 7 Tagen aus, da die Extraktionsausbeuten bei diesem Verfahren sehr stark durch die Wasserlöslichkeit der PAK dominiert werden. Im Fall der sich anschließenden Methanolextraktion konnten schließlich die höher anellierte PAK eluiert werden, was im wesentlichen durch deren bessere Löslichkeit in Methanol begründet ist. Eine weitere Verstärkung der Extraktionsbedingungen führte hingegen nicht zu einem Sprung in den Extraktionsausbeuten (siehe Toluolextrakte). Die PAK sind somit, bezogen auf das sandig-kiesige Aquifermaterial, relativ leicht verfügbar /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/. Einen Hinweis auf Intrapartikelsorption mit sehr langen Einstellzeiten oder sonstige starke, reversible Bindung der PAK ergaben die Untersuchungen für diesen Standort nicht. Mit einer Extraktion mit Wasser und Methanol können die PAK in den sandig-kiesigen Bodenproben im Rahmen der Ergebnisunsicherheit (gegeben durch die Ergebnisstreuung) als weitgehend vollständig erfasst betrachtet werden. Es zeigte sich, dass die Verfügbarkeit der PAK im untersuchten Aquifermaterial nur durch die maximale Löslichkeit in den Lösungsmitteln (z.B. Wasser) limitiert sein dürften.

Ergänzend wurden noch Kolloidmessungen durchgeführt. Bei Kolloiden handelt es sich um Nanopartikel, die aufgrund des hohen Verhältnisses von Oberfläche zu Masse eine hohe Sorptionskapazität aufweisen. Die Untersuchungen ergaben, dass die Teilchenzahl im Grundwasser mit $5 \cdot 10^8$ erstaunlich niedrig ausfällt und fast dem eines Leitungswassers entspricht. Desweiteren ist eine signifikante Tiefenabhängigkeit der Teilchenzahl nicht feststellbar. Aufgrund der gleichbleibend niedrigen Teilchenzahl im Grundwasserleiter, wurde der Schluß gezogen, dass die Sorption der Schadstoffe an Kolloiden und der damit verbundene Schadstofftransport im Abstrom der „Stürmlinger Sandgrube“ nicht gesondert betrachtet werden muss /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/.

Die Befunde deuten insgesamt darauf hin, dass die Oberflächenadsorption mit relativ kurzen Einstellzeiten für PAK und BTEX im vorliegenden Aquifermaterial der dominierende Sorptionsprozess ist. Man kann also davon ausgehen, dass die Bestimmung der Sorptionsisothermen aus einer jeweils statistisch ausreichenden Zahl von Wertepaaren c_b und c_w möglich ist und im Rahmen der Ergebnisunsicherheit der Messergebnisse auch zu richtigen Werten führt. Desweiteren kann angenommen werden, dass ein Ansatz mit Langmuir-Isotherme den vorliegenden Sorptionsprozess in guter Näherung beschreibt und dass auch die am Bodenkorn sorbierten PAK biologisch zugänglich und damit für mikrobiologische Abbauprozesse verfügbar sind.

5.3 Bestimmung der Sorptionsisotherme aus Messwerten

Am Standort „Stürmlinger Sandgrube“ ist die Abstromfahne, wie schon erwähnt, mit einem relativ engen Messstellenraster versehen und mit mehr als 100 Messpunkten erfasst. Die Ergebnisse der Boden- und Wasseruntersuchungen sind in den Anlagen 2.1 und 2.2 zusammengestellt, aus denen für die jeweiligen Komponenten die einzelnen Wertepaare c_b und c_w gewonnen werden konnten. Für alle Messpunkte und Komponenten für die Wertepaare c_b und c_w vorlagen wurde $K_D=c_b/c_w$ berechnet und in Anlage 2.3 zusammengestellt. Dabei wurden folgende Ansätze und Einschränkungen getroffen:

1. Die Messwerte, die noch innerhalb des festgestellten Teerölphasenkörpers lagen, wurden bei der K_D -Wert Berechnung nicht berücksichtigt. Es sind dies die Messpunkte (E1/3b, E1/3c, E1/4b, E1/7a und E1/7c). Diese Messpunkte müssen der Emissionsquelle zugerechnet werden. Bei diesen Messpunkten hat sich das Sorptionsgleichgewicht zwischen Wasser und Bodenkorn nicht eingestellt. Dazu kommt, dass bei der Bodenanalytik das HLUG-Verfahren /HLUG, 1998/ mit einem Wasser-Hexan-Aceton-Gemisch als Extraktionsmittel zum Einsatz kam, was im Sättigungsbereich zu im Einzelnen unbekanntem, systematischen Fehlern führen kann. Auch die Wasserwerte c_w können dann verfälscht sein, wenn die Filterstrecken durch Teeröl in Phase teilweise verklebt sind.
2. Da die Nachweisgrenze bei den Bodenuntersuchungen mit $20 \mu\text{g/kg}$ um ca. 3 Größenordnungen schlechter ist, als bei den Wasseruntersuchungen ($0,01 \mu\text{g/l}$) ist davon auszugehen, wenn $c_w > 0,01 \mu\text{g/l}$ ist, auch ein $c_b > 0$ vorliegen muss, das außerhalb des näheren Abstrombereichs dann allerdings unter der Nachweisgrenze liegt. Damit auch für niedrige Wasserkonzentrationen noch eine Abschätzung des K_D -Wertes möglich ist, wurde immer dann, wenn $c_w \geq 0,01 \mu\text{g/l}$ und c_b unter der Nachweisgrenze vorlag, für c_b die halbe Nachweisgrenze (also $10 \mu\text{g/l}$) eingesetzt.
3. Für Wasserwerte c_w unter der Nachweisgrenze wurde keine K_D -Wert-Berechnung durchgeführt.
4. Da die vierte Beprobungskampagne in 2003 ca. 3 Jahre nach den Bohrungen des Kerns des Messfeldes der ersten Beprobungskampagnen erfolgte, wurden hieraus nur die K_D -Werte für T26 berücksichtigt, da nur hierfür auch aktuelle Bodenwerte aus 2002 zur Verfügung standen.

Wie aus Anlage 2.3 zu entnehmen ist, streuen die berechneten K_D -Werte erheblich. Trotzdem lässt sich eine Konzentrationsabhängigkeit unschwer erkennen. Bei niedrigen c_w -Werten sind die K_D -Werte deutlich erkennbar höher als bei hohen c_w -Werten. Eine Mittelwertbildung über das gesamte Messfeld und damit die Annahme einer Henry-Sorption ist daher weder von den ermittelten Messwerten noch von den Kenntnissen zum dominierenden Sorptionsprozess her gesehen gerechtfertigt. Für die Näherung der Henry-Sorption sind die angetroffenen Konzentrationsunterschiede im Wasser entlang der Abstromfahne zu groß. Aus den ermittelten K_D -Werten musste also eine Langmuir-Isotherme abgeleitet werden.

Die primäre Ursache für diese erhebliche Streuung der K_D -Werte sind die Phänomenstreuungen mit denen jeweils die verwendeten c_w und c_b behaftet sind. Bei stark streuenden Messwertkollektiven kann man die in den Kollektiven enthaltene Information in der Regel durch Mittelwertbildung und Angabe der Standardabweichung deutlich machen. Dieser Weg wurde auch im vorliegenden Fall gewählt und zwar orientiert an den gemessenen c_w -Werten. Die im Messfeld gemessenen c_w -Werte decken einen Wertebereich von mehr als

vier Größenordnungen ab. Es lag deshalb nahe, für jede Komponente jeweils die K_D -Werte zu einem Mittelwert zusammenzufassen, bei denen die c_w -Werte innerhalb einer Größenordnung lagen. Dieser Ansatz, obwohl zunächst nur phänomenologisch orientiert und damit in gewissem Grade willkürlich, führte zu einer Klassierung der K_D -Werte in vier Klassen, in denen ein genügend großes Kollektiv für die Ermittlung des Mittelwertes und die Berechnung der Standardabweichung gegeben war. Die Mittelwerte zeigen deutlich die Abhängigkeit der K_D -Werte von der jeweiligen Konzentration im Wasser. Allerdings fällt auf, dass die Standardabweichung der ermittelten K_D -Werte in der Größenordnung der Mittelwerte liegen, was dahin gedeutet werden kann, dass bei größeren Messwertkollektiven die Klassenbreite kleiner gewählt werden sollte. Für die Berechnung der Langmuir-Isotherme stehen damit für sechs PAK Mittelwerte aus vier Klassen, für acht PAK Mittelwerte aus jeweils drei Klassen und für elf der 15 PAK Mittelwerte aus zwei Klassen zur Verfügung. Lediglich für drei PAK konnten keine K_D -Werte errechnet werden. Aus den Mittelwerten der Tab. 5.1 ergeben sich als best fit die in Tab. 5.2 angegebenen Parameter der Langmuir-Isotherme.

Tab. 5.1: In vier Klassen (verschiedenen Schadstoffkonzentrationsbereich im Wasser) eingeteilte, aus den Messwerten ermittelter K_D -Werte

	0,01 ≤ c_w < 0,1 [$\mu\text{g/l}$]			0,1 ≤ c_w < 1 [$\mu\text{g/l}$]		
	Mittelwert	Anzahl	Standard- abweichung	Mittelwert	Anzahl	Standard- abweichung
Naphthalin	472,97	11	603,56	54,37	20	58,03
Acenaphthylen	558,38	9	287,44	41,61	23	30,46
Acenaphthen	355,17	24	358,77	43,21	13	24,94
Fluoren	541,57	29	693,45	49,91	12	36,04
Phenantren	598,09	38	942,91	101,47	22	89,39
Anthracen	806,35	27	1358,07	57,33	13	32,36
Fluoranthen	892,25	41	1498,05	104,30	24	150,17
Pyren	784,01	34	1321,79	70,40	35	43,82
Benzo(a)anthracen	837,88	23	604,17	138,46	1	
Chrysen	807,21	58	1553,30	222,22	1	
Benzo(b,k)-fluoranthen	2566,67	3	2993,88	1200,00	1	
Benzo(a)pyren	1850,00	2	1202,08			
Indeno-(1,2,3,cd)	33800*					
Dibenzo(a,h)-anthracen	3700*					
Benzo(g,h,i)-perylene	7900*					

	$1 \leq c_w < 10$ [µg/l]			$c_w \geq 10$ [µg/l]		
	Mittelwert	Anzahl	Standard- abweichung	Mittelwert	Anzahl	Standard- abweichung
Naphthalin	21,06	7	44,19	0,25	20	0,30
Acenaphthylen	8,10	22	10,00	0,36	4	0,21
Acenaphthen	5,94	17	4,22	0,26	27	0,31
Fluoren	4,18	14	3,81	1,58	18	3,72
Phenanthren	9,94	4	10,43	2,08	20	3,21
Anthracen	7,48	16	7,27	2,68	1	
Fluoranthen	14,73	17	12,71			
Pyren	18,78	15	12,06			
Benzo(a)anthracen						
Chrysen						
Benzo(b,k)fluoranthen						
Benzo(a)pyren						
Indeno(1,2,3,c,d)						
Dibenzo(a,h)anthracen						
Benzo(g,h,i)perylene						

* Literaturwerte

Die Klassenmittelwerte wurden als Stützstellen zur Berechnung der Langmuir-Parameter verwendet.

Verwendete Langmuir-Adsorptionsisotherme
$$c_s = \frac{k_1 c_w}{1 + k_2 c_w} \quad (\text{Gl. 5.12})$$

Tab. 5.2: Für die Modellierung verwendeten Langmuir-Parameter

	k_1 [-]	k_2 [l / mg] $0,1 \mu\text{g/l} \leq c_w < 1 \mu\text{g/l}$	k_2 [l / mg] $1 \mu\text{g/l} \leq c_w < 10 \mu\text{g/l}$	k_2 [l / mg] gewichtet	K_D erreicht bei $c_w =$ [µg/l]
Naphthalin	2 053.066	13 768.441	3 809.497	11 087.187	140.226
Acenaphthylen	2 715.279	24 838.741	13 587.160	19 337.968	76.791
Acenaphthen	1 727.114	15 112.503	11 758.586	13 146.414	103.456
Fluoren	2 633.536	19 701.863	25 712.440	22 938.328	15.556
Phenanthren	2 908.380	8 772.514	9 776.480	8 958.434	37.075
Anthracen	3 921.103	26 130.124	21 360.160	23 498.420	12.224
Fluoranthen	4 338.815	15 109.300	11 914.732	13 784.723	-----
Pyren	3 812.468	20 273.011	8 149.414	16 635.932	-----

Vergleicht man die auf diese Art ermittelten Mittelwerte der K_D -Werte mit den in der Literatur publizierten, im wesentlichen über K_{OW} bzw. K_{OC} berechneten Werte, so zeigt sich, dass die aus Wertepaaren c_w und c_b berechneten K_D -Werte mit den über K_{OW} bzw. K_{OC}

Wertespanssen im Bereich mittlerer Konzentrationen, also im Bereich der mittleren Konzentrationsklassen im Rahmen der Unsicherheiten gut übereinstimmen, was sicher auch daher rührt, dass die K_{OW} bzw. K_{OC} –Bestimmung bei mittleren Konzentrationen erfolgten.

Je geringer die Löslichkeit ist, desto kleiner ist auch der Konzentrationsbereich, in dem Messwerte vorliegen. Für die Komponenten Benzo(a)anthracen, Chrysen und Benzo(b,k)fluoranthen liegen Messwerte nur in zwei Größenbereiche für c_w vor. Für Benzo(a)pyren liegen Messwerte nur im kleinsten Messbereich vor und für Indeno(1,2,3,c,d), Dibenzo(a,h)anthracen und Benzo(g,h,i)perylen fielen im Rahmen der Untersuchungen keine gültigen Wertepaare an, so dass hier auf Literaturwerte zurückgegriffen werden musste. Soweit die c_w -Werte nur innerhalb einer Größenordnung (der kleinsten Größenordnung der Tab. 5.1) liegen, ist sicher die Henry-Sorption eine brauchbare Näherung, da hier c_w und damit $k_2 \cdot c_w$ sehr klein ist. Für die hochmolekularen PAK geht die Langmuir-Isothereme in die Henry-Sorption über.

6 Mikrobiologische Verhältnisse

6.1 Mikrobiologische Verhältnisse im Abstrom

Die hydrochemischen und mikrobiologischen Verhältnisse im Zustrom (zwei Messstellen) und im Abstrom wurden durch das Labor des TZW untersucht. Probenahme und Transport erfolgte wie bei den Messstellenbeprobungen zur chemischen Analytik.

Für die hydrochemischen Parameter sind die untersuchten Messgrößen sowie die angewandten Untersuchungsmethoden in der Tab. 6.1 zusammengefasst.

Tab. 6.1: Hydrochemische Untersuchungen (Feldproben) durch das Labor des TZW

Untersuchungsparameter	Methode	Bestimmungsgrenze
Sauerstoff (nach Winkler)	DIN EN 258113/14	0,5 mg/L
Trübung/ Trübung angesäuert	EN 27027-C2	0,01 FNU
PH-Wert	DIN 38404-C5	
K _S bis 4,3	DIN 38409-H7	0,01mmol/L
K _B bis 8,2	DIN 38409-H7	0,01mmol/L
Ca, Mg,	DIN 38406-E22 bzw. DIN EN ISO	0,5 mg/L
Fe gesamt,	1188; Stabilisierung vor Ort	0,01mg/L
Mn		0,005 mg/L
Na, K		0,3 mg/L
Fe(II)	Labormethode	0,01mg/L
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	DIN 38405-D19 bzw. DIN EN ISO 1030	1,0 mg/L
NO ₂ ⁻	DIN EN 26777-D10	0,01mg/L
NH ₄ ⁺	DIN 38406-E5-1	0,05 mg/L
PO ₄ ³⁻ gesamt	DIN 38405-D11 bzw. DIN EN 1189; Stabilisierung vor Ort	0,01mg/L
S ²⁻	Stabilisierung vor Ort	0,1 mg/L
CH ₄	Labormethode	0,01mg/L
DOC	DIN 38409-H3	0,3 mg/L
SAK 254 nm	DIN 38404-C3	0,1 1/m

Zusätzlich durch Abt. Altlasten: CSB

Die Parameter gelöster Sauerstoff, pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur und Redoxpotential wurden darüber hinaus bei der Probenahme als „Vor-Ort-Parameter“ direkt gemessen.

Das Abstromfeld der „Stürmlinger Sandgrube“ liegt im oberen Grundwasserleiter, wobei die Abstromfahne im wesentlichen auf den Tiefenbereich bis ca. 25 m Tiefe beschränkt ist (Konzentrationswerteabfall im vertikalen Profil bis auf wenige Prozent). Dieser Grundwasserbereich ist im Gebiet der „Stürmlinger Sandgrube“, außerhalb der Abstromfahne als „aerob“ zu bezeichnen. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen liegen in der Regel oberhalb von 0,2 mg/l, wobei zum Teil noch erhebliche Nitrat-Konzentrationen hinzukommen. Die Redoxpotentiale liegen im Bereich von -48 bis 168 mV. Die Messwerte außerhalb der Abstromfahne sind in Tab. 6.2 zusammengefasst. Zu beachten ist bei diesen Redoxpotentialen, dass das die im Feld gemessenen Ergebnisse sind. Diese müssen auf die Standardbezugselektrode nach DIN 38404 Teil 6 umgerechnet werden. Bei der verwendeten Elektrode und einer mittleren Temperatur von 12,1 °C muss der im Feld gemessene Wert um +216 mV korrigiert werden.

Tab 6.2: Sauerstoffgehalt, Redoxpotential und Nitratgehalt außerhalb der Abstromfahne

Entnahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Sauerstoffgehalt [mg/l]	Redoxpotential [mV]	Nitrat [mg/l]
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]			
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	4,2	168	17,9
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,4	29	9,5
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,3	95	9,8
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,6	134	9,0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,3	79	3,7
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93	0,3	-48	19,9
	c	16,50-17,50	96,43-95,43	0,2	-28	1,60
	d	20,00-21,00	92,93-91,93	0,2	-98	< 1
	e	24,00-25,00	88,93-87,93	0,1	-120	
	f	29,00-30,00	83,93-82,93	0,0	-183	
	h	39,00-40,00	73,93-72,93	0,1	-148	

Das gemessene Nitrat dürfte ebenso wie erhebliche Teil des gemessenen Sauerstoffs durch Sickerwasser bzw. durch die lokale Grundwasserneubildung aus den landwirtschaftlich genutzten bzw. wild bewachsenen Flächen herrühren. Da eine strenge lokale Differenzierung zwischen dem durch gelösten Sauerstoff und dem durch Sauerstoff und Nitrat gegebenen Oxidationspotential weder im Zustrombereich noch in den Randbereichen der Fahne möglich ist, werden die Grundwasserzonen mit Sauerstoffgehalt größer als 0,4 mg/l und/oder einen Nitratgehalt größer 1 mg/l im folgenden als aerobe Zonen zusammengefasst. Die Ausbreitungsfahne im Tiefenbereich bis ca. 30 m Tiefe ist somit eingebettet in ein aerobes Umfeld, das bis 40 m Tiefe nach unten zunehmend anaerob wird (s. Tab. 6.2). In dieses Milieu hinein emittiert die „Stürmlinger Sandgrube“ erhebliche Mengen von organisch gebundenem Kohlenstoff, was dazu führt, dass im Fahnen volumen zum großen Teil anaerobe Verhältnisse vorherrschen.

Die mikrobiologischen Untersuchungen im Fahnenkörper selbst und deren Ergebnisse sind im Bericht des TZW /Schulze, Tiehm, 2004/ dokumentiert. Zusammengefasst ergibt sich, dass

insgesamt fünf verschiedene Abbauprozesse mit unterschiedlichen terminalen Elektronenakzeptoren (TEA) zu unterscheiden sind, die in Abb. 6.1 zusammengestellt sind.

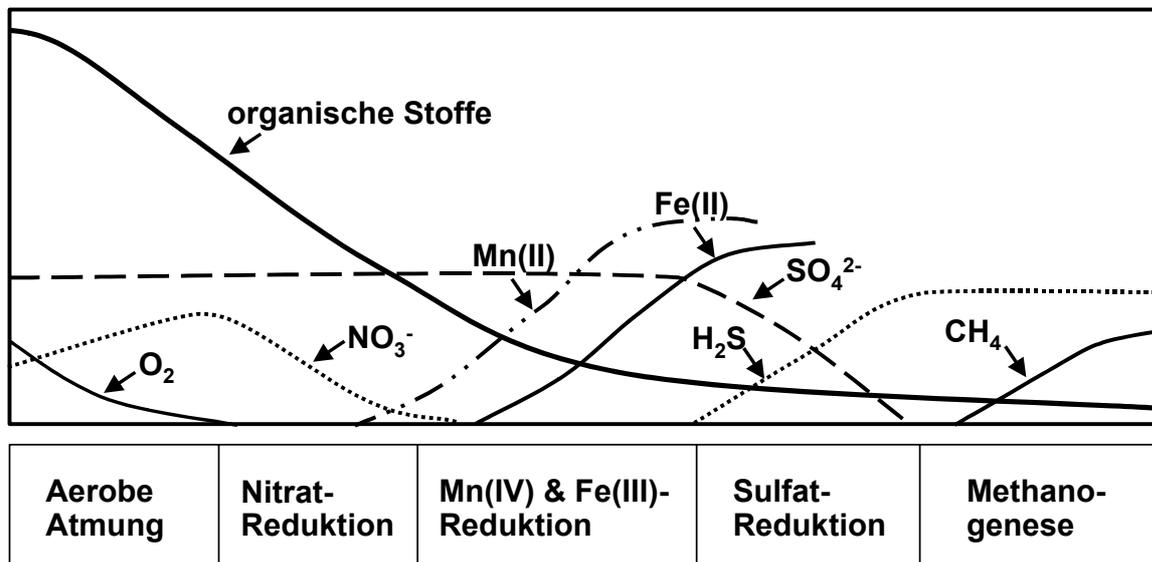


Abb. 6.1: Abfolge von Redoxprozessen nach Bouwer /Bouwer, 1992/

Tab. 6.3 : Freie Energie ΔG^0 (W) der Reduktion verschiedener TEA bei 25°C, pH 7, einer HCO₃⁻ Konzentration von 10⁻³ M sowie 1 M für alle übrigen Reaktanden (nach Wiedemeier et al. 1999 und McFarland & Sims 1991 (Werte in Klammern) /Schulze, Tiehm 2004/

Reaktionsgleichung	ΔG^0 (W) [kcal/mol e ⁻]
Sauerstoff: $\frac{1}{4} O_2 + H^+ + e^- = \frac{1}{2} H_2O$	-18,5 (-18,7)
Nitrat: $\frac{1}{5} NO_3^- + \frac{6}{5} H^+ + e^- = \frac{1}{10} N_2 + \frac{3}{5} H_2O$	-16,9 (-17,1)
Mn (III): $MnOOH + e^- + H^+ + CO_2 = MnCO_3 + H_2O$	-13,3
Mn(IV): $MnO_2 + e^- + H^+ = MnOOH$	-12,2
$\frac{1}{2} MnO_2 + e^- + 2 H^+ = \frac{1}{2} Mn^{2+} + H_2O$	-8,6
$\frac{1}{2} MnO_2 + \frac{1}{2} HCO_3^- + \frac{3}{2} H^+ + e^- = \frac{1}{2} MnCO_3 + H_2O$	(-12,1)
$\frac{1}{2} Mn^{+4} + e^- = Mn^{+2}$	(-28,3)
Fe(III): $Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$	-17,8 (-17,8)
$FeOOH + HCO_3^- + 2 H^+ + e^- = FeCO_3 + 2 H_2O$	(+1,1)
Sulfat: $\frac{1}{8} SO_4^{2-} + \frac{19}{16} H^+ + e^- = \frac{1}{16} H_2S + \frac{1}{16} HS^- + \frac{1}{2} H_2O$	+5,3 (5,1)
Methan: $\frac{1}{8} CO_2 + H^+ + e^- = \frac{1}{8} CH_4 + \frac{1}{4} H_2O$	+5,9 (5,8)

Aus Abb. 6.1 geht hervor, dass im unmittelbaren Nahbereich der Emissionsquelle die Elektronenakzeptoren Sulfat, Mn(IV), Fe(III), Nitrat und O₂ durch das große Angebot von

organisch gebundenem Kohlenstoff aufgezehrt sind, so dass hier zusätzlich auch noch Methanogenese als Abbauprozess festgestellt werden konnte. Daran anschließend folgt eine Zone mit Sulfatreduktion und Mn(IV)/Fe(III)-Reduktion. Dieser, insgesamt als anaerobe Zone bezeichnete Bereich, geht dann im weiteren Abstrom bzw. in den Rändern der Abstromfahne in den aeroben Bereich mit Nitrat- und O₂-Reduktion über. Anlage 2.5 zeigt, die Messergebnisse entlang der Fahnen-Centerline, soweit hierzu Messungen durchgeführt wurden. Aus der Anlage geht auch hervor, dass die oberste Schicht des Grundwassers, erfasst durch die Messstellen im Horizont a (Tiefenbereich ca. 9- 10 m u. GOK), ab der (vertikalen) Messstellenebene 2, aerobe Verhältnisse aufweist. Dieses stützt die oben genannte Vermutung, dass zumindest im oberen Horizont O₂ und Nitrat ganz wesentlich von der lokalen Grundwasserneubildung bzw. dem Sickerwasser aus den nicht versiegelten Flächen bestimmt wird. Die Abbaukinetik der einzelnen Abbauprozesse aus Laborversuchen zu ermitteln ist problematisch. Erstens wäre dazu eine sehr hohe Probenanzahl zu untersuchen gewesen, so dass für jeden Prozess die Abbaukinetik aus genügend vielen Einzelergebnissen hätte ermittelt werden können. Dieser hohe Aufwand war im Forschungsvorhaben so nicht vorgesehen und wird auch bei der Übertragung dieses Vorgehensansatzes auf andere Standorte nicht zu leisten sein. Zweitens stellt sich generell die Frage, in wieweit die Abbaubedingungen, die im Labor zur Bestimmung der Abbaukinetik realisiert werden können, den Bedingungen im Feld gerecht werden.

Aufgrund dieser Überlegungen und der Befunde im Labor wurde für die Modellierung von nur zwei Milieuansätzen ausgegangen. Für den Fahnenkernbereich, der die meisten Messpunkte ab dem Horizont b und tiefer umfasst, wurde ein anaerober Abbau angesetzt, der Methanogenese, Sulfatreduktion und Mn(IV)/Fe(III)-Reduktion umfasst. Der Horizont a abstromig der Messstellenebene 1 und der Randbereich des Fahnenkörpers, im weiteren Abstrom jenseits der Messstellenebene 6, wurden dem aeroben Milieu (wie oben festgelegt) zugeordnet.

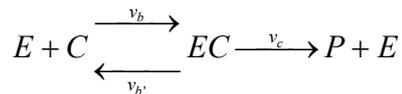
Für jede dieser beiden Milieuzonen mussten für die Modellierung die stoffspezifischen Modellparameter für den Abbau ermittelt werden, wobei durch die Laborversuche des TZW ein oder mehrere Abbauprozesse in den jeweiligen Milieubereichen festgestellt wurden. Die Labormessungen des TZW ergaben somit zweifelsfrei, dass im Fahnenkern und im Nahbereich der Emissionsquelle ein Abbau unter anaeroben Milieubedingungen und in den Randbereichen der Fahne (zu dem im wesentlichen auch der Horizont a gehört) ein aerober Abbau der Schadstoffe stattfindet.

6.2 Wahl der Abbaufunktion

Die Komplexität der Abbauprozesse in der Abbaufahne deutet darauf hin, dass mit einem Abbau erster Ordnung, d.h. mit einer einparametrischen Abbaufunktion (exponentieller Abbau entsprechend dem radioaktiven Zerfall) die Verhältnisse sicher nicht befriedigend beschrieben werden können. Zu einer realitätsnahen Beschreibung wird also sowohl der aerobe wie auch der anaerobe Abbaubereich jeweils durch mindestens eine zweiparametrische Abbaufunktion beschrieben werden müssen. Eine drei- oder vierparametrische Abbaukinetik würde zwar die komplexen Verhältnisse noch besser annähern. Es wird aber fast unmöglich sein, die Parameter dieser Kinetiken aus Untersuchungen im Feld standortspezifisch zu ermitteln. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde daher beschlossen, die Beschreibung und

Modellierung des Abbaus mit jeweils zweiparametrischen Abbaukinetiken für den aeroben und anaeroben Bereich zu beschreiben bzw. zu modellieren.

Als Ansatz für eine solche zweiparametrische Abbaukinetik bietet sich die Michaelis-Menten-Kinetik an, die aus der Betrachtung der enzymatischen Katalyse beim mikrobiologischen Schadstoffabbau hergeleitet werden kann /Atkins, 1996/:



Dabei ist E das Enzym, C das Substrat, EC der Enzym-Substrat-Komplex und P das Endprodukt. Die Umsetzungen laufen mit den Reaktionsgeschwindigkeiten v_b , $v_{b'}$ bzw. v_c . Dabei wird unterstellt, dass eine Rückreaktion vom Abbauprodukt P zum Enzym-Substrat-Komplex vernachlässigt werden kann. Für die zeitliche Änderung des Enzym-Substrat-Komplexes ergibt sich daraus:

$$\frac{d[EC]}{dt} = v_b[E][C] - v_{b'}[EC] - v_c[EC] \quad (\text{Gl. 6.1})$$

Für die Konzentration [E] zur Zeit t kann $[E] = [E]_0 - [EC]$ angesetzt werden. Dabei ist $[E]_0$ die Anfangskonzentration des Enzyms. Dadurch ergibt sich aus Gl. 6.1:

$$\frac{d[EC]}{dt} = v_b([E]_0 - [EC])[C] - v_{b'}[EC] - v_c[EC] \quad (\text{Gl. 6.2})$$

Unter der Annahme dass $[C] \gg [E]$ ist, ergibt sich ein quasi-stationärer Zustand für [EC], d.h. $d[EC]/dt = 0$. Für die stationäre Konzentration $[EC]_{st}$ des Enzym-Substrat-Komplexes ergibt sich dann

$$[EC]_{st} = \frac{v_b[E][C]}{v_{b'} + v_c} = \frac{v_b([E]_0 - [EC]_{st})[C]}{v_{b'} + v_c} \quad (\text{Gl. 6.3})$$

Durch Umformung von Gl. 6.3 ergibt sich

$$\frac{([E]_0 - [EC]_{st})[C]}{[EC]_{st}} = \frac{v_{b'} + v_c}{v_b} = K_M \quad (\text{Gl. 6.4})$$

Die Bildungsgeschwindigkeit von P bzw. die zeitliche Änderung von [P] und damit die Abbaugeschwindigkeit für C ist gegeben durch:

$$\frac{d[P]}{dt} = v_c[EC]_{st} = \frac{v_c[C][E]_0}{K_M + [C]} = \frac{v_m[C]}{K_M + [C]} \quad (\text{Gl. 6.5})$$

dabei ist K_M die Michaelis-Menten-Konstante und das Produkt $v_m = v_c[E]_0$ die Maximalgeschwindigkeit der enzymatischen Reaktion.

Ein Vergleich dieser Gleichung für $d[P]/dt$ mit Kapitel 5.1 zeigt, dass diese Beziehung formal gleich aufgebaut ist, wie die Langmuir-Adsorptionsisotherme. Die Bildung des Enzym-Substratkomplexes EC kann auch verstanden werden als Oberflächenadsorption von C an E /Wedler, 1987/. Insofern ist die formal gleiche Struktur der Ansätze für Langmuir-Isotherme und Michaelis-Menten-Kinetik nicht zufällig, sondern durch die Grundannahmen bedingt. In beiden Fällen müssen die beiden Konstanten aus Messwerten ermittelt werden, wobei bei dem mikrobiologischen Abbau für jeden Abbauprozess die Konstanten getrennt bestimmt werden müssen, da die Enzyme bei den einzelnen Abbaureaktionen natürlich verschieden sind.

Die abbauspezifische und substanzspezifische Ermittlung der Parameter der Michaelis-Menten-Kinetik ist im Labor zwar prinzipiell möglich, es stellen sich aber die in Kapitel 6.1 aufgeworfenen Fragen, inwiefern die Bedingungen im Feld im Labor nachgebildet werden können, bzw. wie groß die dabei implizierten Fehler in Wirklichkeit sind und ob der hohe Aufwand im Labor gerechtfertigt ist. Um die Diskussion über die Vergleichbarkeit von Laborergebnissen bzw. der im Labor realisierten Abbaubedingungen mit den Bedingungen im Feld zu umgehen, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens deshalb entschieden, die Parameter der Michaelis-Menten-Kinetik für aerobe und anaerobe Abbauzone zwar getrennt, aber jeweils gemittelt über die im anaeroben bzw. aeroben Milieu ablaufenden Abbaureaktionen **aus Messwerten zu ermitteln**. Dabei wurden für die Funktion des Michaelis-Menten-Ansatzes jeweils (anaerob und aerob) die Parameter substanzspezifisch über eine Ausgleichsfunktion aus den gemessenen Konzentrationswerten im anaeroben bzw. aeroben Bereich errechnet.

Anzumerken ist, dass dem mikrobiologischen Abbau, wie bereits in Kapitel 5.2 ausgeführt, die irreversible Einbindung der Schadstoffe in die Humusmatrix zugeschlagen wird. Die „Humifizierung“ der Schadstoffe spielt nach den vorliegenden Erkenntnissen im Abstrom der „Stürmlinger Sandgrube“ im Vergleich zu den mikrobiologischen Abbauprozessen nur eine geringe Rolle.

6.3 Ermittlung der Abbauraten aus Messwerten

Anhand der Untersuchungen im Labor ergab sich, dass die Ebenen 2 bis 7 im Horizont a dem oben definierten aeroben Milieu zuzuordnen sind. Der Horizont a wurde daher zur Bestimmung der Michaelis-Menten-Parameter für den aeroben Bereich herangezogen, da hier zum einen eine genügend große Zahl von Messwerten und zum anderen auch entsprechend große Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten vorlagen. Bei der Berechnung der Michaelis-Menten-Parameter aus Messwerten wurden die Konzentrationswerte der Messpunkte E1/3a (d.h. Messstelle E1/3 im Tiefenhorizont a), E2/8a, E2/9a, E3/15a, E3/16a und E4/19a herangezogen. Der Messpunkt E1/3a liegt noch eindeutig im anaeroben Milieu. Da aber das aerobe Milieu sich an das anaerobe Milieu anschließt, können die Konzentrationswerte von E1/3a als Anfangs- oder Eingangswerte für den aeroben Abbau genommen werden. Da bei den ausgewählten Messpunkten nicht für alle Komponenten von Null verschiedene Konzentrationen gemessen werden konnten, erfolgte die Berechnung der

Parameter für den aeroben Abbau anhand einer komponentenspezifischen Auswahl der Messpunkte bzw. der dort vorliegenden Konzentrationswerte.

Für den anaeroben Bereich wurde im wesentlichen auf die Ebene b mit den Messpunkten E2/8b, E2/9b, E3/14b, E3/15b, E4/19b und E5/21b zurückgegriffen. Sowohl anhand der Laboruntersuchungen zu den Spezies, Keimzahlen und hydrochemischen Parametern als auch durch die Vor-Ort-Messungen von Sauerstoff und Redox-Potential sind diese Messpunkte eindeutig dem anaeroben Milieu entsprechend der Definition aus Kapitel 6.1 zuzuordnen. Die Werte aus der Ebene 1 wurden dabei nicht hinzugezogen, da die Ebene 1 im Horizont b an einigen Stellen den Teerölphasenkörper noch schneidet bzw. tangiert. Auch hier wurde die Auswahl der Messpunkte zur Berechnung der Michaelis-Menten-Parameter komponentenspezifisch vorgenommen, da für einige Komponenten nicht an allen Messpunkten von Null verschiedene Messwerte vorlagen.

Die Berechnung der Michaelis-Menten-Parameter erfolgte im Rahmen der Modellierung, da hierzu auch die Strömungs- und Transportbedingungen mit einbezogen werden mussten. Die Tabelle 6.4 zeigt die sich ergebenden Michaelis-Menten-Abbauparameter für BTEX und acht der PAK nach US-EPA. Für die höheren PAK konnten die Abbauparameter aufgrund zu geringer Reichweite und zu geringer Konzentrationen nicht ermittelt werden.

Tab. 6.4 : Die in der Modellierung verwendeten Michaelis-Menten-Parameter

Stoff	Gültigkeitsbereich [mg/l]	Zone I (aerob)			Zone II (anaerob)		
		K_M [mg/l]	v_m [10^{-5} mg/l/s]	v_m / K_M [10^{-8} s $^{-1}$]	K_M [mg/l]	v_m [10^{-5} mg/l/s]	v_m / K_M [10^{-8} s $^{-1}$]
Naphthalin	0 ... 15,0	6,6292	0,18655	28,141	6,6780	0,109495	16,397
Acenaphthylen	0 ... 1,0	0,10065	$2,5155 \cdot 10^{-3}$	24,993	0,07399	$3,6373 \cdot 10^{-4}$	4,9159
Acenaphthen	0 ... 0,90	0,41164	$3,7170 \cdot 10^{-3}$	9,0298	0,41854	$3,6056 \cdot 10^{-3}$	8,6146
Fluoren	0 ... 1,0	0,01969	$2,6310 \cdot 10^{-4}$	13,362	0,49509	$4,3244 \cdot 10^{-3}$	8,7346
Phenantren	0 ... 1,0	0,02938	$5,1374 \cdot 10^{-4}$	17,487	0,48140	$6,2663 \cdot 10^{-3}$	13,017
Anthracen	0 ... 0,04	0,01490	$1,6695 \cdot 10^{-4}$	11,207	0,01894	$1,1730 \cdot 10^{-4}$	6,1930
Fluoranthen	0 ... 0,03	0,01425	$2,5855 \cdot 10^{-4}$	18,142	0,01469	$1,0587 \cdot 10^{-4}$	7,2082
Pyren	0 ... 0,03	0,01450	$2,2762 \cdot 10^{-4}$	15,693	0,01731	$6,0810 \cdot 10^{-5}$	3,5130
Benzol*	0 ... 40,0	13,9	$1,675 \cdot 10^{-2}$	-			
Benzol*	0 ... 11,0				19,527	$3,902 \cdot 10^{-3}$	-
Toluol	0 ... 7,5	6,5239	0,17902	27,441	3,6163	0,05	13,826
Ethylbenzol	0 ... 15,0	7,4292	0,069451	9,3484	7,3224	0,053702	7,3340
Xylol	0 ... 15,0	6,8581	0,15427	22,495	6,9323	0,098310	14,182

Für Benzol steht hier entsprechend Seite 79 anstelle von v_m $v_m^ = v_m / C_0$ mit der Dimension [1/s]

Die Stützpunkte für die Michaelis-Menten-Parameter bzw. die verwendeten Messdaten sind in Tab. 6.5 (aerober Bereich) und Tab. 6.6 (anaerober Bereich) tabelliert.

Tab. 6.5 : Stützpunkte für die Michaelis-Menten-Parameter im aeroben Bereich

	E1/3a	E2/8a	E2/9a	E2/10a	E3/14a	E3/15a	E3/16a	E4/19a	E5/21 a
Naphthalin	✓						✓	✓	
Acenaphthylen		✓		✓				✓	
Acenaphthen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fluoren	✓				✓			✓	
Phenantren	✓				✓			✓	
Anthracen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fluoranthen	✓						✓	✓	
Pyren	✓						✓	✓	
Benzol	✓						✓	✓	
Toluol	✓						✓	✓	
Ethylbenzol	✓						✓	✓	
Xylole	✓						✓	✓	

Tab. 6.6 : Stützpunkte für die Michaelis-Menten-Parameter im anaeroben Bereich

	E2/8b	E2/9b	E2/10b	E3/14b	E3/15b	E3/16b	E4/19b	E5/21b
Naphthalin	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Acenaphthylen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Acenaphthen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fluoren	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Phenantren	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Anthracen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fluoranthen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pyren	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Benzol					✓	✓	✓	
Toluol	✓					✓	✓	
Ethylbenzol	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Xylole	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Für die PAK-Komponenten Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b,k)fluoranthen, Benzo-a-pyren, Inden(1,2,3,c,d), Dibenzo(a,h)anthracen und Benzo(g,h,i)perylen ergab sich nur für Benzo(a)anthracen und Chrysen eine nennenswerte Ausbreitung im Wasser über die Ebene 1 hinaus. Die gemessenen Konzentrationen jenseits der Ebene 1 liegen dabei jedoch in der Nähe der Nachweisgrenze bzw. im Bereich der verschleppungsbedingten Artefakte. Bei den höhermolekularen PAK ist die Wasserlöslichkeit so gering, dass eine Prüfwertrelevante (Prüfwert für Summe PAK ohne Naphthalin ist 0,2 µg/l) Konzentration im Wasser nur unmittelbar am Teerölphasenkörper auftritt. Von der Ausbildung einer Abstromfahne kann insofern hier nicht gesprochen werden. Transport und biologische Abbaubarkeit im Grundwasser sind in erster Näherung von der Wasserlöslichkeit abhängig und für diese Komponenten gering. Der messtechnische Befund aus den Beprobungskampagnen zeigt, dass diese Komponenten bereits im anaeroben Bereich die Nachweisgrenze erreichen und somit

die Stationarität ihrer Ausbreitung im Grundwasser im Rahmen der messtechnischen Nachweisbarkeit sicher gegeben ist, auch wenn im einzelnen die Abbaubarkeit nicht in allen Fällen nachgewiesen wurde. Betrachtet man das Alter der Altlast und die geringe Reichweite dieser Komponenten, so liegt der Schluss nahe, dass die insgesamt geringe Abbaubarkeit dennoch ausreicht, um die ebenfalls geringe Menge der im Wasser gelösten Stoffe zu beseitigen. Ihre Ausbreitung mit dem Grundwasser ist also insgesamt nicht relevant, wobei Benzo(a)anthracen und Chrysen im Übergangsbereich liegen. Für Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze (um einen Faktor 20 unterhalb des festgelegten Fahnenrandwertes) ergeben sich für diese beiden Komponenten noch nachweisbare Reichweiten von 150-200 m. Auch bei dieser Betrachtung im Bereich der Nachweisgrenze bleiben die analytisch nachweisbaren Konzentrationswerte auf den anaeroben Bereich beschränkt. Die Betrachtungen zur Stationarität können daher insgesamt auf die etwas höher wasserlöslichen Komponenten beschränkt werden, im Fall der PAK auf die Komponenten Naphthalin bis Pyren.

7 Modellierung des Abstromfeldes

7.1 Vorbemerkung

Hydrogeologische Modelle des Abstroms einer Altlast sind physikalische Beschreibungen der Systemzusammenhänge von Untergundaufbau, Hydraulik, Hydrogeochemie und Biochemie /Deutsche Geologische Gesellschaft, 2002/. In ihnen sind die Erkenntnisse, die zur Altlast und ihrem Abstromfeld vorliegen bzw. im Rahmen der Erkundung gewonnen wurden, zusammengefasst. Die physikalischen, chemischen und biologischen Erkenntnisse werden dabei im physikalischen Modell in der Regel in mathematischen Gleichungen abgebildet. Diese physikalischen Modelle können dann in numerische Modelle (in der Regel Finite-Element-Ansätze) umgesetzt werden, die genutzt werden können, um computergestützte Verläufe zu simulieren und Ergebnisse graphisch aufzubereiten und darzustellen.

Die Erstellung des physikalischen Modells ist daher ein iterativer, parallel zur Erkundung ablaufender Prozess, der durch die Erkundungsergebnisse grundsätzlich bestätigt bzw. validiert werden muss. Der wichtigste Schritt ist daher die Abbildung der durch die Erkundung gewonnenen Erkenntnisse und Zusammenhänge zum Ist-Zustand in mathematische Gleichungen, die durch Annahmen zur Dynamik der Prozesse ergänzt werden müssen, so dass die Abläufe und Prozesse im Untergrund zeitabhängig beschrieben werden können. Mit Hilfe der numerischen Realisierung dieses Modells ergibt sich hieraus die Möglichkeit computergestützt die Vergangenheit zu rekonstruieren und die Zukunft zu simulieren.

Grundlage der hydrogeologischen Modelle ist die hydraulische Systembeschreibung, d.h. die Modellierung von Grundwasserströmungen und des damit verbundenen Schadstofftransports. Ergänzt werden muss diese hydraulische Systembeschreibung durch eine hydrogeochemische und hydrobiochemische Systembeschreibung.

7.2 Die Strömungs- und Schadstofftransportmodellierung

Die Modellierung der Grundwasserströmung und des Schadstofftransports besteht aus zwei Teilen: Dem Strömungsmodell, in dem die eigentliche Strömung des Grundwassers beschrieben wird, ausgedrückt durch die zeit- und ortsabhängige hydraulische Höhe $h=h(t,x_1,x_2,x_3)$, und dem Schadstofftransportmodell, das die Ausbreitung einer Stoffkomponente in flüssiger Phase beschreibt, ausgedrückt durch ihre zeit- und ortsabhängige Konzentration $C=C(t,x_1,x_2,x_3)$ in der Flüssigkeit. Das Transportmodell hängt über die Strömungsgeschwindigkeiten (Filtergeschwindigkeiten) q_1, q_2 und q_3 , die sich wiederum über das Darcy-Gesetz aus den partiellen Ableitungen der hydraulischen Höhe nach x_1, x_2 und x_3 ergeben, vom Strömungsmodell ab /FHG, 2003/.

Beim Strömungsmodell geht man von folgender (vereinfachten) Kontinuitätsgleichung aus:

$$\frac{\partial q_1}{\partial x_1} + \frac{\partial q_2}{\partial x_2} + \frac{\partial q_3}{\partial x_3} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho n)}{\partial t} = 0 \quad (\text{Gl. 7.1})$$

Darin steckt die Annahme, dass die in ein fiktives Volumenelement einfließende und wieder herausfließenden Flüssigkeitsmenge gleich ist, korrigiert um denjenigen Betrag, der durch Komprimierung, also eine Änderung der Flüssigkeitsdichte ρ , mehr in diesem fiktiven Volumenelement Platz hat.

Durch Einführung einer Größe S_0 , die spezifischer Speicherkoeffizient (oder auch Speicherkompressibilität) genannt wird und durch die folgende Gleichung definiert ist,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho n)}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho n)}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} = S_0 \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (\text{Gl. 7.2})$$

Im Falle von Quellen und/oder Senken der Flüssigkeit Q erhält man die Kontinuitätsgleichung in der Form

$$\frac{\partial q_1}{\partial x_1} + \frac{\partial q_2}{\partial x_2} + \frac{\partial q_3}{\partial x_3} + S_0 \frac{\partial h}{\partial t} = Q. \quad (\text{Gl. 7.3})$$

Im Falle einer stationären Strömung ist $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$. Um aus dieser Gleichung eine partielle Differentialgleichung (2. Ordnung) in $h = h(t, x_1, x_2, x_3)$ zu erhalten, muss noch das Darcy-Gesetz (Gl. 7.3)

$$\begin{aligned} q_1 &= -k_{11} \frac{\partial h}{\partial x_1} - k_{12} \frac{\partial h}{\partial x_2} - k_{13} \frac{\partial h}{\partial x_3} \\ q_2 &= -k_{21} \frac{\partial h}{\partial x_1} - k_{22} \frac{\partial h}{\partial x_2} - k_{23} \frac{\partial h}{\partial x_3} \\ q_3 &= -k_{31} \frac{\partial h}{\partial x_1} - k_{32} \frac{\partial h}{\partial x_2} - k_{33} \frac{\partial h}{\partial x_3} \end{aligned} \quad (\text{Gl. 7.3})$$

in Gl. 7.3 eingesetzt werden. Durch entsprechende Transformation des Koordinatensystems kann erreicht werden, daß sämtliche k_{ij} mit $i \neq j$, also alle k_{ij} , außer k_{11} , k_{22} und k_{33} , gleich Null werden. Im isotropen Medium sind dann noch alle k_{ii} gleich: $k_{11} = k_{22} = k_{33}$. Um die Strömungsgleichung letztlich lösen zu können, müssen noch Anfangsbedingungen, Randbedingungen und materialabhängige Konstanten (Parameter) ergänzt werden. /FHG, 2003/

Im Transportmodell wird folgende Stofftransportgleichung betrachtet:

$$\frac{\partial}{\partial t}(RC) + \frac{\partial}{\partial x_1}(q_1 C) + \frac{\partial}{\partial x_2}(q_2 C) + \frac{\partial}{\partial x_3}(q_3 C) - \sum_{i,j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + f(C) = 0 \quad (\text{Gl. 7.4})$$

In dieser Gleichung sind: R – ein Retardationsfaktor, der durch die Berücksichtigung des Hohlraumes und der darin stattfindenden Sorptionsvorgänge entsteht, $f(C)$ – ein Term, der Zerfall bzw. Abbau des betrachteten Stoffes in flüssiger Phase beschreibt, und $D_{ij} = D_{ij}^{\text{mol}} + D_{ij}^{\text{disp}}$ - die Summe von Diffusionskoeffizient und Dispersionskoeffizient. Dabei berücksichtigt der Diffusionskoeffizient die molekulare Diffusion, die unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit ist, und der Dispersionskoeffizient die strömungsabhängige Streuung bzw. Dispersion des Stoffes. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit nur in x_1 – Richtung (d.h. $q_2 = q_3 = 0$) ergeben sich folgende Koeffizienten: $D_{11} = d_L q_1 + D^{\text{mol}}$, $D_{ii} = d_T q_1 + D^{\text{mol}}$, $i = 2,3$ und $D_{ij} = 0$, $i \neq j$. Hierbei bezeichnen d_L die longitudinale und d_T die transversale Dispersion und D^{mol} die molekulare Diffusion /FHG, 2003/.

