



## **Bestimmung der Emission von Mineralölkohlenwasserstoffen aus kontaminierten Bodenproben in Säulenversuchen**

Versuchs- und Ergebnisprotokoll

Studie im Auftrag der

**Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg**  
**Griesbachstraße 1**  
**76185 Karlsruhe**

Projekt: Elutionsverfahren zur Beurteilung von  
Grundwasserbelastungen durch Altlasten und Schadensfälle

Projektleiter: Prof. Dr. P. Grathwohl

Wissenschaftlicher Bearbeiter: Dipl. Geol. Ch. Eberhardt  
Dipl.-Chem. Dr. Th. Wendel

Datum: 18.6.1996

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Probenauswahl.....	1
3. Durchgeführte Laboruntersuchungen - Analytik	
3.1 Säulenversuche.....	1
3.1.1 Versuchsaufbau .....	1
3.1.2 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen - FT-IR Messung.....	2
3.2 Kohlenwasserstoffgehalte des Bodens.....	2
3.3 Trübe-Messung .....	2
3.4 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) .....	2
3.5 Wassergehalt des Bodens.....	2
3.6 Hintergrundbelastung (-Korrektur).....	3
4. Ergebnisse der Säulenversuche und Vergleich mit dem DEV S4-Versuch.....	5
4.1 KW-Gehalte des Bodens.....	5
4.2 Ergebnisse der Säulenversuche.....	5
4.2.1 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Eluat .....	5
4.2.2 DOC-Gehalte.....	8
4.2.3 Trübe-Messungen.....	8
4.2.4 Wassergehalt.....	9
4.3 Vergleich der Säulen- und DEV S4- Versuche.....	10
4.3.1 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen.....	10
4.3.2 DOC.....	14
4.3.3 Trübe.....	14
5. Zusammenfassung.....	17

## **1. Einleitung**

Bei der Durchführung von Eluatbestimmungen nach DEV-S4 an mineralölkontaminierten Proben treten infolge Emulsionsbildung Probleme bei der Aufbereitung des wässrigen Eluats auf. Aufgabe dieser Studie war es, mittels Säulenversuchen die Emission von Mineralölkohlenwasserstoffen aus kontaminierten Böden zu bestimmen und die Ergebnisse mit vom TZW in Karlsruhe durchgeführten DEV-S4 Elutionsversuchen zu vergleichen.

## **2. Probenauswahl**

Die Auswahl und Lieferung der Bodenproben erfolgte durch das TZW Karlsruhe. Folgende mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) kontaminierten Böden wurden untersucht:

- Öldeponie Neureuth OL 1 1-2 m; kiesiger Sand
- Öldeponie Neureuth OL 3 0-2 m; kiesiger Sand mit schluffigen Anteilen
- Öldeponie Neureuth OL 5 0-2 m; kiesiger Sand
- BP-Tanklager AI; 1-3 m; sandig
- BP-Tanklager AI; 4-6 m; sandig

## **3. Durchgeführte Laboruntersuchungen - Analytik**

### **3.1 Säulenversuche**

Säulenversuche werden durchgeführt, um die Freisetzung von Schadstoffen (hier MKW) unter möglichst realitätsnahen Bedingungen durchzuführen.

#### **3.1.1 Versuchsaufbau**

Der Versuch wurde wie im Bericht "Durchführung von Elutionsversuchen zur Bestimmung der Emission schwerlöslicher org. Schadstoffe aus kontaminiertem Erdreich" von H. Weiß et al. (1996) beschrieben, aufgebaut und durchgeführt.

Als Elutionsmittel wurde Trinkwasser verwendet. Um den Bioabbau während der Versuchszeit zu minimieren, wurde das Trinkwasser in einem Vorratsgefäß mit technischem Stickstoff entgast, so daß dem eingebauten Bodenmaterial nur wenig Sauerstoff bei der Durchströmung zugeführt wurde.

Die Durchströmung der Säulen erfolgte von unten nach oben über einen Zeitraum von 16 Tagen. Für die Extraktion des Wassers wurden 1 l-Braunglasflaschen verwendet, die mit 50 ml Trinkwasser aus dem Vorratsgefäß befüllt wurden. Anschließend wurden 40 ml Frigen als Extraktionsmittel unter das Wasser geschichtet, um das Verdampfen des Frigens vor und während der Probenahme zu verhindern.

Das Eluat wurde aus der Säule über eine Edelstahlleitung direkt in die Frigenphase eingeleitet. Zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffkonzentration wurden jeweils 600-700 ml Säuleneluat extrahiert. Die weitere Aufbereitung, Messung und Auswertung erfolgte nach DIN 38 409 H18. Die Frigenextrakte wurden vor und nach der Behandlung mit Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) gemessen.

Für die Bestimmung des Anteils an gelöstem organischen Kohlenstoff und der Trübe wurden vor der Probenahme jeweils ca. 80 ml Eluat in 100 ml Braunglasflaschen gesammelt.

Der Durchfluß betrug während der Versuchszeit konstant 1,8 ml/min, was einer Abstandsgeschwindigkeit von ca. 2 m/d entspricht. Die Beprobung des Säuleneluats erfolgte die ersten 3 Tage täglich, dann alle 2-3 Tage.