Um die Transportgleichung lösen zu können, müssen ebenfalls wieder Anfangsbedingungen, Randbedingungen und weitere für den Stofftransport wichtige materialabhängige Größen ergänzt werden.

7.3 Modellgebiet und Randbedingungen

Das lokale Modellgebiet wurde im Zuge des Forschungsvorhaben nochmals angepasst und auch vergrößert. Nach mehreren Anpassungen ist es ca. 427 m lang, ca. 146 m breit und ca. 27 m tief. Tiefer liegende Schichten wurden nicht berücksichtigt, da der überwiegenden Teil des Schadstofftransportes in den oberen Ebenen stattfindet. Die Abbildung der geologischen Schichtung wurde vereinfacht. Es wurde eine (bis auf das Geländeprofil) parallele ebene Schichtung mit zuletzt 24 „geologischen“ Schichten und 25 Knotenflächen im Modell vorgenommen.

Zur Simulation von Grundwasserströmung und Schadstofftransport wurden schließlich

1. ein regionales 2D – Strömungs- und Transportmodell ohne Abbau und Sorption mit 10201 Knoten und 10000 rechteckigen Elementen
2. lokale horizontal-ebene 2D – Strömungsmodelle mit 2167 Knoten und 4153 Elementen (Dreieckelementen) für die gemessenen Strömungssituationen
3. lokale horizontale 3D – Strömungs- und Transportmodelle mit 54175 Knoten und 99672 Elementen (Dreieckprismen) für die einzelnen Schadstoffe und eine bzw. zwei Strömungssituationen

verwendet. Die Modellierung wurde mit Hilfe des Programmsystems FEFLOW in der Version 4.8 durchgeführt, wobei teilweise auch Programmiererweiterungen, der mittlerweile verfügbaren Version 5 mit verwendet wurden.

Das regionale horizontal-ebene 2D-Modell wurde erstellt, um festzustellen, wie weit sich eine Schadstofffahne unter den speziellen Bedingungen der „Stürmlinger Sandgrube“, jedoch ohne Abbau und ohne Sorption, in Jahrzehnten hätte ausbreiten müssen. Das Modellgebiet hat eine Ausdehnung von 10 km Länge, 2 km Breite und 8 m Tiefe. Es wurden folgende Modellparameter verwendet:

gemittelter Strömungsbeiwert:	k_f	=	$1,63 \cdot 10^{-3} \text{ m / s}$
Strömungswirksamer Porenraum:	n_f	=	0,2

Porosität:	n	= 0,33
oberer Randwert für die hydraulische Höhe:	h_{\max}	= 106,525 m üNN
unterer Randwert für die hydraulische Höhe:	h_{\min}	= 96,164 m üNN
Longitudinale Dispersivität:	α_l	= 3 m
Transversale Dispersivität:	α_t	= 0,03 m
Randkonzentration auf 20 m:	c_{Rand}	= 107,02 mg/l

Mit dem regionalen horizontal zweidimensionalen Modell wurden Simulationen ohne Abbau und ohne Sorption mit einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von 0,7 m/d durchgeführt. Ohne die Berücksichtigung einer nichtlinearen Abbaufunktion und nichtlinearer Sorption wird ein lineares Modell erhalten, das sich völlig indifferent gegenüber den verschiedenen Schadstoffen verhält, also praktisch nur ein einziger universeller Schadstoff berücksichtigt werden braucht. Mit diesem Modell wurde gezeigt, dass die Schadstofffahne eines jeden Schadstoffes nach 25 Jahren eine Länge von ca. 5 km und nach 50 Jahren ca. 9 km erreichen würde, wenn weder Abbau noch Sorption stattfinden würde.

Die lokalen horizontalen 2D-Strömungsmodelle dienten zur Untersuchung und Einstellung der Strömungsrandbedingungen für die lokalen 3D-Modelle. In den lokalen 2D-Strömungsmodellen wurden folgende Parameterwerte verwendet:

Modell-Ausdehnung:	Sohle bei 74 m ü. NN., Decke bei ca. 114 m ü. NN.
Aquifer-Mächtigkeit:	32 m
k_f -Wert:	$1,63 \cdot 10^{-3}$ m/s (identisch in allen Knoten)
Transmissivität	$5,216 \cdot 10^{-2}$ m ² /s.
Speicherkompressibilität:	$1,0 \cdot 10^{-4}$ 1/m
Grundwasserneubildung:	$0 \cdot 10^{-4}$ m/d .

Die Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit wird von FEFLOW aus den Grundwasserständen ermittelt. Dies bedeutet, dass die Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit ab der Ebene 4 aufgrund nur weniger Grundwassermessstellen mit einem etwas größeren Fehler behaftet sein kann, als das im vorderen Teil des Messfeldes der Fall ist. Die Messdaten der Stichtagsmessungen während der Beprobungen vom 07.02.2001 (Winterbeprobung), vom 05.07.2001 (Sommerbeprobung) und vom 30.10.2001 (Herbstbeprobung) an den neuen Messstellen E1/3 bis E6/22 haben eine Strömungsrichtung parallel zu den Feldgrenzen nicht widerlegt, jedoch fehlten Messdaten der hydraulischen Höhen im Norden des Modellgebiets. Die Messdaten dieser drei Messungen sowie der weiteren sieben Stichtagsmessungen wurden gemittelt und in Form einer mittleren Strömungssituation mit dem Namen „gerade Fahne“ in den meisten 3D-Modellen weiterverwendet. Für die Modellierung der als „krumme Fahne“ bezeichneten Simulationen wurden die Daten der hydraulischen Höhen vom 12.08.2003 als Modelleingangsgrößen verwendet. Diese kombinierte Strömungssituation wurde in einigen Simulationsrechnungen zusätzlich verwendet, um einen Eindruck von der schwankenden Fahnenrichtung zu erhalten /FHG, 2003/.

Die 3D-Modelle bestehen aus 24 fiktiven „geologischen“ Schichten mit entsprechend 25 Begrenzungsflächen (Knotenflächen). In Knotenfläche 1 wurde eine Grundwasserneubildungsrate von $7,776 \cdot 10^{-4}$ m/d berücksichtigt. Weiterhin wurden folgende Annahmen für das Modell getroffen:

Massendichteverhältniszahl:	$0 \cdot 10^{-4}$
(keine Dichteänderung der Flüssigkeit durch Schadstoffkonzentration)	
Speicherkompressibilität:	$1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/m}$
Transmissivität:	$5,216 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{d}$
k_f - Wert:	$1,63 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Aquifermächtigkeit:	32 m
Quellen und Senken:	keine
Transfer-Bedingungen:	keine In/Exfiltration in/aus GWL.

Die mittlere Strömungssituation wurde durch die Randbedingung, dass $h_{\min} = 106,05 \text{ m ü. NN}$ am nordwestlichen Rand und $h_{\max} = 106,53 \text{ m ü. NN}$ am südöstlichen Rand (entspricht einem Gefälle von ca. 0,1 %) weiter spezifiziert.

Die k_f - Werte und Speicherkoeffizienten ergaben sich aus Korngrößenmessungen der G.M.F. und VEGAS. Aus den lokalen horizontal-ebenen 2D-Strömungsmodellen wurden die horizontalen 3D-Strömungsmodelle erzeugt. Dabei wurde die in Abb. 3.2 Kapitel 3.5 dargestellte Schichtung in 24 fiktive Schichten (d.h. 25 Knotenflächen) umgesetzt. Außerdem wurden in allen Knotenflächen die weiteren räumlich unveränderlichen Materialparameter verwendet:

molekulare Diffusion:	$1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
longitudinale Dispersion:	3.05 m
transversale Dispersion:	0.0328 m

Die Schadstoffrandkonzentrationen der einzelnen Spezies entsprechen den in der Messwerttabelle für die Messpunkte E1/7, E1/3, E1/4 und E1/5 angegebenen gemittelten Messwerten. Bei den Modellen für „gerade Fahne“ wurde am nordöstlichen und südwestlichen Rand (Flanken) eine Schadstoffrandkonzentration von $10^{-3} \mu\text{g/l}$ (d.h. also ungefähr Null) gesetzt. Diese Randkonzentration wurde ebenfalls für die obere Knotenfläche (kein Stofftransport nach oben) und für sehr tief liegende Knotenflächen (kein Stofftransport nach unten) angenommen, um den Rechenaufwand zu begrenzen, obwohl an einigen Punkten eine leicht höhere Konzentration gemessen wurde, was jedoch im Gesamtergebnisse keinen Einfluss hat. Für die Simulationsrechnungen mit „krummer Fahne“ wurde an der linken Flanke (südwestlicher Rand) keine Schadstoffrandbedingung gesetzt.

Die im Modell verwendeten Daten entsprechen im wesentlichen den in Kapitel 3 genannten Daten. Zu Einzelheiten der Modellbildung wird auf den Bericht der FhG verwiesen /FhG, 2003/.

7.4 Modellierung von Sorption und Abbau

Bei der Modellierung von Sorption und Abbau wurde als allgemeiner Ansatz für die Sorption die Langmuir-Isotherme zugrunde gelegt, die für die hochmolekularen PAK aufgrund der kleinen c_w -Werte in guter Näherung in die Henry-Sorption übergeht. Die Konstanten sind in Tab. 5.2 in Kapitel 5.3 zusammengestellt.

Bei dem mikrobiologischen Abbau wird als allgemeiner Ansatz die Michaelis-Menten-Kinetik zugrunde gelegt. Die aus Messwerten abgeleiteten Michaelis-Menten-Parameter sind in Tab. 6.4 in Kapitel 6.3 zusammengestellt. Aufgrund der geringen Zahl von Messwerten konnten die Michaelis-Menten-Parameter nur bis einschließlich Pyren ermittelt werden. Für die höhermolekularen PAK wurde eine Fahnenberechnung mit mikrobiologischem Abbau nicht durchgeführt, da diese Substanzen sehr stark sorbiert werden, d.h. dass sich der Abbau in der transportrelevanten, wässrigen Phase hier in Konzentrationsbereichen unterhalb der Fahnenrandwerte bzw. im Bereich der Nachweisgrenze oder darunter abspielt. Der Abbau dieser hochmolekularen Substanzen ist deshalb für die Beurteilung der Stationarität der Ausbreitungsfahne insgesamt nicht relevant. Bei diesen Substanzen sind auch die Emissionsquellstärken gering. Wichtig ist allerdings, dass diese Substanzen bereits im mittleren Abstromfeld nicht mehr nachweisbar waren. Ein Abbau findet hier ganz offensichtlich statt, er führt jedoch bereits im Nahfeld zu Konzentrationsbereichen unterhalb der Nachweisgrenze.

Nach den Modellrechnungen ohne Sorption und ohne mikrobiologischen Abbau müsste die Abstromfahne heute, also nach einer Emissionszeit von ca. 50 Jahren bis in eine Entfernung von etwa 10 km nachweisbar sein. Die berechnete Fahnenausdehnung ist in diesem Fall nicht stationär. Wenn man heute eine maximale Fahnenausdehnung im Bereich von 400-450 m für die am weitesten nachweisbaren Komponenten findet, so deutet dies darauf hin, dass der mikrobiologische Abbau, wie er durch die Abbauparameter in Tab. 6.4 beschrieben wird, der die Fahnenlänge dominierende Prozess ist. Da die Fahne ganz offensichtlich durch diesen Senkentherm bestimmt wird, kann zunächst unterstellt werden, dass es sich dabei um eine stationäre Fahne handeln wird. In die stationäre Fahnenlänge geht dabei die Sorption nicht ein. Eine reversible, durch die Langmuir-Isotherme beschriebene Sorption bei gleichzeitigem mikrobiologischem Abbau beeinflusst hier nur die Zeit bis zur Einstellung einer stationären Fahne, nicht aber die Tatsache der Stationarität oder die Länge der stationären Fahne. Sie äußert sich nur als Retardation bei der Schadstoffausbreitung. Die tatsächlich vorliegende Fahne geht asymptotisch (für $t \rightarrow \infty$) in die stationäre Fahne über. Je nach Stärke der Sorption können also unter Umständen sehr lange Zeiten vergehen, bis die gemessenen Fahnen den stationären Zustand innerhalb der Fehlergrenzen erreicht hat. Diese Zeiten können durchaus in die Größenordnung der Zeiten reichen, innerhalb derer die Emissionsquellstärke zurückgeht, weil das Schadstoffreservoir im Quellbereich erschöpft ist. Dies ändert allerdings nichts daran, dass eine Schadstofffahne bei nennenswerten Senkenthermen stationär wird, und die ohne Sorption berechnete stationäre Fahne eine maximal mögliche Fahnenausdehnung darstellt. Auch unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten bei den Modelleingangsparametern der Modellrechnung stellt die ohne Sorption berechnete Fahnenausdehnung eine konservative Schätzung für die maximale Ausdehnung der Fahnen dar. Die Modellrechnungen zeigen, dass die heute gemessenen Fahnen die stationäre Maximalausdehnung zwar weitgehend, im mathematischen Sinn aber nicht vollständig erreicht haben. Es ist daher zu erwarten, dass die berechneten, stationären Fahnen etwas weiter reichen, als die gemessenen. Die reversible Sorption ist daher für den Nachweis der Stationarität und für den Vergleich von modellierter und gemessener Fahne nicht relevant. Sie ist nur erforderlich zur Berechnung der im Fahnenkörper gespeicherten Schadstoffmasse.

7.5 Ergebnisse der Simulation

Mit den Parametern für das Modell, wie sie entsprechend Kapitel 4 für die hydrogeologischen Parameter, in Kapitel 5 für die Sorptionsisothermen und Kapitel 6 für die Michaelis-Menten-Kinetik abgeleitet und als Ergebnis der Auswertungen der Messdaten ermittelt wurden, kann das zeitliche Verhalten der Altlast „Stürmlinger Sandgrube“ von Beginn der Emission an bis heute und darüber hinaus auch in die Zukunft simuliert werden. Selbst wenn man unterstellt, dass die benutzten Parameterwerte mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet sind, kann bei nachgewiesenem mikrobiologischen Abbau als dominierende Begrenzung für die Fahnausbreitung die Stationarität der Abstromfahne auch für die Zukunft als gegeben angenommen werden, wenn die heute, nach 50 Jahren Emissionsdauer gemessene Fahnenlänge mehr oder weniger kleiner ist, als die ohne Sorption berechnete stationäre (maximale) Fahnenlänge.

In Anlage 4 sind die Ergebnisse der Simulation zusammengestellt. Für jede der Komponenten Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole, Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen und Pyren sind tabellarisch die Konzentrationswerte der Simulation für die stationäre Fahne und die gemittelten Messergebnisse für alle Messpunkte bis 25 m Tiefe (Tiefenhorizont e) zusammengestellt. Des Weiteren enthält die Anlage 4 die graphische Darstellung der simulierten Konzentrationsverteilung in der Ebene mit der größten Reichweite. Generell wurde die größte Reichweite für alle Komponenten im Bereich der Ebenen b und c errechnet. Dies ist aus den beispielhaft beigefügten Vertikalschnitten entlang der Centerline für die Komponenten Naphthalin, Acenaphthylen, Fluoren, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Ethylbenzol und Xylole zu entnehmen und deckt sich auch mit dem messtechnischen Befund. Zur Bestimmung der lokalen Grundwasserfließrichtung und der Abstandsgeschwindigkeit v_a wurde auf die Mittelwerte der Grundwasserstandsdaten aus den zehn Stichtagsmessungen zurückgegriffen. Dies stellt bei der gegebenen Datenlage die bestmögliche Schätzung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und der mittleren Strömungsrichtung dar.

Insgesamt ergab sich eine überraschend gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den errechneten Konzentrationsverteilungen, wobei allgemein die errechneten Fahnenlängen etwas größer sind als die gemessenen. Der Stationaritätsnachweis ist damit erbracht. Die in den grafischen Darstellungen zum Teil auftretenden „Geisterlinien“ (rechts und links der Fahnen) gehen auf numerische Instabilitäten der Modellrechnungen im Bereich größerer Gradienten zurück. Sie sind für die weiteren Betrachtungen nicht relevant und führen auch nur zu vernachlässigenden Fehlern bei Massenermittlungen und Massenbilanzen.

Zur Überprüfung der Qualität des Modellansatzes wurde für Acenaphthylen und Pyren die Ausdehnung der Fahne nach ca. 60 Jahren unter Einbeziehung der Sorption berechnet. Die Übereinstimmung mit der gemessenen Fahne ist überraschend gut. Die Messwerte und Simulationswerte sind in Tab. 7.1 und Tab. 7.2 zusammengestellt. Sie zeigen, dass trotz der insgesamt beträchtlichen Streuung (vor allem Phänomenstreuung) der Messwerte die Modellierung ein hohes Maß an Realitätsnähe erreicht hat und lässt weiter den Schluss zu, dass die Ausbreitungsfahnen aller Komponenten ihre stationäre Maximalausdehnung im Bereich zwischen der heute gemessenen und der berechneten stationären Fahne erreichen

Tab. 7.2 : Simulationsergebnisse mit Sorption und Messergebnisse für Pyren

Tiefenstufe Messstelle	Simulationsergebnisse (gerade Fahne nach 60 Jahren, mit Sorption)					Messergebnisse (Mittelung 1.- 3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
E1/3	3,24	15,73	0,69	2,00	0,53	3,22	16,50	0,56	2,43	0,39
E1/4	2,62	9,21	0,78	0,20	0,35	2,59	4,75	0,25	0,10	0,36
E1/5	1,26	4,09	0,92	0	0	0,49	1,75	0,30	0,01	0,21
E1/7	0,16	0,65	0,22	0,01	0,02	0,13	0	0,21	0,05	0,05
E2/8	1,78	11,32	1,65	1,63	0,57	0,28	2,07	2,03	0,08	0,03
E2/9	0	2,39	0,55	0	0	1,36	1,82	0,04	0,02	0,12
E2/10	1,71	9,11	1,41	0,54	0	0,47	4,77	2,63	0,11	0,40
E2/11	0,02	2,90	0	0	0	0,39	1,39	0,08	0,18	0,24
E2/12	0	0	0	0	0	0,23	0,29	0,14	0,23	0,04
E3/13	0	0	0	0	0	0,08	0,03	0,03	0,02	0,01
E3/14	0	2,60	0	0	0	0,06	1,00	0,06	0,11	0,19
E3/15	0,64	8,25	1,19	0,09	0	0,11	2,47	0,25	0,01	0,02
E3/16	0	4,81	0	0	0	0,15	1,30	0,15	0,03	0,04
E3/17	0	0	0	0	0	0,17	0,10	0,09	0,05	0,16
E4/18	0	0	0	0	0	0,11	0,05	0,05	0,08	0,19
E4/19	0	0	0	0	0	0,03	1,34	0,42	0,15	0,05
E4/20	0	0	0	0	0	0,05	0,07	0,09	0,10	0,14
E5/21	0	0	0	0	0	0,08	0,28	0,40	0,01	0,08
E5/T21	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0
E6/22	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,06	0,06	0,04
E6/T26	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0
E7/T27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Die errechnete stationäre Fahnenlänge einer Komponente ergibt sich aus der Emissionsstärke und den mikrobiologischen Abbauparametern der jeweiligen Komponente und der Strömungssituation (Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit, Dispersion). Die Messergebnisse zeigen deutliche Unterschiede bei den einzelnen Komponenten sowohl was die

Emissionsstärke als auch was die Konzentrationsverteilung in der Modelleintrittsebene anbelangt. Die unterschiedliche Emissionsstruktur bei den einzelnen Komponenten führt zum Teil auch zu deutlich unterschiedlichen Fahnenformen sowohl im horizontalen als auch im vertikalen Profil. Da die Größe aller dieser Eingangsparameter aus Messungen abgeleitet werden müssen und alle diese Ergebnisse einer Ergebnisunsicherheit (Zusammengesetzt aus Phänomenstreuung und Messverfahrensstreuung) unterliegen, ist die insgesamt gute Übereinstimmung zwischen experimentell ermittelter und berechneter Fahnen ein Zeichen für die Güte des Modells und für die insgesamt hohe Richtigkeit der ermittelten Modellparameter. Dass an einzelnen Punkten etwas größere Abweichungen zwischen berechneter und ermittelter Konzentration auftreten, ist sicher eine Folge der oben erwähnten Ergebnisstreuung bei den ermittelten Messergebnissen. Dass die berechneten Fahnen tendenziell etwas weiter gehen wie die gemessenen, zeigt dass die Simulation ein im Sinne der Sicherung der Altlast (s. Kapitel 1.1) konservativer Nachweis ist.

Einen Sonderfall stellt Benzol dar. Wie die Messwerte zeigen, liegen die Messwerte entlang dem Kernbereich der Fahne fast unverändert hoch bei Werten zwischen 10 und 40 mg/l bis zur Ebene 3. Erst nach der Ebene 2 im aeroben und nach der Ebene 3 im anaeroben Bereich tritt ein nennenswerter Rückgang auf. In diesem Bereich sehr hoher Konzentrationen findet kein, oder ein mit zunehmender Konzentration rückläufiger Abbau statt, ein Verhalten, das mit dem Michaelis-Menten-Ansatz so nicht zu beschreiben ist. Berechnet man die Michaelis-Menten-Faktoren an Messpunkten im vorderen Bereich, sind die Abbauraten viel zu klein, und die simulierte Fahne wird dementsprechend zu lang. Berechnet man die Michaelis-Menten-Faktoren an Messpunkten ab der Ebene 3, wo ein starker Abbau einsetzt, so lässt sich der Abbau zwar richtig beschreiben, aber da dieser starke Abbau dann auch für den vorderen Bereich angesetzt wird, ergibt sich eine zu kurze Fahne. Der Verlauf mit einem zunächst vernachlässigbaren Abbau und einem danach einsetzenden (ab Ebene 3) starken Abbau, kann mit einer modifizierten Michaelis-Menten-Kinetik der folgenden Form beschrieben werden:

$$\frac{d[P]}{dt} = \frac{v_m^* [C]}{K_M + [C]} ([C_0] - [C]) \quad (\text{Gl. 7.5})$$

In Gl. 7.5 ist $[C_0]$ die Eintrittskonzentration in das Simulationsgebiet, die mit 45 mg/l (in den Ebenen a und b) angesetzt wurde. Mit diesem Ansatz ergibt sich die in der Anlage 4 enthaltene Fahnenkontur für Benzol, die vergleichsweise gut mit den gemessenen Werten übereinstimmt und der allgemeinen Tendenz einer leichten Unterschätzung des Abbaus folgt. Die Werte K_M und v_m^* wurden an Messpunkten der Ebenen drei und vier berechnet, also in dem Bereich, in dem der starke mikrobiologische Abbau einsetzt.

Benzol ist die Komponente mit der höchsten Emissionsstärke. Die hier zutagegetretenen Abweichungen von der Michaelis-Menten-Kinetik treten untergeordnet wahrscheinlich auch bei Naphthalin und Toluol auf, als den Komponenten mit den nach Benzol höchsten Eintrittskonzentrationen. Der Bereich mit den sehr hohen Konzentrationen ist hier aber deutlich kürzer, so dass die Michaelis-Menten-Kinetik noch in befriedigender Näherung angesetzt werden kann.

Zum Nachweis der Stationarität ist diese differenziertere Betrachtung des mikrobiologischen Abbaus jedoch weitgehend unerheblich, da es für die praktische Anwendung nur in Ausnahmefällen relevant ist, ob die maximale Schadstoffausbreitung 450 m oder 550 m lang ist. Die insgesamt relativ gute Übereinstimmung der Konzentrationsverteilungen in den

gerechneten und messtechnisch ermittelten Fahnen zeigt auch, dass die in Tab. 7.3 aufgeführten Schadstoffmassen und Massenbilanzen vergleichsweise gut die realen Bedingungen beschreiben.

Tab. 7.3 : Massenbilanzen (Errechnet mit dem mathematischen Modell)

Stoff	Effektiver Eintritt ins Modellgebiet	Abbau	Austritt aus Modellgebiet am Ende	Inhalt gelöst	Inhalt adsorbiert
Benzol	959 g/d	959 g/d	0	87,272 kg	-
Toluol	174 g/d	174 g/d	0	11,763 kg	-
Ethylbenzol	42,7 g/d	42,7 g/d	0	6,160 kg	-
Xylol	178 g/d	178 g/d	0	14,278 kg	-
Naphthalin	489 g/d	489 g/d	0	44,390 kg	35,592 kg
Acenaphthylen	2,21 g/d	2,21 g/d	0	436,5 g	28,740 kg
Acenaphthen	19,4 g/d	19,4 g/d	0	3,536 kg	33,033 kg
Fluoren	13,2 g/d	13,2 g/d	0	2,481 kg	37,308 kg
Phenanthren	5,7 g/d	5,7 g/d	0	641,9 g	44,874 kg
Anthracen	0,72 g/d	0,72 g/d	0	155,4 g	32,636 kg
Fluoranthren	0,52 g/d	0,52 g/d	0	76,15 g	40,190 kg
Pyren	0,34 g/d	0,33 g/d	0,01 g/d	86,20 g	44,746 kg

Als relativ kritische Größe für die Berechnung der stationären Fahnenlängen hat sich die Modellierung der Strömungssituation erwiesen. Im Modell wird dem dadurch Rechnung getragen, dass nicht mit einer einheitlichen Strömung im gesamten Ausbreitungsgebiet gerechnet wird, sondern dass die Fließrichtung aus den Grundwasserständen der Messpunkte (soweit diese vorhanden sind) die Fließgeschwindigkeit aus dem so ermittelten hydraulischen Gefälle und dem k_f -Wert für jeden Gitterpunkt des Abstroms berechnet wird. D.h., dass den Stichtagsmessungen im Abstromfeld und einer sorgfältigen Ermittlung eines mittleren k_f -Wertes des Abstromfeldes große Modellrelevanz zukommt. Im vorliegenden Fall liegen durch den tief in den Grundwasserleiter eintauchenden Phasenkörper komplexe Umströmungsverhältnisse vor, die zu komplexen, im einzelnen nicht bekannten Strömungsverhältnissen in der Eintrittsebene des Modellgebiets führen. Messtechnisch nachgewiesen wurden unter anderem Vertikalströmungen an der Messstelle T25 im unmittelbaren Abstrom des Phasenkörpers. Diese Strömungsverhältnisse in der Eintrittsebene können durch Stichtagsmessungen an wenigen Grundwassermessstellen sicher nur unvollkommen abgebildet werden. Wie gravierend diese Bedingungen in die Modellierung der Fahnen eingehen, zeigen Abb. 7.1 und Abb. 7.2. Abb. 7.1 zeigt die Abstromfahne für Acenaphthen in der Ebene c berechnet aus dem Mittelwert der Stichtagsmessungen des Jahres 2001/2002. Die Abb. 7.2 zeigt die gleiche Fahne berechnet mit den Stichtagsmessungen aus dem extrem trockenen Sommer 2003. Aus einem Vergleich der beiden Bilder kann man unschwer erkennen, dass im einen Fall mit den Messpunkten entlang der Hauptachse E5/21 und E5/T21, E6/22 und E6/T22 sowie E7/T27 die Fahne messtechnisch relativ gut erfasst werden kann und im anderen Fall die Fahne an den Hauptachsenmesspunkten weitgehend vorbei zieht und die Messergebnisse somit eine deutlich zu kurze Fahne wiedergeben würden. Die Kenntnis einer im langfristigen Mittel repräsentative Strömungssituation ist damit entscheidend für eine befriedigende Übereinstimmung zwischen berechneter und messtechnisch ermittelter Konzentrationsverteilung im Abstromfeld.

Schadstofffahne von Acenaphthen im Horizont c (logarithmische Darstellung)

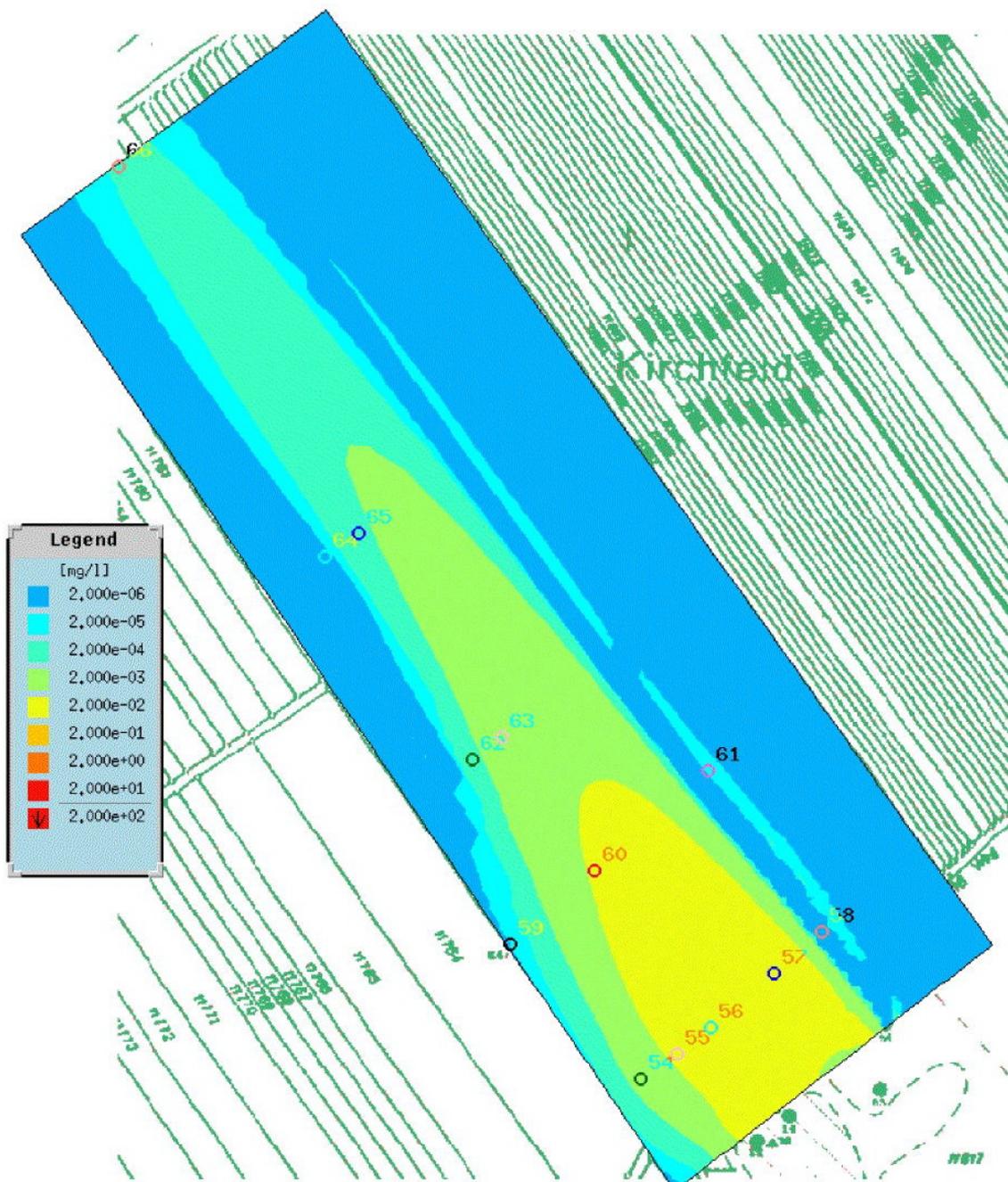


Abb. 7.1: Acenaphthenfahne (gerade Fahne, Fließrichtung errechnet aus mehreren Stichtagsmessungen)

Schadstofffahne von Acenaphthen im Horizont c (logarithmische Darstellung)

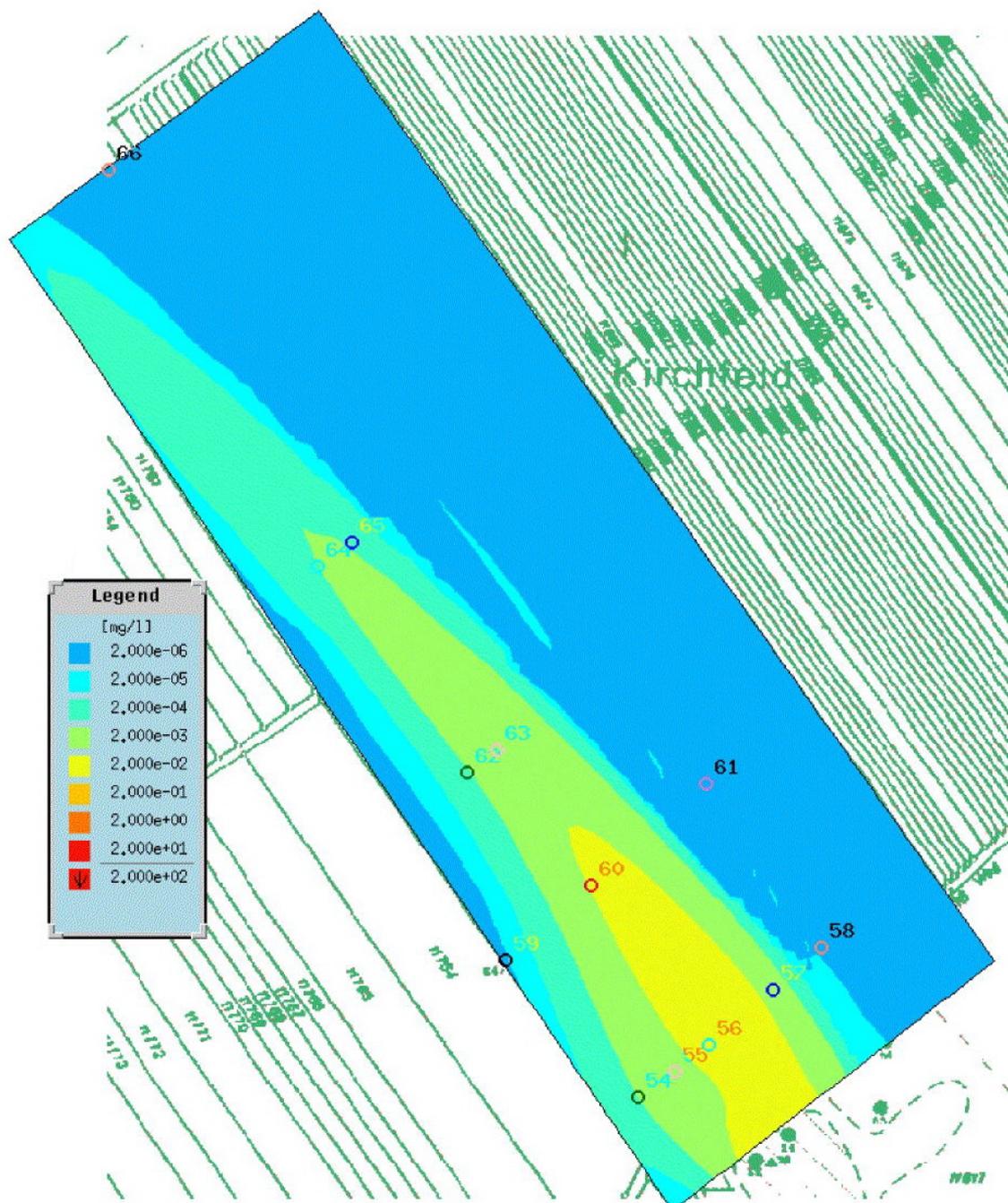


Abb. 7.2: Acenaphthenfahne (krumme Fahne, Fließrichtung aus einer Stichtagsmessung errechnet)

Die errechneten Fahnen, dargestellt in Anlage 4, stellen zunächst die Fahnenstruktur dar, wie sie nach unendlich langer Zeit erreicht wird. Da diese Fahnenstruktur stationär ist, wird ihre Ausdehnung solange nicht überschritten, solange sich die Werte, die der Berechnung zugrunde lagen, nicht nennenswert ändern. Änderungen können sich vor allem durch Veränderungen des Grundwasserströmungsregimes oder durch Veränderungen der Emissionsquellstärken der einzelnen Schadstoffe ergeben. Bei Simulationen des zukünftigen Verhaltens der Schadstoffe im Grundwasser geht man üblicherweise von einem konstanten Grundwasserströmungsregime aus. Ein langsames „Ausbluten“ der Quelle, im vorliegenden Fall des Teerölphasenkörpers wird zu einer auf längere Sicht gesehen jeweils mehr oder weniger stark rückläufigen Fahnenkontur führen. Entsprechend den (sehr groben) Abschätzungen in Tab. 2.3 Kapitel 2.3 ist eine deutliche Rückläufigkeit der Fahnenausdehnung in den nächsten Jahrzehnten nur bei den BTEX zu erwarten.

8 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

8.1 Ergebnis

Insgesamt lässt sich für die „Stürmlinger Sandgrube“ die Stationarität der Abstromfahne gesichert nachweisen. Die heute vorliegende Schadstofffahne hat den stationären Endzustand zwar weitgehend, aber noch nicht vollständig erreicht. Sie liegt mit ca. 500 m Fahnenlänge im Bereich dessen, was man anhand der publizierten Schadstofffahnenabmessungen bei der vorliegenden hohen Emissionsstärke erwarten kann. Zweifelsfrei ist auch, dass die Begrenzung des Schadstoff-Ausbreitungsgebiets im Abstrom im wesentlichen durch den mikrobiologischen Abbau bestimmt wird. Insofern ist die Qualität einer Sicherung entsprechend den Überlegungen aus Kapitel 1 für den Standort „Stürmlinger Sandgrube“ trotz sehr hoher Emissionsquellstärken gegeben. Der Aufwand, der zu diesem Nachweis im Rahmen des Forschungsvorhabens betrieben wurde, ist verglichen mit dem üblichen Erkundungsaufwand relativ groß. Er ist auf der anderen Seite aber klein im Vergleich zu den Sanierungsaufwendungen, die bei einer Altlast dieser Größe betrieben werden müssten.

Zum Nachweis der Stationarität musste die heute vorliegende Schadstoffverteilung im Abstrom ermittelt werden und mit Hilfe von Modellierung und Simulation geprüft werden, ob diese Verteilung einen stationären Zustand darstellt oder diesem zustrebt. Die Schadstoffverteilung in der Abstromfahne wurde aus Konzentrationsmessungen an einer großen Zahl von Messpunkten im Fahnenkörper bestimmt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der Konzentrationsmessungen an festen Messpunkten einer nicht unerheblichen Ergebnisstreuung unterliegen, die sich aus einer Phänomenstreuung und der messverfahrensbedingten Unsicherheit zusammensetzt. Die verfahrensbedingte Messunsicherheit ergibt sich aus stochastischen und unbekannt systematischen Fehlern bei Probenahme, Probenhandling und Analytik. Da zumindest bei den Konzentrationsmessungen und der Messung der hydrogeologischen Parameter Standardverfahren eingesetzt wurden, dürfte der messverfahrensbedingte Anteil der Ergebnisstreuung insgesamt klein gegenüber der Phänomenstreuung sein. Die Phänomenstreuung setzt sich aus örtlichen und zeitlichen Schwankungen des Messobjektes zusammen. Die durch kleinskalige Inhomogenitäten der Bodenstruktur hervorgerufenen örtlichen Schwankungen des Messobjektes bewirken, dass ein gemessener Konzentrationswert u.U. nicht oder nur eingeschränkt repräsentativ für seine Umgebung ist. Das bedeutet, dass Abweichungen an den einzelnen Punkten zwischen gemessenen Konzentrationen und durch Modellrechnung bestimmte Konzentrationen nicht überbewertet werden dürfen, solange Fahnenform und Schadstoffmassenverteilung insgesamt befriedigend übereinstimmen und sich plausible Massenbilanzen ergeben.

Die zeitliche Phänomenstreuung, d.h. die doch überraschend großen Ergebnisunterschiede zwischen den verschiedenen Beprobungskampagnen gehen auf kleinskalige Veränderungen lokaler Strömungsverhältnisse durch die erwähnten Untergrundinhomogenitäten und durch saisonal bedingten Grundwasserstandsschwankungen zurück. Falsche Schlussfolgerungen zu Fahnenlänge und Hauptausbreitungsrichtung lassen sich hier nur durch Mehrfachmessung und Mittelwertbildung vermeiden. Welch gravierende Fehler man auch bei einem als relativ „homogen“ zu bezeichnenden Grundwasserleiter, wie den Kieslagen der Oberrheinebene, bei Einzelmessungen auftreten können, wird beispielhaft im Abschlußbericht der Fraunhofergesellschaft gezeigt /FhG, 2003/.

Die Messergebnisse insgesamt zeigen, dass belastbare Aussagen zur Stationarität nicht an einzelnen, wenigen Messpunkten und einer einzigen Messkampagne festgemacht werden können, auch nicht, wenn man einen relativ „homogenen“ Grundwasserleiter vorliegen hat. Diese Aussage gilt nicht nur für die Schadstoffkonzentrationsverteilung, sondern auch für die Messung der hydrogeologischen Parameter, wobei Mehrfachmessung und Mittelwertbildung vor allem bei den Grundwasserständen geboten ist. Dies dürfte eine Erkenntnis sein, die über den bisherigen Stand des Wissens, insbesondere im Verwaltungsvollzug, hinaus geht.

Im Zuge des Vorhabens wurde schrittweise ein Messfeld errichtet, mit dem der Grundwasserabstrombereich der „Stürmlinger Sandgrube“ an 23 Messpunkten mit Messstellenbündel tiefenhorizontiert erschlossen wurde. Dazu kamen noch eine Reihe von Einfachmessstellen mit unterschiedlicher Verfilterung sowie zwei Messstellenbündel zur Erfassung des Grundwasserzutromms (s. Tab. 2.4 in Kapitel 2.4). Damit ließ sich der Grundwasserabstrom in einem Bereich von ca. 85 m Breite, ca. 450 m Länge und ca. 40 m Tiefe (oberer Grundwasserleiter ca. 32 m mächtig) an mehr als 120 Messpunkten beproben. Die Messstellen gehören damit sicher zu einem der am besten ausgebauten Messfelder zur Untersuchung einer Grundwasserabstromfahne in Deutschland. Die Beprobung der Messpunkte wurde in 3 Kampagnen (Winter, Sommer, Herbst) durchgeführt. Im Bereich der Centerline und bei den Wasserstandsmessungen war die Messhäufigkeit noch größer. Insofern wurde der festgestellten Streuung der Messergebnisse Rechnung getragen und Ihre Auswirkung durch Mittelwertbildung begrenzt.

8.2 Weiterführende Erkenntnisse aus dem Projekt

Für die Stationaritätsbetrachtungen spielt eine Quantifizierung des mikrobiologischen Abbaus eine zentrale Rolle. Zur Ermittlung des mikrobiologischen Abbaus wurden im Rahmen der Messkampagnen Proben unter milieuerhaltenden Bedingungen entnommen und im Labor untersucht. Die Proben wurden auf die verschiedenen Schadstoffverwerter untersucht. Die Messergebnisse ergaben klare Hinweise auf die verschiedenen Abbauprozesse und ließen auch eine Zuordnung bestimmter Bereiche im Abstrom zu den dort jeweils überwiegenden Abbauprozessen zu. Insofern ergaben die Laborergebnisse den Nachweis des mikrobiologischen Abbaus und die Erkenntnis, in welchen Abstrombereichen welche Milieubedingungen und welche Abbauprozesse dominieren. Die mikrobiologischen Laboruntersuchungen waren daher ein wichtiger und unverzichtbarer Teil der messtechnischen Untersuchungen. Was die Laboruntersuchungen aber nicht leisten konnten, war die genügend genaue Ermittlung der für den Michaelis-Menten-Ansatz benötigten Parameter für die einzelnen Komponenten. Der Grund dafür liegt zum einen in der dafür nicht ausreichenden Genauigkeit der Ergebnisse und der bei Abbaueversuchen am natürlichen Substrat nur beschränkten Differenzierungsmöglichkeit zwischen den einzelnen Komponenten und zum anderen an der Unsicherheit, inwieweit die unter Laborbedingungen ermittelten Parameter zur Quantifizierung der Feldergebnisse herangezogen werden können. Man wird also auch in absehbarer Zukunft die Michaelis-Menten-Parameter nicht als Ergebnis der Laboruntersuchungen bekommen können. Im Vorhaben wurde daher auf den identifizierten Abbauprozessen und den ebenfalls ermittelten Abbau- und Milieuzonen aufsetzend die Michaelis-Menten-Parameter aus dem Verlauf der gemessenen

Konzentrationen für die einzelnen Komponenten rechnerisch ermittelt, wobei hierzu die Michaelis-Menten-Kinetik als beschreibende Funktion zu Grunde gelegt wurde. Dabei ist es für die Berechnung der Michaelis-Menten-Parameter unerheblich, ob die Fahne bereits den stationären Endzustand erreicht hat oder nicht. Wichtig ist nur, dass die Veränderungen der Fahne langsam im Vergleich zur Anpassungsgeschwindigkeit des mikrobiologischen Milieus ist, was beim Alter des vorliegenden Schadenfalls sicher gegeben ist. Die insgesamt gute Übereinstimmung zwischen gemessener und durch Modellrechnung bestimmter Konzentrationsverteilung bestätigt diesen Vorgehensansatz, erfordert aber eine genügend große Anzahl von Messpunkten für die einzelnen Milieubereiche mit belastbaren (nicht gerade im Bereich der Nachweisgrenze liegenden) Konzentrationsmessergebnissen. Aus diesem Grund wurden nur zwei Milieubereiche (aerob und anaerob) unterschieden. Wie die Ergebnisse, zeigen war dies aber auch im wesentlichen ausreichend. Die durch diese Vorgehen ermittelten Abbauparameter liegen im Schwankungsbereich der in der Literatur publizierten Werte.

Weitere wichtige Einflussgrößen für die Beurteilung der Konzentrationsverteilung im Abstrom bzw. für Stationariätsbetrachtungen sind, wie bereits in Kapitel 7.1, angesprochen die hydrogeologischen Parameter und hier insbesondere die Messwerte der Grundwasserstandsmessungen, von denen die lokalen Werte für Fließrichtung und Abstandsgeschwindigkeit (unter zu Hilfenahme von k_F -Wert und weiteren hydrogeologischen Parametern) bei der Modellrechnung abgeleitet werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die üblicherweise herangezogenen mittleren Werte für Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit bei Altlasten, die mit ihrem Ablagerungsbereich in das Grundwasser hineinreichen, für die Modellierung nicht ausreichen. Diese Werte können die Strömungsanomalien, die durch Umströmungseffekte der Einlagerungen entstehen und maßgeblichen Einfluss auf das Konzentrationsprofil am Fahnenanfang haben, nicht genügend genau abbilden.

Allein aus diesen Überlegungen heraus ergibt sich für Altlasten vergleichbarer Größe und Emissionsstärke die Forderung nach einer mit entsprechend großer Messpunktzahl besetzten Modelleingangsebene und mindestens vier Messstellenebenen entlang der Hauptabstromrichtung mit jeweils mindestens drei Messstellen, die eine tiefenhorizontierte Beprobung des Fahnenkörpers zulassen. Mit diesen Messstellen sind sowohl die mikrobiologischen Milieubedingungen und Parameter als auch die Konzentrationsverteilung in der Fahne und die Grundwasserstände zu ermitteln. Aufgrund der Ergebnisstreuung sind zumindest für Schadstoffkonzentration und Grundwasserstand Mehrfachmessungen und Mittelwertbildung erforderlich. Die Möglichkeit, durch Pumpversuche bei der Probenahme eine bessere Repräsentativität der Einzelergebnisse zu bekommen, wurde verworfen. Bedingt durch mikrobiologischen Abbau und Milieuwechsel, ist mit großen Konzentrationsgradienten zu rechnen, was zumindest für die seitlichen Fahnenränder durch die Messungen auch bestätigt wurde. In diesen Zonen würden Pumpversuche die mikrobiologischen Verhältnisse verändern, ohne bezüglich der Fahnenkontur zusätzliche Informationen zu gewinnen. Pumpversuche stellen in Bereichen mit Milieugradienten unter Umständen gravierende Eingriffe in die mikrobiologischen Bedingungen dar, über deren Tragweite derzeit keine Aussagen gemacht werden können.

Weniger wichtig für die Stationaritätsbetrachtungen ist die Ermittlung der Sorption. Entscheidungsrelevant ist hier nur die Frage, ob das Geschehen im Abstrom nennenswert durch irreversible Sorption beeinflusst wird. Dagegen ist die Ermittlung der K_D -Werte für die

einzelnen Komponenten nur für Massenbilanzbetrachtungen interessant, d.h. zur Ermittlung der im Abstromkörper gespeicherten Schadstoffmengen. Im Fall der „Stürmlinger Sandgrube“ können diese Betrachtungen zur Plausibilisierung der Ergebnisse herangezogen werden, sie liefern aber ansonsten keine entscheidungsrelevanten Gesichtspunkte. Die Massenbilanzen und Schadstoffmengen sind sicher dann erforderlich, wenn es um eine Monetarisierung des Schadens, d.h. um Abschätzungen für Zeit- und Kostenaufwand einer Schadensbeseitigung geht. Die reversible Sorption verzögert lediglich das Erreichen der Stationarität, nicht aber die Ausdehnung der stationären Fahne. Hierbei ergab sich, dass die für mittlere Konzentrationen ermittelten K_D -Werte im Bereich der in der Literatur veröffentlichten Werte lagen.

Als Fazit ergibt sich, dass zum Nachweis der Stationarität einer Schadstofffahne mit dem Hilfsmittel der Modellierung und Simulation eine Erkundung der heute vorliegenden Schadstofffahne an einer genügend großen Anzahl von Messpunkten erforderlich ist. Der messtechnische Aufwand zum Nachweis der Stationarität ist daher deutlich höher anzusetzen als bei der Erkundung einer Schadstofffahne zur Gefährdungsabschätzung. Dazu kommt, dass der Nachweis der Stationarität und daraus folgend die Entscheidung, Natural Attenuation als Alternative zu einer klassischen Grundwassersanierung anzuerkennen, sicher nur über Monitored Natural Attenuation führt. Die bereits erwähnte Tatsache, dass u.U. übliche Schwankungen des Grundwasserstandes zu erheblichen Ablenkungen bei der Fahnencenterline führen können, (s. Kapitel 7.5) bedeutet, dass auch die Modellaustrittsebene abweichend von dem Testfeld der „Stürmlinger Sandgrube“ mit mehreren Messstellen besetzt sein sollte.

8.3 Überlegungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse

Zusammenfassend hat das Forschungsvorhaben nicht nur die Stationarität der Schadstofffahne im Abstrom der „Stürmlinger Sandgrube“ nachgewiesen, sondern auch wichtige Gesichtspunkte bezüglich des Mindestaufwandes zur Feststellung der Stationarität ergeben. Wichtige Ergebnisse wie z.B. die Bestimmung der hydrogeologischen Parameter, der K_D -Werte bzw. der Parameter für die Langmuir-Isotherme und die Parameter der Michaelis-Menten-Kinetik für den mikrobiologischen Abbau sind im wesentlichen orts- und konzentrationsspezifisch und können deshalb nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragen werden. Sie müssen also bei einem neuen Standort erneut abgeschätzt bzw. bestimmt werden.

Im Folgenden soll deshalb noch auf die Frage eingegangen werden, inwieweit sich aus dem Vorhaben Erkenntnisse ergeben haben, die eine Übertragbarkeit des Vorgehens auf andere Standorte zulassen bzw. inwieweit sich aus dem Projekt ein Vorgehensschema mit seinen wesentlichen Anforderungen ableiten lässt. Die Überlegungen beziehen sich dabei auf Lockergesteinsgrundwasserleiter, die einer Modellierung des Grundwassertransports und der Schadstoffausbreitung im Grundwasser mit mesoskaligen Finite-Element-Ansätzen zugänglich sind. Durch diese letztgenannte Einschränkung manifestiert sich eine erste wesentliche Anforderung, nämlich dass die Grundwasserströmung aus Punktmessungen als räumlich und zeitlich gemittelte Aussage bestimmt werden kann und dass die Schadstoffausbreitung aufgrund von molekularer und turbulenter (strömungsbedingter) Diffusion beschrieben werden kann. Einer hinreichend genauen Beschreibung der Strömungsverhältnisse über Jahre und Jahrzehnte hinweg kommt dabei eine Schlüsselstellung zu. In Lockergesteinsgrundwasserleitern wird dies in der Regel über die Parameter mittlere

Fließrichtung und mittlere Abstandsgeschwindigkeit sowie gemittelte Aussagen zum k_f -Wert, zur Porosität des Grundwasserleiters und zur Dispersivität angegeben. Insbesondere der zuverlässigen Ermittlung der Hauptausbreitungsrichtung, d.h. der Grundwasserfließrichtung kommt daher große Bedeutung zu, da im Grundwasserabstrom entlang der Hauptfließrichtung die größte Länge der Abstromfahnen vorliegt und somit hier auch die Überwachung der Stationarität ansetzen sollte. Der Ermittlung der hydrogeologischen Parameter und auch der räumlich gemittelten Schadstoffbelastungen durch Pumpversuche sind dabei sehr enge Grenzen gesetzt. Die hydrogeologischen Parameter sind daher aus punktuellen Messungen zu ermitteln, wobei die Anforderungen an eine räumliche Repräsentanz der Ergebnisse eine genügend große Zahl von Messpunkten erfordert und die Anforderungen an eine zeitliche Repräsentanz mehrere Wiederholungsmessungen über mindestens ein Jahr (z.B. ausgeführt als Stichtagsmessungen) erfordern. Diese Bedingungen waren bei der „Stürmlinger Sandgrube“ hinreichend erfüllt, wobei das extrem trockene Jahr 2003 gezeigt hat, wie notwendig es gewesen wäre, zum Nachweis des Fahnenendes nicht nur eine Messstelle (im vorliegenden Fall E7/T27) sondern eine genügend Breite Messstellenebene zu haben. Die Mindestanforderungen sind also sicher eine Eingangsmessstellenebene mit ausreichender Breite und Tiefe zur Ermittlung zuverlässiger Emissionsdaten und eine Endmessstellenebene jenseits des Fahnenrandes zum gesicherten experimentellen Nachweis und zur langfristigen Überwachung des Fahnenendes. Da die Ausdehnung der Fahne weder horizontal noch vertikal zu Beginn der Erkundung bekannt ist, empfiehlt sich ein stufenweises Vorgehen mit dem Ziel der zuverlässigen Positionierung dieser mindestens notwendigen Messstellenebenen, so wie es sich im Projekt bewährt hat.

Der Vorgehensansatz bei der „Stürmlinger Sandgrube“ empfiehlt sich daher auch zum Nachweis der Stationarität andere Schadstofffahnen im Grundwasser, wobei die Messstellendichte im mittleren Bereich geringer ausfallen kann. Der mittlere Bereich bei der „Stürmlinger Sandgrube“ wird durch die Ebenen 2, 3 und 4 dargestellt. Prinzipiell könnten diese drei Ebenen mit insgesamt 12 Messstellen durch eine Messstellenebene mit drei Messstellen ersetzt werden. Dagegen sollte die Modellgebietaustrittsebene, die bei der „Stürmlinger Sandgrube“ nur durch eine Messstelle belegt ist, mit mindestens drei Messstellen besetzt werden. In dieser Ebene könnten auch Immissionspumpversuche eingesetzt werden, um die räumliche Repräsentativität der Ergebnisse zu verbessern. Voraussetzung ist allerdings, dass die Messstellenebene tatsächlich am Fahnenende oder jenseits des Fahnenendes der am weitesten reichenden Komponente liegt. Da hier nur noch relativ kleine Konzentrationsgradienten und, wenn überhaupt, nur wenig ausgeprägte Milieuübergänge vorliegen, liefert der Immissionspumpversuch eine besser abgesicherte Information ohne die Messobjekte wesentlich zu beeinflussen.

Auch die Ansätze mit einer Langmuir-Isotherme zur Beschreibung des Sorptionsverhaltens und einer Michaelis-Menten-Kinetik jeweils mit Bestimmung der Parameter aus dem gemessenen Konzentrationsverlauf haben sich bewährt. Bei Übertragung auf andere Schadstoffe ist allerdings zu prüfen, ob die Unterscheidung nur in aerobe und anaerobe Milieubedingungen beim mikrobiologischen Abbau die natürlichen Verhältnisse genügend gut abbildet. Bei PAK, BTEX oder MKW ist dies zu erwarten. Bei LHKW und anderen Schadstoffen wäre dieser Ansatz noch zu überprüfen. Am Beispiel von Benzol hat sich aber auch gezeigt, dass bei sehr hohen Schadstoffkonzentrationen der Michaelis-Menten-Ansatz an seine Grenzen stößt und entweder modifiziert oder durch einen anderen Ansatz ersetzt werden muss. Im Projekt hat sich gezeigt, dass für BTEX und Naphthalin bis zu Konzentrationen von 10 mg/l der Michaelis-Menten-Ansatz und das beschriebene Vorgehen zur Ermittlung der

Parameter noch zu vernünftigen Ergebnissen führt. Bei den gemessenen Benzolwerten bis zu 40 mg/l (Mittelwert) bzw. 55 mg/l (Einzelwert) trägt dieser Ansatz aber nicht mehr. Auch dies sind Ergebnisse, die über den Stand des Wissens hinaus gehen.

Zusammenfassend hat das Forschungsvorhaben nicht nur die Stationarität der Schadstofffahne im Abstrom der „Stürmlinger Sandgrube“ nachgewiesen, sondern auch wichtige Gesichtspunkte bezüglich des Mindestaufwandes zur Feststellung der Stationarität ergeben. Insofern konnten die in der Aufgabenstellung (Kap. 1.1) aufgeworfenen Fragen weitgehend beantwortet werden. Entscheidend ist dabei, dass gezeigt werden konnte, welche Untersuchungen wichtig für eine Beurteilung der Stationarität sind. Dies sind vor allem die Untersuchungen zur genauen Ermittlung der hydrogeologischen Beschreibung des Abstromfeldes und die Untersuchung der mikrobiologischen Abbauprozesse. Weiterhin ergab sich, dass nur ein genügend genau parametrisiertes Modell den Beweis für die Stationarität liefern kann. Nur mit Hilfe der Simulation können die im Feld gemessene Fahne und die darin festgestellten Konzentrationsverteilungen entsprechend beurteilt und interpretiert werden. Die Simulation liefert darüber hinaus die einzige Möglichkeit, das Verhalten der Fahne in der Zukunft zu beurteilen. Die Simulationsergebnisse sind und werden damit auch zum unverzichtbaren Bestandteil von Monitored Natural Attenuation.

9 Literaturverzeichnis

- /Abschlussbericht, 2004/ Gemeinsamer Abschlussbericht des Verbundprojektes Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Ausbreitungsfahnen im Grundwasser, 2004; BMBF-Verbundprojekt; Projektträger des BMBF: FZK (Forschungszentrum Karlsruhe)
- /Anderson, Lovley, 1999/ Anderson, R. T., Lovley, D. R. (1999): Naphthalene and Benzene degradation under Fe(III)-reducing conditions in petroleum-contaminated aquifers; *Bioremediation J.* 3 (2): 121-135
- /Atkins, 1996/ Atkins, P.W. (1996): *Physikalische Chemie*; 2. Auflage, Herausgegeben von A. Höpfner; Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo (VCH)
- /Balke, Beims, Heers, 2000/ Balke, K.-D., Beims, U., Heers, F. W. (2000): Grundwassererschließung; *Lehrbuch der Hydrogeologie*; Band 4; Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger)
- /BBodSchV, 1999/ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (1999): *Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999, Teil I, Nr. 36, 1554 - 1682*
- /Beyer, 1964/ Beyer, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve; *Wasserwirtsch. Wassertechn.* 14: 165 - 169; Berlin (Verlag für Bauwesen)
- /Bockelmann et al. 2001/ Bockelmann A., Ptak T., Teutsch G. (2001): Quantifizierung des natürlichen Rückhalte- und Abbaupotentials im Feldmaßstab am Beispiel des Testfeldes Süd – In: Krysa, G., Track, T., Michels, J., Wiesner J., (Hrsg): *Natural Attenuation : Neue Erkenntnisse, Konflikte, Anwendungen.* , S. 121 – 128, DECHEMA e. V., Frankfurt
- /Bouwer, 1992/ Bouwer, E. J. (1992): Bioremediation of organic contaminants in the subsurface; *Environ. Microbiol.* 287-318
- /Busch, Luckner, 1974/ Busch, K.-F., Luckner, L. (1974): *Geohydraulik für Studium und Praxis*; 2.Aufl.; Stuttgart (Enke)
- /Christensen et al., 2000/ Christensen, T. H., Bjerg, P. L., Kjeldsen, P., (2000): Natural Attenuation: A feasible approach to remediation of Groundwater pollutants at landfills; *Groundwater Monitoring & Remediation* 20 (1), 69-77
- /Deutsche Geologische Gesellschaft, 1999/ Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (1999): *Hydrogeologische Modelle*; Heft 10.; Hannover.

-
- /Deutsche Geologische Gesellschaft, 2002/ Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (2002): Das Hydrogeologische Modell als Basis für die Bewertung von Monitored Natural Attenuation bei der Altlastenbearbeitung; Heft 23.; Hannover.
- /DIN 1319, 1983/ Deutsches Institut für Normung e.V. (1983): DIN 1319, Grundbegriffe der Meßtechnik, Begriffe für die Meßunsicherheit und für die Beurteilung von Meßgeräten und Meßeinrichtungen; Berlin (Beuth)
- /DIN 18123, 1996/ Deutsches Institut für Normung e. V. (1996): DIN 18123, Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung; Berlin (Beuth)
- /DIN 38414-4, 1984/ Deutsches Institut für Normung e. V. (1984): DIN 38414-4, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4); Berlin (Beuth)
- /DIN EN ISO 14956, 2003/ Deutsches Institut für Normung e. V. (2003): DIN EN ISO 14956, Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit; Berlin (Beuth)
- /DIN ISO 11222, 2001/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Entwurf 2001): Luftbeschaffenheit; Ermittlung der Unsicherheit von zeitlichen Mittelwerten von Luftbeschaffenheitsmessungen; Berlin (Beuth)
- /DIN ISO 6879, 1996/ Deutsches Institut für Normung e. V. (1996): Luftbeschaffenheit; Verfahrenskenngrößen und verwandte Begriffe für Meßverfahren zur Messung der Luftbeschaffenheit; Berlin (Beuth)
- /DVWK Bd. 125, 1999/ Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) (1999), Heft 125, „Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit“, Bearbeiter Heinz Hötzl und Kai Witthüser, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- /DVWK, 1997/ Deutsch Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) (1997): Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermeßstellen; DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, H. 245, Bonn
- /Evans et al., 1991/ Evans P. J., Mang, D. T., Kim, K. S., Young, L. Y., (1991): Anaerobic degradation to toluene by a denitrification bacterium; Appl. Environ. Microbiol. 57; 1139-1145
- /FhG, 2003/ Fraunhofer Gesellschaft (FhG) - IITB (2003): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben “Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser”

-
- /Fritsche, Hofrichter, 2000/ Fritsche W., Hofrichter M., (2000): Aerobic degradation by microorganisms; Biotechnology, Rehm H. J. and Reed, G (eds) 11b, Environmental Process; Wiley-VCH, Weinheim
- /Furtak, Langguth, 1967/ Furtak, H., Langguth, H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. Mem. IAH-Kongress, 1965, VII: 86-96, Hannover.
- /G.M.F., 1997/ Gesellschaft für Meß- und Filtertechnik mbH (1997): Stadt Karlsruhe, Umweltamt, Altablagerung "Stürmlinger Sandgrube"; Nähere Erkundung (E₂₋₃), Endbericht Stand 21.10.1997
- /G.M.F., 2002/ Gesellschaft für Meß- und Filtertechnik mbH (1997): Stadt Karlsruhe, Umweltamt, Altablagerung "Stürmlinger Sandgrube"; ergänzende Detailuntersuchung (DU); Endbericht Stand 11.09.2002
- /Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 1985/ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1985): Geologische Karte Blatt 6916 Karlsruhe Nord mit Erläuterungen; Stuttgart
- /GUM, 1995/ Deutsches Institut für Normung e. V. (1995): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Deutsche Übersetzung des "Guide to Expression of Uncertainty in Measurement"; Berlin (Beuth)
- /Hazen, 1893/ Hazan, A. (1893): Some physical properties of sand and gravel with special reference to their use in filtration; An. Rep. Mass. State, Bd Health, 24: 541 - 556; Boston
- /HLUG, 1998/ Hessische Landesanstalt für Umwelt (1998); Handbuch Altlasten, Bd. 7, Teil 1, Bestimmung von Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen in Feststoffen aus dem Altlastenbereich; Wiesbaden
- /Hölting, 1992/ Hölting, B. (1992): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie; 4. Überarb. Aufl.; Stuttgart (Enke)
- /Hydrogeologische Kartierung, 1988/ Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland Pfalz (1988): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe - Speyer, Analyse des Ist-Zustandes, Aufbau eines mathematischen Grundwassermodells; 111 S.; Stuttgart - Mainz
- /Karickhoff et. al. 1979/ Karickhoff, S.W., Brown, D.S., Scott, T. A. (1979): Sorption of hydrophobic pollutants on Natural sediments; Water Research Bd. 13;
- /Karickhoff, 1981/ Karickhoff, S.W.(1981): Semiempirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on sediment and soils; Chemosphere, Vol 10, No. 8;

-
- /Käss, 1992/ Käss, W. (1992); Geohydrologische Markierungstechnik; Lehrbuch der Hydrogeologie; Band 9; Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger)
- /Kästner, 2000/ Kästner, M., (2000): Degradation of aromatic and polyaromatic compounds; Biotechnology, Rehm H. J. and Reed, G. (eds) 11b, Environmental Process, Wiley-VCH, Weinheim
- /Kinzelbach, Rausch, 1995/ Kinzelbach, W., Rausch, R. (1985); Grundwassermodellierung: Eine Einführung mit Übungen; 283 S.; Berlin, Stuttgart (Gebr. Borntraeger)
- /Langguth, Voigt, 1980/ Langguth, H. R., Voigt, R. (1980): Hydrogeologische Methoden; Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- /Leduc et al., 1992/ Leduc, R., Samson, R., Al-Bashir, B., Al-Hawari, J., Cseh, T. (1992): Biotic and abiotic disappearance of four PAH compounds from flooded soil under various redox conditions; Water Sci. Technol. 26 (1-2): 51-60
- /LfU, 1996/ Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle (1996), Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser, Band 19; Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- /LfU, 1997/ Stoffbericht Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (1997), Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 34/97, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- /Lovley et al., 1994/ Lovley, D. R., Woodward, J. C., Chapelle, F. H. (1994): Stimulated anoxic biodegradation of aromatic hydrocarbons using Fe(III)- ligands; Nature 370; 128-131
- /Lovley et al., 1995/ Lovley, D. R., Coates J. D., Woodward, J.C., Phillips E. J. P. (1995): Benzene oxidation coupled to sulphate reduction; Appl. Environ. Microbiol. 61; 935-958
- /Lovley, Lonergan, 1990/ Lovley, D. R., Lonergan, D. J. (1990),: Anaerobic oxidation of toluene, phenol, and p-cresol by the dissimilation iron reducing organism; GS-15; Appl. Environ. Microbiol. 56; 1858-1864
- /Mahro, 2003/ Mahro, B. (2003); Entwarnung beim Thema "Gebundene Rückstände" - ein Resümee der Arbeit des BMBF-Forschungsverbunds 5; Altlastenspektrum 3/2003; S. 144-150; Berlin (Erich Schmidt Verlag GmbH und Co.)
- /McFarland, Sims, 1991/ McFarland M. J., Sims R. C. (1991): Thermodynamic framework for evaluating PAH Degradation in the subsurface; Ground Wat. 29 (6): 885-896

-
- /McNally et al., 1998/ McNally, D., Mihelcic, J. R., Lueking D. R. (1998): Biodegradation of three- and four-ring polycyclic aromatic hydrocarbons under aerobic and denitrifying conditions; *Environ. Sci. Technol.* 32: 2633-2639
- /Mattheß, 1990/ Mattheß, G. (1990); Die Beschaffenheit des Grundwassers; Lehrbuch der Hydrogeologie; Band 2; 2. Auflage; Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger)
- /Meckenstock et al., 1999/ Meckenstock, R. U., Warthmann R., Annweiler, E., Schink, B., Michaelis, W., Richnow, H. H. (1999): $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Stable isotope fractionation of toluene by anaerobic degradation. A new method to monitor biological degradation in situ? In: Novel approaches for bioremediation of organic pollution (R. Fass, Y. Flashner and S. Reuveny, eds.); 219-226; New York (Kluwer Academic / Plenum Publishers)
- /Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, 1988/ Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (1988): Altlastenhandbuch Teil I Altlastenbewertung Heft 18 und Teil II Untersuchungsgrundlagen Heft 19; Wasserwirtschaftsverwaltung
- /NATO-CCMS, 1999/ NATO / CCMS Pilot Study - Evaluation of Demonstration and Emerging Technologies for the treatment of Contaminated Land and Groundwater (Phase III) (1999) Special Session Monitored Natural Attenuation
- /Prinz, 1991/ Prinz, H. (1991): Abriß der Ingenieurgeologie; 2. Neubearb. u. erw. Aufl.; Stuttgart (Enke)
- /Rabus et al., 1993/ Rabus, R., Nordhaus, R., Ludwig, W., Widdel, F., (1993): Complete Oxidation of toluene under strictly anoxic conditions by a new sulfate-reducing bacterium; *Appl. Environ. Microbiol.* 59; 1444-1451
- /Rausch, 2002/ Rausch, R. (2002); Kursunterlagen Workshop 8/2002 "Transportmodellierung im Grundwasser"; Fortbildungsverband Boden und Altlasten Baden-Württemberg
- /Rice et al., 1995/ Rice, D. W., Dooher, B. P., Cullen, S. J., Everett, L. G., Kastenber, W. E., Grose R. D., Marino, M. A. (1995): Recommendations to improve the cleanup process for California's Leaking Underground Fuel Tank (LUFTS) - Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Environmental Protection Department/Environmental Restoration Division, Report submitted to the California State Water Committee /UCRL-AR-121762; October 16, 1995) Kalifornien USA
- /Rügner et al., 1997/ Rügner, H., Kleineidam, S., Grathwohl, P. (1997); Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 3/97, S. 133 - 138

-
- /Rügner et al., 2002/ Rügner H., Teutsch, G., Grathwohl, P., Kohler, W. (2002): Natural Attenuation organischer Schadstoff im Grundwasser - Stand der Technik, Methoden zur Implementierung; Herausgegeben vom Arbeitskreis Innovative Erkundungs-, Sanierungs- und Überwachungsmethoden; Altlastenforum Baden-Württemberg e. V., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- /Schäfer, 1999/ Schäfer, W. (1999): Modellierung des reaktiven Transports organischer Schadstoffe im Grundwasser; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe; Herausgeber Prof. Dr. Dr. K. Czurda und Prof. Dr. Hötzl;
- /Schiedek et al., 1997/ Schiedek, D., Grathwohl, P., Teutsch, G. (1997): Literaturstudie zum natürlichen Rückhalt/Abbau von Schadstoffen im Grundwasser - Bericht des Lehrstuhls für angewandte Geologie, Universität Tübingen (im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg)
- /Schüth, 1994/ Schüth, C. (1994): Sorptionskinetik und Transportverhalten von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Grundwasser - Laborversuche; Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C: Hydro-, Ingenieur- und Umweltgeologie; Schriftleitung: G. Teutsch, G. Eisele
- /Schulze, Tiehm, 2004/ Schulze, S., Tiehm, A. (2004) in : Gemeinsamer Abschlussbericht des Verbundprojektes Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Ausbreitungsfahnen im Grundwasser, 2004; BMBF-Verbundprojekt; Projektträger des BMBF: FZK (Forschungszentrum Karlsruhe)
- /Stieber et al., 1993/ Stieber, M., Werner, P., Frimmel, F. H. (1993): Untersuchungen zur Bilanzierung des mikrobiellen Abbaus von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Bodensäulen; Vom Wasser 80; 165-175
- /US-EPA OSWER-Directive 1997/ US-EPA OSWER (1997, Draft): Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites; Directive 9200.4-17P
- /VDI 2449, 1987/ Verein Deutscher Ingenieure e.V. (1987): Grundlagen zur Kennzeichnung vollständiger Meßverfahren; Begriffsbestimmungen; Berlin (Beuth)
- VEGAS, Statuskolloquium 2001/ Tagungsband Statuskolloquium 12. Oktober 2001, Kurzfassung der Referate; Vortrag von M. Birkle "Stürmlinger Sandgrube Karlsruhe: Modellstandort für die Untersuchung von Retention und Abbau von PAK und BTEX"; Institut für Wasserbau, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung VEGAS, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 61;

-
- /VwV, 1998/ Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Sozialministeriums Baden-Württemberg über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen vom 16. September 1993 in der Fassung vom 01. März 1998; GABL. vom 6. Mai 1998, 295 - 303
- /Wedler, 1987/ Wedler, G. (1987): Lehrbuch der Pysikalischen Chemie; Dritte, durchgesehene Auflage; Weinheim, New York (VCH)
- /Wege, Barczewski, Klaas, 2004/ Wege, R., Barczewski, B., Klaas, N. (2004) in : Gemeinsamer Abschlussbericht des Verbundprojektes Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Ausbreitungsfahnen im Grundwasser, 2004; BMBF-Verbundprojekt; Projektträger des BMBF: FZK (Forschungszentrum Karlsruhe)
- /Weiner, Lovley, 1998/ Weiner, J.M., Lovley, D. R. (1998): Anaerobic benzene degradation in petroleum-contaminated aquifer sediments after inoculation with a benzene-oxidizing enrichment; Appl. Environ. Mircobiol. 64; 775-778
- /Wiedemeier et al., 1999/ Wiedemeier, T. H., Rifai, H. S., Newell, C. J., Wilson J. T. (1999): Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface; New York (John Wiley and Sons)
- /Wiedemeier et al., 1994/ Wiedemeier, T. H., Wilson, J. T., Kampbell D. H. (1994 Draft): Technical Protocol for Implementing Intrinsic Remediation with Long-Term Monitoring for Natural Attenuation of Fuel Contamination Dissolved in Groundwater; Volume I, Air Force Center of Environmetal Excellence
- /Zamfirescu, 2000/ Zamfirescu, D. (2000): Release and Fate of Organic contaminants at a former gasworks site; Dissertation; Universität Tübingen, Geowissenschaftliche Fakultät

Anlagenverzeichnis

1 Lagepläne

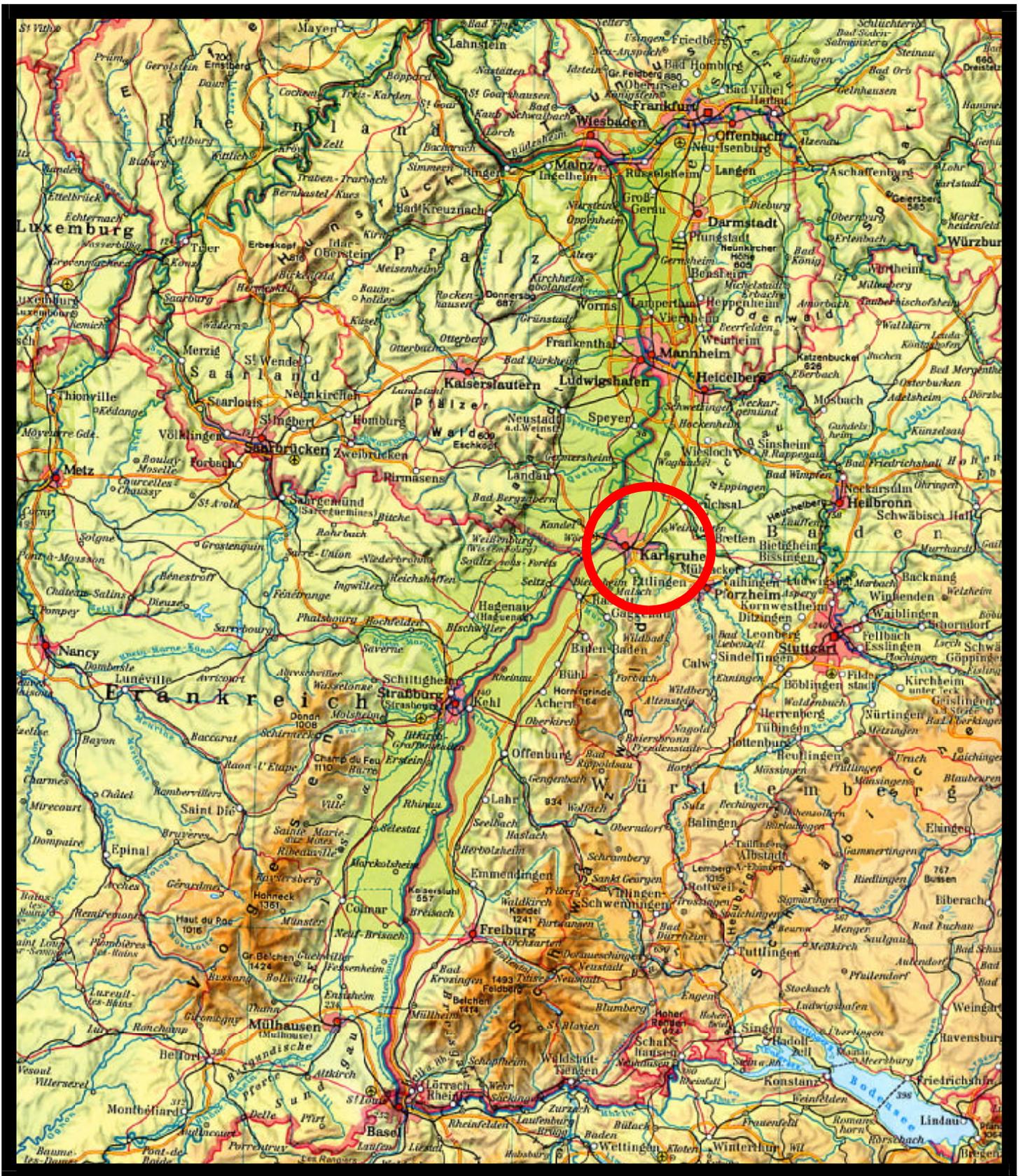
- 1.1 Übersichtslageplan 1 : 500 000
- 1.2 Übersichtslageplan 1 : 25 000
- 1.3 Lageplan 1 : 3000

2. Tabellen

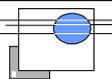
- 2.1 Messergebnisse – Bodenproben
- 2.2 Messergebnisse – Wasserproben
- 2.3 Aus den Messwerten ermittelte KD-Werte
- 2.4 Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26
- 2.5 Mittelwerte der vom TZW ermittelten Parameter aus den Kampagnen 1 bis 3

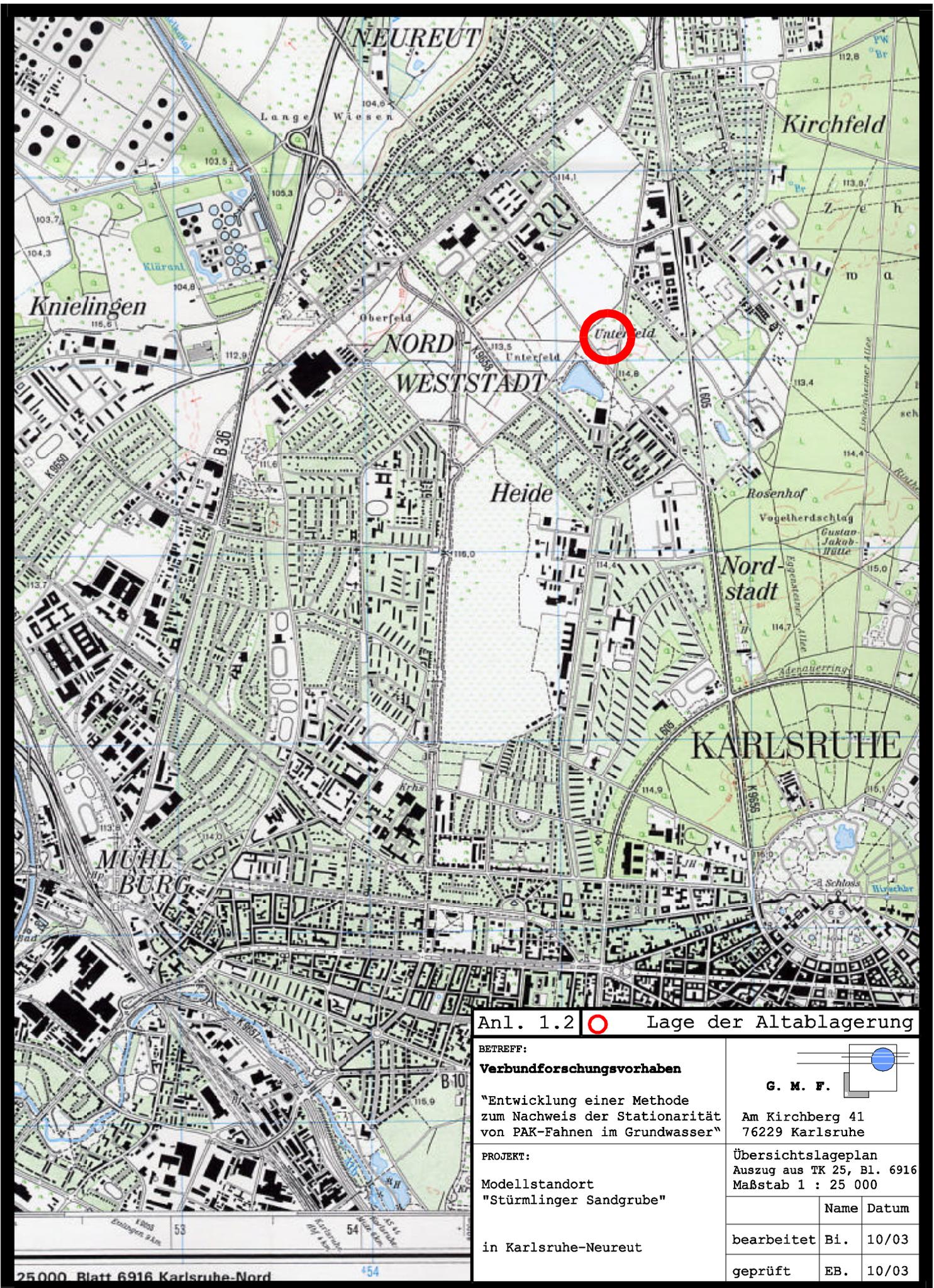
3. Emissionsermittlung

4. Ergebnisse der Modellierung



Anl. 1.1

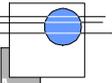
BETREFF: VERBUNDFORSCHUNGSVORHABEN "Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen in Grundwasser"	 G. M. F.	
	Am Kirchberg 41 76229 Karlsruhe	
PROJEKT: Modellstandort Altablagerung "Stümlinger Sandgrube" in Karlsruhe-Neureut	Übersichtslageplan Maßstab 1 : 1 500 000	
	Name	Datum
	bearbeitet	Bi. 10/03
	geprüft	EB. 10/03



Anl. 1.2  Lage der Altablagierung

BETREFF:
Verbundforschungsvorhaben
 "Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser"

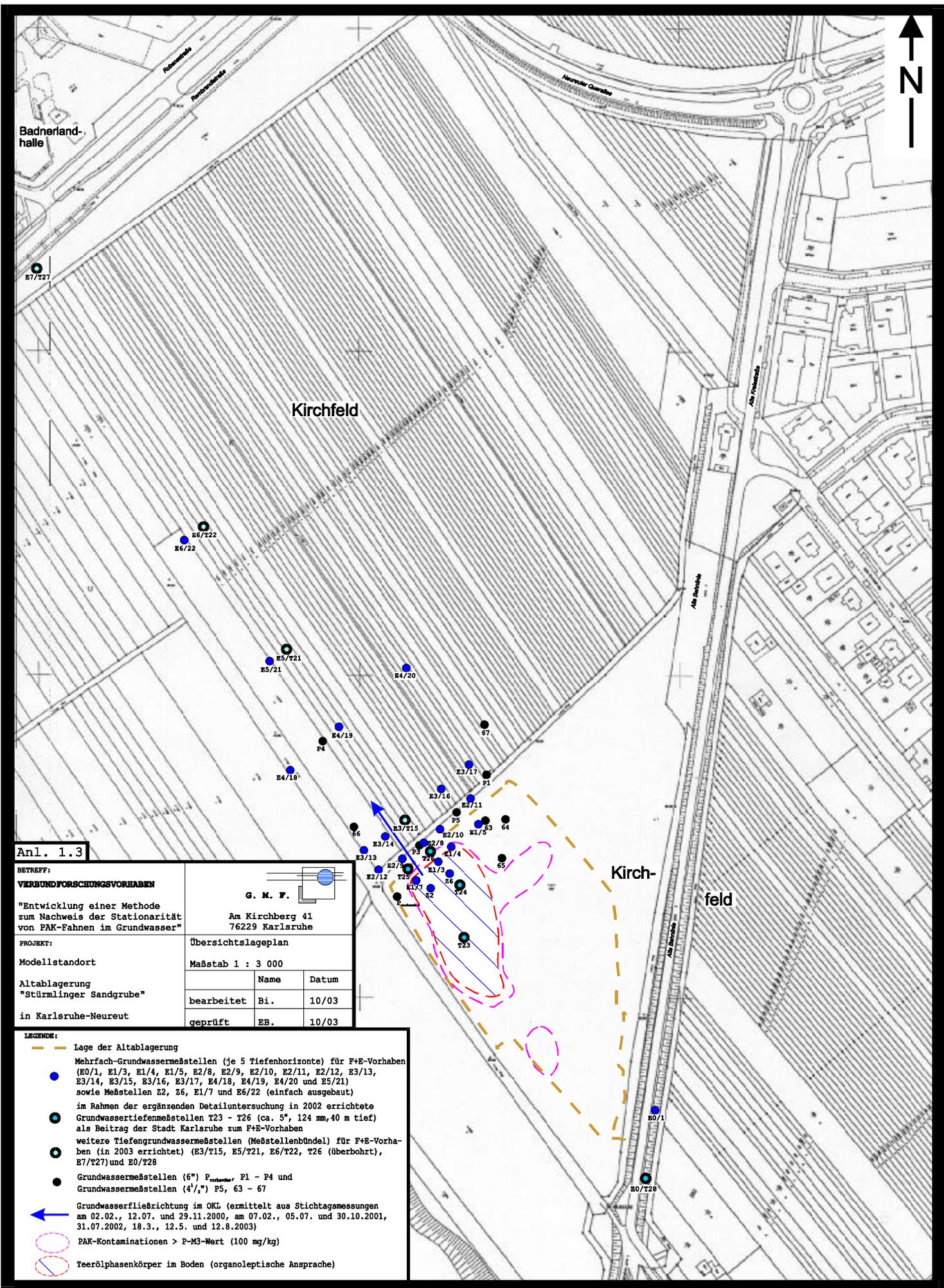
PROJEKT:
 Modellstandort
 "Stürmlinger Sandgrube"


G. M. F.
 Am Kirchberg 41
 76229 Karlsruhe

in Karlsruhe-Neureut

Übersichtslageplan
 Auszug aus TK 25, Bl. 6916
 Maßstab 1 : 25 000

	Name	Datum
bearbeitet	Bi.	10/03
geprüft	EB.	10/03



Anl. 1.3

BETREFF:
VERBUND-FORSCHUNGSVORHABEN
 "Entwicklung einer Methode zum Nachweis der Stationarität von PAK-Fahnen im Grundwasser"

PROJEKT:
 Modellstandort
 Altablagerung
 "Stürmlinger Sandgrube"
 in Karlsruhe-Neureut

 G. M. F. Am Kirchberg 41 76229 Karlsruhe		
Übersichtslageplan		
Maßstab 1 : 3 000		
	Name	Datum
bearbeitet	Bi.	10/03
geprüft	EB.	10/03

- LEGENDE:**
- Lage der Altablagerung
 - Mehrfach-Grundwassermeßstellen (je 5 Tiefenhorizonte) für F+E-Vorhaben (E0/1, E1/3, E1/4, E1/5, E2/8, E2/9, E2/10, E2/11, E2/12, E3/13, E3/14, E3/15, E3/16, E3/17, E4/18, E4/19, E4/20 und E5/21) sowie Meßstellen Z2, Z6, E1/7 und E6/22 (einfach ausgebaut)
 - im Rahmen der ergänzenden Detailuntersuchung in 2002 errichtete Grundwassertiefenmeßstellen T23 - T26 (ca. 5", 124 mm, 40 m tief) als Beitrag der Stadt Karlsruhe zum F+E-Vorhaben
 - weitere Tiefengrundwassermeßstellen (Meßstellenbündel) für F+E-Vorhaben (in 2003 errichtet) (E3/T15, E5/T21, E6/T22, T26 (überbohrt), E7/T27) und E0/T28
 - Grundwassermeßstellen (6") P_{Vorhanden} P1 - P4 und Grundwassermeßstellen (4"/") P5, 63 - 67
 - ➡ Grundwasserfließrichtung im OKL (ermittelt aus Stichtagsmessungen am 02.02., 12.07. und 29.11.2000, am 07.02., 05.07. und 30.10.2001, 31.07.2002, 18.3., 12.5. und 12.8.2003)
 - PAK-Kontaminationen > P-M3-Wert (100 mg/kg)
 - Teerölphasenkörper im Boden (organoleptische Ansprache)