### **3.1.2 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen - FT-IR-Messung**

Die Aufnahme der IR-Spektren und die Auswertung nach DIN 38409 H18 erfolgte mit einem FT-IR Spektrometer Spektrum 1000 der Firma Perkin Elmer. Die Anzahl der Scans betrug 16. Frigenextrakte der Säuleneluats wurden mit der 5 cm Rundküvette, die Bodenextrakte mit der 1 cm Küvette gemessen.

### **3.2 Kohlenwasserstoffgehalte des Bodens**

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Säulen- und DEV S4- Versuch zu gewährleisten, wurden die Original-Kohlenwasserstoffgehalte der 5 Bodenproben neu bestimmt. Die Kohlenwasserstoffkonzentrationen in den Bodenproben wurden nach der Vorschrift zur "Bestimmung des Gehaltes an Kohlenwasserstoffen in Abfällen" KW/85 (Stand 1990) durchgeführt. Dazu wurden etwa 10g Boden mit ca. 20g Natriumsulfat homogenisiert und mit 50 ml Frigen in 250 ml Schliff-Flaschen extrahiert. Der Frigenextrakt wurde vor und nach der Abtrennung der polaren Verbindungen durch Aluminiumoxid gemessen.

### **3.3 Trübe-Messung**

Die Trübe wurde mit einem Turbidimeter/Nephelometer der Firma Hach (2100N) durchgeführt. Mit diesem Gerät werden Trübungen zwischen 0 und 4000 FNU (formazin nephelometric unit, DIN 38 404: Trübungseinheit Formazin = TF/E) erfaßt.

Die Wasserproben wurden vor der Messung aufgeschüttelt und die Meßküvetten kurz in ein Ultraschallbad gehalten, um aufsteigende Luftblasen, die die Messung beeinträchtigen, zu beseitigen. Der erste Meßwert wurde notiert.

### **3.4 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

Die Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) im Säuleneluat wurde mit einem highTOC Analysator der Firma Elementar Analysensysteme GmbH bestimmt.

### **3.5 Wassergehalt**

Der Wassergehalt der Bodenproben wurde neu bestimmt, um mögliche Verluste durch Verdunstung seit der Bestimmung durch das TZW auszuschließen. Der Wassergehalt wird für die Berechnung der Trockensubstanz bei der Frigenextraktion benötigt. Bestimmt wurde der Wassergehalt gravimetrisch. Der hier angegebene Wassergehalt ergibt sich als Quotient aus der Masse des im Boden befindlichen Wassers, das bei 105°C verdampft und der Masse des feuchten Bodens.

### **3.6 Hintergrundbelastung (-Korrektur)**

Um eine mögliche Hintergrundbelastung zu erfassen, wurden die für die Extraktion verwendeten Flaschen stichprobenartig auf etwaige Kontaminationen untersucht. Dazu wurden 400-600 ml Wasser aus dem Vorratsgefäß mit 40 ml Frigen ausgeschüttelt und das Extrakt ebenfalls nach DIN H18 behandelt. Zusätzlich wurden die verwendeten Schläuche ebenfalls stichprobenartig auf Kohlenwasserstoff-Kontaminationen hin überprüft.

Während der Säulenversuche wurde eine nur mit gewaschenem Quarzsand befüllte Säule parallel zu den Säulen mit kontaminiertem Bodenmaterial betrieben und die KW-Konzentrationen gemessen.

Der Quarzsand, der als Filterkies in alle Säulen eingebaut wurde, wurde ebenfalls auf Kohlenwasserstoffe hin überprüft. Dazu wurden ca. 10g Quarzsand wie zuvor für die Bodenproben beschrieben (3.2) aufbereitet und gemessen.

**Tab. 3.1: KW-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] bzw. [ $\text{mg/kg TS}$ ] vom verwendeten Versuchsmaterial**

Material		KW-Konz. mit polaren Verb.	KW-Konz. ohne polare Verb.
1L-Flasche, entgastes Trinkwasser	[ $\mu\text{g/L}$ ]	19,1	10,5
1L-Flasche, entg. Trinkwasser, Schläuche	[ $\mu\text{g/L}$ ]	18,0	15,2
1L-Flasche, entg. Trinkwasser, Schläuche	[( $\mu\text{g/L}$ )]	56,1	-
1L-Flasche, entg. Trinkwasser, Schläuche, Stahlkapillare	[( $\mu\text{g/L}$ )]	55,8	-
Blank-Säule (Durchschnittswert)	[( $\mu\text{g/L}$ )]	300	45
Quarzsand (bezogen auf TS)	[ $\text{mg/kg}$ ]	15,5	11,9

**Tab. 3.2: KW-Hintergrundkonzentration, DOC und Trübe der Kontrollsäule (parallel zu den Säulen mit kontaminiertem Bodenmaterial mit gewaschenem Quarzsand gefüllte Säule)**