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E 0/1	106,9 - 105,9	7	- 8	0	0	0	0
	105,9 - 104,9	8	- 9	0	0	0	0
	104,9 - 103,9	9	- 10	0	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	- 13	0	0	0	0
	97,9 - 96,9	16	- 17	0	0	0	0
	93,9 - 92,9	20	- 21	0	0	0	0
	89,9 - 88,9	24	- 25	0	0	0	0
Z2	109,1 - 108,1	5	- 6	1,50	0,87	3,74	4,73
	108,1 - 107,1	6	- 7	3060	571	94,0	487
	107,1 - 106,1	7	- 8	454	88,0	6,00	67,0
	106,1 - 105,1	8	- 9	457	83,0	8,00	68,0
	105,1 - 104,1	9	- 10	283	49,0	6,00	41,0
	104,1 - 103,1	10	- 11	741	96,0	77,0	125,0
	103,1 - 102,1	11	- 12	1120	168,0	91,0	192
	102,1 - 101,1	12	- 13	245	79,0	124	144
	101,1 - 100,1	13	- 14	168	41,0	54,0	66,0
	100,1 - 99,1	14	- 15	60,0	26,0	25,0	43,0
	99,1 - 98,1	15	- 16	35,0	8,00	7,00	12,0
	98,1 - 97,1	16,4	- 17	0,09	0,11	0,09	0,18
	97,1 - 96,1	17	- 18	0,03	0,04	0,04	0,07
	96,1 - 95,1	18	- 19	0,76	0,38	0,30	0,58
95,1 - 94,1	19	- 20	0,06	0,09	0,07	0,15	
E1/3	106,9 - 105,9	7	- 8	0,08	0,05	0,02	0,02
	105,9 - 104,9	8	- 9	7,20	0,16	0,16	0,14
	104,9 - 103,9	9	- 10	9,70	0,09	0,16	0,25
	103,9 - 102,9	10	- 11	1,90	0,04	0,03	0,26
	102,9 - 101,9	11	- 12	0,03	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	- 13	416	36,0	55,0	60,0
	100,9 - 99,9	13	- 14	368	28,0	58,0	57,0
	99,9 - 98,9	14	- 15	0,13	5,92	13,4	14,3
	98,9 - 97,9	15	- 16	4,53	12,2	17,4	26,5
	97,9 - 96,9	16	- 17	4,20	0,59	1,02	1,25
	96,9 - 95,9	17	- 18	0,56	0,09	0,17	0,20
	95,9 - 94,9	18	- 19	6,00	0,90	1,74	1,90
	94,9 - 93,9	19	- 20	0	0,07	0,05	0
	93,9 - 92,9	20	- 21	0,14	0,03	0,06	0,07
	92,9 - 91,9	21	- 22	0	0,04	0,02	0,02
	91,9 - 90,9	22	- 23	0	0	0	0
90,9 - 89,9	23	- 24	0	0,03	0	0	
89,9 - 88,9	24	- 25	0,02	0	0	0,02	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E 0/1	106,9 - 105,9	7	- 8	0	0	0	0
	105,9 - 104,9	8	- 9	0	0	0	0
	104,9 - 103,9	9	- 10	0	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	- 13	0	0	0	0
	97,9 - 96,9	16	- 17	0	0	0	0
	93,9 - 92,9	20	- 21	0	0	0	0
	89,9 - 88,9	24	- 25	0	0	0	0
Z2	109,1 - 108,1	5	- 6	21,4	6,60	19,0	12,9
	108,1 - 107,1	6	- 7	1330	564,00	766	500
	107,1 - 106,1	7	- 8	185	70,0	109	71,0
	106,1 - 105,1	8	- 9	182	54,0	107	71,0
	105,1 - 104,1	9	- 10	111	37,0	64,0	43,0
	104,1 - 103,1	10	- 11	336	95,0	200	130
	103,1 - 102,1	11	- 12	508	159	300	198
	102,1 - 101,1	12	- 13	392	104	226	149
	101,1 - 100,1	13	- 14	177	53,0	106	70,0
	100,1 - 99,1	14	- 15	128	47,0	79,0	53,0
	99,1 - 98,1	15	- 16	35,0	13,0	20,0	14,0
	98,1 - 97,1	16,4	- 17	0,53	0,17	0,32	0,21
	97,1 - 96,1	17	- 18	0,22	0,08	0,14	0,09
	96,1 - 95,1	18	- 19	1,80	0,63	1,20	0,80
95,1 - 94,1	19	- 20	0,46	0,17	0,30	0,20	
E1/3	106,9 - 105,9	7	- 8	0,07	0,03	0,06	0,04
	105,9 - 104,9	8	- 9	0,52	0,14	0,29	0,20
	104,9 - 103,9	9	- 10	0,42	0,07	0,17	0,11
	103,9 - 102,9	10	- 11	0,11	0,03	0,06	0,04
	102,9 - 101,9	11	- 12	0	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	- 13	167	41,0	102	66,0
	100,9 - 99,9	13	- 14	157	43,0	93,0	61,0
	99,9 - 98,9	14	- 15	36,1	9,85	21,7	14,8
	98,9 - 97,9	15	- 16	73,9	20,4	47,9	32,5
	97,9 - 96,9	16	- 17	3,90	1,00	2,40	1,50
	96,9 - 95,9	17	- 18	0,59	0,17	0,38	0,25
	95,9 - 94,9	18	- 19	5,60	1,45	3,50	2,25
	94,9 - 93,9	19	- 20	0,04	0,07	0,67	0,51
	93,9 - 92,9	20	- 21	0,23	0,06	0,14	0,09
	92,9 - 91,9	21	- 22	0,08	0,05	0,26	0,21
	91,9 - 90,9	22	- 23	0	0	0,05	0,05
90,9 - 89,9	23	- 24	0,09	0,04	0,22	0,22	
89,9 - 88,9	24	- 25	0,06	0,02	0,04	0,03	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E 0/1	106,9 - 105,9	7	-	8	0	0	0	
	105,9 - 104,9	8	-	9	0	0	0	
	104,9 - 103,9	9	-	10	0	0	0	
	101,9 - 100,9	12	-	13	0	0	0	
	97,9 - 96,9	16	-	17	0	0	0	
	93,9 - 92,9	20	-	21	0	0	0	
	89,9 - 88,9	24	-	25	0	0	0	
Z2	109,1 - 108,1	5	-	6	8,80	8,20	15,0	4,60
	108,1 - 107,1	6	-	7	313	293	380	245
	107,1 - 106,1	7	-	8	40,0	38,0	43,0	17,0
	106,1 - 105,1	8	-	9	37,0	35,0	39,0	16,0
	105,1 - 104,1	9	-	10	21,0	17,0	26,0	7,00
	104,1 - 103,1	10	-	11	73,0	69,0	92,0	54,0
	103,1 - 102,1	11	-	12	119	111	145	90,0
	102,1 - 101,1	12	-	13	84,0	79,0	108	60,0
	101,1 - 100,1	13	-	14	34,0	32,0	43,0	21,0
	100,1 - 99,1	14	-	15	25,0	23,0	60,0	28,0
	99,1 - 98,1	15	-	16	5,00	6,00	6,00	1,00
	98,1 - 97,1	16,4	-	17	0,13	0,13	0,18	0,11
	97,1 - 96,1	17	-	18	0,05	0,05	0,07	0,04
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,50	0,46	0,68	0,42
95,1 - 94,1	19	-	20	0,12	0,11	0,15	0,10	
E1/3	106,9 - 105,9	7	-	8	0,03	0,04	0,11	0,09
	105,9 - 104,9	8	-	9	0,13	0,12	0,28	0,25
	104,9 - 103,9	9	-	10	0,06	0,06	0,12	0,09
	103,9 - 102,9	10	-	11	0,02	0,02	0	0
	102,9 - 101,9	11	-	12	0	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	-	13	30,0	24,0	38,0	26,0
	100,9 - 99,9	13	-	14	27,0	25,0	36,00	18,00
	99,9 - 98,9	14	-	15	14,3	14,3	7,70	6,31
	98,9 - 97,9	15	-	16	33,9	33,9	17,71	14,4
	97,9 - 96,9	16	-	17	1,20	1,10	1,75	1,00
	96,9 - 95,9	17	-	18	0,16	0,15	0,22	0,13
	95,9 - 94,9	18	-	19	1,60	1,50	2,30	1,40
	94,9 - 93,9	19	-	20	0,28	0,28	0,37	0,22
	93,9 - 92,9	20	-	21	0,05	0,04	0,06	0,04
	92,9 - 91,9	21	-	22	0,12	0,12	0,21	0,11
91,9 - 90,9	22	-	23	0,02	0,02	0,05	0,02	
90,9 - 89,9	23	-	24	0,17	0,17	0,12	0,09	
89,9 - 88,9	24	-	25	0	0	0,02	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylen [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E 0/1	106,9 - 105,9	7	-	8	0	0	0	
	105,9 - 104,9	8	-	9	0	0	0	
	104,9 - 103,9	9	-	10	0	0	0	
	101,9 - 100,9	12	-	13	0	0	0	
	97,9 - 96,9	16	-	17	0	0	0	
	93,9 - 92,9	20	-	21	0	0	0	
	89,9 - 88,9	24	-	25	0	0	0	
Z2	109,1 - 108,1	5	-	6	11,2	5,20	8,60	130,84
	108,1 - 107,1	6	-	7	142	30,0	114	5829,00
	107,1 - 106,1	7	-	8	15,0	3,00	12,0	764,00
	106,1 - 105,1	8	-	9	13,0	2,00	11,0	726,00
	105,1 - 104,1	9	-	10	2,00	0	3,00	427,00
	104,1 - 103,1	10	-	11	22,0	2,00	20,0	1391,00
	103,1 - 102,1	11	-	12	42,0	17,0	37,0	2177,00
	102,1 - 101,1	12	-	13	27,0	9,00	22,0	1607,00
	101,1 - 100,1	13	-	14	3,00	2,00	4,00	706,00
	100,1 - 99,1	14	-	15	2,00	0	4,00	543,00
	99,1 - 98,1	15	-	16	0	0	0	127,00
	98,1 - 97,1	16,4	-	17	0,06	0,03	0,05	2,30
	97,1 - 96,1	17	-	18	0,02	0	0,05	0,96
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,22	0,09	0,19	8,25
95,1 - 94,1	19	-	20	0,04	0	0,04	2,00	
E1/3	106,9 - 105,9	7	-	8	0,12	0,03	0,14	0,85
	105,9 - 104,9	8	-	9	0,28	0,07	0,34	3,08
	104,9 - 103,9	9	-	10	0,06	0	0,07	1,73
	103,9 - 102,9	10	-	11	0	0	0	0,61
	102,9 - 101,9	11	-	12	0	0	0	0
	101,9 - 100,9	12	-	13	7,00	2,00	6,00	660,00
	100,9 - 99,9	13	-	14	6,00	2,00	7,00	618,00
	99,9 - 98,9	14	-	15	3,36	24,6	3,50	190,14
	98,9 - 97,9	15	-	16	8,03	59,3	0,32	398,36
	97,9 - 96,9	16	-	17	1,00	0,46	0,73	18,90
	96,9 - 95,9	17	-	18	0,07	0,03	0,06	2,67
	95,9 - 94,9	18	-	19	1,20	0,50	0,90	26,74
	94,9 - 93,9	19	-	20	0,10	0,03	0,09	2,78
	93,9 - 92,9	20	-	21	0,02	0	0	0,89
	92,9 - 91,9	21	-	22	0,05	0	0,04	1,33
91,9 - 90,9	22	-	23	0	0	0	0,21	
90,9 - 89,9	23	-	24	0,05	0,34	0,05	1,59	
89,9 - 88,9	24	-	25	0	0	0	0,19	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E1/4	107,1 - 106,1	7	- 8	0,30	0,03	0,07	0,06
	106,1 - 105,1	8	- 9	0,84	0,02	0,16	0,04
	105,1 - 104,1	9	- 10	0,93	0,02	0,14	0,06
	103,1 - 102,1	11	- 12	121	19,0	2,00	14,0
	101,1 - 100,1	13	- 14	9,20	1,90	0,20	1,50
	98,1 - 97,1	16	- 17	0,16	0,05	0	0,05
	97,1 - 96,1	17	- 18	0,04	0	0	0
	94,1 - 93,1	20	- 21	0	0	0	0
	93,1 - 92,1	21	- 22	0	0	0	0
	90,1 - 89,1	24	- 25	0,24	0,03	0	0,03
E1/5	106,95 - 105,95	7	- 8	0	0	0	0
	105,95 - 104,95	8	- 9	0	0	0,02	0
	104,95 - 103,95	9	- 10	0	0	0,03	0
	102,95 - 101,95	11	- 12	0	0	0,02	0
	100,95 - 99,95	13	- 14	0	0	0	0
	97,95 - 96,95	16	- 17	0	0	0	0
	96,95 - 95,95	17	- 18	0	0	0	0
	93,95 - 92,95	20	- 21	0	0,02	0	0,04
	89,95 - 88,95	24	- 25	0	0	0	0
Z6	107,9 - 106,9	6	- 7	2590	344	121	382
	106,9 - 105,9	7	- 8	262	47,0	3,60	39,0
	105,9 - 104,9	8	- 9	1120	212	13,0	166
	104,9 - 103,9	9	- 10	578	108	7,00	84,0
	103,9 - 102,9	10	- 11	257	47,0	3,00	36,0
	102,9 - 101,9	11	- 12	115	21,0	2,00	17,0
	101,9 - 100,9	12	- 13	87,0	17,0	1,00	14,0
	100,9 - 99,9	13	- 14	74,0	15,0	5,00	14,0
	99,9 - 98,9	14	- 15	43,1	8,60	2,20	7,90
	98,9 - 97,9	15	- 16	25,4	5,80	0,80	4,90
	97,9 - 96,9	16	- 17	1,10	0,40	0,05	0,37
	96,9 - 95,9	17	- 18	1,31	0,36	0,04	0,32
	95,9 - 94,9	18	- 19	4,20	2,10	0,24	2,10
	94,9 - 93,9	19	- 20	3,75	1,30	0,15	1,65
	93,9 - 92,9	20	- 21	3,60	0,87	0,09	0,74
	92,9 - 91,9	21	- 22	3,26	1,25	0,13	1,24
	91,9 - 90,9	22	- 23	3,80	1,26	0,13	1,11
90,9 - 89,9	23	- 24	1,90	0,58	0,06	0,58	
89,9 - 88,9	24	- 25	1,20	0,38	0,04	0,35	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/4	107,1 - 106,1	7	-	8	0,20	0,05	0,13	0,09
	106,1 - 105,1	8	-	9	0,13	0,04	0,06	0,04
	105,1 - 104,1	9	-	10	0,24	0,04	0,15	0,08
	103,1 - 102,1	11	-	12	38,0	15,0	22,0	16,0
	101,1 - 100,1	13	-	14	4,00	1,12	2,40	1,60
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,16	0,05	0,10	0,07
	97,1 - 96,1	17	-	18	0,04	0	0,03	0,02
	94,1 - 93,1	20	-	21	0,03	0	0,03	0
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,02	0	0,02	0
90,1 - 89,1	24	-	25	0,09	0,02	0,05	0,04	
E1/5	106,95 - 105,95	7	-	8	0,03	0	0,03	0,02
	105,95 - 104,95	8	-	9	0,07	0	0,05	0,04
	104,95 - 103,95	9	-	10	0,07	0	0,04	0,02
	102,95 - 101,95	11	-	12	0,04	0	0,03	0,02
	100,95 - 99,95	13	-	14	0,05	0	0,04	0,03
	97,95 - 96,95	16	-	17	0	0	0	0
	96,95 - 95,95	17	-	18	0,02	0	0,03	0,02
	93,95 - 92,95	20	-	21	0,16	0,05	0,10	0,07
	89,95 - 88,95	24	-	25	0,02	0	0	0
Z6	107,9 - 106,9	6	-	7	1065	361	545	368
	106,9 - 105,9	7	-	8	103	37,0	56,0	38,0
	105,9 - 104,9	8	-	9	443	139	230	160
	104,9 - 103,9	9	-	10	227	72,0	121	83,0
	103,9 - 102,9	10	-	11	99,0	31,0	53,0	36,0
	102,9 - 101,9	11	-	12	44,0	16,0	23,0	16,0
	101,9 - 100,9	12	-	13	37,0	11,0	20,0	14,0
	100,9 - 99,9	13	-	14	39,0	12,0	21,0	15,0
	99,9 - 98,9	14	-	15	21,3	6,40	11,4	7,90
	98,9 - 97,9	15	-	16	13,1	4,05	7,20	5,00
	97,9 - 96,9	16	-	17	1,05	0,33	0,57	0,39
	96,9 - 95,9	17	-	18	0,88	0,30	0,48	0,34
	95,9 - 94,9	18	-	19	7,40	2,20	4,40	2,05
	94,9 - 93,9	19	-	20	6,30	2,25	3,90	2,70
	93,9 - 92,9	20	-	21	2,10	0,66	1,15	0,80
	92,9 - 91,9	21	-	22	3,18	0,98	2,00	1,40
91,9 - 90,9	22	-	23	2,91	0,89	1,81	1,24	
90,9 - 89,9	23	-	24	1,76	0,54	0,98	0,68	
89,9 - 88,9	24	-	25	1,05	0,33	0,59	0,40	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/4	107,1 - 106,1	7	-	8	0,04	0,04	0,04	0,03
	106,1 - 105,1	8	-	9	0,02	0	0	0
	105,1 - 104,1	9	-	10	0,03	0,03	0	0
	103,1 - 102,1	11	-	12	5,00	6,00	8,00	2,00
	101,1 - 100,1	13	-	14	1,10	1,00	1,50	0,92
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,03	0,03	0,04	0,03
	97,1 - 96,1	17	-	18	0	0	0	0
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0
	93,1 - 92,1	21	-	22	0	0	0	0
	90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0
E1/5	106,95 - 105,95	7	-	8	0	0	0	0
	105,95 - 104,95	8	-	9	0,02	0,02	0	0
	104,95 - 103,95	9	-	10	0	0	0	0
	102,95 - 101,95	11	-	12	0	0	0	0
	100,95 - 99,95	13	-	14	0	0	0	0
	97,95 - 96,95	16	-	17	0	0	0	0
	96,95 - 95,95	17	-	18	0	0	0	0
	93,95 - 92,95	20	-	21	0,03	0,03	0,04	0,02
	89,95 - 88,95	24	-	25	0	0	0	0
Z6	107,9 - 106,9	6	-	7	249	242	300	183
	106,9 - 105,9	7	-	8	24,0	24,0	30,0	18,0
	105,9 - 104,9	8	-	9	109	105	130	85,0
	104,9 - 103,9	9	-	10	56,0	54,0	69,0	43,0
	103,9 - 102,9	10	-	11	23,0	22,0	28,0	15,0
	102,9 - 101,9	11	-	12	10,0	9,00	8,00	6,00
	101,9 - 100,9	12	-	13	8,00	8,00	11,0	5,00
	100,9 - 99,9	13	-	14	10,0	10,0	12,0	8,00
	99,9 - 98,9	14	-	15	5,20	5,00	6,50	3,80
	98,9 - 97,9	15	-	16	3,20	3,10	4,00	2,45
	97,9 - 96,9	16	-	17	0,27	0,26	0,35	0,21
	96,9 - 95,9	17	-	18	0,22	0,21	0,28	0,18
	95,9 - 94,9	18	-	19	2,20	2,15	2,70	1,80
	94,9 - 93,9	19	-	20	1,90	1,80	2,20	1,30
	93,9 - 92,9	20	-	21	0,54	0,53	0,68	0,40
	92,9 - 91,9	21	-	22	1,34	1,34	0,71	0,60
	91,9 - 90,9	22	-	23	1,19	1,19	0,74	0,52
90,9 - 89,9	23	-	24	0,45	0,43	0,56	0,33	
89,9 - 88,9	24	-	25	0,26	0,25	0,33	0,18	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylen [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/4	107,1 - 106,1	7	-	8	0	0	0	0,78
	106,1 - 105,1	8	-	9	0	0	0	0,51
	105,1 - 104,1	9	-	10	0	0	0	0,79
	103,1 - 102,1	11	-	12	1,00	0	1,00	149,00
	101,1 - 100,1	13	-	14	0,66	0,26	0,53	18,69
	98,1 - 97,1	16	-	17	0	0	0	0,61
	97,1 - 96,1	17	-	18	0	0	0	0,09
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0,06
	93,1 - 92,1	21	-	22	0	0	0	0,04
	90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0,26
E1/5	106,95 - 105,95	7	-	8	0	0	0	0,08
	105,95 - 104,95	8	-	9	0	0	0	0,22
	104,95 - 103,95	9	-	10	0	0	0	0,16
	102,95 - 101,95	11	-	12	0	0	0	0,11
	100,95 - 99,95	13	-	14	0	0	0	0,12
	97,95 - 96,95	16	-	17	0	0	0	0
	96,95 - 95,95	17	-	18	0	0	0	0,07
	93,95 - 92,95	20	-	21	0	0	0	0,56
	89,95 - 88,95	24	-	25	0	0	0	0,02
Z6	107,9 - 106,9	6	-	7	102	37,0	84,0	4383,00
	106,9 - 105,9	7	-	8	8,00	2,60	7,20	437,40
	105,9 - 104,9	8	-	9	42,0	15,0	36,0	1885,00
	104,9 - 103,9	9	-	10	21,0	7,00	18,0	970,00
	103,9 - 102,9	10	-	11	7,00	2,00	7,00	409,00
	102,9 - 101,9	11	-	12	3,00	1,00	3,00	179,00
	101,9 - 100,9	12	-	13	2,00	0,50	2,00	150,50
	100,9 - 99,9	13	-	14	4,00	1,00	4,00	170,00
	99,9 - 98,9	14	-	15	1,90	0,65	1,70	90,45
	98,9 - 97,9	15	-	16	1,05	0,35	1,00	56,00
	97,9 - 96,9	16	-	17	0,11	0,04	0,09	4,49
	96,9 - 95,9	17	-	18	0,09	0,03	0,08	3,81
	95,9 - 94,9	18	-	19	0,99	0,35	0,85	31,53
	94,9 - 93,9	19	-	20	0,54	0,17	0,49	26,65
	93,9 - 92,9	20	-	21	0,21	0,07	0,19	9,03
	92,9 - 91,9	21	-	22	0,31	1,04	0	15,52
	91,9 - 90,9	22	-	23	0,28	1,02	0,30	14,59
90,9 - 89,9	23	-	24	0,17	0,06	0,15	7,33	
89,9 - 88,9	24	-	25	0,09	0,03	0,08	4,36	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Ent- nahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/7	108,1 - 107,1	6	-	7	85,0	33,3	7,60	35,0
	107,1 - 106,1	7	-	8	6,23	1,40	2,05	2,70
	106,1 - 105,1	8	-	9	291	8,00	73,6	52,8
	105,1 - 104,1	9	-	10	105	2,90	23,4	18,5
	104,1 - 103,1	10	-	11	22,8	0,90	6,43	6,21
	103,1 - 102,1	11	-	12	7,00	0,37	2,44	3,15
	102,1 - 101,1	12	-	13	39,9	9,06	17,6	22,5
	101,1 - 100,1	13	-	14	8,82	1,30	2,54	3,95
	100,1 - 99,1	14	-	15	2,83	0,41	0,83	1,23
	99,1 - 98,1	15	-	16	0,18	0,30	0,45	0,80
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,30	0,08	0,19	0,25
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,13	0,05	0,09	0,10
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,21	0,05	0,10	0,12
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,11	0,04	0,07	0,10
	92,1 - 91,1	22	-	23	0,03	0	0	0,02
91,1 - 90,1	23	-	24	0,07	0	0,03	0,03	
90,1 - 89,1	24	-	25	0,09	0,03	0,05	0,07	
E2/8	107,1 - 106,1	7	-	8	0	0	0	0
	106,1 - 105,1	8	-	9	0	0	0	0
	105,1 - 104,1	9	-	10	0,37	0,02	0,04	0,03
	104,1 - 103,1	10	-	11	0,21	0	0,02	0
	103,1 - 102,1	11	-	12	0,35	0	0,03	0,04
	102,1 - 101,1	12	-	13	0,27	0	0,02	0,06
	101,1 - 100,1	13	-	14	0,14	0	0,03	0,05
	100,1 - 99,1	14	-	15	0,02	0	0	0,03
	99,1 - 98,1	15	-	16	0	0	0	0,02
	98,1 - 97,1	16	-	17	0	0,02	0	0,02
	97,1 - 96,1	17	-	18	0	0	0	0,02
	96,1 - 95,1	18	-	19	0	0	0	0
	95,1 - 94,1	19	-	20	0	0,02	0	0,02
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0,02
	93,1 - 92,1	21	-	22	0	0	0	0
	92,1 - 91,1	22	-	23	0	0	0	0
91,1 - 90,1	23	-	24	0	0	0	0	
90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/7	108,1 - 107,1	6	-	7	96,0	54,0	170	110
	107,1 - 106,1	7	-	8	7,60	3,30	7,80	4,90
	106,1 - 105,1	8	-	9	155	60,5	95,0	60,0
	105,1 - 104,1	9	-	10	48,9	19,0	30,0	19,1
	104,1 - 103,1	10	-	11	13,4	5,37	8,41	5,60
	103,1 - 102,1	11	-	12	5,39	2,02	3,51	2,19
	102,1 - 101,1	12	-	13	53,4	15,0	33,1	22,5
	101,1 - 100,1	13	-	14	7,52	2,84	4,60	3,14
	100,1 - 99,1	14	-	15	2,45	0,99	1,63	1,10
	99,1 - 98,1	15	-	16	2,40	0,84	1,60	1,00
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,75	0,35	0,52	0,34
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,30	0,15	0,35	0,22
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,42	0,16	0,34	0,21
	94,1 - 93,1	20	-	21	0,02	0,02	0,07	0,04
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,32	0,13	0,31	0,20
	92,1 - 91,1	22	-	23	0,06	0,03	0,07	0,05
91,1 - 90,1	23	-	24	0,10	0	0,11	0,07	
90,1 - 89,1	24	-	25	0,23	0,08	0,19	0,12	
E2/8	107,1 - 106,1	7	-	8	0,04	0	0,07	0,04
	106,1 - 105,1	8	-	9	0,07	0,08	0,05	0,03
	105,1 - 104,1	9	-	10	0,12	0,03	0,11	0,07
	104,1 - 103,1	10	-	11	0,03	0,03	0	0
	103,1 - 102,1	11	-	12	0,05	0	0,04	0,02
	102,1 - 101,1	12	-	13	0,04	0,04	0,04	0,02
	101,1 - 100,1	13	-	14	0,09	0	0,08	0,05
	100,1 - 99,1	14	-	15	0,09	0,04	0,08	0,05
	99,1 - 98,1	15	-	16	0,08	0	0,08	0,05
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,10	0,04	0,10	0,07
	97,1 - 96,1	17	-	18	0,10	0,04	0,11	0,07
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,08	0,03	0,09	0,06
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,10	0,04	0,11	0,07
	94,1 - 93,1	20	-	21	0,10	0,04	0,12	0,08
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,05	0	0,06	0,04
	92,1 - 91,1	22	-	23	0,02	0,02	0,03	0,02
91,1 - 90,1	23	-	24	0	0	0,02	0,02	
90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: **BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube**
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/7	108,1 - 107,1	6	-	7	87,0	85,0	116	69,5
	107,1 - 106,1	7	-	8	3,20	2,90	3,20	2,50
	106,1 - 105,1	8	-	9	38,0	35,0	45,0	28,4
	105,1 - 104,1	9	-	10	10,3	9,40	12,7	7,00
	104,1 - 103,1	10	-	11	3,15	3,10	4,03	2,37
	103,1 - 102,1	11	-	12	1,11	1,09	1,37	0,77
	102,1 - 101,1	12	-	13	23,6	23,6	13,48	10,2
	101,1 - 100,1	13	-	14	3,17	3,18	1,67	1,36
	100,1 - 99,1	14	-	15	0,61	0,60	0,79	0,48
	99,1 - 98,1	15	-	16	0,64	0,58	0,80	0,50
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,20	0,18	0,25	0,14
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,13	0,12	0,12	0,09
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,11	0,10	0,15	0,08
	94,1 - 93,1	20	-	21	0,03	0,03	0,06	0,03
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,11	0,11	0,17	0,09
	92,1 - 91,1	22	-	23	0,03	0,03	0,04	0,02
91,1 - 90,1	23	-	24	0,03	0,03	0	0	
90,1 - 89,1	24	-	25	0,06	0,05	0,08	0,04	
E2/8	107,1 - 106,1	7	-	8	0,02	0,02	0	0
	106,1 - 105,1	8	-	9	0,04	0,05	0,02	0
	105,1 - 104,1	9	-	10	0,03	0,04	0,05	0,02
	104,1 - 103,1	10	-	11	0	0	0	0
	103,1 - 102,1	11	-	12	0	0	0	0
	102,1 - 101,1	12	-	13	0	0	0	0
	101,1 - 100,1	13	-	14	0,02	0,02	0	0
	101,1 - 99,1	13	-	14	0,02	0,02	0	0
	99,1 - 98,1	15	-	16	0,02	0,03		
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,03	0,03	0	0
	97,1 - 96,1	17	-	18	0,03	0,04	0	0,02
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,03	0,03	0	0
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,03	0,03	0,06	0,02
	94,1 - 93,1	20	-	21	0,04	0,04	0,05	0,03
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,02	0,02	0,06	0,02
	92,1 - 91,1	22	-	23	0	0	0	0
91,1 - 90,1	23	-	24	0	0	0	0	
90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylen [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E1/7	108,1 - 107,1	6	-	7	36,4	13,0	30,5	943,30
	107,1 - 106,1	7	-	8	1,30	0,55	1,20	44,60
	106,1 - 105,1	8	-	9	14,5	6,10	12,7	684,60
	105,1 - 104,1	9	-	10	3,00	0,50	3,20	207,90
	104,1 - 103,1	10	-	11	1,02	0,35	0,93	61,27
	103,1 - 102,1	11	-	12	0,29	0,10	0,28	24,08
	102,1 - 101,1	12	-	13	5,37	34,5	0,23	284,14
	101,1 - 100,1	13	-	14	0,74	4,86	0,03	40,90
	100,1 - 99,1	14	-	15	0,23	0,08	0,20	11,63
	99,1 - 98,1	15	-	16	0,30	0,11	0,23	10,55
	98,1 - 97,1	16	-	17	0,07	0	0,07	3,39
	96,1 - 95,1	18	-	19	0,04	0	0,04	1,80
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,04	0	0,04	1,92
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0,30
	93,1 - 92,1	21	-	22	0,04	0	0,03	1,72
	92,1 - 91,1	22	-	23	0	0	0	0,35
91,1 - 90,1	23	-	24	0	0	0	0,40	
90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	1,00	
E2/8	107,1 - 106,1	7	-	8	0	0	0	0,19
	106,1 - 105,1	8	-	9	0	0	0	0,34
	105,1 - 104,1	9	-	10	0	0	0	0,56
	104,1 - 103,1	10	-	11	0	0	0	0,08
	103,1 - 102,1	11	-	12	0	0	0	0,18
	102,1 - 101,1	12	-	13	0	0	0	0,22
	101,1 - 100,1	13	-	14	0	0	0	0,34
	100,1 - 99,1	14	-	15	0	0	0	0,33
	99,1 - 98,1	15	-	16	0	0	0	0,28
	98,1 - 97,1	16	-	17	0	0	0	0,43
	97,1 - 96,1	17	-	18	0	0	0	0,41
	96,1 - 95,1	18	-	19	0	0	0	0,40
	95,1 - 94,1	19	-	20	0,02	0	0	0,52
	94,1 - 93,1	20	-	21	0	0	0	0,52
	93,1 - 92,1	21	-	22	0	0	0	0,19
	92,1 - 91,1	22	-	23	0	0	0	0,09
91,1 - 90,1	23	-	24	0	0	0	0,04	
90,1 - 89,1	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin	Acenaphthylen	Acenaphthen	Fluoren	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]		[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	
E2/9	107,0 - 106,0	7	-	8	0	0	0	0
	106,0 - 105,0	8	-	9	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	9	-	10	0	0	0,04	0,08
	103,0 - 102,0	11	-	12	0,05	0	0,02	0
	101,0 - 100,0	13	-	14	0,06	0	0	0,09
	99,0 - 98,0	15	-	16	0	0	0	0
	97,0 - 96,0	17	-	18	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	18	-	19	0	0	0	0
	95,0 - 94,0	19	-	20	0	0,02	0	0
	94,0 - 93,0	20	-	21	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	21	-	22	0	0,02	0	0,02
	92,0 - 91,0	22	-	23	0	0,02	0	0
	91,0 - 90,0	23	-	24	0	0	0	0
90,0 - 89,0	24	-	25	0	0	0	0	
E2/10	107,2 - 106,2	7	-	8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	-	9	0,30	0	0,04	0
	105,2 - 104,2	9	-	10	0,31	0	0,04	0
	103,2 - 102,2	11	-	12	0,35	0	0,04	0,05
	101,2 - 100,2	13	-	14	0,10	0	0,02	0,05
	99,2 - 98,2	15	-	16	0	0	0	0
	97,2 - 96,2	17	-	18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	-	21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	-	22	0	0	0	0,02
	90,2 - 89,2	24	-	25	0	0	0	0
E2/11	107,2 - 106,2	7	-	8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	-	9	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	9	-	10	0	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	-	12	0	0	0,03	0,02
	101,2 - 100,2	13	-	14	0	0	0	0
	99,2 - 98,2	15	-	16	0	0	0	0
	97,2 - 96,2	17	-	18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	-	21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	-	22	0	0	0	0
	90,2 - 89,2	24	-	25	0	0	0	0
E2/12	106,6 - 105,6	7	-	8	0	0	0	0
	105,6 - 104,6	8	-	9	0	0	0	0
	104,6 - 103,6	9	-	10	0	0	0	0
	102,6 - 101,6	11	-	12	0	0	0	0
	100,6 - 99,6	13	-	14	0	0	0	0
	98,6 - 97,6	15	-	16	0	0	0	0
	96,6 - 95,6	17	-	18	0	0	0	0
	93,6 - 92,6	20	-	21	0	0	0	0
	92,6 - 91,6	21	-	22	0	0	0	0
89,6 - 88,6	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E2/9	107,0 - 106,0	7	- 8	0,03	0	0,04	0,03
	106,0 - 105,0	8	- 9	0,04	0	0,05	0,03
	105,0 - 104,0	9	- 10	0,10	0,03	0,07	0,04
	103,0 - 102,0	11	- 12	0,07	0	0,03	0,02
	101,0 - 100,0	13	- 14	0,10	0,03	0,06	0,04
	99,0 - 98,0	15	- 16	0,03	0	0,04	0,03
	97,0 - 96,0	17	- 18	0,04	0	0,05	0,03
	96,0 - 95,0	18	- 19	0,00	0	0,00	0,00
	95,0 - 94,0	19	- 20	0,09	0,03	0,13	0,09
	94,0 - 93,0	20	- 21	0,10	0,03	0,14	0,09
	93,0 - 92,0	21	- 22	0,13	0,03	0,16	0,10
	92,0 - 91,0	22	- 23	0,08	0,03	0,10	0,07
	91,0 - 90,0	23	- 24	0	0	0	0
90,0 - 89,0	24	- 25	0	0	0	0	
E2/10	107,2 - 106,2	7	- 8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	- 9	0,02	0	0,29	0,10
	105,2 - 104,2	9	- 10	0,03	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	- 12	0,04	0	0	0
	101,2 - 100,2	13	- 14	0,07	0,03	0,05	0,04
	99,2 - 98,2	15	- 16	0,05	0,02	0,06	0,04
	97,2 - 96,2	17	- 18	0,02	0	0,03	0,02
	94,2 - 93,2	20	- 21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	- 22	0,08	0	0,08	0,05
	90,2 - 89,2	24	- 25	0	0	0	0
E2/11	107,2 - 106,2	7	- 8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	- 9	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	9	- 10	0	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	- 12	0,06	0	0,03	0,02
	101,2 - 100,2	13	- 14	0,03	0	0,02	0
	99,2 - 98,2	15	- 16	0,05	0	0,05	0,03
	97,2 - 96,2	17	- 18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	- 21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	- 22	0,03	0	0,03	0,02
	90,2 - 89,2	24	- 25	0,03	0	0,04	0,03
E2/12	106,6 - 105,6	7	- 8	0	0	0	0
	105,6 - 104,6	8	- 9	0	0	0	0
	104,6 - 103,6	9	- 10	0	0	0	0
	102,6 - 101,6	11	- 12	0	0	0	0
	100,6 - 99,6	13	- 14	0	0	0	0
	98,6 - 97,6	15	- 16	0,04	0	0,04	0,03
	96,6 - 95,6	17	- 18	0,02	0	0,03	0,02
	93,6 - 92,6	20	- 21	0	0	0	0
	92,6 - 91,6	21	- 22	0	0	0	0
	89,6 - 88,6	24	- 25	0,09	0	0,09	0,05

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Ent- nahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E2/9	107,0 - 106,0	7	- 8	0	0	0	0
	106,0 - 105,0	8	- 9	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	9	- 10	0	0	0	0
	103,0 - 102,0	11	- 12	0	0	0	0
	101,0 - 100,0	13	- 14	0,02	0,02	0	0
	99,0 - 98,0	15	- 16	0	0	0	0
	97,0 - 96,0	17	- 18	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	18	- 19	0	0	0	0
	95,0 - 94,0	19	- 20	0,04	0,04	0,07	0,03
	94,0 - 93,0	20	- 21	0,04	0,05	0,06	0,02
	93,0 - 92,0	21	- 22	0,04	0,05	0,04	0,02
	92,0 - 91,0	22	- 23	0,03	0,03	0,05	0,02
	91,0 - 90,0	23	- 24	0	0	0	0
90,0 - 89,0	24	- 25	0	0	0	0	
E2/10	107,2 - 106,2	7	- 8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	- 9	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	9	- 10	0	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	- 12	0	0	0	0
	101,2 - 100,2	13	- 14	0	0	0	0
	99,2 - 98,2	15	- 16	0	0	0	0
	97,2 - 96,2	17	- 18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	- 21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	- 22	0,03	0,03	0	0
	90,2 - 89,2	24	- 25	0	0	0	0
E2/11	107,2 - 106,2	7	- 8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	- 9	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	9	- 10	0	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	- 12	0	0	0	0
	101,2 - 100,2	13	- 14	0	0	0	0
	99,2 - 98,2	15	- 16	0	0	0	0
	97,2 - 96,2	17	- 18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	- 21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	- 22	0	0	0	0
	90,2 - 89,2	24	- 25	0	0	0	0
E2/12	106,6 - 105,6	7	- 8	0	0	0	0
	105,6 - 104,6	8	- 9	0	0	0	0
	104,6 - 103,6	9	- 10	0	0	0	0
	102,6 - 101,6	11	- 12	0	0	0	0
	100,6 - 99,6	13	- 14	0	0	0	0
	98,6 - 97,6	15	- 16	0	0	0	0
	96,6 - 95,6	17	- 18	0	0	0	0
	93,6 - 92,6	20	- 21	0	0	0	0
	92,6 - 91,6	21	- 22	0	0	0	0
89,6 - 88,6	24	- 25	0,02	0,03	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylen [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E2/9	107,0 - 106,0	7	-	8	0	0	0	0,10
	106,0 - 105,0	8	-	9	0	0	0	0,12
	105,0 - 104,0	9	-	10	0	0	0	0,36
	103,0 - 102,0	11	-	12	0	0	0	0,14
	101,0 - 100,0	13	-	14	0	0	0	0,36
	99,0 - 98,0	15	-	16	0	0	0	0,10
	97,0 - 96,0	17	-	18	0	0	0	0,12
	96,0 - 95,0	18	-	19	0	0	0	0
	95,0 - 94,0	19	-	20	0	0	0	0,54
	94,0 - 93,0	20	-	21	0	0	0	0,53
	93,0 - 92,0	21	-	22	0	0	0	0,61
	92,0 - 91,0	22	-	23	0	0	0	0,43
	91,0 - 90,0	23	-	24	0	0	0	0
90,0 - 89,0	24	-	25	0	0	0	0	
E2/10	107,2 - 106,2	7	-	8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	-	9	0	0	0	0,45
	105,2 - 104,2	9	-	10	0	0	0	0,07
	103,2 - 102,2	11	-	12	0	0	0	0,13
	101,2 - 100,2	13	-	14	0	0	0	0,26
	99,2 - 98,2	15	-	16	0	0	0	0,17
	97,2 - 96,2	17	-	18	0	0	0	0,07
	94,2 - 93,2	20	-	21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	-	22	0	0	0	0,29
	90,2 - 89,2	24	-	25	0	0	0	0
E2/11	107,2 - 106,2	7	-	8	0	0	0	0
	106,2 - 105,2	8	-	9	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	9	-	10	0	0	0	0
	103,2 - 102,2	11	-	12	0	0	0	0,16
	101,2 - 100,2	13	-	14	0	0	0	0,05
	99,2 - 98,2	15	-	16	0	0	0	0,13
	97,2 - 96,2	17	-	18	0	0	0	0
	94,2 - 93,2	20	-	21	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	21	-	22	0	0	0	0,08
	90,2 - 89,2	24	-	25	0	0	0	0,10
E2/12	106,6 - 105,6	7	-	8	0	0	0	0
	105,6 - 104,6	8	-	9	0	0	0	0
	104,6 - 103,6	9	-	10	0	0	0	0
	102,6 - 101,6	11	-	12	0	0	0	0
	100,6 - 99,6	13	-	14	0	0	0	0
	98,6 - 97,6	15	-	16	0	0	0	0,11
	96,6 - 95,6	17	-	18	0	0	0	0,07
	93,6 - 92,6	20	-	21	0	0	0	0
	92,6 - 91,6	21	-	22	0	0	0	0
89,6 - 88,6	24	-	25	0	0	0	0,28	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E3/13	106,2 - 105,2	7	- 8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	- 9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	- 10	0	0	0	0
	102,2 - 101,2	11	- 12	0	0	0	0
	100,2 - 99,2	13	- 14	0	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	- 16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	- 18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	- 21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	- 22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	- 25	0	0	0	0	
E3/14	106,3 - 105,3	7	- 8	0	0	0	0
	105,3 - 104,3	8	- 9	0	0	0	0
	104,3 - 103,3	9	- 10	0	0	0	0
	102,3 - 101,3	11	- 12	0	0	0,03	0
	100,3 - 99,3	13	- 14	0	0	0	0
	98,3 - 97,3	15	- 16	0	0	0	0
	96,3 - 95,3	17	- 18	0	0	0	0
	93,3 - 92,3	20	- 21	0	0	0	0
	92,3 - 91,3	21	- 22	0	0	0	0
89,3 - 88,3	24	- 25	0	0	0	0	
E3/15	106,2 - 105,2	7	- 8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	- 9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	- 10	0	0	0,02	0
	102,2 - 101,2	11	- 12	0	0	0,02	0
	100,2 - 99,2	13	- 14	0,03	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	- 16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	- 18	0	0,02	0	0
	93,2 - 92,2	20	- 21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	- 22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	- 25	0	0	0	0	
E3/16	106,4 - 105,4	7	- 8	0	0	0	0
	105,4 - 104,4	8	- 9	0	0	0	0
	104,4 - 103,4	9	- 10	0	0	0	0
	102,4 - 101,4	11	- 12	0	0	0	0
	100,4 - 99,4	13	- 14	0	0	0	0
	98,4 - 97,4	15	- 16	0	0	0	0
	96,4 - 95,4	17	- 18	0	0	0	0
	93,4 - 92,4	20	- 21	0	0	0	0
	92,4 - 91,4	21	- 22	0	0	0	0
89,4 - 88,4	24	- 25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E3/13	106,2 - 105,2	7	-	8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	-	9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	-	10	0	0	0	0
	102,2 - 101,2	11	-	12	0	0	0	0
	100,2 - 99,2	13	-	14	0	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	-	16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	-	18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	-	21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	-	22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	-	25	0	0	0	0	
E3/14	106,3 - 105,3	7	-	8	0	0	0	0
	105,3 - 104,3	8	-	9	0	0	0	0
	104,3 - 103,3	9	-	10	0	0	0	0
	102,3 - 101,3	11	-	12	0	0	0	0
	100,3 - 99,3	13	-	14	0	0	0	0
	98,3 - 97,3	15	-	16	0	0	0	0
	96,3 - 95,3	17	-	18	0	0	0	0
	93,3 - 92,3	20	-	21	0	0	0	0
	92,3 - 91,3	21	-	22	0	0	0	0
89,3 - 88,3	24	-	25	0	0	0	0	
E3/15	106,2 - 105,2	7	-	8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	-	9	0,04	0,04	0,03	0,02
	104,2 - 103,2	9	-	10	0,02	0,02	0	0
	102,2 - 101,2	11	-	12	0,02	0,02	0	0
	100,2 - 99,2	13	-	14	0,02	0,02	0	0
	98,2 - 97,2	15	-	16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	-	18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	-	21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	-	22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	-	25	0	0	0	0	
E3/16	106,4 - 105,4	7	-	8	0	0	0	0
	105,4 - 104,4	8	-	9	0	0	0	0
	104,4 - 103,4	9	-	10	0	0	0	0
	102,4 - 101,4	11	-	12	0	0	0	0
	100,4 - 99,4	13	-	14	0	0	0	0
	98,4 - 97,4	15	-	16	0	0	0	0
	96,4 - 95,4	17	-	18	0	0	0	0
	93,4 - 92,4	20	-	21	0	0	0	0
	92,4 - 91,4	21	-	22	0	0	0	0
89,4 - 88,4	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen	Chrysen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(a)pyren	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						[mg/kg]
E3/13	106,2 - 105,2	7	-	8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	-	9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	-	10	0	0	0	0
	102,2 - 101,2	11	-	12	0	0	0	0
	100,2 - 99,2	13	-	14	0	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	-	16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	-	18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	-	21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	-	22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	-	25	0	0	0	0	
E3/14	106,3 - 105,3	7	-	8	0	0	0	0
	105,3 - 104,3	8	-	9	0	0	0	0
	104,3 - 103,3	9	-	10	0	0	0	0
	102,3 - 101,3	11	-	12	0	0	0	0
	100,3 - 99,3	13	-	14	0	0	0	0
	98,3 - 97,3	15	-	16	0	0	0	0
	96,3 - 95,3	17	-	18	0	0	0	0
	93,3 - 92,3	20	-	21	0	0	0	0
	92,3 - 91,3	21	-	22	0	0	0	0
89,3 - 88,3	24	-	25	0	0	0	0	
E3/15	106,2 - 105,2	7	-	8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	-	9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	-	10	0	0	0	0
	102,2 - 101,2	11	-	12	0	0	0	0
	100,2 - 99,2	13	-	14	0	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	-	16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	-	18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	-	21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	-	22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	-	25	0	0	0	0	
E3/16	106,4 - 105,4	7	-	8	0	0	0	0
	105,4 - 104,4	8	-	9	0	0	0	0
	104,4 - 103,4	9	-	10	0	0	0	0
	102,4 - 101,4	11	-	12	0	0	0	0
	100,4 - 99,4	13	-	14	0	0	0	0
	98,4 - 97,4	15	-	16	0	0	0	0
	96,4 - 95,4	17	-	18	0	0	0	0
	93,4 - 92,4	20	-	21	0	0	0	0
	92,4 - 91,4	21	-	22	0	0	0	0
89,4 - 88,4	24	-	25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylen [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E3/13	106,2 - 105,2	7	- 8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	- 9	0	0	0	0
	104,2 - 103,2	9	- 10	0	0	0	0
	102,2 - 101,2	11	- 12	0	0	0	0
	100,2 - 99,2	13	- 14	0	0	0	0
	98,2 - 97,2	15	- 16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	- 18	0	0	0	0
	93,2 - 92,2	20	- 21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	- 22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	- 25	0	0	0	0	
E3/14	106,3 - 105,3	7	- 8	0	0	0	0
	105,3 - 104,3	8	- 9	0	0	0	0
	104,3 - 103,3	9	- 10	0	0	0	0
	102,3 - 101,3	11	- 12	0	0	0	0,03
	100,3 - 99,3	13	- 14	0	0	0	0
	98,3 - 97,3	15	- 16	0	0	0	0
	96,3 - 95,3	17	- 18	0	0	0	0
	93,3 - 92,3	20	- 21	0	0	0	0
	92,3 - 91,3	21	- 22	0	0	0	0
89,3 - 88,3	24	- 25	0	0	0	0	
E3/15	106,2 - 105,2	7	- 8	0	0	0	0
	105,2 - 104,2	8	- 9	0	0	0	0,13
	104,2 - 103,2	9	- 10	0	0	0	0,06
	102,2 - 101,2	11	- 12	0	0	0	0,06
	100,2 - 99,2	13	- 14	0	0	0	0,04
	98,2 - 97,2	15	- 16	0	0	0	0
	96,2 - 95,2	17	- 18	0	0	0	0,02
	93,2 - 92,2	20	- 21	0	0	0	0
	92,2 - 91,2	21	- 22	0	0	0	0
89,2 - 88,2	24	- 25	0	0	0	0	
E3/16	106,4 - 105,4	7	- 8	0	0	0	0
	105,4 - 104,4	8	- 9	0	0	0	0
	104,4 - 103,4	9	- 10	0	0	0	0
	102,4 - 101,4	11	- 12	0	0	0	0
	100,4 - 99,4	13	- 14	0	0	0	0
	98,4 - 97,4	15	- 16	0	0	0	0
	96,4 - 95,4	17	- 18	0	0	0	0
	93,4 - 92,4	20	- 21	0	0	0	0
	92,4 - 91,4	21	- 22	0	0	0	0
89,4 - 88,4	24	- 25	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E3/17	106,5 - 105,5	7	-	8	0	0	0	0
	105,5 - 104,5	8	-	9	0	0	0	0
	104,5 - 103,5	9	-	10	0	0	0	0
	102,5 - 101,5	11	-	12	0	0	0	0
	100,5 - 99,5	13	-	14	0	0	0	0
	98,5 - 97,5	15	-	16	0	0	0	0
	96,5 - 95,5	17	-	18	0	0	0	0
	93,5 - 92,5	20	-	21	0	0	0	0
	92,5 - 91,5	21	-	22	0	0	0	0
89,5 - 88,5	24	-	25	0	0	0	0	
E4/18	106,0 - 105,0	7	-	8	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	-	9	0	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	-	10	0	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	-	12	0	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	-	14	0	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	-	16	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	-	18	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	-	21	0	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	-	22	0	0	0	0
89,0 - 88,0	24	-	25	0	0	0	0	
E4/19	105,8 - 104,8	7	-	8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	-	9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	-	10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	-	12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	-	14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	-	16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	-	18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	-	21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	-	22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	-	25	0	0	0	0	
E4/20	105,8 - 104,8	7	-	8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	-	9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	-	10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	-	12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	-	14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	-	16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	-	18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	-	21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	-	22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	-	25	0	0	0	0	

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

21 von 28

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E3/17	106,5 - 105,5	7	- 8	0	0	0	0
	105,5 - 104,5	8	- 9	0	0	0	0
	104,5 - 103,5	9	- 10	0	0	0	0
	102,5 - 101,5	11	- 12	0	0	0	0
	100,5 - 99,5	13	- 14	0	0	0	0
	98,5 - 97,5	15	- 16	0	0	0	0
	96,5 - 95,5	17	- 18	0	0	0	0
	93,5 - 92,5	20	- 21	0	0	0	0
	92,5 - 91,5	21	- 22	0	0	0	0
89,5 - 88,5	24	- 25	0	0	0	0	
E4/18	106,0 - 105,0	7	- 8	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	- 9	0	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	- 10	0	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	- 12	0	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	- 14	0	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	- 16	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	- 18	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	- 21	0	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	- 22	0	0	0	0
89,0 - 88,0	24	- 25	0	0	0	0	
E4/19	105,8 - 104,8	7	- 8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	- 9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	- 10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	- 12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	- 14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	- 16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	- 18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	- 21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	- 22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	- 25	0	0	0	0	
E4/20	105,8 - 104,8	7	- 8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	- 9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	- 10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	- 12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	- 14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	- 16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	- 18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	- 21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	- 22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	- 25	0	0	0	0	

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E3/17	106,5 - 105,5	7	- 8	0	0	0	0
	105,5 - 104,5	8	- 9	0	0	0	0
	104,5 - 103,5	9	- 10	0	0	0	0
	102,5 - 101,5	11	- 12	0	0	0	0
	100,5 - 99,5	13	- 14	0	0	0	0
	98,5 - 97,5	15	- 16	0	0	0	0
	96,5 - 95,5	17	- 18	0	0	0	0
	93,5 - 92,5	20	- 21	0	0	0	0
	92,5 - 91,5	21	- 22	0	0	0	0
89,5 - 88,5	24	- 25	0	0	0	0	
E4/18	106,0 - 105,0	7	- 8	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	- 9	0	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	- 10	0	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	- 12	0	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	- 14	0	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	- 16	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	- 18	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	- 21	0	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	- 22	0	0	0	0
89,0 - 88,0	24	- 25	0	0	0	0	
E4/19	105,8 - 104,8	7	- 8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	- 9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	- 10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	- 12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	- 14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	- 16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	- 18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	- 21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	- 22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	- 25	0	0	0	0	
E4/20	105,8 - 104,8	7	- 8	0	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	- 9	0	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	- 10	0	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	- 12	0	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	- 14	0	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	- 16	0	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	- 18	0	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	- 21	0	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	- 22	0	0	0	0
88,8 - 87,8	24	- 25	0	0	0	0	

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

23 von 28

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylene [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E3/17	106,5 - 105,5	7	-	8	0	0	0
	105,5 - 104,5	8	-	9	0	0	0
	104,5 - 103,5	9	-	10	0	0	0
	102,5 - 101,5	11	-	12	0	0	0
	100,5 - 99,5	13	-	14	0	0	0
	98,5 - 97,5	15	-	16	0	0	0
	96,5 - 95,5	17	-	18	0	0	0
	93,5 - 92,5	20	-	21	0	0	0
	92,5 - 91,5	21	-	22	0	0	0
89,5 - 88,5	24	-	25	0	0	0	
E4/18	106,0 - 105,0	7	-	8	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	-	9	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	-	10	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	-	12	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	-	14	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	-	16	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	-	18	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	-	21	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	-	22	0	0	0
89,0 - 88,0	24	-	25	0	0	0	
E4/19	105,8 - 104,8	7	-	8	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	-	9	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	-	10	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	-	12	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	-	14	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	-	16	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	-	18	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	-	21	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	-	22	0	0	0
88,8 - 87,8	24	-	25	0	0	0	
E4/20	105,8 - 104,8	7	-	8	0	0	0
	104,8 - 103,8	8	-	9	0	0	0
	103,8 - 102,8	9	-	10	0	0	0
	101,8 - 100,8	11	-	12	0	0	0
	99,8 - 98,8	13	-	14	0	0	0
	97,8 - 96,8	15	-	16	0	0	0
	95,8 - 94,8	17	-	18	0	0	0
	92,8 - 91,8	20	-	21	0	0	0
	91,8 - 90,8	21	-	22	0	0	0
88,8 - 87,8	24	-	25	0	0	0	

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

24 von 28

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]	
	[m ü. NN]	[m u. GOK]						
E5/21	106,0 - 105,0	7	-	8	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	-	9	0	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	-	10	0	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	-	12	0	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	-	14	0	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	-	16	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	-	18	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	-	21	0	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	-	22	0	0	0	0
89,0 - 88,0	24	-	25	0	0	0	0	
E 6/22	Die Bodenproben von E 6/22 wurden als Rückstellproben entnommen und nicht untersucht, da in den Bodenproben von E 4/ 20 und E 5/21 keine PAK nachgewiesen werden konnten.							

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Ent- nahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Phenantren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E5/21	106,0 - 105,0	7	- 8	0	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	- 9	0	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	- 10	0	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	- 12	0	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	- 14	0	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	- 16	0	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	- 18	0	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	- 21	0	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	- 22	0	0	0	0
	89,0 - 88,0	24	- 25	0	0	0	0
E 6/22	Die Bodenproben von E 6/22 wurden als Rückstellproben entnommen und nicht untersucht, da in den Bodenproben von E 4/ 20 und E 5/21 keine PAK nachgewiesen werden konnten.						

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E5/21	106,0 - 105,0	7	-	8	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	-	9	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	-	10	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	-	12	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	-	14	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	-	16	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	-	18	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	-	21	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	-	22	0	0	0
89,0 - 88,0	24	-	25	0	0	0	
E 6/22	Die Bodenproben von E 6/22 wurden als Rückstellproben entnommen und nicht untersucht, da in den Bodenproben von E 4/ 20 und E 5/21 keine PAK nachgewiesen werden konnten.						