Zeit	KW-Konzentrationen mit polaren Verb.	KW-Konzentrationen ohne polare Verb.	DOC	Trübe
[d]	[( $\mu\text{g/L}$ )]	[( $\mu\text{g/L}$ )]	[ $\text{mg/L}$ ]	[FNU]
0,17	669,0	128,0	2,48	1,39
1,16	349,0	65,3	1,49	0,20
2,19	324,4	47,6	1,40	0,78
4,22	317,6	39,4	1,31	0,26
7,14	322,8	48,6	1,19	0,32
10,07	393,5	54,8	1,39	0,22
13,21	327,8	69,5	1,42	0,26
16,22	304,6	104,4	1,41	0,22

Basierend auf diesen KW-Konzentrationen wurde von allen Proben ein mittlerer Hintergrundwert von  $300 \mu\text{g/L}$  (mit polaren Verbindungen) bzw.  $45 \mu\text{g/L}$  (ohne polare Verb.) subtrahiert. DOC- und Trübe-Werte wurden nicht korrigiert.

## 4. Ergebnisse der Säulenversuche und Vergleich mit dem DEV S4-Versuch

### 4.1 Kohlenwasserstoffgehalte des Bodens

Die Kohlenwasserstoffgehalte der Bodenproben lagen um 20% - 55% unter den Werten, die vom TZW angegebenen wurden. Diese Differenz läßt sich vermutlich auf einen Bioabbau in den Probenbehältern zurückführen. Vor allem die Probe OL 5 zeigt einen Abbau von mehr als 50 %.

**Tab. 4.1: Kohlenwasserstoff-Gehalte der untersuchten Bodenproben in mg/kg Trockensubstanz (nach KW/85 aufgearbeitet). Neubestimmungen für die Säulenversuche und die für den DEV S4-Versuch vom TZW bestimmten Werte im Vergleich.**

Bodenbezeichnung	KW-Originalgehalt [mg/kg TS] Neubestimmung				KW-Originalgehalt [mg/kg TS] TZW	
	Doppelbestimmung mit polaren Verb.		Doppelbestimmung ohne polare Verb.		Doppelbestimmung ohne polare Verb.	
OL 1 1-2 m	1336	1612	920	1116	1300	1530
OL 3 0-2 m	945	988	515	527	1031	776
OL 5 0-2 m	208	219	98	98	202	216
BP-Tanklager A1 1-3 m	1815	1957	1527	1644	1956	2149
BP-Tanklager A1 4-6 m	161	158	114	118	161	194

### 4.2 Ergebnisse der Säulenversuche

#### 4.2.1 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Eluat

Der zeitliche Verlauf der Kohlenwasserstoffkonzentrationen mit und ohne polare Verbindungen ist in Abb. 4.1, Abb. 4.2 und Tab. 4.2 und Tab. 4.3 dargestellt. Die durchschnittliche Hintergrundbelastung ist dabei berücksichtigt.

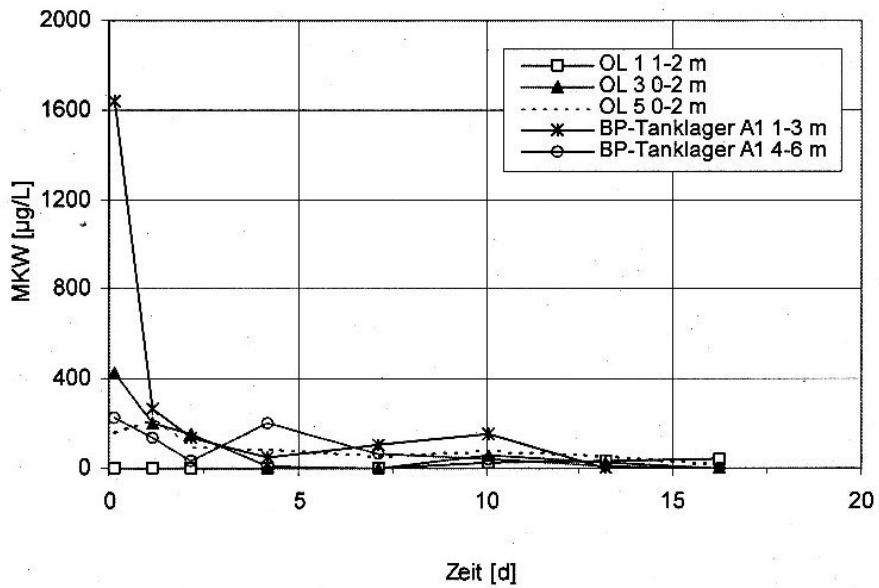
Die KW-Konzentrationen einschließlich der polaren Verbindungen (Abb. 4.1) nehmen während der Elution in den ersten 3 Tagen stark ab und erreichen nach 16 Tagen mit Ausnahme der Probe OL 1 Werte von 10 µg/L und weniger.

Die nach Abtrennung der polaren Anteile (Abb. 4.2) bestimmten KW-Konzentrationen gehen bei den Proben OL 5, BP Tanklager 1-3 m und BP Tanklager 4-6 m innerhalb der 16 Tage Versuchsdauer unter den Trinkwassergrenzwert von 10 µg/L zurück. Bei den Proben OL 5 und BP Tanklager 4-6 m mit den geringsten KW-Konzentrationen im Boden ist der Trinkwassergrenzwert nach 7 Tagen erreicht, bei der am höchsten kontaminierten Probe BP Tanklager 1-2 m erst nach 13 Tagen.

Die KW-Konzentrationen der Proben OL 1 und OL 3 zeigen zum Teil einen leichten Anstieg in den ersten Tagen und erst nach 7-10 Tagen eine deutliche Abnahme. Der Grenzwert von 10 µg/L wurde bei diesen beiden Proben im Versuchszeitraum von 16 Tagen nicht erreicht.

**Tab. 4.2: Kohlenwasserstoff-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] im Säuleneluat mit polaren Verbindungen**

Zeit [d]	OL1 1-2 m	OL3 0-2 m	OL5 0-2 m	BP-Tanklager AI 1-3 m	BP-Tanklager AI 4-6 m
0					
0,17	-	422,6	158	1635,7	225,8
1,16	-	203,9	215,2	268,5	135,6
2,19	-	149,6	94	137,4	31,7
4,22	-	10	86	51,3	200,3
7,14	-	nn	53,5	100,5	67,4
10,07	25,8	56,9	77	151,6	36,9
13,21	34,9	27	53,9	nn	10,3
16,22	39,9	nn	13	nn	nn

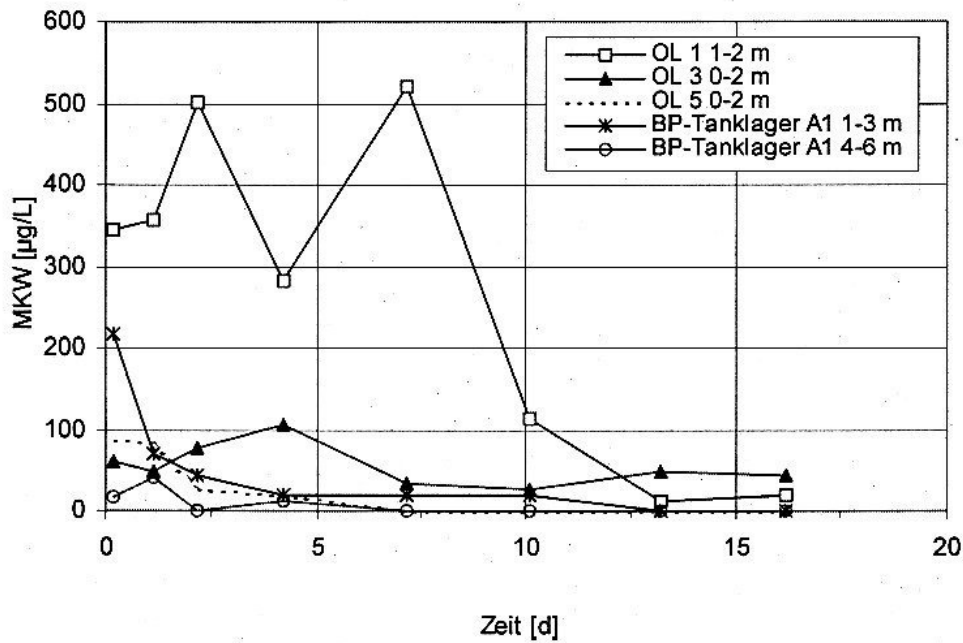


**Abb. 4.1: Zeitlicher Verlauf der KW-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] im Säuleneluat vor der Abtrennung der polaren Verbindungen**



**Tab. 4.3: Kohlenwasserstoff-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] im Säuleneluat ohne polare Verbindungen**

Zeit [d]	OL1 1-2 m	OL3 0-2 m	OL5 0-2 m	BP-Tanklager A1 1-3 m	BP-Tanklager A1 4-6 m
0					
0,17	344,2	61	87,2	217,7	17,7
1,16	356,4	48,3	84,9	70,2	41,1
2,19	500,2	78	25,6	42,4	im
4,22	282,7	105,1	19,9	19,6	12,3
7,14	519,6	34,3	nn	18,9	nn
10,07	112,1	26,4	nn	19,9	nn
13,21	11,9	48,4	nn	nn	nn
16,22	19,2	42,4	nn	nn	nn



**Abb. 4.2: Zeitlicher Verlauf der KW-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] im Säuleneluat ohne polare Verbindungen**

#### 4.2.2 DOC-Gehalte

Der Verlauf der Konzentrationen an gelöstem organischen Kohlenstoff im Eluat ist in Tab. 4.4 und Abb. 4.3 dargestellt. Es zeigt sich ein starker Abfall der Konzentrationen vom 1. zum 2. Tag, danach bleiben die Werte mehr oder weniger konstant.