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube

Messergebnisse - Bodenproben

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe (Filterstrecke)			Indeno(1,2,3,cd) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylene [mg/kg]	Summe PAK ohne Naphthalin [mg/kg]
	[m ü. NN]	[m u. GOK]					
E5/21	106,0 - 105,0	7	-	8	0	0	0
	105,0 - 104,0	8	-	9	0	0	0
	104,0 - 103,0	9	-	10	0	0	0
	102,0 - 101,0	11	-	12	0	0	0
	100,0 - 99,0	13	-	14	0	0	0
	98,0 - 97,0	15	-	16	0	0	0
	96,0 - 95,0	17	-	18	0	0	0
	93,0 - 92,0	20	-	21	0	0	0
	92,0 - 91,0	21	-	22	0	0	0
89,0 - 88,0	24	-	25	0	0	0	
E 6/22	Die Bodenproben von E 6/22 wurden als Rückstellproben entnommen und nicht untersucht, da in den Bodenproben von E 4/ 20 und E 5/21 keine PAK nachgewiesen werden konnten.						

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Naphtalin Winterbeprobung	Naphtalin Sommerbeprobung	Naphtalin Herbstbeprobung	Naphtalin 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,11	0,2		0,10
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0,07	0,2		0,08
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0,14	0,2		0,12
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,16	0,1		0,08
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0,22	0,1		0,10
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	12910,00	4370,00	8690,00	5919,78	7972,45
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	11956,00	12390,00	20350,00	15868,42	15141,11
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,08	0,27	1,60	267,46	67,35
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,06	0,36	1,10	0,75	0,57
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,19	0,60	1,10	0,17	0,52
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	13100,00	7735,00	13100,00		11311,67
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	11100,00	6085,00	9900,00		9028,33
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0,18	341,50		113,89
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	5,95		1,98
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	11,00	4,56	4,20		6,59
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	12,00	4,83	5,45		7,43
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0,29	0		0,10
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0,11	0,15		0,09
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	2,00	0	0,40		0,80
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	0	1,05		0,35
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0,12	2,10		0,74
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0,20		0,07
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0,20		0,07
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				19218,87	19218,87
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	4260,00	2090,00	1235,00	1121,80	2176,70
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	12000,00	5715,00	8510,00	15856,28	10520,32
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	25,00	12,85	7,40	145,79	47,76
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	2,00	0,13	0,65	0	0,70
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	3,00	0,50	0,20	0,74	1,11
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	173,00	140,50	255,50		189,67
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	2087,00	2915,00	1415,00		2139,00
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0,08	0,30		0,13
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	11507,00	5015,00	6285,00		7602,33
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	6114,00	0,18	902,00		2338,73
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	13,30	0,76	39,70		17,92
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0,20		0,07
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0,15		0,05
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	4,00	1,00	0,55		1,85
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	2,00	0,46	0,90		1,12
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0,12	0		0,04
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	2,90	0	0		0,97

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Naphtalin Winterbeprobung	Naphtalin Sommerbeprobung	Naphtalin Herbstbeprobung	Naphtalin 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0,81	0,50		0,44
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0,16	0,15		0,10
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0,22	0		0,07
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0,49	0		0,16
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	2,27	0,19	0,61
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0,47	0	0,12
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0,28	0,07
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	426,00	2,31	44,60		157,64
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	88,00	3,36	2,36	253,40	86,78
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	7558,00	5205,00	6425,00	5329,94	6129,48
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,13	0,15	0,25	0	0,13
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	13,00	10,19	4,13	0,34	6,91
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	31,00	19,85	24,93	0,23	19,00
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				20,11	20,11
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				240,96	240,96
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	28,10	15,00	9,95		17,68
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	148,00	127,00	50,00		108,33
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0,87	0,36		0,41
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	4,00	1,00
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0,10	0,02
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0,17	0,04
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0,20	0,05
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0,08	0,02
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0,07	0,02
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	68,00	3,92	4,00	3,52	19,86
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	565,00	927,50	101,25	20,65	403,60
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,21	0,16	0,20	0,23	0,20
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,43	0,03	0,15	0,19	0,20
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,05	0,34	0,50	0,29	0,30
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0,07	0,02
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0,10	0,03
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0,04	0,01
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0,06	0,02
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0,06	0,02

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Naphtalin Winterbeprobung	Naphtalin Sommerbeprobung	Naphtalin Herbstbeprobung	Naphtalin 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	1,96	0,15	0,09	0,56	0,69
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,17	0,11	0,20	0,12	0,15
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,09	0,51	0,05	0,89	0,39
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,05	0,15	0,02	0,78	0,25
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,05	0,11	0,07	0,43	0,17
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				12,00	12,00
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,04	0,06	0,18		0,09
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,04	0,26	0,10	0,03	0,11
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,05	0,37	0,16		0,19
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,08	0,17	0,18		0,14
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,04	0,10	0,14		0,09
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,02	0,02
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,01	0,01
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0
	i	44,00-45,00	68,93-67,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenapthylen Winterbeprobung	Acenapthylen Sommerbeprobung	Acenapthylen Herbstbeprobung	Acenapthylen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0,01	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	1,71	3,10	1,43	18,24	6,12
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	2,39	194,00	249,50	59,49	126,35
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	3,29	2,59	1,82	40,54	12,06
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,89	1,65	0,54	0,15	0,81
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	2,85	2,26	1,50	1,64	2,06
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,34	10,15	4,55		5,01
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	1,55	72,00	156,50		76,68
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,13	2,03	49,30		17,15
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0,03	0,02		0,02
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,30	0,37	0,13		0,27
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0,19	1,69	1,06		0,98
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	8,38	61,10	46,55		38,68
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0,52	3,20	4,33		2,68
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	1,69	0,09	0,43		0,74
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	1,80	0	1,89		1,23
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				79,63	79,63
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0,08	0,08
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,10	0,73	0,99	3,90	1,43
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0,40	2,57	21,00	35,73	14,93
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,09	2,70	4,80	4,79	3,10
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,18	0,31	0,38	0,24	0,28
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,10	0,14	0,08	0,06	0,09
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	2,98	0,81	0,68		1,49
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	9,77	8,85	1,47		6,70
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0,01	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0,01	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0,01	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	146,00	28,15	62,15		78,77
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	1,21	1,67	4,85		2,58
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	6,22	1,39	4,85		4,15
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,02	0	0		0,01
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,03	0	0		0,01
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	6,76	3,54	3,87		4,72
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	35,75	10,10	18,00		21,28
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0,26	0,26		0,17
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,02	0,01	0		0,01

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenaphthylen Winterbeprobung	Acenaphthylen Sommerbeprobung	Acenaphthylen Herbstbeprobung	Acenaphthylen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	6,31	2,49	6,67		5,16
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	1,44	1,67	2,21		1,77
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0,02	0		0,01
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,02	0	0		0,01
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,31	0,33	1,79		0,96
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,07	0,14	0,70		0,39
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0,85	1,66	1,46		1,32
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,07	0,10	0,15		0,11
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	1,92	0,56	0,74		1,37
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,38	4,23	6,17		5,00
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	1,05	1,05	1,53		1,37
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,21	0,28	0,32		0,24
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,27	0,35	0,36		0,27
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					1,62
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0,72	0,35	0,14		0,40
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	2,96	2,59	3,21		2,92
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,32	0,14	0,34		0,27
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	1,76	0,58	0,16		0,63
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,89	0,29	0,07		0,31
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,23	0,05	0,05		0,08
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,05	0	0,02		0,02
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,04	0,01	0		0,01
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,30	0,29	0,65		0,56
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	1,27	0,53	1,33		1,10
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,15	0,13	0,19		0,33
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,91	1,29	1,19		1,34
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,49	1,57	0,81		1,11
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	1,25	1,28	2,38		1,65
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,28	0,20	0,64		0,41
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,01	0,02	0,04		0,02
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,32	0,18	0		0,13
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,04	0,02	0,01		0,02
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenaphthylen Winterbeprobung	Acenaphthylen Sommerbeprobung	Acenaphthylen Herbstbeprobung	Acenaphthylen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,42	0,59	0,79	1,20	0,75
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,46	0,47	0,85	1,97	0,94
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,09	0,10	0,08	0	0,07
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,02	0,02	0,03	0	0,02
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				1,20	1,20
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0,05		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,01	0,22	0,10	0,09	0,11
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,02	0,27	0,51		0,27
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,07	0,14	0,09		0,10
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,02	0,04	0,03		0,03
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,09	0,09
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenaphten Winterbeprobung	Acenaphten Sommerbeprobung	Acenaphten Herbstbeprobung	Acenaphten 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,02	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0,01	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0,04	0		0,01
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,01	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0,03	0		0,01
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	151,50	59,30	120,17	125,15	114,03
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	167,00	1620,00	1760,00	442,23	997,31
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	1,14	0,92	0,61	54,72	14,35
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	2,70	2,47	4,24	0,91	2,58
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,29	1,04	0,78	0,59	0,67
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	143,00	318,50	492,50		318,00
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	147,50	250,00	410,00		269,17
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	1,28	2,20	4,69		2,72
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,04	0,05	0,05		0,05
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	1,41	4,62	1,03		2,35
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	5,06	375,00	376,00		252,02
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	108,20	374,00	348,00		276,73
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	15,50	19,90	26,65		20,68
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,05	0,02	0,09		0,05
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,10	0,05	0,05		0,07
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	10,45	0,15	8,45		6,35
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	8,94	0,10	31,25		13,43
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,03	0,09	0,05		0,06
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0,02	0,13	0,05		0,07
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				575,43	575,43
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0,16	0,16
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	79,85	80,60	64,10	95,64	80,05
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	877,33	754,50	757,00	529,71	729,64
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	27,60	146,00	44,80	94,30	78,18
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,65	0,27	0,31	0,17	0,35
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,19	0,64	0,33	0,43	0,40
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	143,50	102,70	218,50		154,90
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	252,50	886,50	490,00		543,00
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0,12	0,08		0,07
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0,01	0,13	0,02		0,05
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0,07	0,01		0,03
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	188,50	182,50	389,50		253,50
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	376,00	195,50	271,00		280,83
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	56,85	47,85	106,40		70,37
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,02	0,04	0,14		0,07
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,06	0,08	0,05		0,06
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	128,00	142,00	195,50		155,17
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	166,00	113,00	176,50		151,83
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,91	0,73	2,14		1,26
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,04	0,07	0		0,04
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,03	0,26	0,03		0,11

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenaphten Winterbeprobung	Acenaphten Sommerbeprobung	Acenaphten Herbstbeprobung	Acenaphten 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,19	0	0,10		0,10
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	12,15	16,75	29,05		19,32
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	2,82	3,91	10,28		5,67
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,01	0,08	0,05		0,05
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,04	0,14	0		0,06
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,11	0,01	0,01	0	0,03
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,82	0,75	6,68	4,39	3,16
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,25	0,61	3,00	2,34	1,55
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,02	0	0	0,11	0,03
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0,01	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,32	0,15	0		0,16
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	151,00	434,50	350,00		311,83
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,75	0,93	1,81		1,16
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,01	0,02	0		0,01
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,04	0,05	0		0,03
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	45,80	20,75	26,20	66,30	39,76
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	421,00	623,00	613,00	294,81	487,95
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	5,95	3,88	3,89	8,13	5,46
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,48	0,33	0,40	0,28	0,37
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,16	0,12	0,20	0,15	0,16
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0,29	0,29
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				24,40	24,40
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	97,65	107,00	88,25		97,63
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	139,50	385,00	236,00		253,50
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	1,41	0,66	1,91		1,33
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0,10	0,04	0,01		0,05
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0,01	0,05	0,03		0,03
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	4,14	1,83	0,59	0,14	1,68
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	2,18	1,25	0,42	0,08	0,98
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	1,01	0,32	0,20	0,17	0,42
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,37	0,06	0,12	0	0,14
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,15	0,11	0,03	0	0,07
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	1,22	1,21	2,97	4,19	2,40
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	5,02	1,76	5,48	4,33	4,15
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,28	0,21	0,64	4,48	1,40
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,02	0	0	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0,01	0,01	0	0,01
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	51,55	46,30	32,98	78,86	52,42
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	496,03	592,50	278,00	225,67	398,05
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	20,70	23,45	20,30	11,48	18,98
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	5,64	4,64	5,55	3,84	4,92
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,90	0,65	1,87	2,36	1,45
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0,03	0	0,01
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	8,12	0,67	0,04	0	2,21
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,80	0,32	0,19	0,17	0,37
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0,10	0,03	0	0,03

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Acenaphten Winterbeprobung	Acenaphten Sommerbeprobung	Acenaphten Herbstbeprobung	Acenaphten 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,02	0,02	0,01	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	33,30	68,80	38,20	55,00	48,83
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	20,30	53,20	24,45	52,26	37,55
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,16	0,17	0,13	0,26	0,18
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,05	0,12	0,07	0	0,06
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				150,00	150,00
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,05	0,05	0		0,03
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,16	7,55	3,08	4,10	3,72
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	1,06	8,31	8,99		6,12
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	7,74	4,46	1,23		4,48
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	1,79	1,80	0,72		1,44
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				3,60	3,60
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0,04	0,04
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,01	0,01
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoren Winterbeprobung	Fluoren Sommerbeprobung	Fluoren Herbstbeprobung	Fluoren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,01	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0,01	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0,07	0		0,02
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,03	0		0,01
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	28,50	16,10	2,33	28,45	18,84
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	72,35	633,50	1660,00	139,57	626,36
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	1,59	3,08	2,36	41,05	12,02
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	4,36	3,64	5,88	1,79	3,92
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	3,71	3,10	2,95	1,90	2,91
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	30,70	46,20	50,40		42,43
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	53,25	94,90	587,00		245,05
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	1,32	1,96	14,85		6,04
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0,08	0,05		0,04
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,72	1,07	0,35		0,71
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	3,12	55,30	36,10		31,51
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	39,75	138,00	137,50		105,08
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	5,17	6,45	10,05		7,22
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,03	0,01	0,01		0,02
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,06	0,04	0,02		0,04
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	4,38	0,27	3,21		2,62
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	4,22	0,08	11,35		5,22
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,01	0,05	0,03		0,03
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0,06	0,03		0,03
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				135,82	135,82
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	1,07	0,71	0,65	1,06	0,87
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	160,07	89,45	172,00	105,27	131,70
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	12,35	33,65	22,40	40,95	27,34
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,24	0,08	0,07	0,03	0,10
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,12	0,27	0,13	0,11	0,16
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	31,95	16,00	45,55		31,17
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	161,00	471,50	230,50		287,67
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0,08	0,06		0,05
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0,07	0		0,02
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,01	0,05	0		0,02
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	30,00	22,60	38,20		30,27
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	128,00	45,10	83,40		85,50
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	26,55	7,82	38,65		24,34
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,02	0,02	0,09		0,04
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,11	0,06	0,06		0,08
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	10,09	3,44	2,22		5,25
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	73,50	31,70	57,85		54,35
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	3,44	0,07	0,08		1,20
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,03	0,05	0		0,03
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,03	0,08	0,02		0,04

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
 (<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
 und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoren Winterbeprobung	Fluoren Sommerbeprobung	Fluoren Herbstbeprobung	Fluoren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,12	0	0,04		0,05
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	4,76	4,63	4,61		4,67
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	1,23	2,00	3,10		2,11
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,02	0,04	0,03		0,03
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,04	0,05	0		0,03
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,03	0,01	0	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,02	0,00	0,89	0,14	0,26
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,02	0,01	0,41	0,32	0,19
	2/d	20,25-21,25	0	0	0,01	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,08	0	0		0,04
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	44,80	65,10	111,50		73,80
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,15	0,26	0,39		0,27
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0,01	0		0,00
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,01	0,02	0		0,01
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	11,10	6,61	9,52	16,70	10,98
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	180,00	290,00	143,50	78,57	173,02
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	2,68	2,15	2,83	3,72	2,85
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,06	0,03	0,05	0	0,04
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,03	0,02	0,01	0	0,02
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				5,42	5,42
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	18,50	8,89	14,25		13,88
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	47,00	53,60	60,40		53,67
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,34	0,13	0,33		0,27
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0,02	0	0		0,01
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0,03	0,02		0,02
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	1,13	0,29	0,04	0	0,37
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,42	0,17	0,02	0	0,15
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,10	0,03	0	0	0,03
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,01	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,04	0,04	0,01	0	0,02
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,02	0,12	0,05	0	0,05
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,08	0,23	0,29	0,10	0,17
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,02	0,05	0,06	0,45	0,15
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	2,48	1,69	1,38	4,48	2,51
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	56,75	91,50	56,35	63,31	66,98
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	4,71	3,27	3,45	1,89	3,33
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,89	0,38	1,15	0	0,61
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,07	0,04	0,12	0,13	0,09
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,01	0	0,01	0	0,01
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0,01	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,01	0,10	0,01	0	0,03

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoren Winterbeprobung	Fluoren Sommerbeprobung	Fluoren Herbstbeprobung	Fluoren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,05	0,01	0,01	0	0,02
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	5,31	7,01	6,07	11,00	7,35
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	3,33	5,55	3,98	8,28	5,28
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0,01	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0,07	0	0	0,02
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				35,00	35,00
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0,01	0,07		0,03
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0,28	0,09	0,16	0,13
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,03	0,41	0,22		0,22
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,33	0,17	0,09		0,20
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,09	0,08	0,03		0,07
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,28	0,28
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
		34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Phenanthren Winterbeprobung	Phenanthren Sommerbeprobung	Phenanthren Herbstbeprobung	Phenanthren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,02	0		0,01
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,02	0,01	0,01		0,01
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,02	0,17	0,03		0,07
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,03	0,14	0		0,06
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,04	0,02	0		0,02
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	43,45	49,55	45,17	3,84	35,50
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	76,35	576,00	185,00	117,98	238,83
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	1,18	1,23	0,35	35,07	9,46
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	8,46	6,45	14,65	2,43	8,00
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,49	1,95	0,27	0,04	0,69
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	32,25	45,15	61,70		46,37
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	60,00	81,55	166,00		102,52
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,16	0,33	8,70		3,06
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,10	0,07	0,03		0,07
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,69	0,11	0,23		0,34
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	92,25	94,30	0,04		62,20
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	2,85	127,00	117,50		82,45
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0,89	0,14	0,48		0,50
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,04	0,02	0,05		0,04
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,13	0,09	0,04		0,09
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,30	0,02	0,84		0,39
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	2,46	0,17	1,21		1,28
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,03	0,12	0,07		0,07
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0,01	0,14	0,08		0,08
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				109,74	109,74
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	9,53	6,14	2,14	6,33	6,03
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	141,87	190,00	189,50	67,50	147,22
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	5,78	20,80	18,20	25,33	17,53
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,25	0,11	0,09	0	0,11
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,11	0,48	0,12	0,09	0,20
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	44,90	19,15	67,15		43,73
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	148,50	289,50	255,00		231,00
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0,01	0,10	0,14		0,08
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0,04	0,12	0		0,05
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,14	0,24	0,02		0,13
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	34,80	23,90	59,35		39,35
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	118,50	33,35	94,95		82,27
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	25,95	0,83	51,05		25,94
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,08	0,07	0,18		0,11
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,37	0,05	0,10		0,17
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	34,15	22,90	8,96		22,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	72,30	34,90	30,00		45,73
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,50	0,06	0,03		0,20
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,13	0,15	0,02		0,10
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,12	0,14	0,04		0,10

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Phenanthren Winterbeprobung	Phenanthren Sommerbeprobung	Phenanthren Herbstbeprobung	Phenanthren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,76	0	0,02		0,26
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0,96	0,25	0,90		0,70
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0,13	0,05	0,20		0,13
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,26	0,07	0,08		0,14
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,12	0,09	0,04		0,08
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,08	0,01	0,01	0	0,03
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,03	0,07	0,02	0,04	0,04
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,03	0,11	0,12	0	0,07
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,03	0	0	0,09	0,03
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,02	0,02	0	0	0,01
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,08	0,05	0		0,04
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	43,50	28,45	91,80		54,58
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,03	0,05	0,07		0,05
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,04	0,01	0,02		0,02
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,09	0,06	0,02		0,06
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	12,04	4,59	5,23	5,24	6,77
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	92,30	140,00	157,00	61,50	112,70
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,05	0,04	2,28	0	0,59
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,06	0,03	0,05	0	0,04
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,07	0,04	0,01	0	0,03
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				1,47	1,47
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	18,85	9,72	14,50		14,36
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	29,10	36,35	42,25		35,90
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,12	0,17	0,07		0,12
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0,02	0,01	0,10		0,04
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0,02	0,09	0,05		0,05
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0,10	0,09	0,05	0,05	0,07
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,03	0,05	0,05	0	0,03
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,05	0,04	0,04	0	0,03
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,03	0,02	0,02	0	0,02
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,06	0,09	0,02	0	0,04
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,17	0,26	0,04	0,04	0,13
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,03	0	0,02	0,07	0,03
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,01	0,01	0,04	0,06	0,03
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,07	0,02	0,01	0	0,03
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,12	0,03	0,01	0	0,04
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	6,03	3,76	5,36	7,23	5,59
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	37,25	45,70	46,10	47,65	44,17
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,13	0,09	0,10	0	0,08
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,08	0,05	0,06	0	0,05
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,15	0,09	0,22	0,19	0,16
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,15	0,01	0,01	0	0,04
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,07	0,03	0,03	0	0,03
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,12	0,04	0,03	0	0,05
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,12	0,02	0	0	0,04
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,41	0,36	0,04	0	0,20

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Phenanthren Winterbeprobung	Phenanthren Sommerbeprobung	Phenanthren Herbstbeprobung	Phenanthren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,01	0,03	0,01	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,25	0,19	0,15	0,18	0,19
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,06	0,14	0,09	0	0,07
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0,01	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,06	0,17	0	0	0,06
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				4,20	4,20
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,04	0,01	0,04		0,03
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,06	0,04	0,04		0,05
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,08	0,03	0,05		0,05
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,03	0,03	0,02		0,03
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,02	0,02
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,02	0,02
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0,01	0,01

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze

(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Anthracen Winterbeprobung	Anthracen Sommerbeprobung	Anthracen Herbstbeprobung	Anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0,03	0		0,01
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,02	0		0,01
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	5,99	6,20	0,17		4,12
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	12,25	99,00	22,10	4,40	34,44
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,34	0,25	0,12	6,17	1,72
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	1,75	0,98	3,70	0,50	1,73
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,15	0,30	0,21	0,02	0,17
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	4,50	3,49	6,19		4,73
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	6,05	12,20	16,55		11,60
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,04	0,03	1,60		0,56
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,05	0,02	0		0,02
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,25	0,20	0,03		0,16
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	7,47	3,00	4,14		4,87
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	2,30	5,50	7,95		5,25
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0,18	0,07	0,18		0,14
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,04	0	0		0,01
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,24	0	0,12		0,12
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,38	0,03	0,37		0,26
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,02	0,02	0,02		0,02
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0,03	0,02		0,02
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,61	0,09	0,70	0	0,35
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	5,86	3,70	14,45	0,96	6,24
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	1,09	3,24	3,73	3,06	2,78
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,03	0,18	0,02	0	0,06
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	3,30	1,48	2,37		2,38
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	3,86	5,26	4,90		4,67
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0,01	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,03	0,02	0		0,02
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	2,59	1,99	2,05		2,21
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	14,60	9,05	9,98		11,21
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	2,98	0	3,78		2,25
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,01	0	0,02		0,01
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,06	0,01	0,02		0,03
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	2,39	1,28	1,41		1,69
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	5,67	1,90	3,34		3,64
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,04	0	0		0,01
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,02	0,07	0		0,03
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,02	0,05	0		0,02

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Anthracen Winterbeprobung	Anthracen Sommerbeprobung	Anthracen Herbstbeprobung	Anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,06	0	0,01		0,02
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0,08	0,05	0,14		0,09
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0,02	0,02	0,07		0,04
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,03	0	0		0,01
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,02	0	0		0,01
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0,01	0,02	0,01
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0,02	0,03	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0,67	2,19		0,95
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,36	0,35	0,32	0,00	0,26
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	5,05	3,23	10,95	3,32	5,64
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,03	0,02	0,02	0	0,02
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0,01	0	0	0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0,08	0,08
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	1,17	0,32	0,70		0,73
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	3,10	3,00	3,37		3,16
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,02	0,02	0		0,01
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0,01		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0,15	0,11	0,10	0,03	0,10
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,01	0	0,03	0	0,01
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,02	0,01	0,02	0	0,01
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,02	0,03	0	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,01	0	0,02	0,03	0,01
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0,01	0,02	0,01
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,01	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,48	0,15	0,13	0,31	0,27
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	2,34	4,23	2,85	1,68	2,77
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,04	0,08	0,05	0	0,04
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,02	0,01	0,02	0	0,01
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0,02	0	0,01
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,01	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,20	0,18	0,15	0,09	0,16
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,02	0,04	0	0	0,02

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Anthracen Winterbeprobung	Anthracen Sommerbeprobung	Anthracen Herbstbeprobung	Anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,11	0,24	0,19	0,28	0,21
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,11	0,22	0,17	0	0,13
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,05	0,03	0	0	0,02
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0,77	0,77
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,01	0	0,01		0,01
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,02	0,02	0,02		0,02
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,03	0,02	0,01		0,02
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0,01	0,01		0,01
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,03	0,03
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoranthen Winterbeprobung	Fluoranthen Sommerbeprobung	Fluoranthen Herbstbeprobung	Fluoranthen Beprobung	4. Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,03	0,01		0,01
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,03	0,04	0,02		0,03
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,03	0,09	0,05		0,06
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,01	0,08	0		0,03
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,06	0,03	0,03		0,04
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	5,61	12,75	0,46		6,27
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	5,36	35,50	27,30	3,00	17,79
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,59	0,74	0,30	4,31	1,48
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	2,74	2,77	5,16	5,95	4,15
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,52	0,83	0,50	0,29	0,53
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	2,73	5,66	5,78		4,72
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	6,34	9,49	10,80		8,88
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,06	0,06	0,64		0,25
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,16	0,16	0,11		0,14
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,45	0,57	0,10		0,37
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0,68	1,48	1,69		1,28
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	4,31	5,07	6,43		5,27
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0,60	0,46	0,43		0,50
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,02	0,02	0		0,01
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,32	0,16	0,11		0,20
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,41	0,17	0,16		0,25
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,50	0,15	0,56		0,40
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,04	0,12	0,05		0,07
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0,03	0,21	0,05		0,10
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,16	0,13	0,15	0	0,11
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	2,44	5,65	10,10		6,06
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	2,18	4,69	4,06	4,22	3,79
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,05	0,04	0,04	0	0,03
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,03	0,09	0,01	0,05	0,04
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	2,82	2,26	3,85		2,98
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	4,74	11,35	9,47		8,52
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0,03	0,04	0,02		0,03
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0,03	0,07	0		0,03
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,14	0,18	0,05		0,12
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,53	0,33	0,60		0,49
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	11,00	9,91	8,88		9,93
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	4,15	3,98	6,53		4,89
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,07	0,05	0,04		0,05
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,31	0,18	0,19		0,23
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,52	0,46	0,35		0,44
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	4,27	2,55	2,98		3,27
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,02	0,04	0,01		0,02
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,14	0,12	0,05		0,10
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,24	10,09	0,09		3,47

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoranthen Winterbeprobung	Fluoranthen Sommerbeprobung	Fluoranthen Herbstbeprobung	Fluoranthen Beprobung	4.	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,34	0,02	0,11			0,16
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0,20	0,14	0,17			0,17
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0,10	0,07	0,16			0,11
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,21	0,10	0,06			0,12
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,05	0,05	0,02			0,04
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,04	0,03	0,04		0	0,03
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,02	0,01	0,02		0	0,01
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,01	0,04	0,05		0	0,03
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,02	0,01	0		0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,01	0,02	0		0	0,01
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,06	0,03	0,01			0,03
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	1,70	4,23	3,89			3,27
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,03	0,04	0,03			0,03
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,04	0,05	0,03			0,04
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,05	0,13	0,06			0,08
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,09	0,08	0,08		0	0,06
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	5,65	5,90	9,63			7,06
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,21	0,40	0,33		0,27	0,30
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,01	0	0,01		0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,02	0,06	0		0	0,02
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0,10	0,14	0,10			0,11
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	2,36	4,03	3,31			3,23
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,08	0,08	0,05			0,07
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0,01	0,04			0,02
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0,03	0,05	0			0,03
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0,59	0,47	0,43		0,24	0,43
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,28	0,18	0,11		0	0,14
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,07	0,04	0,03		0	0,04
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,01	0,02	0		0	0,01
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,11	0,09	0,05		0	0,06
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,09	0,12	0,02		0	0,06
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,02	0	0,01		0,07	0,03
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,01	0,01	0,03		0,09	0,03
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,05	0,03	0,02		0	0,03
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,16	0,06	0,02		0	0,06
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,09	0,04	0,06		0	0,05
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	2,23	4,81	2,48		2,86	3,09
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,15	0,22	0,28		0,18	0,21
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,05	0,05	0,05		0	0,04
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,04	0,03	0,01		0	0,02
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,04	0,03	0,04		0	0,03
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,09	0,06	0,06		0	0,05
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,08	0,07	0,03		0	0,05
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,07	0,04	0,02		0	0,03
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,09	0,15	0,08		0	0,08

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Fluoranthren Winterbeprobung	Fluoranthren Sommerbeprobung	Fluoranthren Herbstbeprobung	Fluoranthren Beprobung	4. Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,07	0,04	0,02	0	0,03
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,27	0,61	0,68	0,78	0,59
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,36	0,50	0,51	0,43	0,45
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0,02	0	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,06	0,07	0,02	0	0,04
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				1,10	1,10
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,02	0	0,02		0,01
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,04	0,04	0,11		0,06
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,08	0,02	0,04		0,05
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,04	0,04	0,01		0,03
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,02	0,02
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,01	0,01
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0,01	0,01
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0,02	0,02

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Pyren Winterbeprobung	Pyren Sommerbeprobung	Pyren Herbstbeprobung	Pyren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,02	0,01		0,01
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,07	0,06	0,03		0,05
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,07	0,10	0,06		0,08
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,01	0,05	0,01		0,02
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,13	0,07	0,04		0,08
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	2,61	6,79	0,26		3,22
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	5,46	27,50	16,50	1,60	12,76
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,42	0,95	0,32	4,14	1,46
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	1,75	2,29	3,25	4,05	2,84
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,26	0,61	0,29	0,26	0,36
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	1,28	3,70	2,78		2,59
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	3,00	6,01	5,25		4,75
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0,10	0,20	0,44		0,25
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,11	0,12	0,07		0,10
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,40	0,60	0,07		0,36
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0,28	0,58	0,62		0,49
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	1,57	1,71	1,97		1,75
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0,35	0,32	0,23		0,30
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,02	0,02	0		0,01
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,40	0,17	0,05		0,21
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,19	0,10	0,10		0,13
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,26	0,10	0,28		0,21
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,03	0,07	0,04		0,05
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0,01	0,12	0,03		0,05
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,28	0,27	0,28	0	0,21
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0,71	1,91	3,59		2,07
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	1,06	2,30	2,72	2,20	2,07
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,09	0,08	0,08	0,04	0,07
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,02	0,05	0,01	0,06	0,03
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	1,21	1,13	1,74		1,36
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	1,00	2,01	2,44		1,82
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0,05	0,06	0,02		0,04
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0,02	0,04	0		0,02
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,18	0,15	0,04		0,12
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,57	0,37	0,48		0,47
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	4,76	4,72	4,83		4,77
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	1,98	2,57	3,35		2,63
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,16	0,12	0,05		0,11
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,51	0,39	0,29		0,40
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,58	0,32	0,28		0,39
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	1,68	0,87	1,63		1,39
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,03	0,12	0,09		0,08
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,29	0,17	0,08		0,18
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,48	0,13	0,10		0,24

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Pyren	Pyren	Pyren	Pyren	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0,50	0,04	0,15		0,23
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0,34	0,34	0,20		0,29
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0,14	0,11	0,17		0,14
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,39	0,19	0,11		0,23
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,07	0,05	0,01		0,04
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,09	0,07	0,08	0	0,06
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,03	0,04	0,02	0	0,02
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,06	0	0	0	0,02
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,02	0,01	0	0	0,01
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,11	0,03	0,03		0,06
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0,51	1,23	1,27		1,00
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0,06	0,08	0,04		0,06
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,11	0,14	0,07		0,11
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,13	0,29	0,14		0,19
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,12	0,11	0,09	0	0,08
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	1,80	2,26	3,35		2,47
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,21	0,29	0,26	0,26	0,26
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,02	0,01	0,01	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,01	0,05	0	0	0,02
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0,16	0,16	0,13		0,15
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0,98	1,65	1,28		1,30
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0,18	0,16	0,12		0,15
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0,01	0,08		0,03
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0,05	0,04	0,02		0,04
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0,19	0,14	0,18	0,09	0,15
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0,12	0,10	0,09	0,05	0,09
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0,12	0,08	0,06	0,05	0,08
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,07	0,05	0,04	0	0,04
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,24	0,17	0,07	0	0,12
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,19	0,11	0,04	0	0,09
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,08	0,03	0,05	0	0,04
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,05	0,04	0,06	0	0,04
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,15	0,06	0,04	0	0,06
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,39	0,14	0,04	0	0,14
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,06	0,01	0,03	0	0,03
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,77	1,66	1,59	0,84	1,21
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,31	0,45	0,51	0,34	0,40
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,12	0,15	0,18	0	0,11
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,09	0,04	0,02	0	0,04
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,07	0,04	0,04	0	0,04
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,13	0,04	0,03	0	0,05
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,15	0,09	0,04	0	0,07
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,16	0,08	0,05	0	0,07
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,15	0,17	0,10	0	0,11

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Pyren Winterbeprobung	Pyren Sommerbeprobung	Pyren Herbstbeprobung	Pyren 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,14	0,07	0,04	0	0,06
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,23	0,38	0,23	0,47	0,33
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,35	0,41	0,43	0,38	0,39
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,01	0,02	0	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,14	0,07	0,03	0	0,06
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0,44	0,44
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,01	0	0,02		0,01
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0,05	0,06	0,07		0,06
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0,09	0,04	0,04		0,06
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0,06	0,03	0,02		0,04
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0,03	0,03
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,01	0,01
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0,01	0,01

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze

(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(a)- anthracen Winterbeprobung	Benzo(a)- anthracen Sommerbeprobung	Benzo(a)- anthracen Herbstbeprobung	Benzo(a)- anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0,01		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,02	0	0,01		0,01
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0,09	1,21	0		0,43
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,42	5,50	12,80		6,24
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,04	0,06	0,01	0,22	0,08
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,12	0,03	0,10	0,51	0,19
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,04	0,03	0	0	0,02
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,04	0,08	0,11		0,08
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0,13	0,18	0,24		0,18
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0,01	0,01		0,01
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,03	0,04	0		0,02
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0,05	0,01		0,02
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0,02	0,02	0		0,01
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,01	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,01	0	0		0
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,01	0	0,01		0,01
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,01	0	0		0,00
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,05	0	0	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0,03	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,01	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,01	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0,03	0,02	0,05		0,03
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0,01	0,02	0,01		0,01
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0,02	0		0,01
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0,02	0	0,03		0,02
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,02	0,02	0		0,01
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0,03	0		0,01
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,12	0	0		0,04
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0,02	0		0,01
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0,03	0		0,01

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(a)- anthracen Winterbeprobung	Benzo(a)- anthracen Sommerbeprobung	Benzo(a)- anthracen Herbstbeprobung	Benzo(a)- anthracen 4. Beprobung	Mittelwert [µg/l]
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0,01	0		0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0		0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,02	0	0		0,01
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,01	0	0		0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,02	0	0		0,01
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0,03	0	0		0,01
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,04	0,01	0		0,02
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,02	0	0		0,01
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0,02	0,03		0,01
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0		0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0,01	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0,01	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0,02	0,01		0,01
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,01	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,01	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(a)- anthracen Winterbeprobung	Benzo(a)- anthracen Sommerbeprobung	Benzo(a)- anthracen Herbstbeprobung	Benzo(a)- anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,09	0	0,02	0	0,03
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,03	0,01	0	0	0,01
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,02	0,01	0,01	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0,03	0	0,01
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0,01	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
							0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Chrysen Winterbeprobung	Chrysen Sommerbeprobung	Chrysen Herbstbeprobung	Chrysen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,03	0,02	0,02		0,02
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,03	0	0,03		0,02
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,01	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,05	0,03	0,04		0,04
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0,08	0,73	0		0,27
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,35	3,00	9,16		4,17
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,03	0,06	0,02	0,16	0,07
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,12	0,02	0,11	0,22	0,12
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,01	0,02	0	0	0,01
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,04	0,06	0,10		0,07
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0,10	0,10	0,15		0,12
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0,02	0,02		0,01
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0,02	0		0,01
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,06	0,13	0		0,06
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0,03	0,07	0,03		0,04
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0,03	0,03	0,01		0,02
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0,03	0,01		0,01
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0,05	0,05	0,03		0,04
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,01	0,03	0		0,01
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,02	0,02	0,02		0,02
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0,03	0		0,01
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0,06	0		0,02
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0,04	0,06	0,04	0	0,04
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0,03	0		0,01
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0,03	0,02	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,01	0	0,01	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,01	0	0	0	0,00
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0,08	0,04	0,07		0,06
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0,05	0,06	0,03		0,05
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,08	0,11	0		0,06
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,07	0	0,03		0,03
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0,05	0,02	0,04		0,04
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0,05	0,03	0,04		0,04
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,06	0,04	0		0,03
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,13	0,06	0		0,06
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0,01	0,06	0,05		0,04
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0,02	0,03	0,03		0,03
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0,08	0		0,03
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0,11	0,03		0,05

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Chrysen Winterbeprobung	Chrysen Sommerbeprobung	Chrysen Herbstbeprobung	Chrysen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0,02	0,03		0,02
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0,04	0,02		0,02
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0,02	0,02		0,01
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0,11	0,06	0,02		0,06
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,05	0,02	0,01		0,03
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,01	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0,01	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0,01	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,01	0,01	0	0	0,01
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0,05	0,02		0,02
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0,04	0		0,01
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,03	0,05	0		0,03
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,02	0,06	0		0,03
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0,03	0,05	0	0,02
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0,03	0		0,01
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,02	0,02	0,01	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0,02	0,03	0,02		0,02
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0,03	0,03	0,02		0,03
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0,03	0,03		0,02
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0,03	0		0,01
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0,03	0	0	0	0,01
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,05	0,03	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,02	0,02	0		0,01
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,02	0	0	0	0,01
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0,01	0	0	0,00
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,02	0,01	0	0	0,01
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,04	0	0	0	0,01
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0,03	0,03	0	0,02
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,01	0,01	0,01	0	0,01
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,01	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0,03	0,01	0	0,01
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,01	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0,03	0	0,01		0,01
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0,03	0,02	0	0	0,01
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,02	0,02	0	0	0,01
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,02	0,02	0	0	0,01

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Chrysen Winterbeprobung	Chrysen Sommerbeprobung	Chrysen Herbstbeprobung	Chrysen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,04	0,02	0	0	0,02
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0,02	0,02	0,03	0	0,02
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,03	0,01	0,01	0	0,01
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,03	0,03	0	0	0,02
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0,01	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0,01	0,01		0,01
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0,01	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0
	i	44,00-45,00	68,93-67,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0,01		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,30	0		0,10
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	2,15	12,90		5,02
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,01	0	0	0	0,01
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0,02	0,01	0	0,01
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,02	0,02	0,01	0	0,01
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0		0
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,02	0	0		0,01
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,03	0	0		0,01
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,02	0	0		0,01
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0	0	0

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0,01	0,05	0	0,02
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(b,k)- fluoranthen	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
							0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo-a-pyren (BaP) Winterbeprobung	Benzo-a-pyren (BaP) Sommerbeprobung	Benzo-a-pyren (BaP) Herbstbeprobung	Benzo-a-pyren (BaP) 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,10	0		0,03
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	1,05	6,26		2,44
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0,02		0,01
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0		0
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0,01	0	0		0
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0,02	0	0		0,01
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,01	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
 (<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
 Gesellschaft für Meß-
 und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung [µg/l]	Sommerbeprobung [µg/l]	Herbstbeprobung [µg/l]	4. Beprobung [µg/l]	
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0,03	0	0	0,01
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Benzo-a-pyren (BaP)	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung [µg/l]	Sommerbeprobung [µg/l]	Herbstbeprobung [µg/l]	4. Beprobung [µg/l]	
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Indeno(1,2,3,c,d) Winterbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) Sommerbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) Herbstbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	1,53	4,66		2,06
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0		0
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	0	0		0
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0	0		0
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Indeno(1,2,3,c,d) Winterbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) Sommerbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) Herbstbeprobung	Indeno(1,2,3,c,d) 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0		0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0		0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Indeno(1,2,3,c,d)	Indeno(1,2,3,c,d)	Indeno(1,2,3,c,d)	Indeno(1,2,3,c,d)	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
							0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Dibenzo(a,h)- anthracen Winterbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen Sommerbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen Herbstbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	1,02	0,53		0,52
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0		0
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	0	0		0
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0	0		0
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Dibenzo(a,h)- anthracen Winterbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen Sommerbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen Herbstbeprobung	Dibenzo(a,h)- anthracen 4. Beprobung	Mittelwert [µg/l]
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				0	0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Dibenzo(a,h)-anthracen	Dibenzo(a,h)-anthracen	Dibenzo(a,h)-anthracen	Dibenzo(a,h)-anthracen	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbeprobung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(g,h,i)- perylen Winterbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen Sommerbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen Herbstbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	1,02	8,07		3,03
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0		0
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	0	0		0
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0	0		0
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47					
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0	0	0	0	0
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(g,h,i)- perylen Winterbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen Sommerbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen Herbstbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylen 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0		0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0		0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzo(g,h,i)- perylene Winterbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylene Sommerbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylene Herbstbeprobung	Benzo(g,h,i)- perylene 4. Beprobung	Mittelwert [µg/l]
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
							0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze

(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe PAK*	Summe PAK*	Summe PAK*	Summe PAK*	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbe- probung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0,10	0,02		0,12
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0,15	0,15	0,08		0,38
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0,15	0,50	0,18		0,83
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0,05	0,34	0,01		0,40
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0,30	0,19	0,13		0,62
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	239,54	156,13	169,99	175,68	741,34
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	341,93	3200,77	3974,78	768,27	8285,75
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	8,63	9,88	5,95	186,39	210,85
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	22,89	20,32	37,64	16,51	97,36
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	8,34	10,16	6,51	4,74	29,75
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	214,88	432,99	624,11		1271,98
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	277,92	526,43	1352,49		2156,84
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	3,09	6,84	80,25		90,18
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0,46	0,55	0,33		1,34
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	4,31	7,71	1,94		13,96
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	109,08	531,47	419,69		1060,24
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	167,41	712,43	665,91		1545,75
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	23,21	30,57	42,36		96,14
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0,16	0,09	0,15		0,40
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	1,11	0,56	0,30		1,97
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	17,71	0,83	13,31		31,85
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	18,64	0,65	46,94		66,23
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0,20	0,50	0,26		0,96
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0,07	0,75	0,26		1,08
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				900,62	900,62
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0,24	0,24
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	91,69	88,73	69,05	106,94	356,41
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	1188,68	1047,81	1167,64	739,18	4143,31
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	50,15	213,41	100,76	174,85	539,17
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	1,51	1,07	1,00	0,47	4,05
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	0,61	1,71	0,71	0,85	3,88
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	230,77	143,59	339,96		714,32
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	581,43	1675,05	993,82		3250,30
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0,09	0,41	0,32		0,82
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0,10	0,45	0,02		0,57
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0,58	0,85	0,12		1,55
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	403,06	259,84	552,36		1215,26
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	654,14	299,32	477,96		1431,42
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	124,75	64,49	214,65		403,89
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,44	0,34	0,52		1,30
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	1,58	0,83	0,71		3,12
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	182,50	174,03	212,64		569,17
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	359,19	195,05	290,33		844,57
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	5,06	1,28	2,61		8,95
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0,65	0,73	0,15		1,53
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0,94	10,90	0,31		12,15

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe PAK*	Summe PAK*	Summe PAK*	Summe PAK*	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	Winterbeprobung	Sommerbe-probung	Herbstbeprobung	4. Beprobung	
				[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	1,97	0,08	0,46		2,51
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	24,80	24,69	41,76		91,25
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	5,88	7,85	16,21		29,94
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	1,03	0,55	0,35		1,93
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0,39	0,42	0,08		0,89
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0,40	0,13	0,14	0	0,67
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	1,24	1,19	9,45	6,05	17,93
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0,41	0,98	4,33	3,32	9,04
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,13	0,02	0	0,20	0,35
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,07	0,07	0	0	0,14
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0,67	0,29	0,04		1,00
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	242,39	535,89	562,13		1340,41
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	1,09	1,50	2,49		5,08
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0,27	0,29	0,12		0,68
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0,36	0,61	0,22		1,19
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	71,43	33,14	42,31	90,50	237,38
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	706,18	1068,65	943,60	447,43	3165,86
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	10,20	7,85	11,15	14,25	43,45
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0,84	0,68	0,84	0,41	2,77
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0,56	0,65	0,58	0,25	2,04
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0,29	0,29
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				32,99	32,99
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	137,17	126,61	118,09		381,87
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	225,03	486,25	349,84		1061,12
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	2,47	1,39	2,85		6,71
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0,14	0,07	0,24		0,45
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0,11	0,29	0,12		0,52
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	8,09	3,51	1,55	0,56	13,71
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	3,93	2,04	0,79	0,13	6,89
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	1,60	0,57	0,40	0,21	2,78
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0,54	0,15	0,20	0	0,89
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0,69	0,54	0,18	0	1,41
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	2,03	2,17	3,77	5,24	13,21
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	6,53	2,55	7,20	5,86	22,14
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0,52	0,46	1,03	5,95	7,96
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,31	0,12	0,07	0	0,50
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,72	0,24	0,08	0	1,04
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	61,60	53,25	41,13	92,84	248,82
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	595,86	742,02	388,22	343,57	2069,67
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	27,31	28,85	27,08	15,59	98,83
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	7,10	5,48	7,65	4,35	24,58
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	1,26	0,90	2,31	2,69	7,15
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0,29	0,08	0,13	0	0,50
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	8,96	1,16	0,32	0,09	10,53
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	1,22	0,57	0,30	0,17	2,26
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0,37	0,16	0,07	0	0,60
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0,70	0,94	0,26	0	1,90

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe PAK* Winterbeprobung	Summe PAK* Sommerbeprobung	Summe PAK* Herbstbeprobung	Summe PAK* 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0,42	0,19	0,11	0	0,72
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	39,94	77,85	46,34	68,91	233,04
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	25,02	60,51	30,50	63,33	179,36
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0,26	0,33	0,21	0,26	1,06
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0,41	0,58	0,18	0	1,17
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				192,71	192,71
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0,13	0,07	0,21		0,41
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0,26	8,19	3,37	4,46	16,28
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	1,28	9,16	9,96		20,40
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	8,42	4,89	1,56		14,87
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	2,03	2,05	0,84		4,92
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				4,06	4,06
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0,04	0,04
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0,05	0,05
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0,01	0,01
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0,04	0,04

* Summe PAK nach US-EPA ohne Naphthalin

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzol Winterbeprobung	Benzol Sommerbeprobung	Benzol Herbstbeprobung	Benzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	49364,0	13700,0	54168,0	40959,26	39547,82
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	10502,0	10600,0	10088,0	16822,76	12003,19
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	17,2	15,6	17,2	0	12,49
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	7,2	2,2	0	0	2,34
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	85,0	29,6	11,0	0	31,40
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	29070,0	34870,0	15710,0		26550,00
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	5194,0	5994,0	2860,0		4682,67
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	40,0	21,8	16,0		25,93
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	128,0	84,6	49,0		87,20
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	1677,0	1884,0	663,0		1408,00
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	955,0	1733,0	472,0		1053,33
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	59,0	19,7	13,0		30,57
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	33,0	0	16,0		16,33
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	50,0	22,6	21,0		31,20
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	54,0	0	62,0		38,67
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	2,6	0		0,87
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				18183,53	18183,53
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	6180,0	5223,0	2210,0	3817,01	4357,50
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	9390,0	16452,0	17000,0	19331,76	15543,44
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	515,0	1170,0	289,0	804,97	694,74
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	18,3	2,4	0	0	5,18
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	44,0	13,3	11,0	15,73	21,01
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	5488,0	3350,0	1890,0		3576,00
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	724,0	959,0	528,0		737,00
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	11,0		3,67
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	66709,0	32723,0	17700,0		39044,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	7988,0	3337,0	715,0		4013,33
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	2437,0	1005,0	625,0		1355,67
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	1,4	0		0,47
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	2,7	0		0,90
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	2544,0	291,0	93,0		976,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	2264,0	640,0	259,0		1054,33
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	1,8	0		0,60
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	80,0	2,2	0		27,40