**Tab. 4.4: Gelöster organischer Kohlenstoffgehalt DOC [mg/L] im Säuleneulat bei fortschreitender Elution**

Zeit [d]	OL 1 1-2 m	OL 3 0-2 m	OL 5 0-2 m	BP-Tanklager A1 1-3 m	BP-Tanklager A1 4-6 m
0,04	16,91	29,55	25,26	161,68	6,70
1,01	2,87	4,44	5,04	4,35	2,15
2,04	2,66	2,88	4,14	3,21	1,57
4,06	2,21	2,21	3,13	2,80	1,78
7,00	2,11	2,08	2,62	2,51	1,33
9,94	1,79	1,91	2,41	2,98	1,44
13,07	1,78	1,74	2,17	2,12	1,46
16,07	1,84	1,77	1,95	4,22	1,48

#### 4.2.3 Trübe

Der Verlauf der Trübe während der Elution ist in Tab. 4.5 und Abb. 4.3 dargestellt. Die Trübe nimmt innerhalb der ersten 2 Tage um eine Größenordnung ab, danach nur noch wenig. Eine Ausnahme bildet die hochkontaminierte Probe BP Tanklager 1-2 m, bei der die Trübe bis zum Versuchsende um eine weitere Größenordnung zurück geht.

**Tab. 4.5. Trübe [FNU] bei fortschreitender Elution**

Zeit [d]	OL 1 1-2 m	OL 3 0-2 m	OL 5 0-2 m	BP-Tanklager A1 1-3 m	BP-Tanklager A1 4-6 m
0					
0,04	5,6	7,7	12,4	170,0	18,8
1,01	1,5	9,5	24,9	11,2	0,5
2,04	1,1	9,9	19,9	10,0	2,1
4,06	3,9	4,9	20,5	5,6	1,6
7,00	1,4	2,9	13,5	2,5	1,1
9,94	1,9	3,7	8,0	1,4	0,6
13,07	1,8	2,1	6,4	1,2	0,6
16,07	1,7	2,3	7,2	1,0	0,8

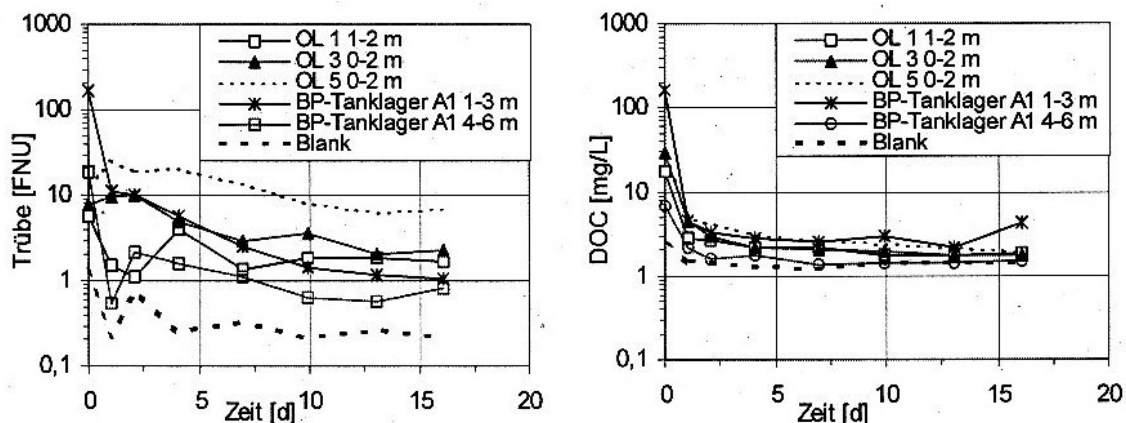


Abb. 4.3: Zeitlicher Verlauf der DOC-Konzentrationen [mg/L] und der Trübe-Werte [FNU]

#### 4.2.4 Wassergehalt

Der Wassergehalt wurde für die Berechnung der Menge Trockensubstanz, die in die Berechnung der KW-Konzentrationen eingeht, neu bestimmt. Diese Werte sind in Tab. 4.6 im Vergleich zu den vom TZW angegebenen Werten aufgelistet.

Tab.4.6: Neubestimmung des Wassergehalts [%] (bezogen auf die Feuchtmasse) des Bodens im Vergleich mit den Angaben vom TZW

Bodenbezeichnung	Wassergehalt [%] Säulenversuche	Wassergehalt [%] DEV S4 [TZW]
OL 1 1-2 m	10,8	10,6
OL 3 0-2 m	8,5	9,0
OL 5 0-2 m	14,8	13,5
BP-Tanklager A1 1-3 m	7,9	9,3
BP-Tanklager A1 4-6 m	14,1	16,5

### 4.3 Vergleich der Säulen- und DEV-S4-Versuche

#### 4.3.1 Kohlenwasserstoff-Konzentrationen

Der Vergleich der Ergebnisse aus den Säulen- und DEV S4-Versuchen sind in den Tab. 4.7/Tab. 4.8, sowie in den Abb. 4.6/Abb. 4.7 dargestellt. Die KW-Konzentrationen am 1. bzw. 2. Beprobungstag der Säulen sind mit denen nach der Filtration im DEV S4-Versuch gemessenen identisch oder liegen darunter. Im Gegensatz dazu liegen die KW-Konzentrationen des DEV S4-Versuchs nach verschiedenen Zentrifugationszeiten um den Faktor 2-100 über denen der Säulenversuche ( gilt vor und nach der Abtrennung der polaren Verbindungen).