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzol Winterbeprobung	Benzol Sommerbeprobung	Benzol Herbstbeprobung	Benzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	40,1	19,0		19,70
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	6,1	0		2,03
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	1,5	0		0,50
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	5,8	0		1,93
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	11,0	13,99	6,25
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	8,70	2,18
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	1,1	0		0,37
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	1088,0	1447,0	1370,0		1301,67
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	3,8	7,0		3,60
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	846,0	353,0	199,0	940,70	584,68
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	8883,0	17954,0	11300,0	3018,97	10288,99
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	68,0	30,8	21,0	0	29,95
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	224,0	206,0	137,9	0	141,98
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	226,0	424,0	201,0	13,31	216,08
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				119,77	119,77
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				540,25	540,25
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	4886,0	2119,0	675,0		2560,00
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	4037,0	5713,0	1940,0		3896,67
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	2,4	0		0,80
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	2,2	0		0,73
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	22,4	5,0		9,13
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	1,2	0	0	0,30
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	5,0	0	1,25
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	8,0	0	2,00
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	793,0	451,0	559,0	793,68	649,17
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	4790,0	8114,0	6430,0	4185,45	5879,86
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	138,0	12,9	201,0	0,23	88,03
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	18,0	1,6	30,0	15,07	16,17
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	18,0	7,4	26,0	99,24	37,66
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Benzol Winterbeprobung	Benzol Sommerbeprobung	Benzol Herbstbeprobung	Benzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	2,1	5,0	0	1,77
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	358,0	328,0	426,0	167,83	319,95
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	275,0	366,2	246,0	192,62	269,95
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				1679,80	1679,80
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	5,1	0	2,00	1,78
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	2,0	7,0	8,7		5,89
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	3,0	2,0	0		1,67
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				13,00	13,00
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Toluol Winterbeprobung	Toluol Sommerbeprobung	Toluol Herbstbeprobung	Toluol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	5720,0	1090,0	7388,0	6088,95	5071,74
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	1604,0	1520,0	986,0	2695,58	1701,40
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	1,0	0	0	0,25
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	4,0	4,8	2,0	0	2,70
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	8080,0	7490,0	3330,0		6300,00
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	1995,0	2029,0	784,0		1602,67
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	0	0	19,0		6,33
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	29,0	21,5	9,0		19,83
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	3,0	4,0	0		2,33
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	2,0	2,0	0		1,33
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	0	3,3	0		1,10
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	1,1	0		0,37
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	9,0	0	4,0		4,33
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	1,7	0		0,57
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0	0		0
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	1,0	0		0,33
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	1,3	0		0,43
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				1593,85	1593,85
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	269,0	85,6	101,0	59,21	128,70
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	735,0	719,0	917,0	883,27	813,57
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	2,0	5,0	3,0	17,98	7,00
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	6,0	0	0	0	1,50
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	27,1	31,0	9,0		22,37
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	430,0	400,0	87,0		305,67
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	13870,0	4723,0	2190,0		6927,67
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	991,0	315,0	29,0		445,00
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	5,5	26,5	2,0		11,33
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	3,0	0	0		1,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	4,2	2,0	0		2,07
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	1,1	0		0,37

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Toluol Winterbeprobung	Toluol Sommerbeprobung	Toluol Herbstbeprobung	Toluol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	1,0	0		0,33
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	1,8	0		0,60
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0		0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	21,1	41,4	9,0		23,83
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	6,0	1,2	0		1,80
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	494,0	742,0	489,0	13,79	434,70
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	3,1	0		0,76
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	3,0	4,5	0		1,89
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06					0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06					0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06					0
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	22,3	8,6	2,0		10,97
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	8,1	32,8	6,0		15,63
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0		0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0		0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0		0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	8,0	1,3	1,0		2,58
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	22,0	51,0	24,0	8,68	26,42
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	1,70	0,43
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	2,0		0,50
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0		0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0		0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0		0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0		0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0		0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Toluol Winterbeprobung	Toluol Sommerbeprobung	Toluol Herbstbeprobung	Toluol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	4,0	0	0	0	1,00
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				0	0
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Ethylbenzol Winterbeprobung	Ethylbenzol Sommerbeprobung	Ethylbenzol Herbstbeprobung	Ethylbenzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	1809,0	190,0	1623,1	876,26	1124,59
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	1193,0	990,0	674,0	1542,95	1099,99
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0	13,27	3,32
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	3,0	1,2	1,0	0	1,30
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	1730,0	1430,0	795,0		1318,33
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	1112,0	969,0	464,0		848,33
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	4,0	1,8	21,0		8,93
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	2,0	4,4	2,0		2,80
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	175,0	212,0	66,0		151,00
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	98,0	244,0	75,0		139,00
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	2,0	0	0		0,67
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	2,0	0	0		0,67
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	0	4,1	0		1,37
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	0	0	0		0
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				1546,83	1546,83
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	471,0	189,0	230,0	228,67	279,67
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	1440,0	1324,0	1140,0	1467,81	1342,95
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	37,0	87,8	31,0	90,33	61,53
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	2,0	0	0	0	0,50
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	239,0	347,0	229,0		271,67
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	413,0	568,0	320,0		433,67
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	1801,0	1079,0	582,0		1154,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	1222,0	692,0	175,0		696,33
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	141,0	83,6	68,0		97,53
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	89,0	2,0	0		30,33
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	7,5	31,0	13,0		17,17
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	2,2	0	0		0,73

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Ethylbenzol Winterbeprobung	Ethylbenzol Sommerbeprobung	Ethylbenzol Herbstbeprobung	Ethylbenzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	3,1	2,0		1,70
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0		0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	363,0	436,0	310,0		369,67
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	68,0	44,0	26,0	0	34,50
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	1123,0	1001,0	768,0	0	723,00
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	1,0	0	0,25
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	1,0	2,5	0	0	0,89
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	4,0	2,4	2,0	0	2,10
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				33,29	33,29
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	320,0	209,0	69,0		199,33
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	264,0	558,0	199,0		340,33
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	140,0	76,8	61,0	94,30	93,03
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	631,0	744,0	620,0	508,80	625,95
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	1,0	0	1,0	11,48	3,37
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	3,0	1,1	5,0	0	2,28
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Ethylbenzol Winterbeprobung	Ethylbenzol Sommerbeprobung	Ethylbenzol Herbstbeprobung	Ethylbenzol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	3,0	0	0	1
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	3,0	2,6	4,0	0	2,40
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	7,8	0	0	1,95
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	1,9	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				189,43	189,43
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		m+p+o-Xylol Winterbeprobung	m+p+o-Xylol Sommerbeprobung	m+p+o-Xylol Herbstbeprobung	m+p+o-Xylol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0		0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0		0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	5280,0	550,0	4464,9	2819,27	3278,54
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	3893,0	3340,0	2097,0	5054,47	3596,12
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0	33,14	8,29
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	6,0	3,8	3,0	0	3,20
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	5280,0	4380,0	3320,0		4326,67
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	3456,0	3089,0	1386,0		2643,67
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	3,0	0	101,0		34,67
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	7,0	13,6	8,0		9,53
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	8,0	6,0	0		4,67
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	2,0	6,0	2,0		3,33
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	2,0	1,2	0		1,07
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	3,0	0	3,0		2,00
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	6,0	4,6	0		3,53
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	7,0	0	1,0		2,67
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	0	0		0
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	0	0		0
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				4642,04	4642,04
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	1603,0	654,0	1119,0	418,75	948,69
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	4565,0	4217,0	4869,0	4338,78	4497,45
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	14,0	46,5	12,2	93,22	41,48
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	5,0	0	0	0	1,25
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	52,0	110,4	74,0		78,80
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	582,0	1113,0	742,0		812,33
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	4258,0	3449,0	2580,0		3429,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	1630,0	1415,0	384,0		1143,00
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	7,9	48,0	14,0		23,30
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	0	0		0
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	3,1	2,0	0		1,70
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	6,2	1,0	0		2,40
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	0	0		0
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	6,0	0	0		2,00

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		m+p+o-Xylol Winterbeprobung	m+p+o-Xylol Sommerbeprobung	m+p+o-Xylol Herbstbeprobung	m+p+o-Xylol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0	0		0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	1,2	0		0,40
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	0	0		0
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	1,2	0		0,40
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	0	0		0
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	0	0		0
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	198,3	258,0	74,0		176,77
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	25,0	5,8	0	1060,00	272,70
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	2739,0	2707,0	2846,0	1106,84	2349,71
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	4,0	4,0	0	1,99
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	3,0	6,3	0	0	2,31
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	18,0	31,1	0	0	12,28
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				0	0
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				79,80	79,80
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	23,5	14,7	5,0		14,40
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	69,9	134,3	24,0		76,07
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	0	0		0
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	0	0		0
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	0	0		0
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	19,0	2,2	2,0	0	5,80
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	219,0	390,0	111,0	27,56	186,89
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	1,89	0,47
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	1,6	9,0	0	2,64
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Entnahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		m+p+o-Xylol Winterbeprobung	m+p+o-Xylol Sommerbeprobung	m+p+o-Xylol Herbstbeprobung	m+p+o-Xylol 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				5,45	5,45
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	0	0	0		0
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	0	0	0		0
	5/a	8,90-9,91	105,00-104,01	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				0	0
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messwerttabelle - Grundwasserproben

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe BTEX Winterbeprobung	Summe BTEX Sommerbeprobung	Summe BTEX Herbstbeprobung	Summe BTEX 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E0/1	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	0	0	0	0	0
E1/3	5/a	8,90-9,90	105,00-104,00	62173,0	15530,0	67644,0	50743,74	49022,69
	4/b	12,65-13,65	101,25-100,25	17192,0	16450,0	13845,0	26115,76	18400,69
	3/c	16,40-17,40	97,50-96,50	17,2	16,6	17,2	46,41	24,34
	2/d	20,15-21,15	93,73-92,75	7,2	2,2	0	0	2,34
	1/e	23,90-24,65	90,00-89,25	98,0	39,4	17,0	0	38,60
E1/4	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	44160,0	48170,0	23155,0	0	28871,25
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	11757,0	12081,0	5494,0	0	7333,00
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	47,0	23,6	157,0	0	56,90
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	166,0	124,1	68,0	0	89,53
E1/5	5/a	8,95-9,95	105,00-104,00	1863,0	2106,0	729,0	0	1174,50
	4/b	12,70-13,70	101,25-100,25	1057,0	1985,0	549,0	0	897,75
	3/c	16,45-17,45	97,50-96,50	63,0	24,2	13,0	0	25,05
	2/d	20,20-21,20	93,75-92,75	0	1,1	0	0	0,28
	1/e	23,95-24,70	90,00-89,25	47,0	0	23,0	0	17,50
E1/7	5/a	7,78-10,40	106,32-103,70	56,0	33,0	21,0	0	27,50
	3/c	15,35-17,12	98,75-96,98	61,0	0,0	125,0	0	46,50
	2/d	18,23-20,01	95,87-94,09	0	1,0	0	0	0,25
	1/e	23,08-24,85	91,02-89,25	0	3,9	0	0	0,98
T26	b	13,00-14,00	101,47-100,47				25966,25	25966,25
	f	29,00-30,00	85,47-84,47				0	0
	h	39,00-40,00	75,47-74,47				0	0
E2/8	5/a	9,00-10,00	105,10-104,10	8523,0	6151,6	3660,0	4523,64	5714,56
	4/b	12,75-13,75	101,35-100,35	16130,0	22712,0	23926,0	26021,62	22197,41
	3/c	16,50-17,50	97,60-96,60	568,0	1309,3	335,2	1006,50	804,75
	2/d	20,25-21,25	93,85-92,85	18,3	2,4	0	0	5,18
	1/e	24,00-24,75	90,10-89,35	57,0	13,3	11,0	15,73	24,26
E2/9	5/a	9,00-10,00	105,00-104,00	5806,1	3838,4	2202,0	0	2961,63
	4/b	12,75-13,75	101,25-100,25	2149,0	3040,0	1677,0	0	1716,50
	3/c	16,50-17,50	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	93,75-92,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	90,00-89,25	0	0	11,0	0	2,75
E2/10	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	86638,0	41974,0	23052,0	0	37916,00
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	11831,0	5759,0	1303,0	0	4723,25
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	2591,4	1163,1	709,0	0	1115,88
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	1,4	0	0	0,35
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	0	2,7	0	0	0,68
E2/11	5/a	9,20-10,20	105,00-104,00	2639,1	295,0	93,0	0	756,78
	4/b	12,95-13,95	101,25-100,25	2281,9	674,0	272,0	0	806,98
	3/c	16,70-17,70	97,50-96,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,75-92,75	0	1,8	0	0	0,45
	1/e	24,20-24,95	90,00-89,25	88,2	3,3	0	0	22,88

G.M.F. mbH

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent- nahme- stelle	Tiefen- stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe BTEX Winterbeprobung	Summe BTEX Sommerbeprobung	Summe BTEX Herbstbeprobung	Summe BTEX 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E2/12	5/a	8,60-9,60	105,00-104,00	0	0,0	0,0	0	0
	4/b	12,35-13,35	101,25-100,25	0	44,4	21,0	0	16,35
	3/c	16,10-17,10	97,50-96,50	0	6,1	0	0	1,53
	2/d	19,85-20,85	93,75-92,75	0	3,7	0	0	0,93
	1/e	23,60-24,35	90,00-89,25	0	7,6	0	0	1,90
E3/13	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	0	0	0	0	0
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	0	0	11,0	13,99	6,25
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	0	0	0	8,70	2,18
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	0	0	0	0	0
E3/14	5/a	9,00-10,00	104,30-103,30	0	1,1	0	0	0,28
	4/b	12,75-13,75	100,55-99,55	1670,4	2182,4	1763,0	0	1403,95
	3/c	16,50-17,50	96,80-95,80	0	3,8	7,0	0	2,70
	2/d	20,25-21,25	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,30-88,55	0	0	0	0	0
E3/15	5/a	9,00-10,00	104,20-103,20	945,0	404,0	225,0	2000,70	893,67
	4/b	12,75-13,75	100,45-99,45	13239,0	22404,0	15403,0	4139,60	13796,40
	3/c	16,50-17,50	96,70-95,70	69,1	34,8	26,0	0	32,47
	2/d	20,25-21,25	92,95-91,95	228,0	217,8	137,9	0	145,94
	1/e	24,00-24,75	89,20-88,45	251,0	462,1	203,0	13,31	232,35
E3/T15	f	29,00-30,00	84,06-83,06				0	0
	g	34,00-35,00	79,06-78,06				119,77	119,77
	h	39,00-40,00	74,06-73,06				653,34	653,34
E3/16	5/a	9,10-10,10	104,30-103,30	5251,8	2351,3	751,0	0	2088,53
	4/b	12,85-13,85	100,55-99,55	4379,0	6438,1	2169,0	0	3246,53
	3/c	16,60-17,60	96,80-95,80	0	2,4	0	0	0,60
	2/d	20,35-21,35	93,05-92,05	0	2,2	0	0	0,55
	1/e	24,10-24,85	89,30-88,55	0	22,4	5,0	0	6,85
E3/17	5/a	9,20-10,20	104,30-103,30	0	0	0	0	0
	4/b	12,95-13,95	100,55-99,55	0	0	0	0	0
	3/c	16,70-17,70	96,80-95,80	0	0	0	0	0
	2/d	20,45-21,45	93,05-92,05	0	0	0	0	0
	1/e	24,20-24,95	89,30-88,55	0	1,2	0	0	0,30
E4/18	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	0	5,0	0	1,25
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	0	0	8,0	0	2,00
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	0	0	0	0
E4/19	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	960,0	531,3	623,0	887,98	750,57
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	5662,0	9299,0	7185,0	4730,49	6719,12
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	139,5	12,9	202,0	15,30	92,43
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	18,0	1,6	30,0	15,07	16,17
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	21,0	10,1	42,0	99,24	43,08
E4/20	5/a	8,80-9,80	104,00-103,00	0	0	0	0	0
	4/b	12,55-13,55	100,25-99,25	0	0	0	0	0
	3/c	16,30-17,30	96,50-95,50	0	0	0	0	0
	2/d	20,05-21,05	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	23,80-24,55	89,00-88,25	0	0	0	0	0

0 = Wert unterhalb Nachweisgrenze
(<0,01µg/l für PAK und <1 µg/l für BTEX)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik mbH

Ent-nahme-stelle	Tiefen-stufe	Entnahmetiefe (Filterstrecke)		Summe BTEX Winterbeprobung	Summe BTEX Sommerbeprobung	Summe BTEX Herbstbeprobung	Summe BTEX 4. Beprobung	Mittelwert
		[m ü. GOK]	[m ü. NN]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]		[µg/l]
E5/21	5/a	9,00-10,00	104,00-103,00	0	5,1	5,0	0	2,53
	4/b	12,75-13,75	100,25-99,25	365,0	330,6	430,0	167,83	323,35
	3/c	16,50-17,50	96,50-95,50	275,3	374,0	246,0	192,62	271,98
	2/d	20,25-21,25	92,75-91,75	0	0	0	0	0
	1/e	24,00-24,75	89,00-88,25	0	1,9	0	0	0,46
E5/T21	b	13,00-14,00	99,57-98,57				1874,68	1874,68
	f	29,00-30,00	83,57-82,57				0	0
	g	34,00-35,00	78,57-77,57				0	0
E6/22	5/a	8,66-9,60	104,14-103,20	0	0	0		0
	4/b	12,48-13,42	100,32-99,38	0	5,1	0	2,00	1,78
	3/c	16,30-17,24	96,50-95,56	2,0	7,0	8,7		5,89
	2/d	19,18-20,12	93,62-92,68	3,0	2,0	0		1,67
	1/e	24,00-24,96	88,80-87,84	0	0	0		0
E6/T22	b	13,00-14,00	99,46-98,46				13,00	13,00
	f	29,00-30,00	83,46-82,46				0	0
	h	38,00-39,00	74,46-73,46				0	0
E7/T27	b	13,00-14,00	99,93-98,93				0	0
	c	16,50-17,50	96,43-95,43				0	0
	d	20,00-21,00	92,93-91,93				0	0
	e	24,00-25,00	88,93-87,93				0	0
	f	29,00-30,00	83,93-82,93				0	0
	g	34,00-35,00	78,93-77,93				0	0
	h	39,00-40,00	73,93-72,93				0	0

1111 Wert aus Doppelbestimmung Chem. Labor Dr. Vogt

1111 Wert aus Nachuntersuchung Chem. Labor Dr. Vogt Januar 2002

1111 Wert aus Untersuchungen von VEGAS

1111 Wert aus Zeitreihen (monatl. Beprobung) von VEGAS

1111 Wert aus Untersuchungen von TZW

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Entnahme- stelle	Entnahmetiefe m u. GOK	Naphthalin	Acenaphthylen	Acenaphthen	Fluoren	Phenantren
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E1/3	9 - 10	1,22	14,70	1,40	13,27	11,83
	20 - 21	247,14	37,15	23,25	17,87	28,76
	24 - 25	38,81	4,85	14,82	6,86	87,18
E1/4	9 - 10	0,08	3,99	0,44	1,41	5,18
	17 - 18	0,35	0,58	3,67	1,65	13,06
	20 - 21	-	600,00	214,29	230,77	450,00
	24 - 25	121,01	112,50	4,25	42,06	262,14
E1/5	9 - 10	1,52	10,20	0,12	0,32	1,13
	13 - 14	1,35	0,26	0,04	0,10	0,61
	17 - 18	103,45	3,73	0,48	1,38	39,74
	20 - 21	115,38	-	187,50	2400,00	4363,64
	24 - 25	12,50	-	150,00	250,00	230,77
E1/7	18 - 19	1950,00	-	1588,24	3333,33	4090,91
	23 - 24	1050,00	-	450,00	1000,00	1304,35
T26	13 - 14	0,04	-	0,54	3,75	11,75
	29 - 30	-	-	63,62	-	-
	39 - 40	-	-	-	-	-
E2/8	9 - 10	0,17	13,98	0,50	34,36	19,89
	13 - 14	0,01	0,67	0,04	0,38	0,61
	17 - 18	0,21	3,23	0,13	0,73	5,71
	20 - 21	14,39	36,15	28,62	191,68	888,89
	24 - 25	9,02	106,61	25,22	63,76	49,78
E2/9	9 - 10	0,05	6,71	0,26	2,57	2,29
	13 - 14	0,03	1,49	0,02	0,31	0,43
	17 - 18	78,95	-	150,00	214,29	480,00
	20 - 21	-	-	187,50	428,57	1875,00
	24 - 25	-	-	375,00	500,00	75,00
E2/10	9 - 10	0,04	0,13	0,16	0,33	0,76
	13 - 14	0,04	3,88	0,07	0,58	0,85
	17 - 18	0,56	2,41	0,14	0,41	0,77
	20 - 21	150,00	-	150,00	230,77	90,91
	24 - 25	200,00	1000,00	157,89	130,43	57,69
E2/11	9 - 10	5,41	2,12	0,06	1,90	0,45
	13 - 14	8,93	0,47	0,07	0,18	0,66
	17 - 18	-	57,69	7,94	8,36	50,85
	20 - 21	250,00	-	272,73	375,00	100,00
	24 - 25	10,34	1000,00	93,75	230,77	300,00
E2/12	9 - 10	-	-	103,45	187,50	38,46
	13 - 14	22,90	1,94	0,52	2,14	14,22
	17 - 18	96,77	5,64	1,76	4,74	157,89
	20 - 21	136,36	-	214,29	333,33	73,17
	24 - 25	61,22	-	166,67	333,33	1080,00
E3/13	9 - 10	-	-	307,69	1000,00	400,00
	13 - 14	16,27	10,40	3,16	38,10	242,71
	17 - 18	85,11	25,52	6,45	52,34	153,85
	20 - 21	141,50	-	302,05	-	327,55
	24 - 25	-	-	-	-	1000,00

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Ent- nahme- stelle	Entnahme- tiefe m u. GOK	Naphthalin	Acenaphthylen	Acenaphthen	Fluoren	Phenantren
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E3/14	9 - 10	-	-	63,83	272,73	230,77
	13 - 14	0,06	7,56	0,03	0,14	0,18
	17 - 18	-	93,75	8,61	37,50	200,00
	20 - 21	-	-	1000,00	-	428,57
	24 - 25	-	-	333,33	1000,00	176,47
E3/15	9 - 10	0,12	7,29	0,50	0,91	1,48
	13 - 14	0,00	2,00	0,02	0,06	0,18
	17 - 18	75,47	14,56	1,83	3,51	16,88
	20 - 21	1,45	42,22	26,93	285,71	285,71
	24 - 25	0,53	37,11	63,38	666,67	333,33
E3/16	9 - 10	0,57	24,79	0,10	0,72	0,70
	13 - 14	0,09	3,42	0,04	0,19	0,28
	17 - 18	-	37,50	7,54	37,50	83,33
	20 - 21	-	-	200,00	-	230,77
	24 - 25	24,39	-	333,33	600,00	187,50
E3/17	9 - 10	-	16,00	5,97	27,40	138,75
	13 - 14	-	32,00	10,19	65,57	307,69
	17 - 18	-	121,21	23,58	307,69	307,69
	20 - 21	-	571,43	72,73	-	571,43
	24 - 25	10,00	800,00	137,93	444,44	235,29
E4/18	9 - 10	413,46	17,75	4,17	210,53	78,93
	13 - 14	236,04	9,11	2,41	57,26	325,04
	17 - 18	205,04	30,51	7,13	68,53	313,21
	20 - 21	500,00	-	-	-	400,00
	24 - 25	571,43	-	-	-	250,00
E4/19	9 - 10	0,50	7,47	0,19	3,99	1,79
	13 - 14	0,02	9,01	0,03	0,15	0,23
	17 - 18	49,70	6,05	0,53	3,00	125,00
	20 - 21	50,22	24,59	2,03	16,53	210,53
	24 - 25	33,86	571,43	6,91	110,92	62,01
E4/20	9 - 10	571,43	-	-	-	235,29
	13 - 14	400,00	80,00	4,53	-	307,69
	17 - 18	965,58	571,43	27,05	-	210,53
	20 - 21	666,67	-	-	-	285,71
	24 - 25	666,67	-	307,69	333,33	49,38
E5/21	9 - 10	14,47	-	800,00	571,43	800,00
	13 - 14	66,67	13,33	0,20	1,36	51,95
	17 - 18	25,95	10,66	0,27	1,89	137,93
	20 - 21	40,17	148,15	55,64	-	-
	24 - 25	1000,00	571,43	166,67	571,43	173,91

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe m u. GOK	Anthracen	Fluoranthen	Pyren	Benzo(a)- anthracen	Chrysen
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E1/3	9 - 10	16,99	27,10	34,16	138,46	222,22
	20 - 21	34,63	33,70	31,74	262,75	340,37
	24 - 25	117,93	74,88	84,50	571,43	-
E1/4	9 - 10	8,46	31,76	30,93	391,30	450,00
	17 - 18	17,96	118,42	81,08	-	750,00
	20 - 21	428,57	209,30	100,00	-	-
	24 - 25	125,00	133,93	112,15	428,57	157,89
E1/5	9 - 10	2,05	31,17	40,54	500,00	230,77
	13 - 14	1,90	7,59	17,14	750,00	428,57
	17 - 18	69,77	60,40	66,67	-	750,00
	20 - 21	-	7500,00	5250,00	-	-
	24 - 25	750,00	50,85	48,39	-	230,77
E1/7	18 - 19	7500,00	5000,00	4714,29	-	12000,00
	23 - 24	600,00	1122,45	1312,50	-	1500,00
T26	13 - 14	-	-	-	-	-
	29 - 30	-	-	-	-	-
	39 - 40	-	-	-	-	-
E2/8	9 - 10	85,71	1000,00	337,35	2400,00	1142,86
	13 - 14	1,60	13,19	24,15	-	2000,00
	17 - 18	14,39	29,05	33,82	-	3200,00
	20 - 21	695,65	3692,31	1096,24	-	-
	24 - 25	261,12	223,07	295,34	-	-
E2/9	9 - 10	12,59	23,52	29,41	300,00	157,89
	13 - 14	6,42	7,04	22,02	1500,00	428,57
	17 - 18	-	1666,67	692,31	-	-
	20 - 21	-	4200,00	4500,00	-	-
	24 - 25	600,00	81,08	81,08	-	157,89
E2/10	9 - 10	4,52	20,55	21,13	-	300,00
	13 - 14	2,68	5,04	8,39	600,00	272,73
	17 - 18	4,44	6,14	7,59	750,00	250,00
	20 - 21	1000,00	187,50	90,91	-	300,00
	24 - 25	333,33	44,12	25,21	-	157,89
E2/11	9 - 10	5,91	22,56	25,42	1000,00	250,00
	13 - 14	2,75	6,12	7,18	-	375,00
	17 - 18	750,00	428,57	125,00	250,00	-
	20 - 21	333,33	96,77	55,56	-	375,00
	24 - 25	428,57	11,52	126,76	1000,00	214,29
E2/12	9 - 10	428,57	63,83	43,48	-	600,00
	13 - 14	111,11	58,82	34,09	-	500,00
	17 - 18	272,73	272,73	142,86	-	750,00
	20 - 21	1000,00	81,08	43,48	-	157,89
	24 - 25	-	2250,00	1153,85	-	1125,00
E3/13	9 - 10	-	363,64	166,67	-	-
	13 - 14	-	800,00	268,58	-	-
	17 - 18	800,00	400,00	444,44	-	-
	20 - 21	-	-	666,67	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe m u. GOK	Anthracen	Fluoranthen	Pyren	Benzo(a)- anthracen	Chrysen
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E3/14	9 - 10	-	300,00	176,47	-	-
	13 - 14	10,49	3,05	9,97	1000,00	428,57
	17 - 18	-	300,00	166,67	-	750,00
	20 - 21	-	250,00	93,75	600,00	375,00
	24 - 25	-	125,00	53,57	-	375,00
E3/15	9 - 10	77,67	160,00	125,00	800,00	500,00
	13 - 14	3,55	1,42	4,05	-	1000,00
	17 - 18	571,43	33,00	39,16	-	800,00
	20 - 21	-	-	1000,00	-	-
	24 - 25	-	500,00	666,67	-	-
E3/16	9 - 10	13,70	88,24	66,67	-	428,57
	13 - 14	3,17	3,09	7,67	-	375,00
	17 - 18	750,00	142,86	65,22	-	500,00
	20 - 21	-	600,00	333,33	-	-
	24 - 25	-	375,00	272,73	-	1000,00
E3/17	9 - 10	101,40	23,06	66,66	-	-
	13 - 14	1000,00	70,18	110,31	-	-
	17 - 18	800,00	285,71	130,83	-	-
	20 - 21	-	-	250,00	-	-
	24 - 25	-	160,00	83,33	-	500,00
E4/18	9 - 10	800,00	173,91	117,65	-	750,00
	13 - 14	715,89	394,77	250,00	-	-
	17 - 18	-	287,67	266,67	-	-
	20 - 21	-	400,00	160,00	-	-
	24 - 25	-	166,67	70,80	-	1000,00
E4/19	9 - 10	37,34	210,53	400,00	-	-
	13 - 14	3,60	3,23	8,23	-	666,67
	17 - 18	235,29	48,38	24,85	-	-
	20 - 21	800,00	266,67	88,89	-	-
	24 - 25	-	500,00	266,67	-	1000,00
E4/20	9 - 10	-	363,64	266,67	-	-
	13 - 14	64,52	190,48	200,00	-	750,00
	17 - 18	-	222,22	142,86	-	800,00
	20 - 21	-	307,69	137,93	-	1000,00
	24 - 25	666,67	125,00	95,24	-	1000,00
E5/21	9 - 10	-	307,69	160,00	363,64	666,67
	13 - 14	48,78	17,09	30,53	1000,00	571,43
	17 - 18	80,00	22,17	25,41	1000,00	800,00
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	500,00	266,67	166,67	-	666,67

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe m u. GOK	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(a)pyren	Indeno- (1,2,3,cd)	Dibenzo(a,h)- anthracen	Benzo(g,h,i)- perylene
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E1/3	9 - 10	1200,00	2700,00	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	1600,00	-	-	-	-
E1/4	9 - 10	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E1/5	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E1/7	18 - 19	-	-	-	-	-
	23 - 24	-	-	-	-	-
T26	13 - 14	-	-	-	-	-
	29 - 30	-	-	-	-	-
	39 - 40	-	-	-	-	-
E2/8	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E2/9	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E2/10	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E2/11	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E2/12	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E3/13	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Aus den Messwerten ermittelte K_D -Werte

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe m u. GOK	Benzo(b,k)- fluoranthen	Benzo(a)pyren	Indeno- (1,2,3,cd)	Dibenzo(a,h)- anthracen	Benzo(g,h,i)- perylene
		$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$	$K_D=c_s/c_w$
E3/14	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E3/15	9 - 10	666,67	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E3/16	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E3/17	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E4/18	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E4/19	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E4/20	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-
E5/21	9 - 10	-	-	-	-	-
	13 - 14	-	-	-	-	-
	17 - 18	-	-	-	-	-
	20 - 21	-	-	-	-	-
	24 - 25	-	-	-	-	-

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]
T23	5,8 - 7,0	1,10	0	0,30	0,25
	7,0 - 7,5	2038,00	476,50	37,95	363,50
	7,8 - 9,0	100,90	30,00	2,70	25,80
	11,0 - 12,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	12,0 - 13,0	130,50	28,10	7,58	25,35
	14,0 - 15,0	15,07	5,44	1,77	6,13
	16,0 - 17,0	1,15	0,65	0,20	0,65
	18,0 - 19,0	3,78	1,07	0,30	1,07
	21,0 - 22,0	0,49	0,17	0,05	0,20
	24,0 - 25,0	0,77	0,35	0,10	0,43
	29,0 - 30,0	0,20	0,06	0,01	0,06
	34,0 - 35,0	0,10	0,04	0	0,05
39,0 - 40,0	0,90	0,14	0,03	0,12	
T24	5,0 - 6,0	6,47	0,01	0,75	0,05
	6,4 - 7,0	5270,00	798,00	88,90	763,50
	7,0 - 8,0	1230,00	227,00	13,50	185,00
	12,0 - 13,0	157,50	29,05	10,87	32,10
	14,0 - 15,0	272,00	62,00	102,50	139,50
	15,0 - 16,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	17,0 - 18,0	46,50	16,75	13,45	24,75
	18,0 - 19,0	0,55	2,75	9,70	5,80
	19,0 - 20,0	6,26	0,92	1,20	1,66
	24,0 - 25,0	0,97	0,30	0,25	0,44
	29,0 - 30,0	0,12	0,06	0,03	0,05
	34,0 - 35,0	0,04	0,03	0	0,01
39,0 - 40,0	0	0,02	0	0	
T25	9,0 - 10,0	4,85	0,04	0,09	0,51
	13,0 - 14,0	0,16	0,04	0,05	0,18
	15,0 - 16,0	0,05	0,05	0,07	0,13
	16,0 - 17,0	0,03	0,04	0,01	0,03
	17,0 - 18,0	0,23	0,17	0,18	0,32
	18,0 - 19,0	0,02	0,02	0,03	0,10
	19,0 - 20,0	0	0,01	0,01	0,04
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0,03
	34,0 - 35,0	0,03	0,01	0,01	0,04
	39,0 - 40,0	0	0	0	0

0= Wert unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Phenanthren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthren [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
T23	5,8 - 7,0	3,45	1,00	5,30	4,20
	7,0 - 7,5	1087,00	400,00	656,50	432,50
	7,8 - 9,0	56,90	23,45	37,60	24,70
	11,0 - 12,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	12,0 - 13,0	83,25	19,80	44,45	29,40
	14,0 - 15,0	17,35	5,01	11,35	7,61
	16,0 - 17,0	2,15	0,80	1,95	1,45
	18,0 - 19,0	3,27	0,89	1,95	1,29
	21,0 - 22,0	0,60	0,16	0,39	0,26
	24,0 - 25,0	1,40	0,41	1,02	0,68
	29,0 - 30,0	0,21	0,06	0,15	0,10
	34,0 - 35,0	0,18	0,05	0,13	0,09
	39,0 - 40,0	0,25	0,05	0,09	0,06
T24	5,0 - 6,0	0,55	0,95	0,81	0,64
	6,4 - 7,0	2070,00	631,50	1165,00	760,00
	7,0 - 8,0	508,50	159,00	283,00	186,00
	12,0 - 13,0	88,55	26,00	49,50	32,80
	14,0 - 15,0	405,00	158,00	230,50	150,50
	15,0 - 16,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	17,0 - 18,0	70,55	22,45	41,15	26,85
	18,0 - 19,0	17,45	9,15	15,30	9,95
	19,0 - 20,0	4,51	1,73	2,31	1,55
	24,0 - 25,0	1,31	0,48	0,75	0,49
	29,0 - 30,0	0,18	0,06	0,11	0,07
	34,0 - 35,0	0,06	0,02	0,04	0,03
	39,0 - 40,0	0,05	0	0,03	0
T25	9,0 - 10,0	0,34	0,09	0,15	0,09
	13,0 - 14,0	0,32	0,16	0,22	0,15
	15,0 - 16,0	0,37	0,16	0,24	0,16
	16,0 - 17,0	0,17	0,13	0,23	0,17
	17,0 - 18,0	1,26	0,42	0,78	0,41
	18,0 - 19,0	0,04	0,08	0,06	0,02
	19,0 - 20,0	0,13	0,07	0,11	0,07
	24,0 - 25,0	0,06	0,02	0,05	0,02
	29,0 - 30,0	0,10	0,04	0,07	0,05
	34,0 - 35,0	0,17	0,07	0,12	0,09
	39,0 - 40,0	0,03	0	0,03	0

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Benzo(a)-anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)-fluoranthren [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]
T23	5,8 - 7,0	2,35	2,60	3,55	2,00
	7,0 - 7,5	217,65	260,25	303,10	173,90
	7,8 - 9,0	14,40	14,40	16,20	9,85
	11,0 - 12,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	12,0 - 13,0	19,35	19,80	23,05	13,85
	14,0 - 15,0	4,16	4,14	5,61	3,21
	16,0 - 17,0	0,70	0,65	0,85	0,55
	18,0 - 19,0	0,77	0,74	1,02	0,62
	21,0 - 22,0	0,15	0,13	0,20	0,12
	24,0 - 25,0	0,41	0,38	0,51	0,29
	29,0 - 30,0	0,06	0,06	0,08	0,05
	34,0 - 35,0	0,05	0,05	0,06	0,04
	39,0 - 40,0	0,03	0,03	0,02	0,01
T24	5,0 - 6,0	0,27	0,32	0,39	0,20
	6,4 - 7,0	425,50	402,00	476,00	275,50
	7,0 - 8,0	107,00	109,50	122,00	67,40
	12,0 - 13,0	19,85	20,55	23,35	13,20
	14,0 - 15,0	89,10	88,95	104,10	61,10
	15,0 - 16,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	17,0 - 18,0	16,39	17,09	20,01	11,37
	18,0 - 19,0	6,00	5,75	6,85	4,40
	19,0 - 20,0	0,82	0,91	0,89	0,49
	24,0 - 25,0	0,30	0,33	0,34	0,20
	29,0 - 30,0	0,05	0,06	0,06	0,03
	34,0 - 35,0	0,01	0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0	0	0
T25	9,0 - 10,0	0,05	0,05	0,06	0,04
	13,0 - 14,0	0,09	0,08	0,10	0,06
	15,0 - 16,0	0,09	0,08	0,12	0,07
	16,0 - 17,0	0,09	0,12	0,13	0,08
	17,0 - 18,0	0,25	0,23	0,30	0,18
	18,0 - 19,0	0,02	0,02	0,03	0,01
	19,0 - 20,0	0,04	0,04	0,05	0,03
	24,0 - 25,0	0,01	0,01	0,02	0
	29,0 - 30,0	0,03	0,03	0,04	0,02
	34,0 - 35,0	0,05	0,05	0,06	0,03
	39,0 - 40,0	0	0	0	0

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Indeno(1,2,3,c d) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylene [mg/kg]	Summe PAK o. Naphtalin [mg/kg]
T23	5,8 - 7,0	1,35	0	1,30	27,65
	7,0 - 7,5	84,95	23,15	77,10	4594,05
	7,8 - 9,0	5,60	0,80	4,35	266,75
	11,0 - 12,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	12,0 - 13,0	6,91	1,94	5,64	328,46
	14,0 - 15,0	1,58	0,36	1,39	75,09
	16,0 - 17,0	0,30	0	0,25	11,15
	18,0 - 19,0	0,34	0,07	0,14	13,52
	21,0 - 22,0	0,06	0,01	0,05	2,52
	24,0 - 25,0	0,15	0,03	0,12	6,25
	29,0 - 30,0	0,02	0	0,02	0,90
	34,0 - 35,0	0,02	0	0	0,72
	39,0 - 40,0	0	0	0	0,80
T24	5,0 - 6,0	0,12	0	0,10	10,00
	6,4 - 7,0	121,00	40,10	92,85	8109,85
	7,0 - 8,0	31,25	7,12	23,75	2030,02
	12,0 - 13,0	5,63	1,79	4,43	357,67
	14,0 - 15,0	28,25	9,39	21,90	1650,79
	15,0 - 16,0	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
	17,0 - 18,0	5,03	1,62	4,05	291,51
	18,0 - 19,0	2,65	0	1,95	92,85
	19,0 - 20,0	0,20	0,08	0,16	17,39
	24,0 - 25,0	0,09	0,02	0,07	5,35
	29,0 - 30,0	0	0	0	0,73
	34,0 - 35,0	0	0	0	0,19
	39,0 - 40,0	0	0	0	0,09
T25	9,0 - 10,0	0,01	0	0	1,49
	13,0 - 14,0	0,03	0	0,03	1,48
	15,0 - 16,0	0,04	0	0,03	1,56
	16,0 - 17,0	0,05	0	0,04	1,28
	17,0 - 18,0	0,09	0,03	0,07	4,66
	18,0 - 19,0	0	0	0	0,40
	19,0 - 20,0	0	0	0	0,59
	24,0 - 25,0	0	0	0	0,18
	29,0 - 30,0	0	0	0	0,41
	34,0 - 35,0	0,01	0	0,01	0,70
	39,0 - 40,0	0	0	0	0,06

0= Wert unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe [m u. GOK]	Naphthalin [mg/kg]	Acenaphthylen [mg/kg]	Acenaphthen [mg/kg]	Fluoren [mg/kg]
T26	8,0 - 9,0	0,63	0	0,11	0,04
	9,0 - 10,0	2,05	0,22	0,51	0,56
	11,0 - 12,0	0,50	0	0,05	0,09
	12,0 - 13,0	0,36	0,01	0,04	0,07
	13,0 - 14,0	0,82	0,18	0,31	0,51
	14,0 - 15,0	0,14	0	0,02	0,06
	15,0 - 16,0	0,07	0,03	0,05	0,10
	17,0 - 18,0	0	0	0	0
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
39,0 - 40,0	0	0	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Phenanthren [mg/kg]	Anthracen [mg/kg]	Fluoranthen [mg/kg]	Pyren [mg/kg]
T26	8,0 - 9,0	0,13	0,03	0,05	0,04
	9,0 - 10,0	1,52	0,56	0,93	0,61
	11,0 - 12,0	0,15	0,05	0,09	0,06
	12,0 - 13,0	0,11	0,04	0,06	0,04
	13,0 - 14,0	1,29	0,49	0,79	0,52
	14,0 - 15,0	0,09	0,06	0,06	0,05
	15,0 - 16,0	0,22	0,11	0,13	0,09
	17,0 - 18,0	0,02	0	0,03	0,02
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0,05	0,01	0,05	0,04
	29,0 - 30,0	0	0	0,02	0
	34,0 - 35,0	0,02	0	0,02	0
	39,0 - 40,0	0,04	0,01	0,03	0,02

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe [m u. GOK]	Benzo(a)- anthracen [mg/kg]	Chrysen [mg/kg]	Benzo(b,k)- fluoranthen [mg/kg]	Benzo(a)pyren [mg/kg]
T26	8,0 - 9,0	0,01	0,01	0	0
	9,0 - 10,0	0,35	0,34	0,42	0,25
	11,0 - 12,0	0,03	0,03	0,05	0,03
	12,0 - 13,0	0,01	0,02	0	0
	13,0 - 14,0	0,29	0,25	0,34	0,20
	14,0 - 15,0	0,02	0,03	0,04	0
	15,0 - 16,0	0,05	0,04	0,06	0,03
	17,0 - 18,0	0	0,01	0	0
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0,01	0,01	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
39,0 - 40,0	0	0,01	0	0	

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Indeno(1,2,3,c d) [mg/kg]	Dibenzo(a,h)- anthracen [mg/kg]	Benzo(g,h,i)- perylene [mg/kg]	Summe PAK o. Naphtalin [mg/kg]
T26	8,0 - 9,0	0	0	0	0,41
	9,0 - 10,0	0,13	0,04	0,10	6,52
	11,0 - 12,0	0	0	0	0,59
	12,0 - 13,0	0	0	0	0,39
	13,0 - 14,0	0,10	0,03	0,08	5,35
	14,0 - 15,0	0	0	0	0,43
	15,0 - 16,0	0,01	0	0	0,89
	17,0 - 18,0	0	0	0	0,07
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0,16
	29,0 - 30,0	0	0	0	0,02
	34,0 - 35,0	0	0	0	0,04
	39,0 - 40,0	0	0	0	0,11

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahme- stelle	Entnahme- tiefe [m u. GOK]	Benzol [mq/kg]	Toluol [mq/kg]	Ethylbenzol [mq/kg]	m+p-Xylol [mq/kg]
T23	7,0 - 7,5	135	89,6	18,9	70,9
	7,8 - 9,0	73,3	32,3	4,8	16
	14,0 - 15,0	0,2	0,4	0,2	0,9
	21,0 - 22,0	0,1	0,1	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0	0	0
T24	6,4 - 7,0	323	151	24,2	76,3
	7,0 - 8,0	128	68,6	7,1	41,3
	12,0 - 13,0	3,6	4,6	4,4	6,7
	14,0 - 15,0	3,2	1,8	1	2
	17,0 - 18,0	0,2	0,3	0,3	0,8
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0	0	0
T25	9,0 - 10,0	0	0	0	0
	13,0 - 14,0	0	0	0	0
	15,0 - 16,0	0	0	0	0
	17,0 - 18,0	0	0	0	0
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
39,0 - 40,0	0	0	0	0	
T26	8,0 - 9,0	0,3	0	0	0
	9,0 - 10,0	0,5	0	0	0
	11,0 - 12,0	0,3	0	0	0
	13,0 - 14,0	0,2	0	0	0
	15,0 - 16,0	0,2	0	0	0
	17,0 - 18,0	0	0	0	0
	19,0 - 20,0	0	0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0	0	0

Projekt: BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube
Messergebnisse - Bodenproben T23 - T26

Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	o-Xylol [mg/kg]	Summe BTEX [mg/kg]
T23	7,0 - 7,5	19,2	333,6
	7,8 - 9,0	4,6	131
	14,0 - 15,0	0,3	2
	21,0 - 22,0	0	0,2
	24,0 - 25,0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0
T24	6,4 - 7,0	41,9	616,4
	7,0 - 8,0	17,7	262,7
	12,0 - 13,0	3,5	22,8
	14,0 - 15,0	0,7	8,7
	17,0 - 18,0	0,2	1,8
	19,0 - 20,0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0
T25	9,0 - 10,0	0	0
	13,0 - 14,0	0	0
	15,0 - 16,0	0	0
	17,0 - 18,0	0	0
	19,0 - 20,0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0
T26	8,0 - 9,0	0	0,3
	9,0 - 10,0	0	0,5
	11,0 - 12,0	0	0,3
	13,0 - 14,0	0	0,2
	15,0 - 16,0	0	0,2
	17,0 - 18,0	0	0
	19,0 - 20,0	0	0
	24,0 - 25,0	0	0
	29,0 - 30,0	0	0
	34,0 - 35,0	0	0
	39,0 - 40,0	0	0

0= Wert unterhalb der Nachweisgrenze
(< 0,02 mg/kg)

G.M.F. mbH
Gesellschaft für Meß-
und Filtertechnik

Projekt : BMBF-Vorhaben Stürmlinger Sandgrube Emissionsermittlung

Emissionsermittlung

Im Bereich der Ablagerung wurde der Teerölphasenkörper etwa knapp oberhalb der Grundwasseroberfläche bis in eine Tiefe von ca. 15 m (zwischen 14 m u. 17 m) u. GOK angetroffen. Vereinzelt Teeröltröpfchen bzw. -schlieren reichten bis in 25 m Tiefe. Die Grundwasseroberfläche liegt jahreszeitlich schwankend zwischen 7,5 und 8 m u. GOK. Es herrschen freie Grundwasserverhältnisse. Unter der Deponiesohle (ca. 7 bis 8 m u. GOK) stehen zunächst Wechsellagen von sandigem Kies und kiesigem Sand, dann sandiger Kies an (Oberes Kieslager). Die in ca. 23 bis 25 m Tiefe erwarteten Zwischenschichten des Oberen Zwischenhorizontes wurden beim Niederbringen der Tiefbohrungen T23 bis T26 nicht angetroffen. Der Grundwasserleiter reicht bis in ca. 40 m Tiefe. Aufgrund der hohen Volumenströme im Oberen Kieslager ist die Mächtigkeit der Imprägnationszone (h_{KGW}) bzw. die Ausdehnung der Kontaktgrundwasserzone (A_{KGW}) von großer Bedeutung für die direkte Emissionsermittlung (E(SH)).

Das in die Berechnung von E(SH) eingehende c_{SH}/c_{KGW} als Schadstoffkonzentration im Kontaktgrundwasser aus dem Schadensherd kann im vorliegenden Fall nicht direkt über Grundwasserproben aus dem Schadensherd bestimmt werden. Messstellen, die in den Phasenkörper hinein niedergebracht wurden, liefern keine repräsentativen Werte, da zum einen die Filter mit Teeröl in Phase verkleben und zum anderen sich Schlieren und schwebende Partikel in diesen Entnahmestellen anreichern. Die Messstellen wurden deshalb mit Ausnahme der im Rahmen des F + E-Vorhabens zuerst gebohrten Messstelle Z6 im Phasenkörperbereich nicht verfiltert, so dass keine Messwerte des Kontaktgrundwassers aus dem Phasenkörper zur Verfügung stehen. Ersatzweise wurden als c_{SH}/c_{KGW} daher Werte aus dem unmittelbaren Rand des Phasenkörpers genommen (Messstellen E1/3, E1/4 und E1/7 im oberflächennahen Bereich des Grundwasserleiters (Tiefenstufe a und b) sowie je nach Szenario Z2 und Z6 direkt unter dem Phasenkörper (Tiefenstufe c bis e)). Die Szenarien unterscheiden sich im durchströmten Schadensbereich außerhalb des Phasenkörpers. Daher wurden für c_A je nach Szenario Werte aus den Messstellen der Ebene 2 (E2/8 bis E2/12) sowie T25 und T26 herangezogen. Welche Werte für welches Szenario ausgewählt wurden, ist dem Beiblatt "verwendete Eingangsdaten und Konzentrationen" im Anschluss an die folgende Berechnungstabelle zu entnehmen.