In Abb. 4.4 und Abb. 4.5 ist die Korrelation der Werte aus den Säulen- und DEV S4-Versuchen für die Filtration und die Zentrifugation von 120 min dargestellt. Für die Filtration ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Konzentrationen, für die Zentrifugation ist keine Korrelation mit den Werten aus den Säulenversuchen festzustellen.

**Tab. 4.7: Vergleich der gemessenen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen [mg/L] im Säulen- und DEV S4-Versuch (ohne polare Verbindungen)**

		Säulenversuche				DEV S4			
		Tag der Probenahme				Zentrifugationszeit (8500 g) / Filtration (Gf 51+RC 55)			
		1.Tag	2. Tag	3. Tag	16. Tag	15 min	45 min	120 min	filtriert
ohne polare Verbindungen									
OL 1	1-2 m	0,344	0,356	0,500	0,019	4,9	5,1	4,95	0,32
OL 3	0-2 m	0,061	0,048	0,078	0,042	1,45	0,37	0,83	0,125
OL 5	0-2 m	0,087	0,085	0,026	nn	2,5	3,25	2,1	0,045
BP-Tanklager A1	1-3 m	0,218	0,070	0,042	nn	110,5	130	105	0,17
BP-Tanklager A1	4-6 m	0,018	0,041	nn	nn	4,2	1,3	2,95	nn

**Tab. 4.8: Vergleich der gemessenen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen [mg/E] mit den polaren Verbindungen im Säulen- und DEV S4-Versuch**

		Säulenversuche				DEV S4			
		Tag der Probenahme				Zentrifugationszeit (8500 g) / Filtration (Gf 51 + RC 55)			
		1.Tag	2. Tag	3. Tag	16. Tag	15 min	45 min	120 min	filtriert
mit polaren Verbindungen									
OL 1	1-2 m				0,040	5,9	5,35	5,55	0,535
OL 3	0-2 m	0,423	0,204	0,150	nn	2,2	0,805	1,305	0,295
OL 5	0-2 m	0,158	0,215	0,094	0,013	3,15	4,1	3,9	0,205
BP-Tanklager A1	1-3 m	1,636	0,269	0,137	nn	115	141,5	109,5	0,62
BP-Tanklager A1	4-6 m	0,226	0,136	0,032	nn	4,5	1,4	3,2	0,28

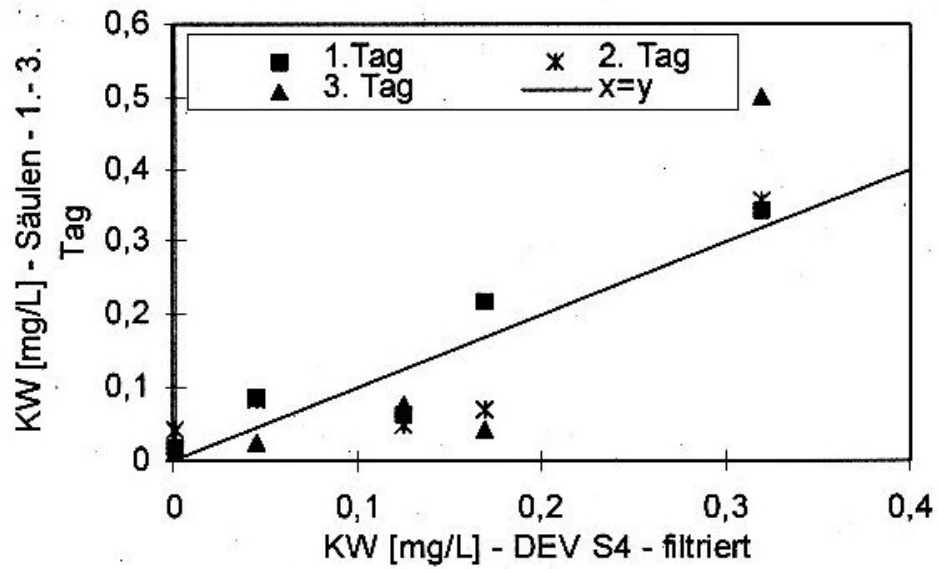


Abb. 4.4: Korrelation der KW-Konzentrationen [mg/L] in den ersten 3 Tagen im Säulenversuch mit den Filtrationswerten (Gf51 + RC 55) des DEV S4-Versuchs