Die ursprüngliche, im Jahre 1997 zugrundegelegte Abstrombreite B_A von 40 m wurde aufgrund neuer Erkenntnisse deutlich erweitert. Inzwischen muss angenommen werden, dass Teeröl in Phase auch seitlich in den Böschungsfuß der früheren Sandgrube eingedrungen ist und dass auch der Bereich innerhalb der 100 mg/kg-Linie nicht unerheblich zur Grundwasserfahne beiträgt. Es wurde daher mit einer Abstrombreite von 80 m gerechnet.

Die Grundwassermächtigkeit h_{GW} musste aufgrund der durch die Grundwassertiefenmessstellen neu gewonnenen geologischen Erkenntnisse (es ist keine trennenden Zwischenschichten

vorhanden, s. oben) nunmehr auf 32 m erhöht werden. Weiterhin musste die Kontaktgrundwassermächtigkeit $h_{K_{GW}}$ auf 11 m erhöht werden.

verwendete Eingangsdaten und Konzentrationen:

- c_Z : tiefengemittelte Konzentration in E0/1 (Tiefenstufe a bis e, Mittelwerte aus Winter-, Sommer- und Herbstbeprobung 2001)
Verwendet für min, mittel und max
- c_{SH} : min: tiefengemittelte Konzentration in E1/3 und E1/4 (Tiefenstufe a und b), E1/7 (Tiefenstufe a) sowie Z2 und Z6 (Tiefenstufe c bis e)
(jeweils Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001)
mittel: tiefengemittelte Konzentration in E1/3 und E1/4 (Tiefenstufe a und b) sowie E1/7 (Tiefenstufe a)
(jeweils Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001)
max: tiefengemittelte Konzentration in E1/3 und E1/4 (Tiefenstufe a und b)
(jeweils Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001)
- c_A : min: tiefengemittelte Konzentration in E2/8, E2/9, E2/10, E2/11 und E2/12
(Tiefenstufe a bis e, Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001) sowie T25 und T26 (Tiefenstufe f bis h, Werte aus der Erstbeprobung Juli 2002)
mittel: tiefengemittelte Konzentration in E2/8, E2/9, E2/10, E2/11 und E2/12
(Tiefenstufe a bis e, Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001)
max: tiefengemittelte Konzentration in E2/8, E2/9, E2/10, und E2/11
(Tiefenstufe a bis e, Mittelwerte aus Winter-, Sommer-, Herbstbeprobung 2001)

Entnahmetiefen (Filterstrecken in m u. GOK):

- Tiefenstufe a: 9,00 - 10,00
Tiefenstufe b: 12,75 - 13,75
Tiefenstufe c: 16,50 - 17,50
Tiefenstufe d: 20,25 - 21,25
Tiefenstufe e: 24,00 - 24,75
Tiefenstufe f: 29,00 - 30,00
Tiefenstufe g: 34,00 - 35,00
Tiefenstufe h: 39,00 - 40,00

Emissionsermittlung: Naphthalin

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,10	0,10	0,10
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		4393,17	8779,14	10973,84
c _A	[µg/l]		589,50	943,20	1178,96
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	549,66	1098,42	1373,01
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	208,81	334,10	417,62
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	4,50	4,50	4,50

Emissionsermittlung: Acenaphthylen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		24,23	46,63	58,10
c _A	[µg/l]		3,46	5,53	6,57
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	3,03	5,83	7,27
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	1,23	1,96	2,33
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Acenaphthen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,01	0,01	0,01
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		190,65	377,23	469,96
c _A	[µg/l]		64,54	103,25	127,80
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	23,85	47,20	58,80
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	22,86	36,57	45,27
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Fluoren

		Formel	min	mittel	max
A _{SIWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließbr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/s km ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,01	0,01	0,01
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		111,18	218,87	272,94
c _A	[µg/l]		17,29	27,65	34,22
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	13,91	27,38	34,15
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	6,12	9,79	12,12
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Phenanthren

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,03	0,03	0,03
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		48,12	94,89	118,52
c _A	[µg/l]		17,19	27,49	34,30
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	6,02	11,87	14,83
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	6,08	9,73	12,14
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Anthracen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		6,65	13,00	16,23
c _A	[µg/l]		0,99	1,58	1,97
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,83	1,63	2,03
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,35	0,56	0,70
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Fluoranthen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,03	0,03	0,03
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		4,58	8,57	10,65
c _A	[µg/l]		1,13	1,80	2,23
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,57	1,07	1,33
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,39	0,63	0,78
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Pyren

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,05	0,05	0,05
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		2,90	5,44	6,76
c _A	[µg/l]		0,49	0,78	0,93
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,36	0,68	0,85
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,16	0,26	0,32
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Benzo(a)anthracen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließbr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,72	1,39	1,73
c _A	[µg/l]		0,00	0,01	0,01
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,09	0,17	0,22
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Chrysen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließbr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,02	0,02	0,02
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,50	0,93	1,16
c _A	[µg/l]		0,02	0,03	0,03
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,06	0,12	0,15
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,01	0,01
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Benzo(b,k)fluoranthen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,55	1,03	1,28
c _A	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,07	0,13	0,16
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Benzo(a)pyren

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,26	0,49	0,62
c _A	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,03	0,06	0,08
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Indeno(1,2,3,c,d)

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,21	0,41	0,52
c _A	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,03	0,05	0,07
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Dibenzo(a,h)anthracen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,05	0,10	0,13
c _A	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,01	0,01	0,02
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Benzo(g,h,i)perylen

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		0,31	0,61	0,76
c _A	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	0,04	0,08	0,10
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	0,00	0,00	0,00
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Summe PAK ohne Naphthalin

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,16	0,16	0,16
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		390,89	769,59	959,33
c _A	[µg/l]		105,10	168,13	208,06
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	48,91	96,29	120,03
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	37,19	59,52	73,67
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	0,32	0,32	0,32

Emissionsermittlung: Benzol

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{GW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		8113,89	16147,58	20176,68
c _A	[µg/l]		1757,9	2812,78	3514,78
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	1015,18	2020,33	2524,44
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	622,77	996,42	1245,10
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	2,00	2,00	2,00

Emissionsermittlung: Toluol

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{GW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		1400,90	2801,20	3501,35
c _A	[µg/l]		216,60	346,56	433,16
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	175,28	350,48	438,08
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	76,73	122,77	153,45
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	20,00	20,00	20,00

Emissionsermittlung: Ethylbenzol

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{GW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		434,47	865,54	1081,58
c _A	[µg/l]		108,84	174,15	217,60
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	54,36	108,29	135,32
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	38,56	61,69	77,08
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	20,00	20,00	20,00

Emissionsermittlung: m+p+o-Xylol

		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{GW}	880	880	880
Fließr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		1352,65	2703,10	3378,00
c _A	[µg/l]		279,87	447,79	559,70
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	169,24	338,20	422,64
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	99,14	158,63	198,27
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	20,00	20,00	20,00

Emissionsermittlung: Summe BTEX

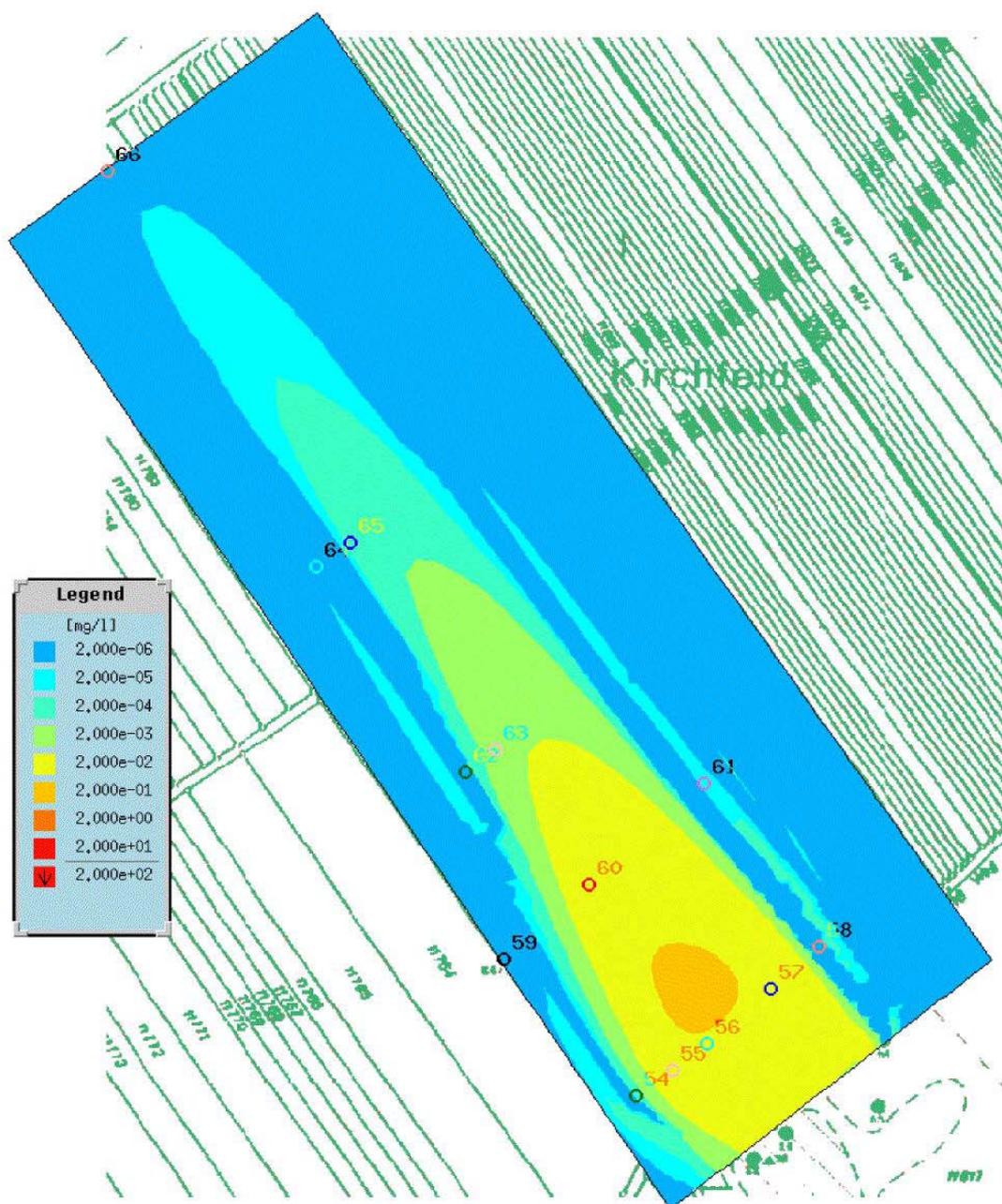
		Formel	min	mittel	max
A _{SiWA}	[m ²]		4300	4300	4300
B _A	[m]		80	80	80
h _{GW}	[m]		32	32	32
A _A	[m ²]	B _A * h _{GW}	2560	2560	2560
h _{KGW}	[m]		11	11	11
A _{KGW}	[m ²]	B _A * h _{KGW}	880	880	880
Fließbr.			NW	NW	NW
T	[m ² /s]	h _{GW} * k _f	4,58e-02	4,58e-02	4,58e-02
k _f	[m/s]		1,43e-03	1,43e-03	1,43e-03
I	[-]		1,12e-03	1,12e-03	1,12e-03
n _f	[-]		0,20	0,20	0,20
GWN	[l/skm ²]		9	9	9
Q _A	[m ³ /d]	k _f *A _A *I*86400	354,25	354,25	354,25
Q _{SiWa}	[m ³ /d]	A _{SiWa} *GWN*8,64*10 ⁻⁵	3,34	3,34	3,34
Q _{KGW}	[m ³ /d]	k _f *A _{KGW} *I*86400	121,77	121,77	121,77
Q _{SH}	[m ³ /d]	Q _{SiWa} + Q _{KGW}	125,12	125,12	125,12
Q _{ZT}	[m ³ /d]	Q _A - Q _{SH}	229,13	229,13	229,13
c _Z	[µg/l]		0,00	0,00	0,00
c _{SH} = c _{KGW}	[µg/l]		11301,90	22517,40	28137,58
c _A	[µg/l]		2363,30	3781,28	4725,23
E(SH)	[g/d]	Q _{SH} *c _{SH} *10 ⁻³	1414,05	2817,30	3520,48
E(A)	[g/d]	(Q _A *c _A - Q _{ZT} *c _Z)*10 ⁻³	837,20	1339,51	1673,90
E _{max}	[g/d]	E _{max} -W-Wert überschritten	20,00	20,00	20,00

Verwendete Abkürzungen

A_{SiWa} :	Grundfläche des Schadensherdes, die der Sickerwasservolumenstrom durchsickert [m ²]
B_A :	Breite der Grundwasserquerschnittsfläche A_A [m]
h_{GW} :	Grundwassermächtigkeit [m]
A_A :	Grundwasserquerschnittsfläche im unmittelbaren Abstrom des Schadensherdes $A_A = B_A * h_{GW}$ [m ²]
h_{KGW} :	Kontaktgrundwassermächtigkeit [m]
A_{KGW} :	Grundwasserquerschnittsfläche, die der Kontaktgrundwasservolumenstrom durchfließt [m ²]
Fließr.:	Fließrichtung
T:	Transmissivität [m ² /s],
k_f :	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s], bestimmt durch Tracerversuch von VEGAS
I:	Gefälle des Grundwasserspiegels, aus Stichtagsmessungen
n_f :	durchflußwirksamer Hohlraumanteil, Literaturangaben
Q_A :	Grundwasservolumenstrom über die Breite des Schadensherdes in dessen direktem Abstrom [m ³ /d]. Q_A enthält Q_{SH}
Q_{SiWa} :	Sickerwasservolumenstrom, der dem Grundwasser nach Durchsickerung von kontaminiertem Material des Schadstoffherdes zuströmt [m ³ /d]
Q_{KGW} :	Kontaktgrundwasservolumenstrom über die Breite des Schadensherdes in dessen direktem Abstrom [m ³ /d].
Q_{SH} :	Sickerwasservolumenstrom Q_{SiWa} + Kontaktgrundwasserstrom Q_{KGW} , der nach Durchsickerung von bzw. Kontakt mit kontaminiertem Material dem Grundwasser zufließt [m ³ /d]
Q_Z :	Grundwasservolumenstrom über die Breite des Gefahren- bzw. Schadensherdes in dessen Zustrom [m ³ /d].
Q_{ZT} :	Teilstrom von Q_Z , der nicht den Gefahren- bzw. Schadensherd durchströmt [m ³ /d].
GWN:	Grundwasserneubildung [l/s*km ²] entnommen aus hydrogeol. Kartierung Karlsruhe -Speyer
c_Z :	Schadstoffkonzentration im Grundwasserzustrom [µg/l]
c_{SH} :	Überbegriff für c_{SiWa} und c_{KGW} : Schadstoffkonzentration im Schadensherd
c_A :	Schadstoffkonzentration im Grundwasserabstrom des Schadensherdes [µg/l]
E(SH):	Emission von Schadstoffen aus dem Schadensherd in das Grundwasser berechnet aus der Schadensherderkundung [g/d] (direkte Emissionsermittlung)
E(A):	Emission von Schadstoffen aus dem Schadensherd in das Grundwasser berechnet aus der Grundwassererkundung [g/d] (indirekte Emissionsermittlung)

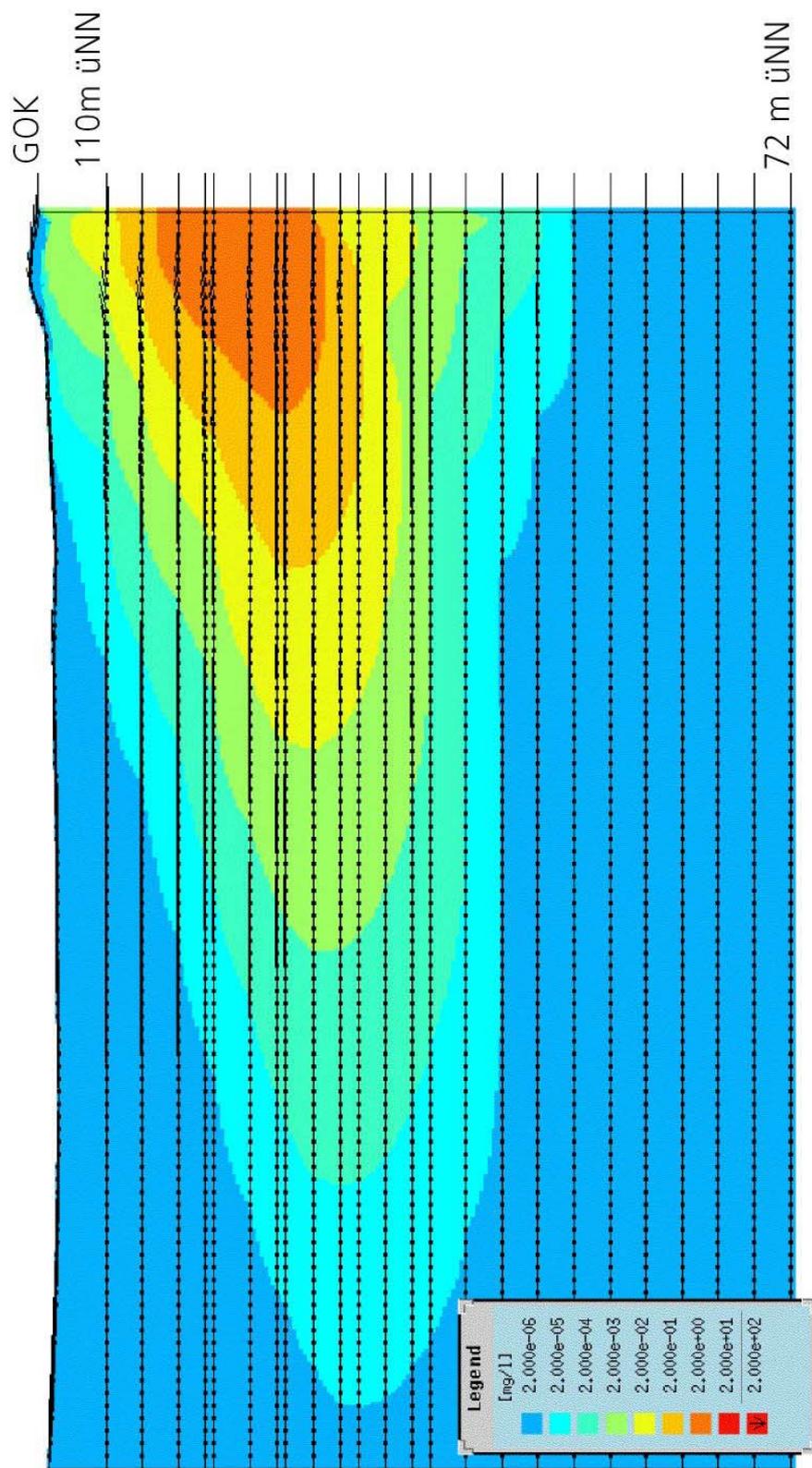
In den Tabellen werden gerundete Werte dargestellt. Zur Berechnung werden die nicht gerundeten Werte verwendet.

Schadstofffahne von Naphthalin im Horizont c (logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Naphthalin im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse Acenaphthylen

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0,57	2,06	0,88	0,01	0,02	0,69	8,94	2,17	8,19	1,22	5,32	17,78	18,21
b	0,03	0,21	0	1,70	0,07	0,02	8,21	0	0	37,20	49,28	5,86	0,21	0,14	28,28	71,07	4,37	80,05	1,64	46,61	82,29	118,02
c	0,29	0,46	0,01	1,82	0,12	0,01	5,59	0	0	9,18	7,53	3,30	0,21	0,09	12,77	14,03	4,28	11,60	1,88	15,25	12,87	8,69
d	0,21	0,23	0	0,51	0,05	0	0,83	0	0	0,81	1,06	0,60	0,02	0,02	1,28	1,44	0,76	1,31	0,15	1,12	0,86	1,03
e	0,13	0,12	0	0,24	0,03	0	0,39	0	0	0,30	1,00	0,50	0	0	0,15	0,60	0,54	1,37	0,14	0,18	0,49	1,84

Messergebnisse Acenaphthylen

(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0	0	0	0	1,13	0,41	0,83	0,40	1,07	0	0,01	0	4,72	78,80	1,49	0,61	0,74	0,98	5,01	2,08
b	0	0,09	0	1,20	0,60	0,17	0,96	1,04	0,42	2,92	3,59	1,32	0,81	5,16	21,30	2,58	6,70	7,99	0	38,70	76,70	149,00
c	0	0	0,27	0	0,59	0,02	1,64	0,16	0,11	0,27	1,21	0,11	0,30	1,77	0,17	4,15	0	2,53	1,23	2,68	17,20	2,57
d	0	0	0,10	0	0,09	0	0,37	0	0,02	0	0,27	0	0	0	0	0,01	0	0,29	0	0	0,02	1,03
e	0	0	0,03	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,33	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,11	0	0	0,27	2,20

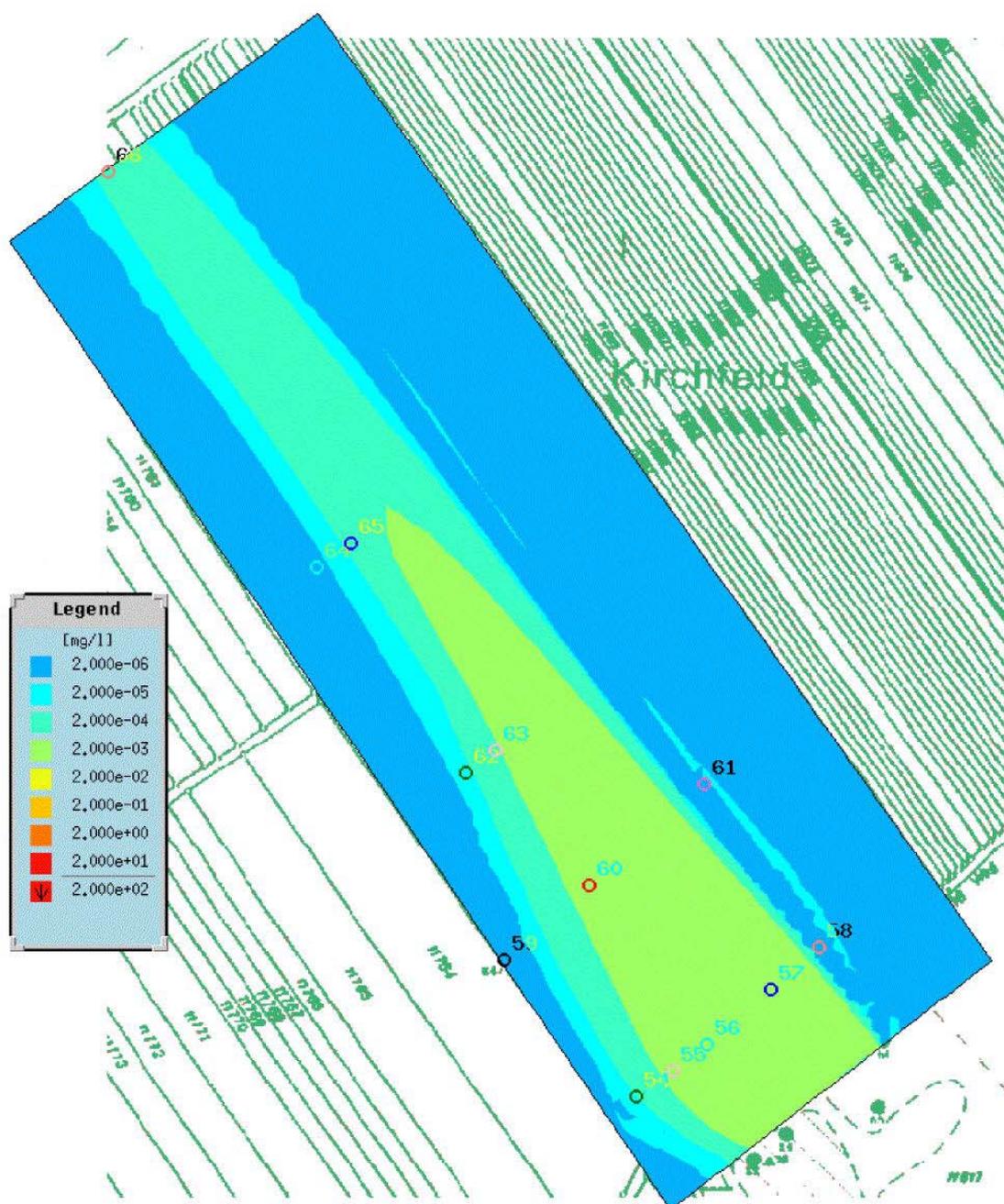
Alle Daten in µg/l

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

Schadstofffahne von Acenaphthylen im Horizont c

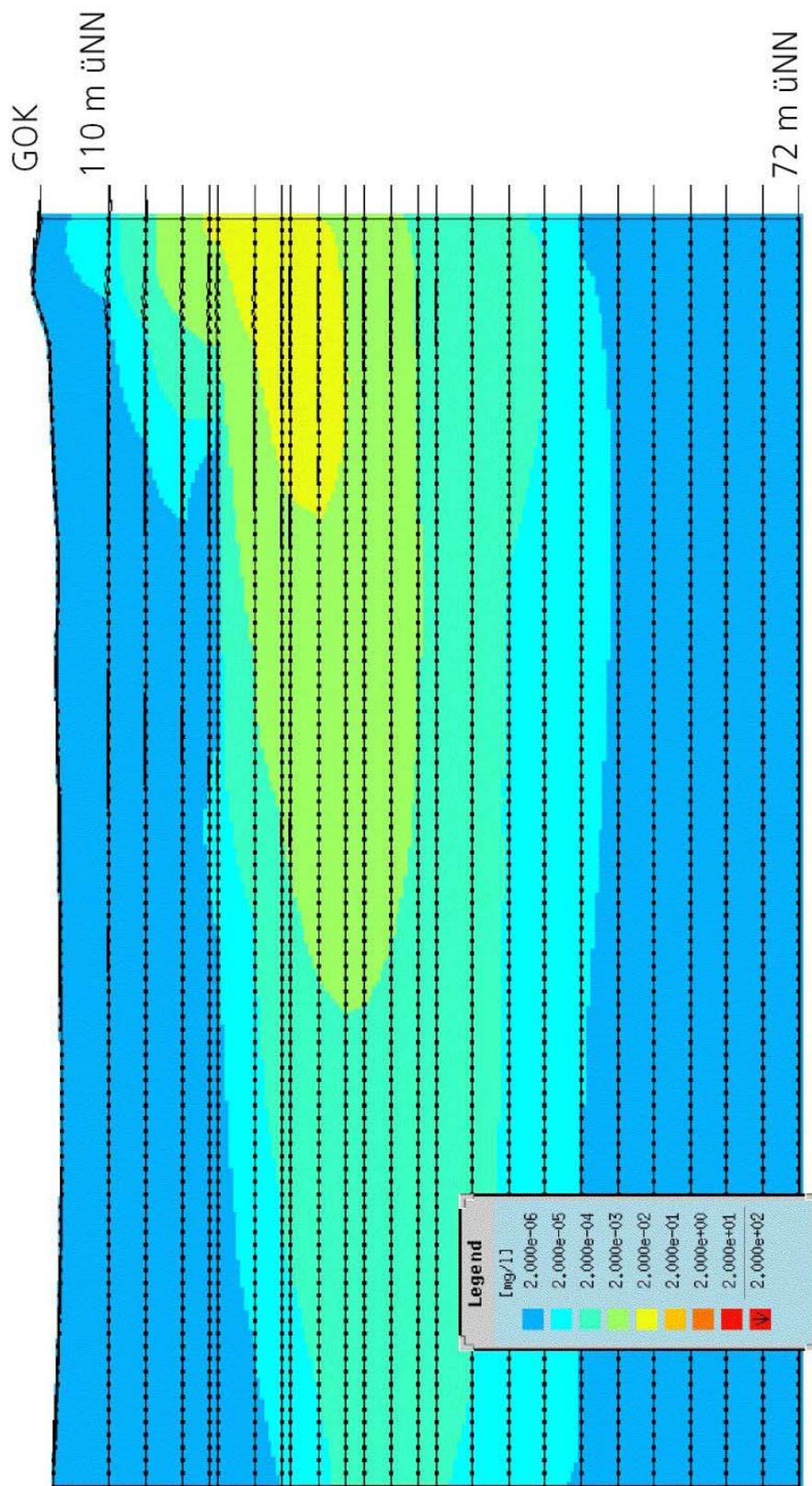
(logarithmische Darstellung)

geänderte Abbaufunktionen



Schadstofffahne von Acenaphthylen im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)
geänderte Abbaufunktionen



Simulationsergebnisse Acenaphthen

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0,15	0,65	0	4,02	0,35	0,05	15,15	0,02	0	101,94	75,53	22,78	1,49	0,71	84,87	145,29	15,14	89,46	7,68	168,02	204,19	109,66
b	0,26	1,57	0,01	11,64	1,01	0,13	57,09	0,06	0	282,00	350,93	183,11	11,97	10,73	231,51	536,35	239,81	549,06	142,61	374,18	684,05	856,33
c	0,25	1,32	0,01	7,17	0,86	0,05	22,83	0,03	0	36,60	34,40	24,25	4,79	5,18	54,53	79,58	42,16	64,90	25,43	66,45	72,42	61,25
d	0,12	0,40	0,01	1,03	0,21	0	1,45	0,01	0	1,21	1,58	1,17	0,32	0,53	1,40	3,33	2,63	3,51	0,99	1,36	2,05	3,09
e	0,06	0,15	0,01	0,25	0,06	0	0,26	0	0	0,44	0,35	0,12	0,02	0,02	0,27	0,73	0,06	0,51	0,02	0,47	1,45	0,84

Messergebnisse Acenaphthen

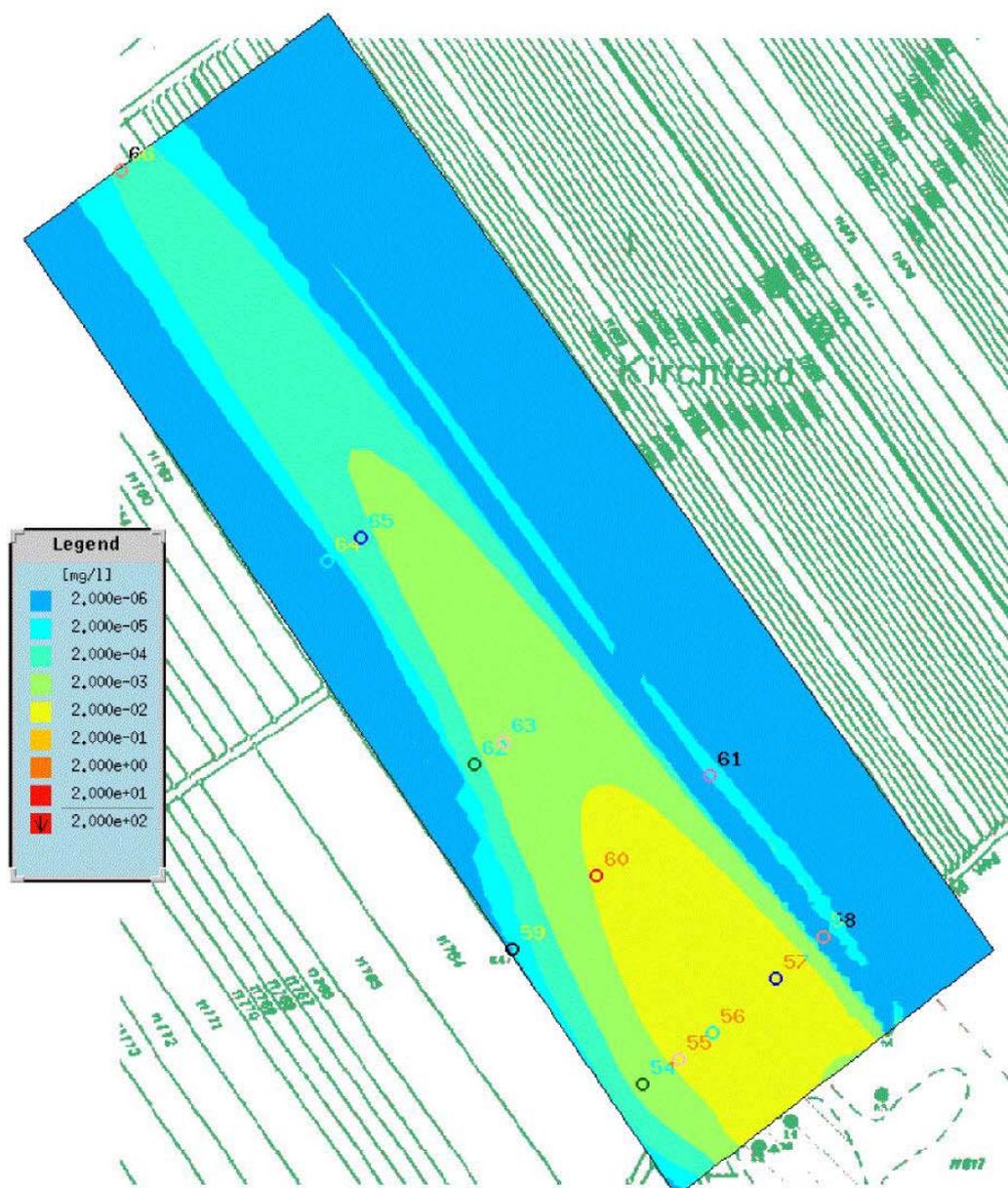
(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0,03	0	0,02	0,01	43,60	1,80	2,19	97,60	30,90	0,16	0,04	0,10	155,00	254,00	155,00	74,90	6,35	252,00	318,00	110,00
b	0	3,60	3,60	150,00	46,80	2,94	456,00	4,09	1,28	254,00	552,00	312,00	2,75	19,30	152,00	281,00	543,00	796,00	0	277,00	269,00	1182,00
c	0	0	6,12	0	32,70	0,44	21,50	0,38	0,51	1,33	4,57	1,16	1,29	5,67	1,26	70,40	0,07	72,80	13,40	20,70	2,72	0,89
d	0	0	4,48	0	0,15	0	5,28	0,01	0,18	0,05	0,40	0,01	0,01	0,05	0,04	0,07	0,05	0,41	0,06	0,05	0,05	3,14
e	0	0	1,44	0	0,08	0,04	1,14	0,01	0,10	0,03	0,16	0,03	0	0,06	0,11	0,06	0,03	0,39	0,07	0,07	2,35	0,70

Alle Daten in µg/l

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

Schadstofffahne von Acenaphthen im Horizont c (logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse Fluoren

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0,04	0,20	0	2,46	0	0,02	16,53	0	0	43,30	48,40	11,26	0,37	0,38	23,81	35,79	6,68	29,12	3,48	39,77	35,52	18,29
b	0,12	0,79	0	7,98	0	0,07	47,37	0	0	199,25	337,29	67,49	0,65	0,89	101,05	436,97	60,10	529,40	10,60	159,78	477,98	764,49
c	0,20	0,80	0	5,29	0	0,04	23,48	0	0	42,22	50,73	17,19	0,69	0,70	45,82	105,84	25,64	109,96	7,61	53,53	82,53	71,15
d	0,10	0,27	0	0,94	0,01	0	1,70	0	0	1,16	2,05	1,29	0,05	0,03	0,97	2,71	1,93	3,23	1,00	1,68	3,49	4,53
e	0,06	0,11	0	0,25	0,01	0	0,33	0	0	0,71	1,55	0,80	0,02	0	0,41	1,80	0,90	2,34	0,43	0,66	1,34	3,11

Messergebnisse Fluoren

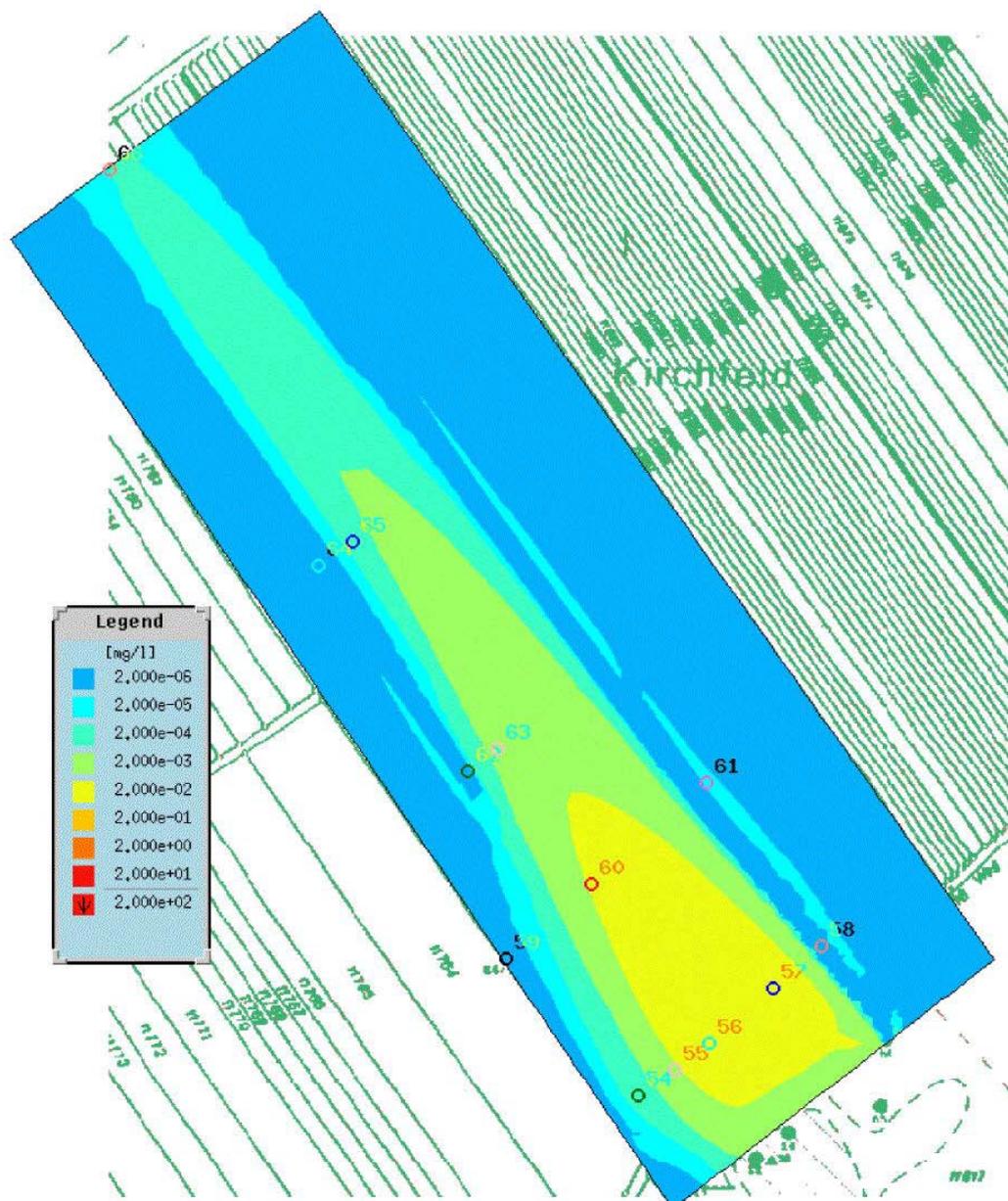
(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0,03	0	0,02	0,01	1,85	0,06	0,49	13,90	9,08	0,04	0,01	0,05	5,25	30,30	31,20	0,81	2,62	31,50	42,40	15,60
b	0	0,28	0,12	35,00	6,13	0	68,20	0,20	0,20	53,70	205,00	73,80	0,30	4,67	54,40	85,50	288,00	141,00	0	105,00	245,00	789,00
c	0	0	0,22	0	4,29	0	3,81	0,04	0,04	0,27	2,55	0,27	0,15	2,11	1,20	24,30	0,05	22,80	5,22	7,22	6,04	2,34
d	0	0	0,20	0	0	0	0,81	0	0	0,01	0,05	0	0	0,03	0,03	0,04	0,02	0,13	0,03	0,02	0,04	4,63
e	0	0	0,07	0	0,02	0,04	0,08	0	0	0,02	0,02	0,01	0	0,03	0,04	0,08	0,02	0,17	0,03	0,04	0,71	3,25

Alle Daten in µg/l

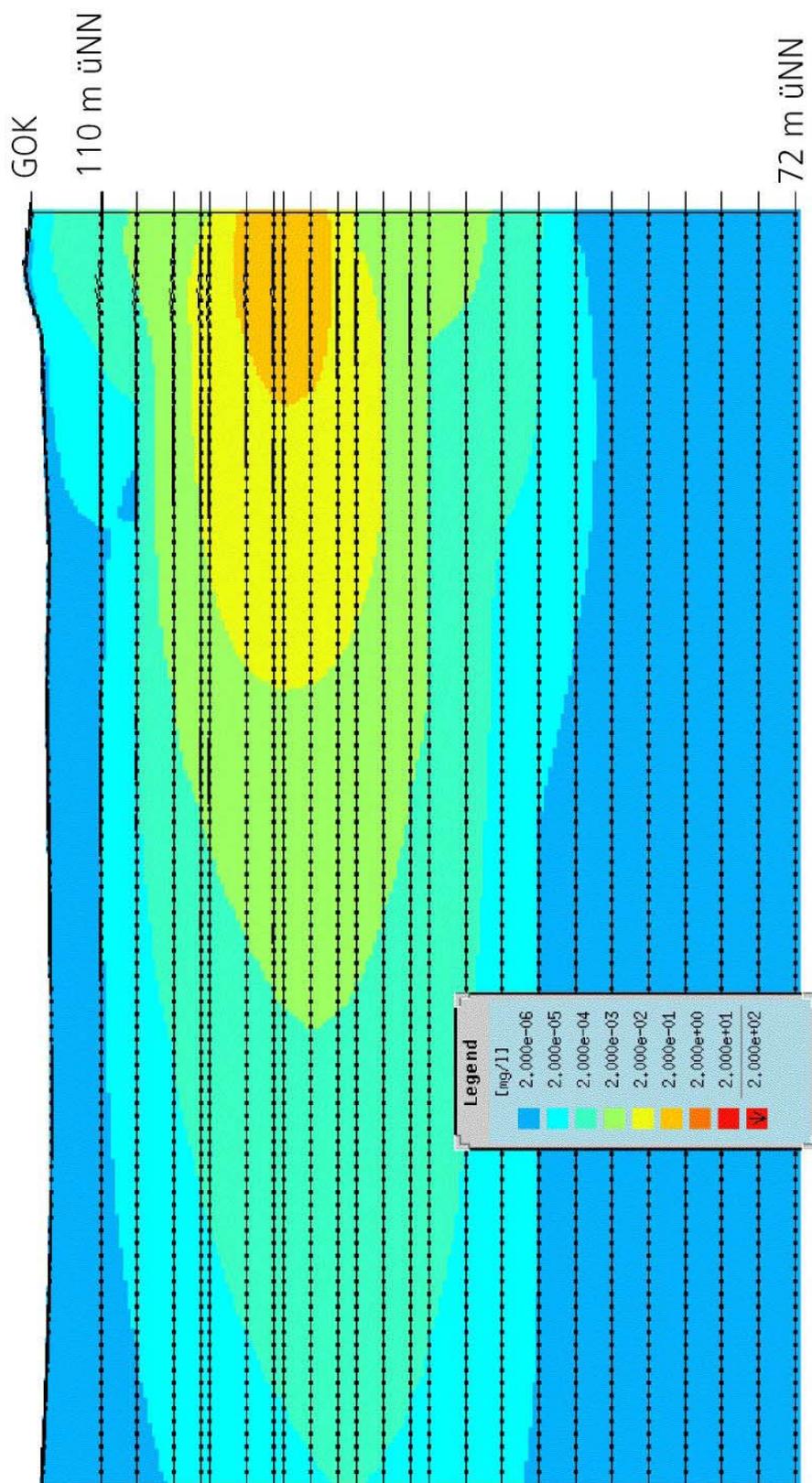
0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

Schadstofffahne von Fluoren im Horizont c (logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Fluoren im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse Phenenthren

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0,01	0	0	0,21	0	2,46	0	0	0	37,17	7,47	0,11	0,03	14,59	42,14	2,67	41,48	0,59	39,03	48,24	46,04
b	0	0,04	0	0,77	0	0,01	6,76	0	0	28,77	89,59	48,37	0	0	22,60	95,18	77,51	163,75	30,32	57,33	115,34	255,98
c	0	0,04	0	0,40	0,01	0	2,08	0	0	2,46	4,19	2,57	0,16	0,11	3,65	7,61	4,74	8,20	1,16	6,37	5,25	1,36
d	0	0,01	0	0,05	0	0	0,14	0	0	0,24	1,81	0,27	0,16	0,25	0,18	1,48	0,40	3,78	0,77	0,50	1,01	6,62
e	0	0	0	0,01	0	0	0,07	0	0	0,18	0,96	0,14	0,08	0,11	0,11	0,74	0,17	1,46	0,18	0,28	0,61	1,34

Messergebnisse Phenenthren

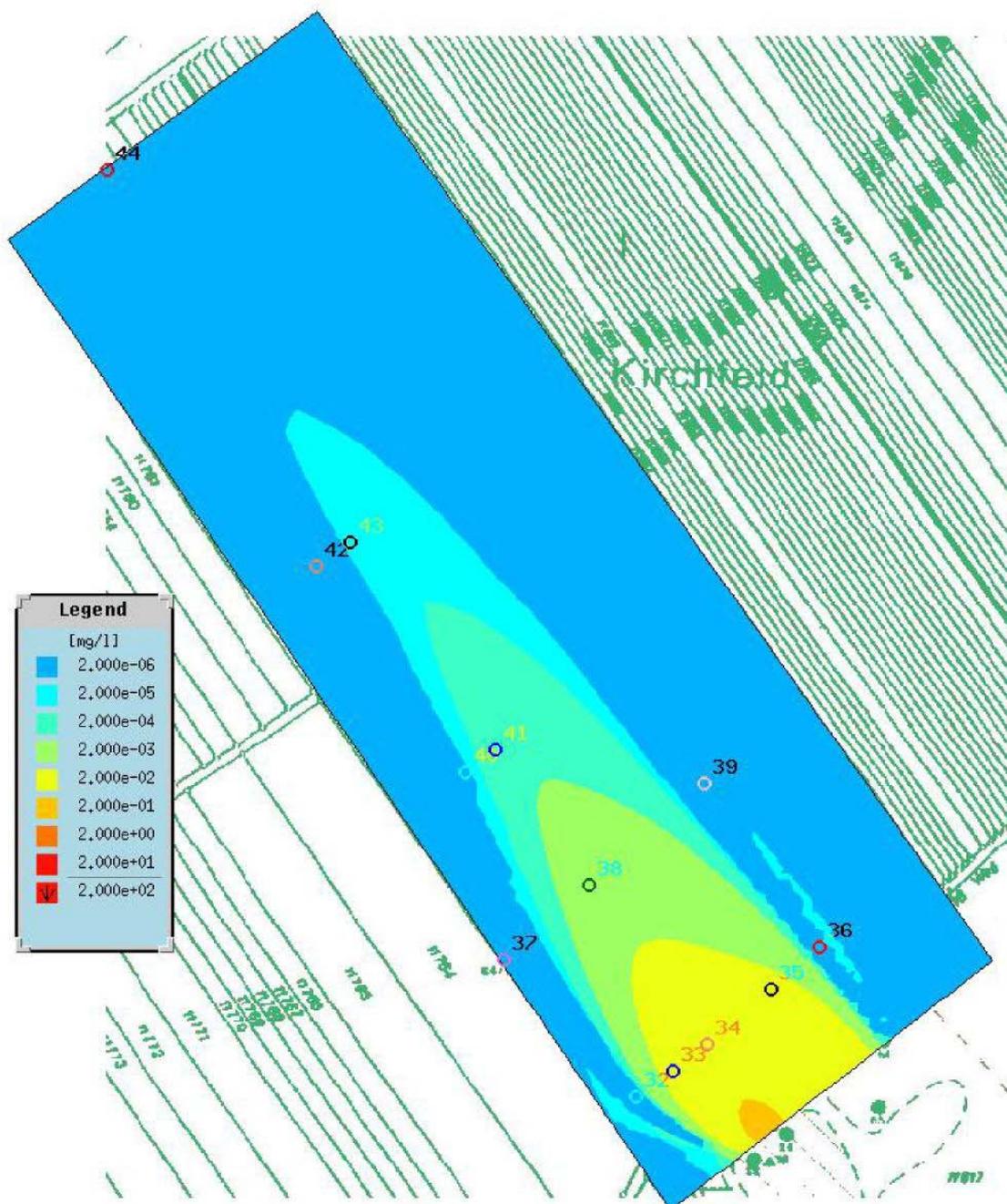
(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0,03	0	0,02	0,06	5,05	0,16	0,08	14,40	7,29	0,04	0,03	0,26	22,00	39,40	43,70	5,94	0,39	62,20	46,40	46,00
b	0	0,02	0,02	4,20	0,20	0,04	43,00	0,02	0,04	35,90	0	54,60	0,04	0,70	45,70	82,30	231,00	174,00	0	82,50	103,00	279,00
c	0	0	0,05	0	0,10	0,06	0,11	0,02	0,04	0,12	0,79	0,05	0,09	0,13	0,20	25,90	0,08	14,90	1,28	0,50	3,06	0,92
d	0	0	0,05	0	0	0,05	0,06	0,03	0,02	0,04	0,05	0,02	0,01	0,14	0,10	0,11	0,05	0,14	0,07	0,04	0,07	9,85
e	0	0	0,03	0	0,08	0,27	0,15	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,01	0,08	0,10	0,17	0,13	0,24	0,08	0,09	0,34	0,90