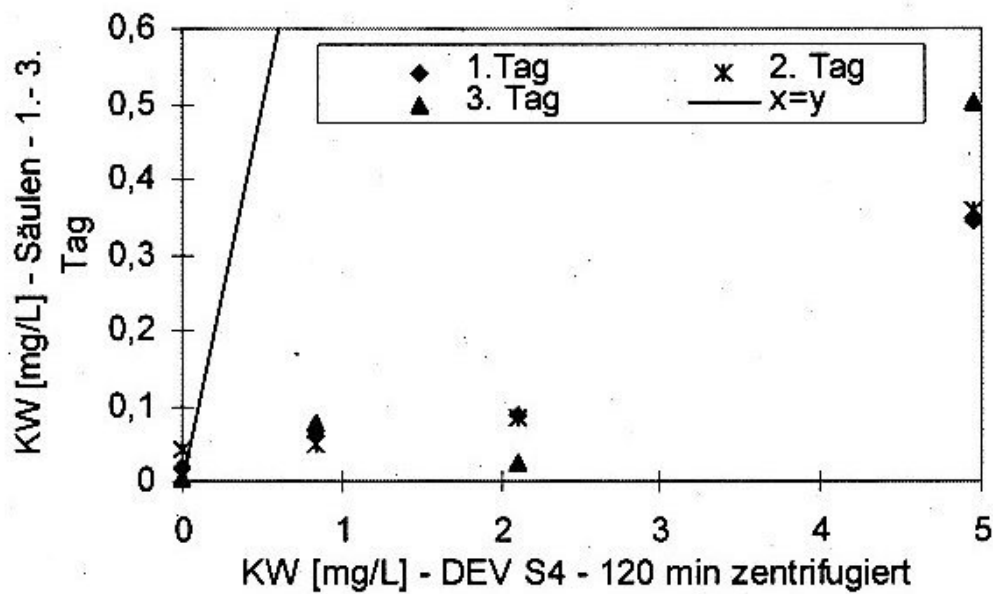


Abb. 4.5: Vergleich der KW-Konzentrationen [mg/L] der ersten 3 Tage im Säulenversuch und im DEV S4-Versuch nach 120 min. Zentrifugation (8500 g).

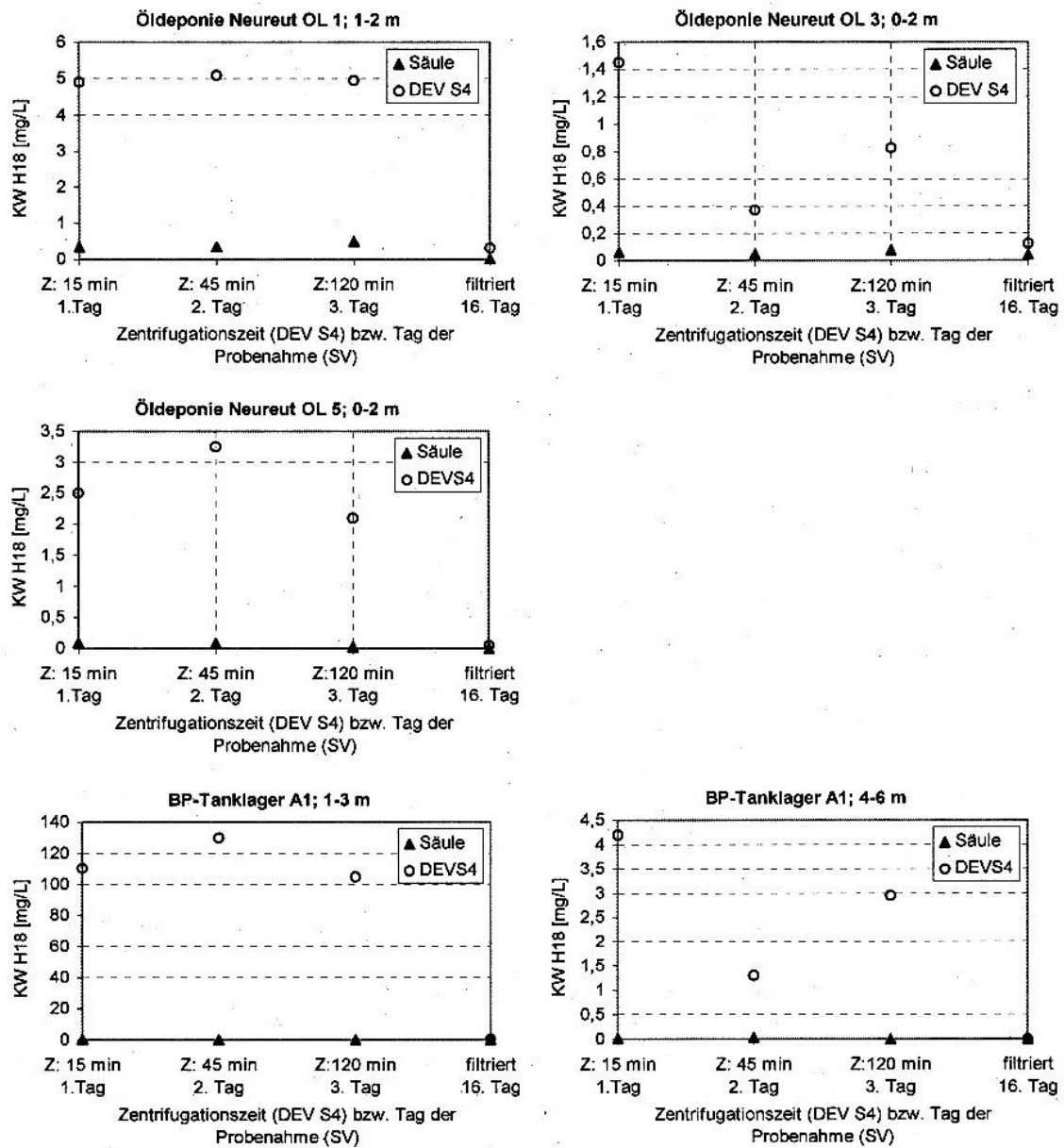


Abb. 4.6: KW-Konzentrationen [mg/L] (ohne polare Verbindungen) im Säuleneluat an verschiedenen Beprobungstagen im Vergleich zu KW-Konzentrationen bei unterschiedlicher Zentrifugationsdauer (8500 g) und Filtration (Gf51+ RC 55) im DEV S4-Versuch