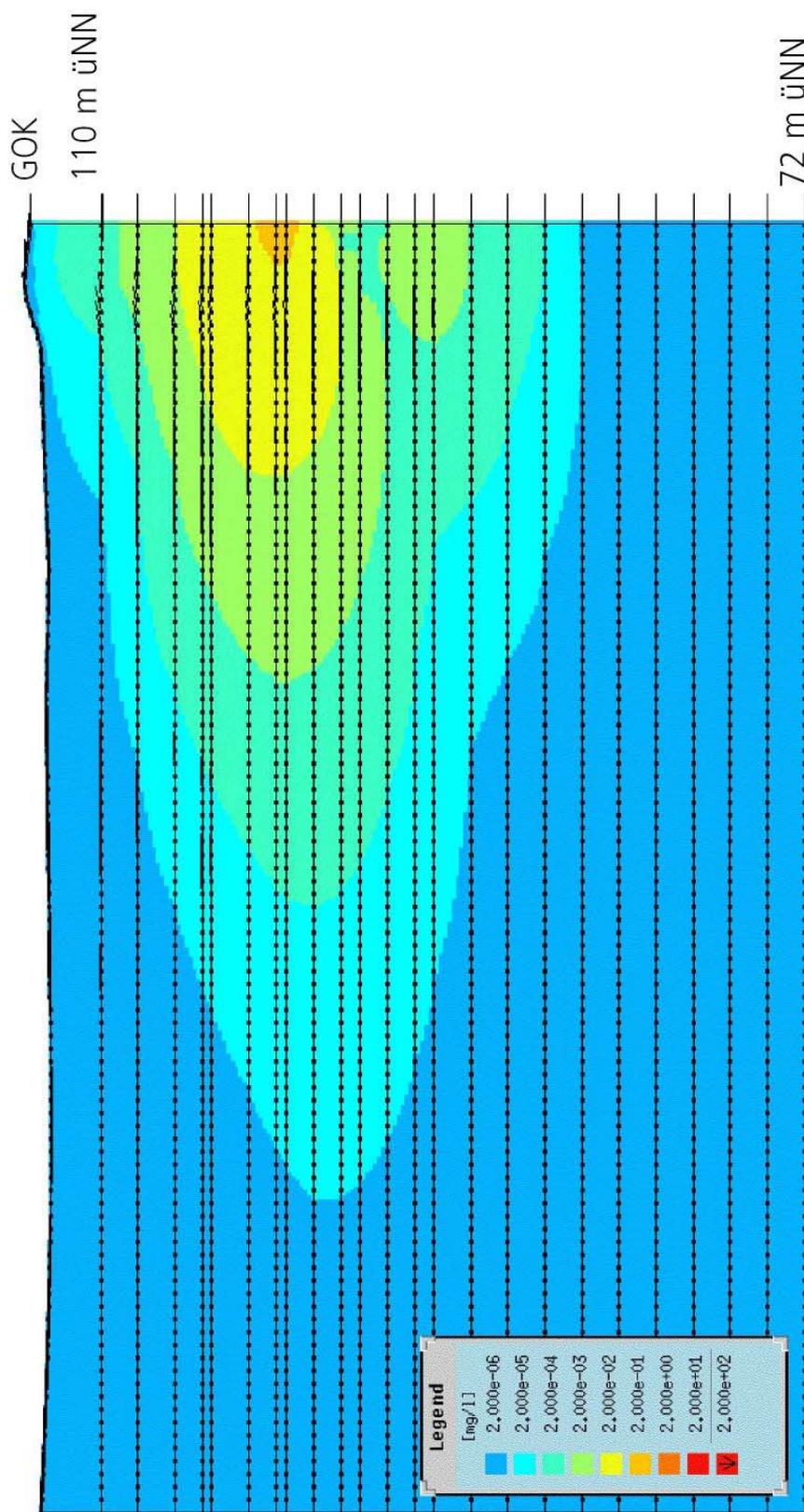
Alle Daten in µg/l

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

Schadstofffahne von Phenantren im Horizont b (logarithmische Darstellung)

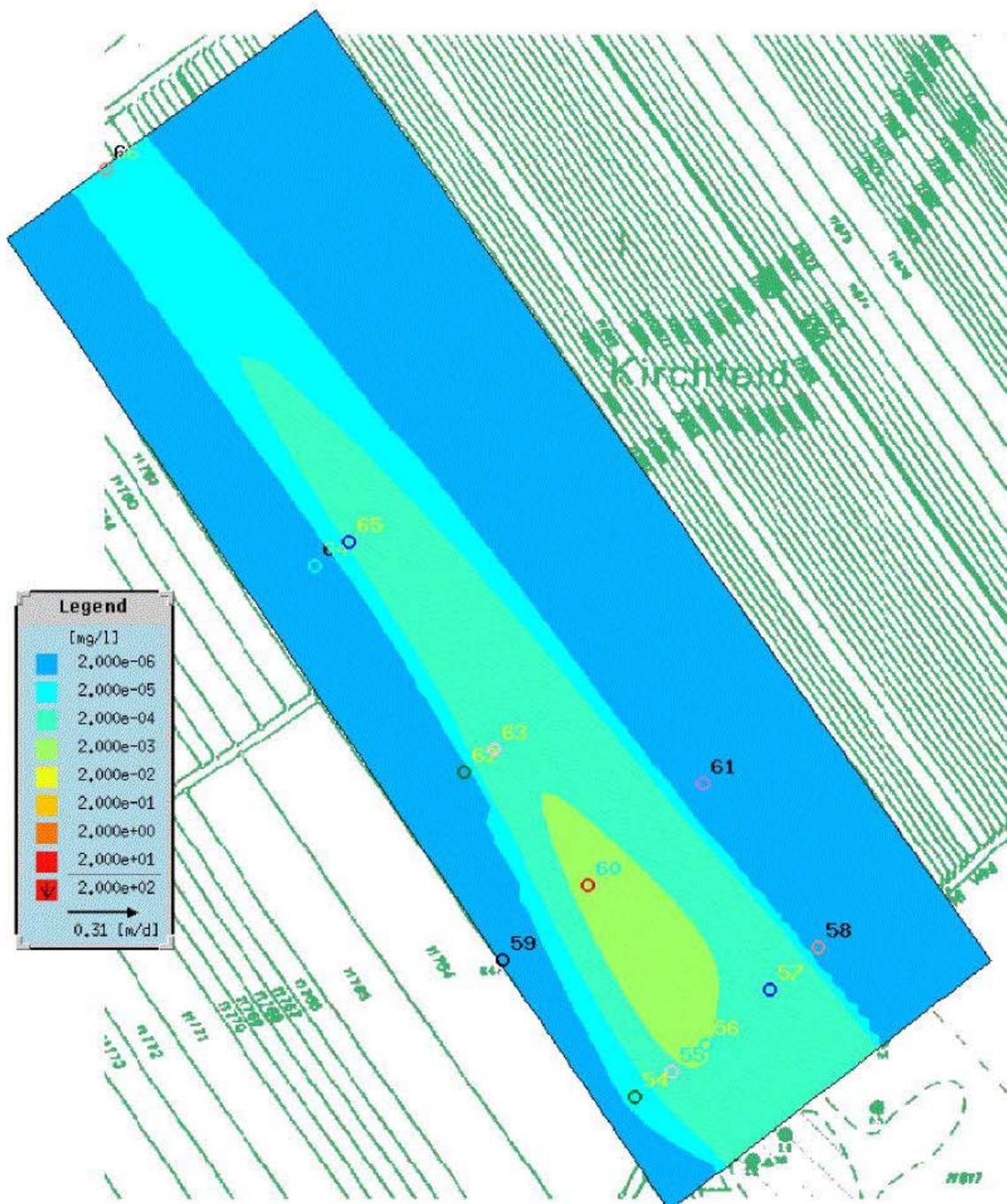


Schadstofffahne von Phenanthren im Vertikalschnitt (logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Anthracen im Horizont c

(logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse Fluoranthen

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0	0,01	0	0	0,07	0	0	0,92	2,09	0,70	0,02	0,01	0,62	3,67	1,26	4,30	0,99	2,56	5,71	7,06
b	0	0,02	0	0,22	0,01	0	1,40	0	0	3,69	10,20	1,33	0,08	0,08	3,28	9,30	1,13	16,30	0,56	6,06	9,15	23,10
c	0,01	0,04	0	0,21	0,01	0	0,79	0	0	0,59	1,21	0,53	0,11	0,10	0,71	1,19	0,70	1,67	0,47	0,74	0,59	0,63
d	0,01	0,02	0	0,10	0,01	0	0,31	0	0	0,57	1,67	0,64	0,02	0,01	0,25	1,86	0,66	2,50	0,31	0,38	1,22	3,48
e	0,01	0,02	0	0,07	0	0	0,24	0	0	0,41	1,00	0,42	0,01	0	0,19	0,96	0,43	1,21	0,19	0,28	0,69	1,20

Messergebnisse Fluoranthen

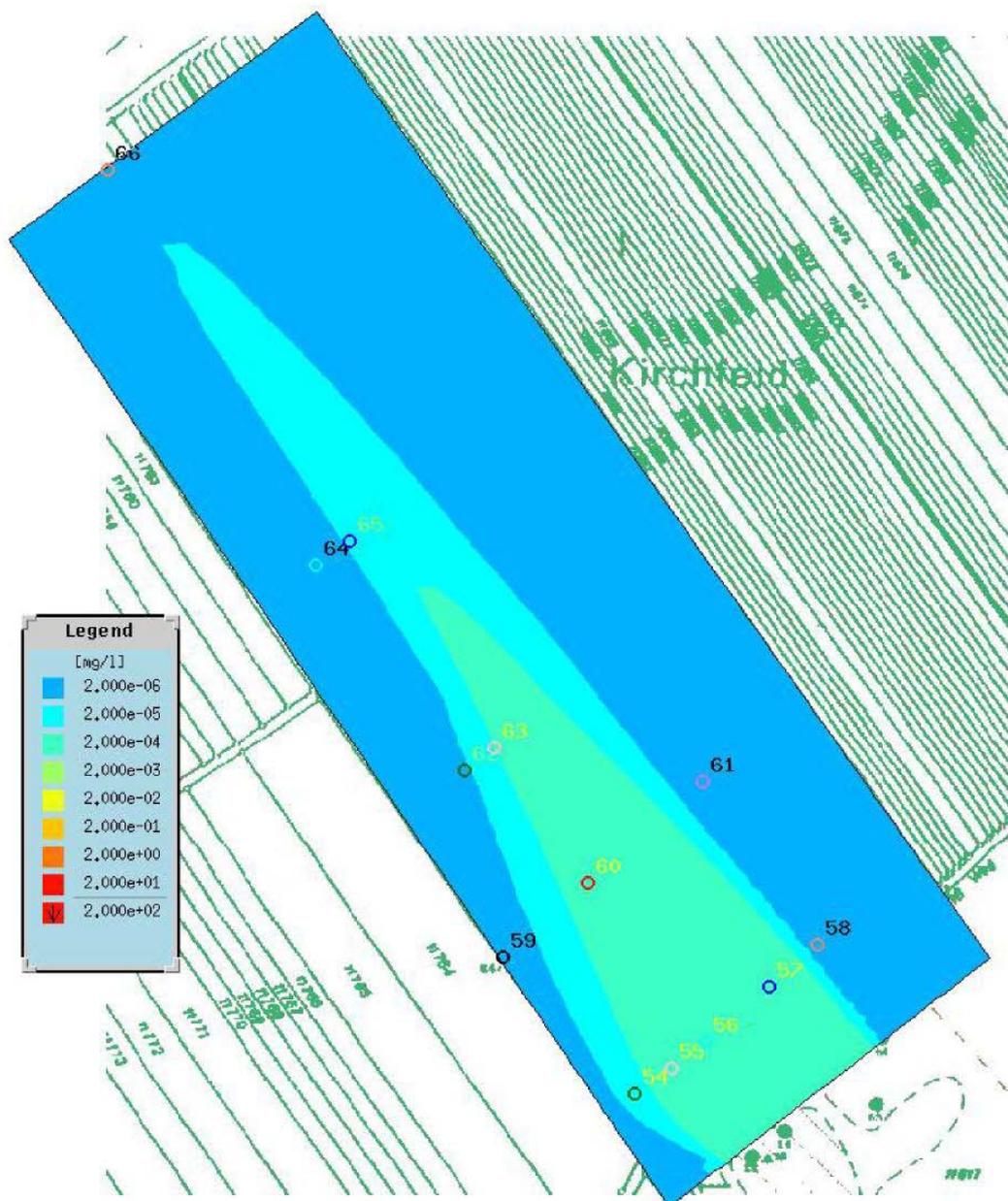
(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmeßstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0,01	0	0,04	0,04	0,06	0,08	0,50	0,11	0,08	0,03	0,04	0,16	0,44	0,49	2,98	0,15	0,25	1,28	4,72	6,27
b	0	0,02	0,03	1,10	0,52	0,07	3,17	0,01	0,19	3,23	7,06	3,27	0,02	0,17	3,27	9,93	8,52	6,06	0	5,27	8,88	22,70
c	0,01	0	0,06	0	0,46	0,06	0,22	0,02	0,05	0,07	0,31	0,03	0,03	0,11	0,02	4,89	0,03	0,36	0,40	0,50	0,25	0,54
d	0	0	0,05	0	0,01	0,04	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,12	0,10	0,05	0,03	0,04	0,07	0,01	0,14	3,56
e	0	0	0,03	0	0,05	0,11	0,03	0,08	0,08	0,03	0,03	0,08	0,01	0,04	3,47	0,23	0,12	0,04	0,10	0,20	0,37	0,62

Alle Daten in µg/l

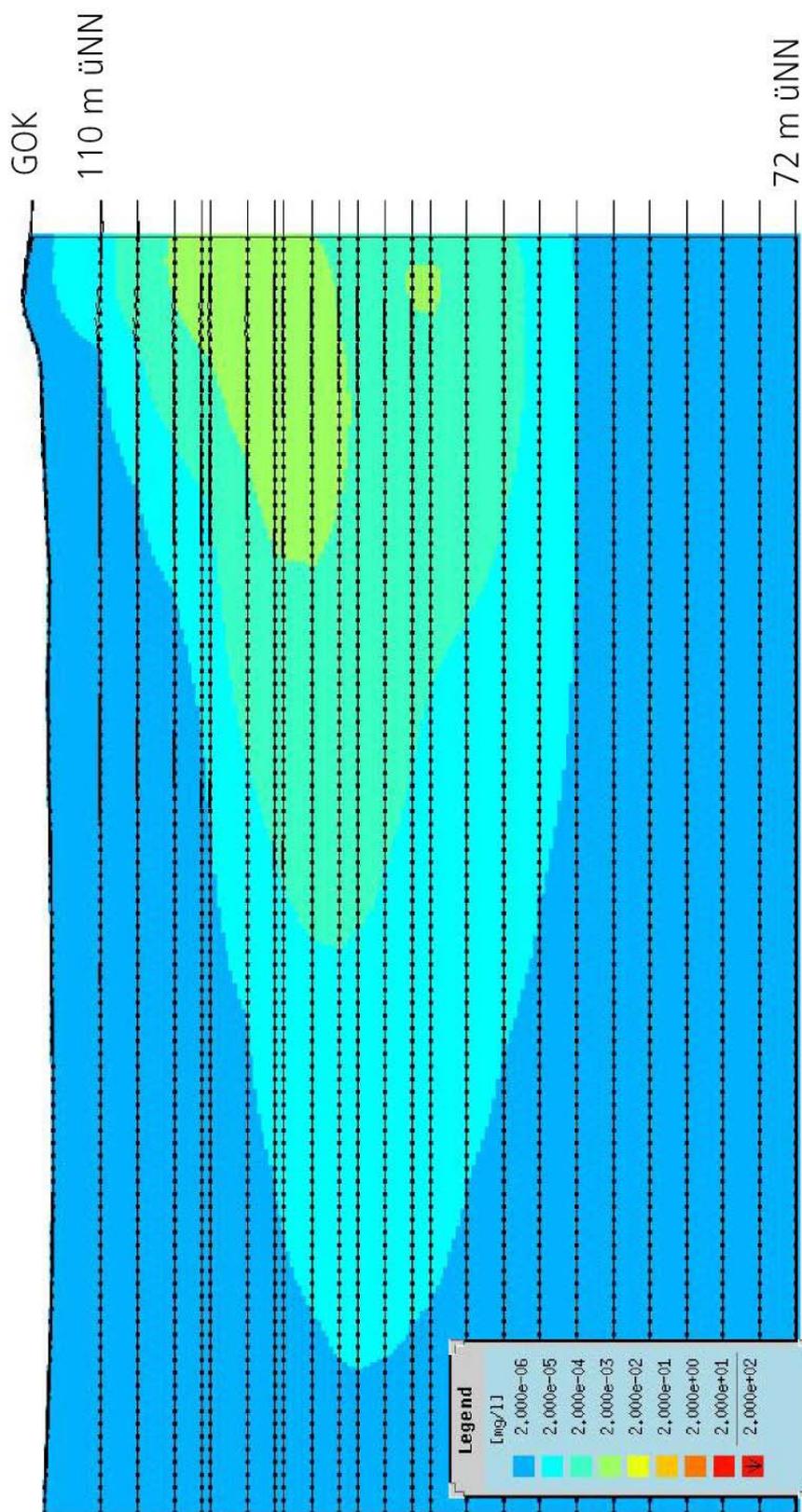
0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

Schadstofffahne von Fluoranthren im Horizont c (logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Fluoranthen im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse Pyren

(gerade Fahne)

Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0,01	0	0	0,03	0	0	0,05	0	0	0,45	0,81	0,20	0,01	0,33	1,72	0,32	1,80	0,22	1,24	2,62	3,25
b	0,03	0,16	0	0	0,81	0	2,26	0	0	4,80	8,25	3,13	0,11	0	3,17	9,10	2,74	11,30	1,32	4,08	9,22	15,70
c	0,14	0,30	0	0	0,84	0	1,61	0	0	0,93	1,41	0,79	0,09	0,05	1,15	1,44	1,05	1,65	0,37	1,04	0,78	0,69
d	0,11	0,15	0	0	0,28	0	0,47	0	0	0,25	1,14	0,19	0,03	0,02	0,14	0,76	0,13	1,63	0,07	0,15	0,30	2,00
e	0,08	0,08	0	0	0,16	0	0,32	0	0	0,24	0,66	0,14	0,03	0,02	0,19	0,44	0,10	0,66	0,07	0,28	0,37	0,53

Messergebnisse Pyren

(Mittelung 1.-3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

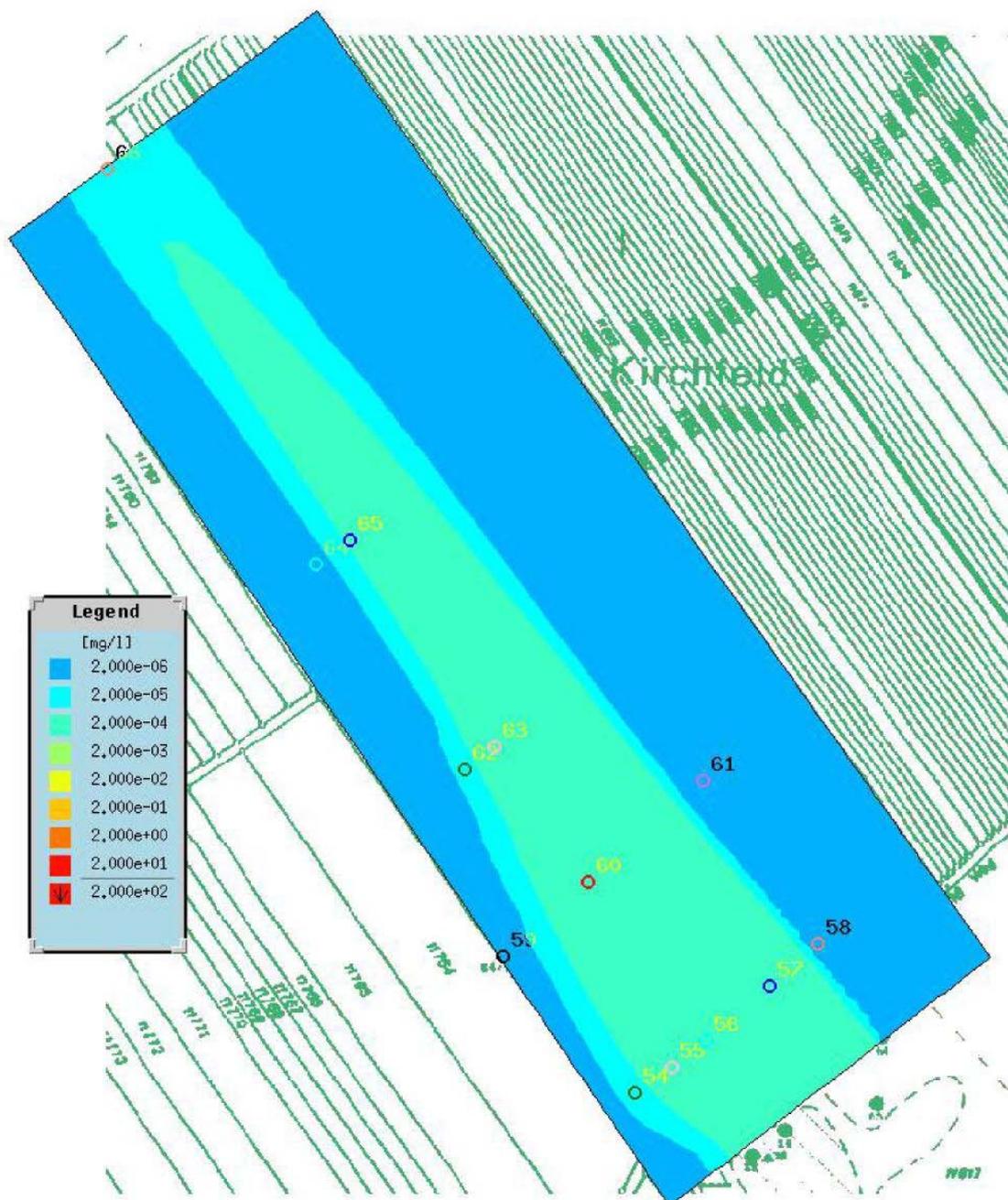
Tiefenstufe	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3
a	0	0	0,01	0	0,08	0,05	0,03	0,11	0,17	0,15	0,11	0,06	0,08	0,23	0,39	0,47	1,36	0,28	0,13	0,49	2,59	3,22
b	0	0,03	0,04	0,44	0,28	0,07	1,34	0,05	0,10	1,30	2,47	1,00	0,03	0,29	1,39	4,77	1,82	2,07	0	1,75	4,75	16,50
c	0	0	0,06	0	0,40	0,09	0,42	0,05	0,09	0,15	0,25	0,06	0,03	0,14	0,08	2,63	0,04	2,03	0,21	0,30	0,25	0,56
d	0	0	0,06	0	0,01	0,10	0,15	0,08	0,05	0,03	0,01	0,11	0,02	0,23	0,18	0,11	0,02	0,08	0,05	0,01	0,10	2,43
e	0	0	0,04	0	0,08	0,14	0,05	0,19	0,16	0,04	0,02	0,19	0,01	0,04	0,24	0,40	0,12	0,03	0,05	0,21	0,36	0,39

Alle Daten in µg/l

0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l

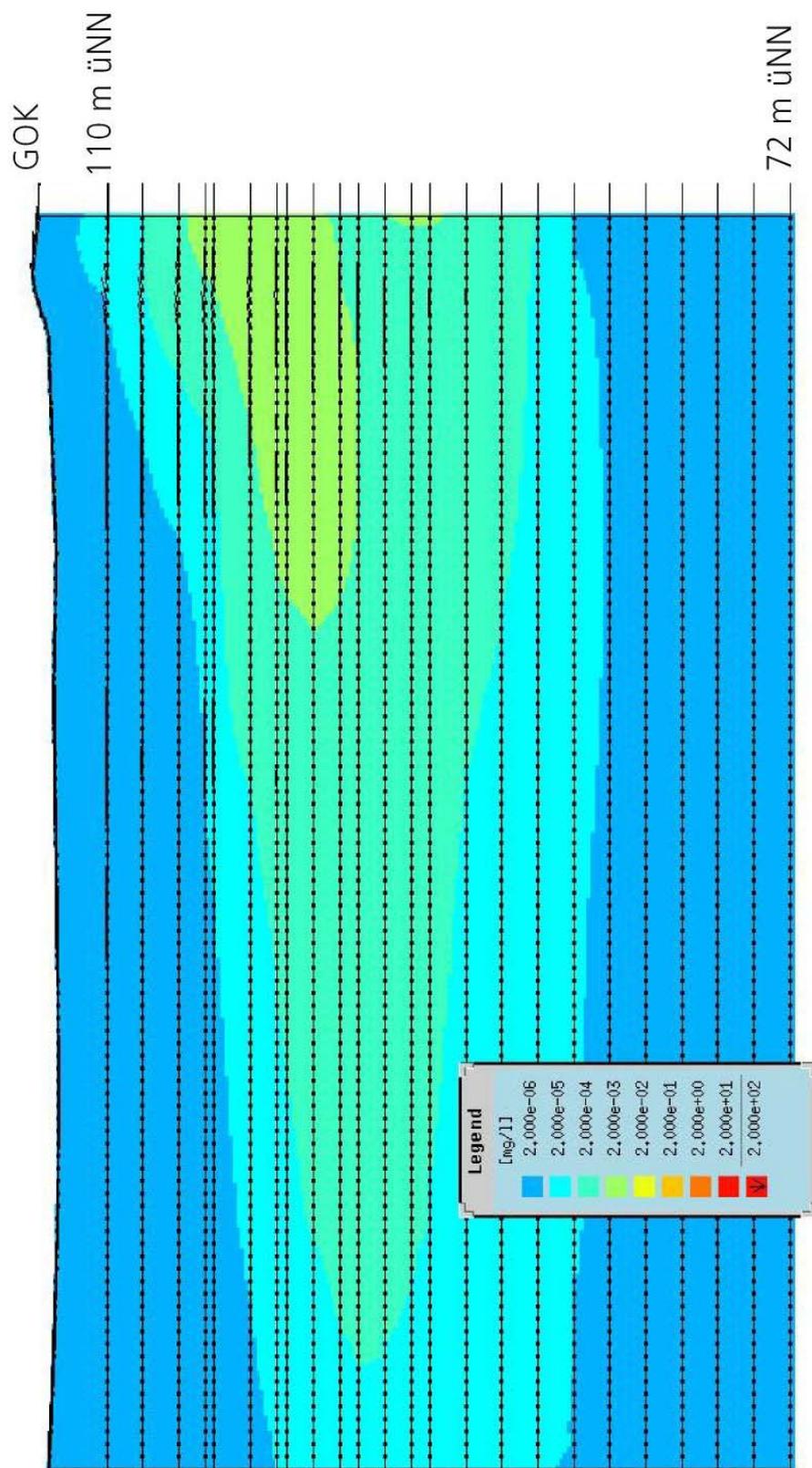
Schadstofffahne von Pyren im Horizont c

(logarithmische Darstellung)



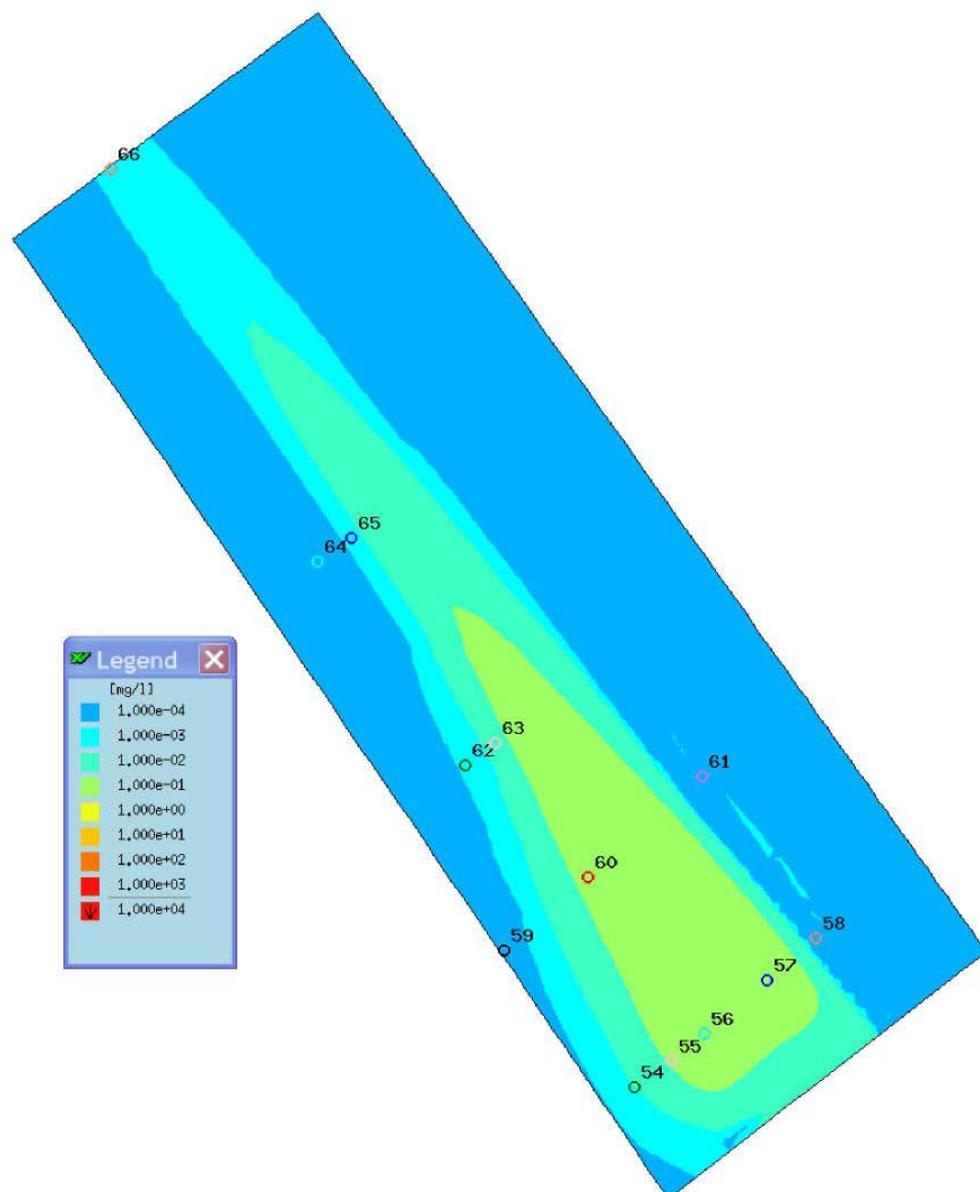
Schadstofffahne von Pyren im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)



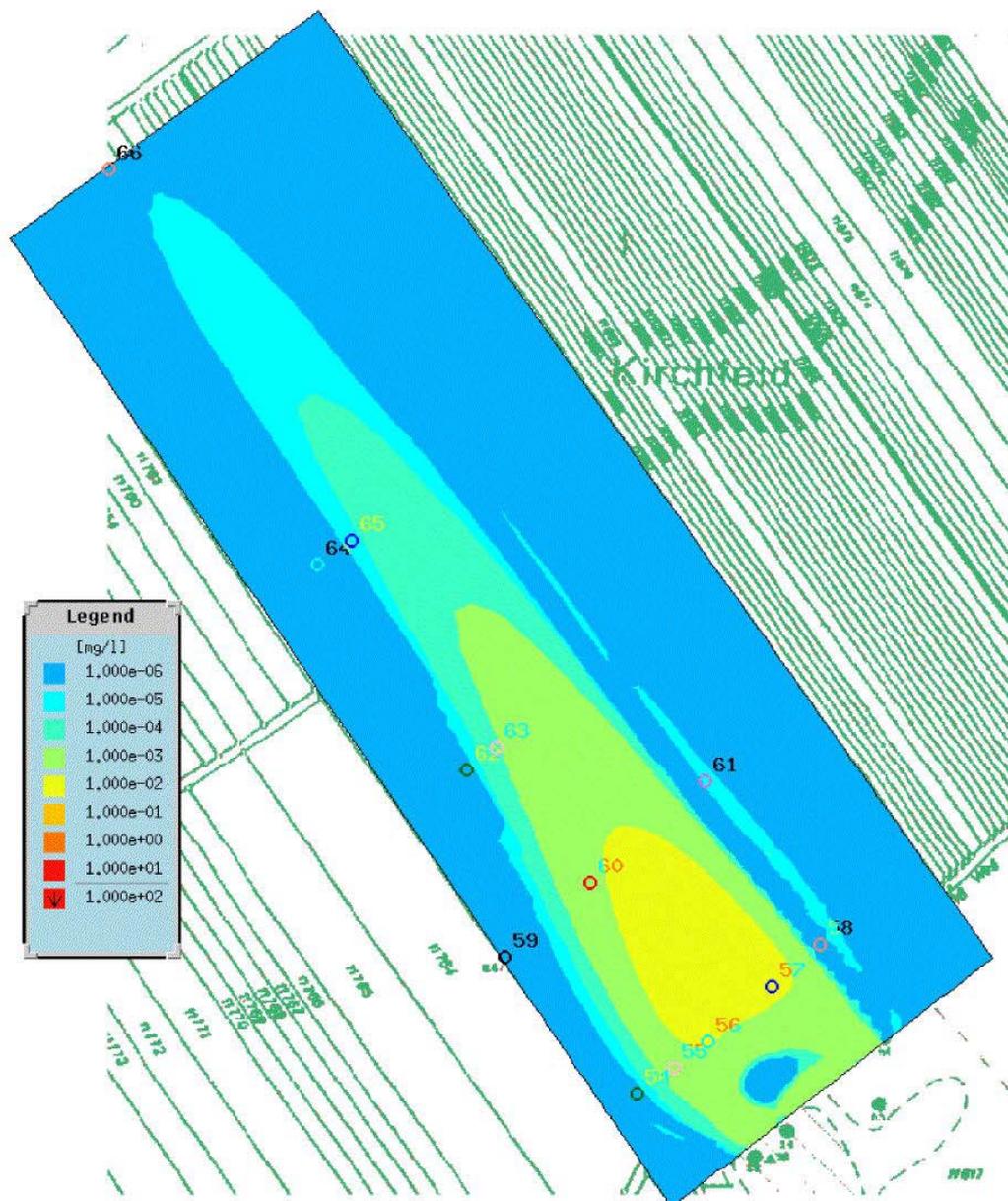
Schadstofffahne von Benzol im Horizont c

(Erweiterte MMK - logarithmische Darstellung)



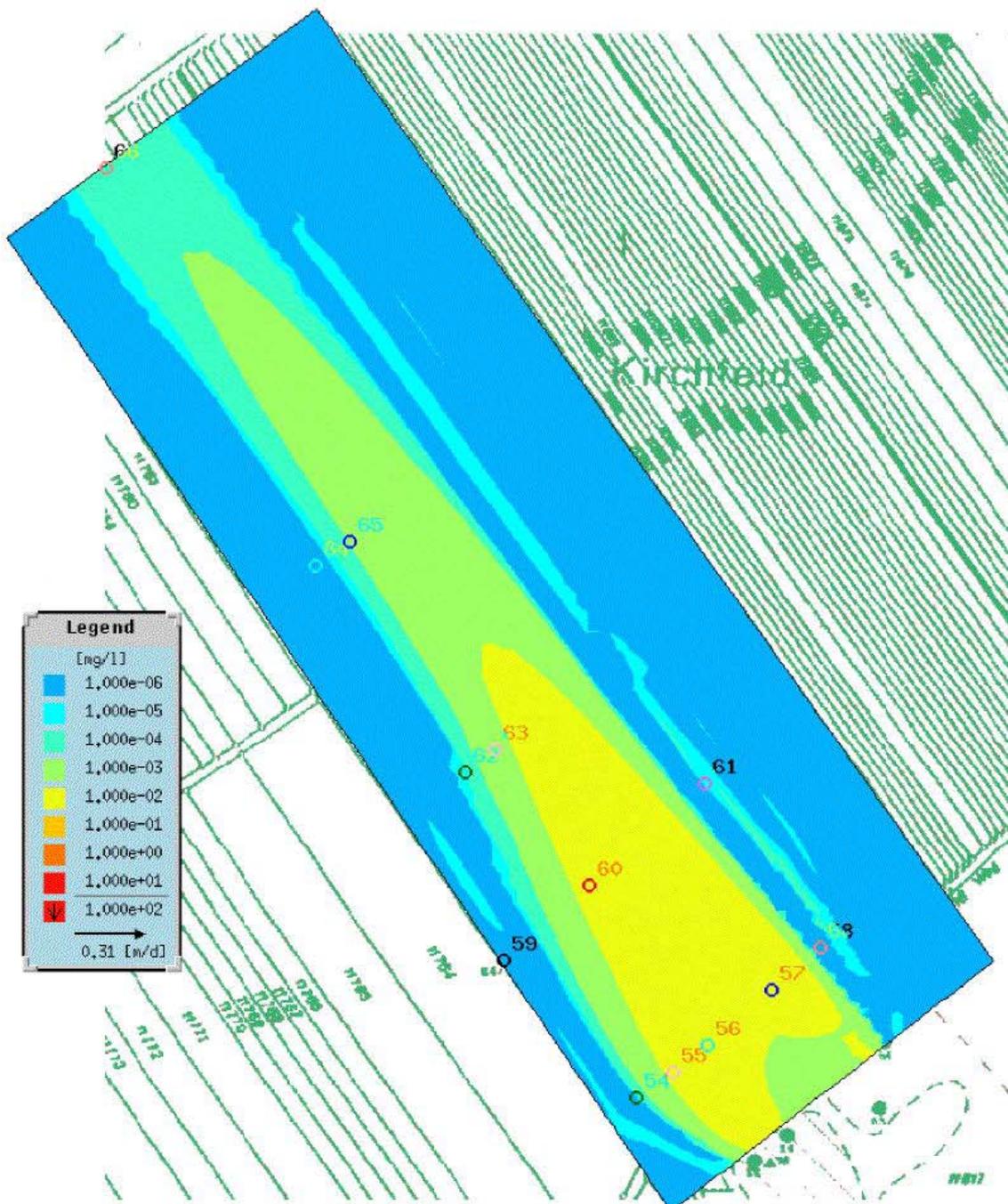
Schadstofffahne von Toluol im Horizont c

(logarithmische Darstellung)



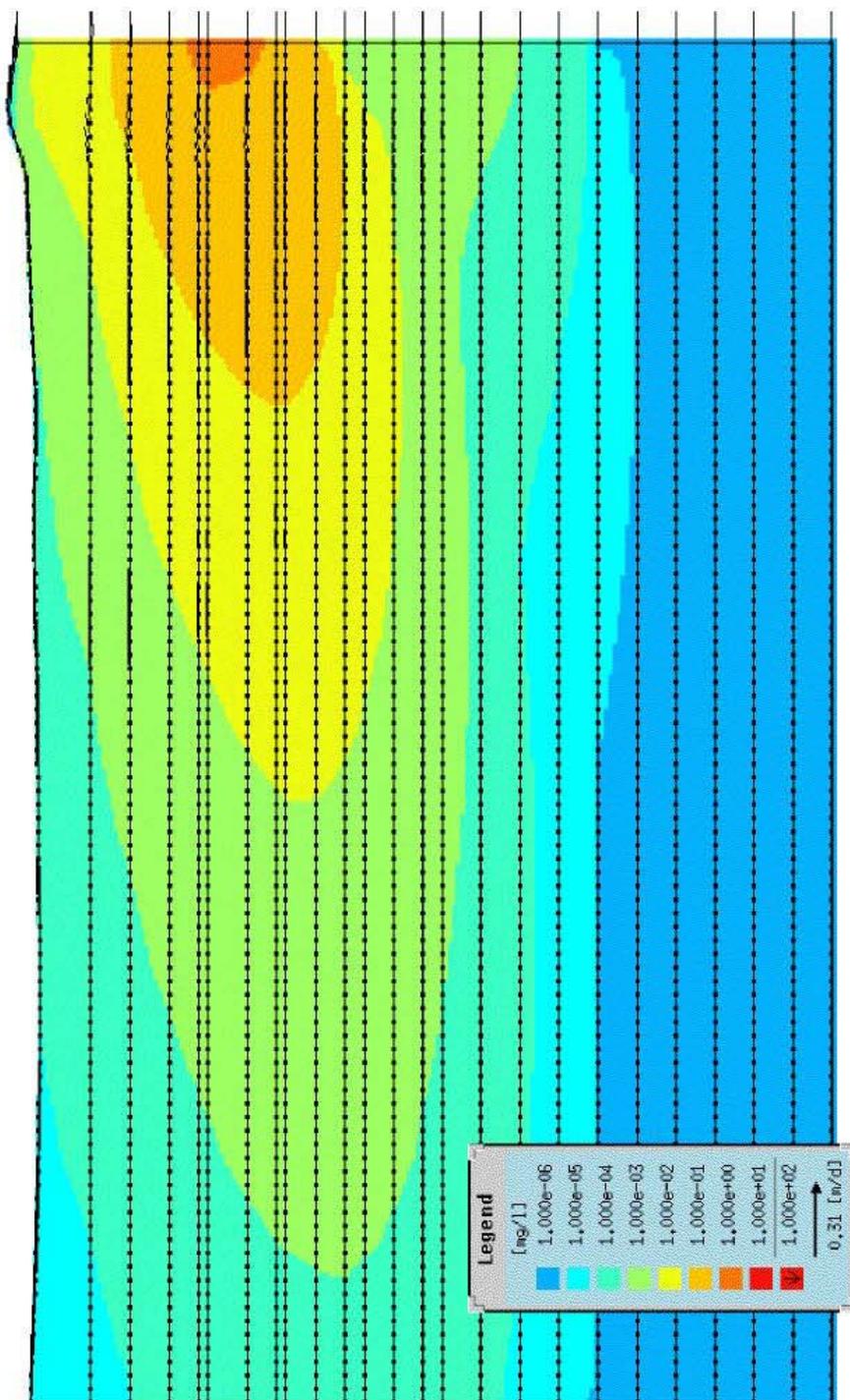
Schadstofffahne von Ethylbenzol im Horizont c

(logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Ethylbenzol im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)



Simulationsergebnisse m+p+o-Xylol
(gerade Fahne)

Tiefenstufe	a	b	c	d	e	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	0	0	598,0	687,0	0	0	0	0	501,0	2805,0	0	2132,0	7,6	1985,0	4722,0	4226,0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0	0	35,7	0	0	996,0	1042,0	0	0	0	0	981,0	3007,0	0	2615,0	4,6	2408,0	3997,0	4123,0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,5	0	0	34,2	24,1	0	0	0	0	73,1	75,8	0	50,9	2,5	75,2	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0	1,0	0	2,0	1,6	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0	1,9	0	3,1	5,1	3,5

Messergebnisse m+p+o-Xylol

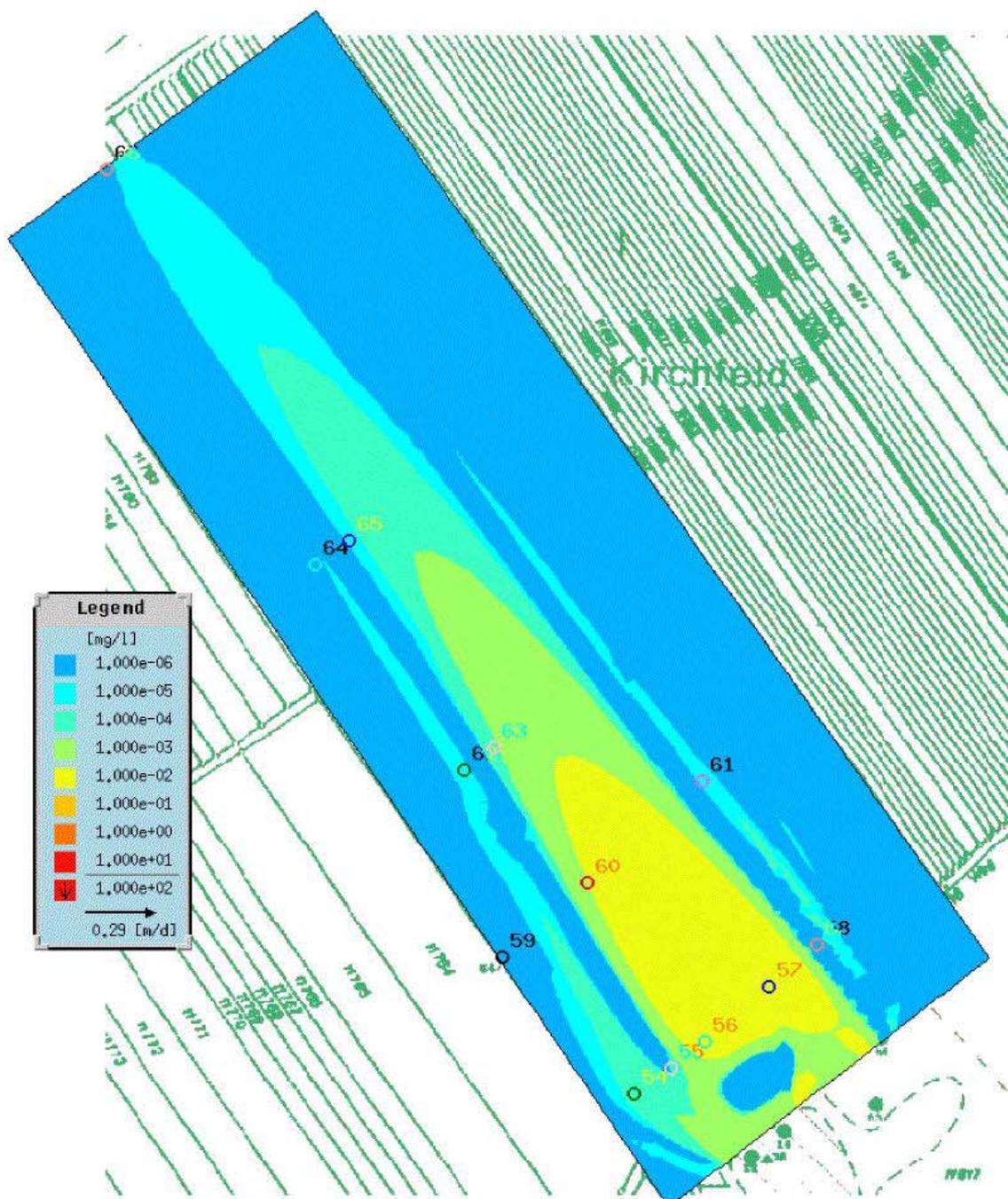
(Mittelung 1.- 3. Beprobung, Tiefenmessstellen nur 4. Beprobung)

Tiefenstufe	a	b	c	d	e	E7/T27	E6/T26	E6/22	E5/T21	E5/21	E4/20	E4/19	E4/18	E3/17	E3/16	E3/15	E3/14	E3/13	E2/12	E2/11	E2/10	E2/9	E2/8	E1/7	E1/5	E1/4	E1/3	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,7	0	0	14,4	10,3	0	0	0	0	1,7	3429,0	78,8	1125,0	3,5	4,7	4327,0	3432,0
	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5	0	0	240,0	0	0	76,1	2764,0	177,0	0	0	2,4	1143,0	812,0	4550,0	0	3,3	2644,0	3110,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	0	0	0	0	0	23,3	0	24,2	2,7	1,1	34,7	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0	0	16,4	0	0	0	0	2,0	0	1,7	0	2,0	0	0	4,3

Alle Daten in µg/l
0 = Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 1 µg/l

Schadstofffahne von Xylol im Horizont c

(logarithmische Darstellung)



Schadstofffahne von Xylol im Vertikalschnitt

(logarithmische Darstellung)