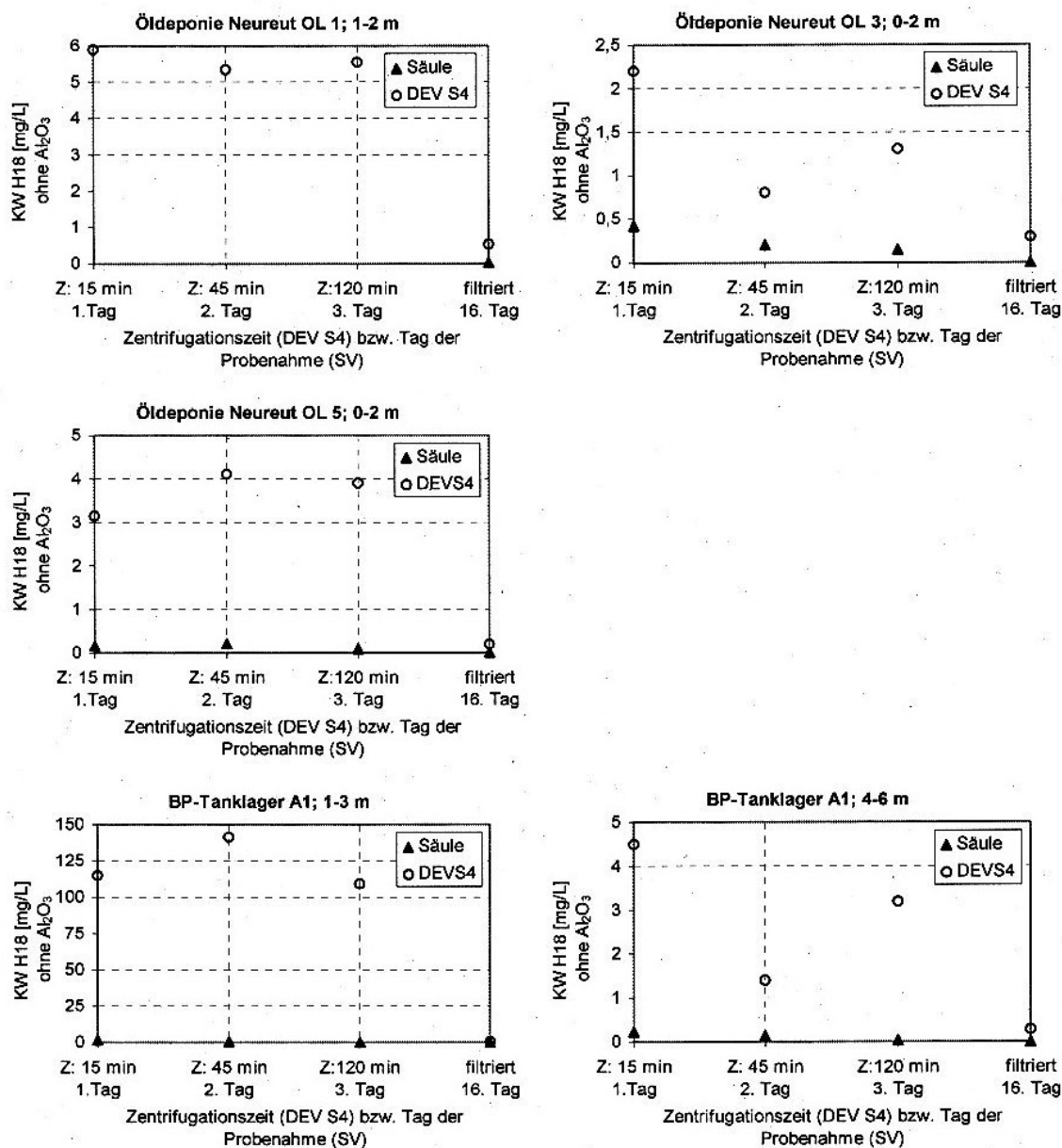


Abb. 4.7: KW-Konzentrationen [mg/L] (mit polaren Verbindungen) im Säuleneluat an verschiedenen Beprobungstagen im Vergleich zu KW-Konzentrationen bei unterschiedlicher Zentrifugationsdauer (8500 g) und Filtration (Gf51+ RC 55) im DEV S4-Versuch

1

### 4.3.2 DOC

Die im Säulenversuch gemessenen DOC-Werte liegen am 1. Tag deutlich höher als im DEV S4-Versuch, danach liegen die Werte um den Faktor 2-5 darunter.

**Tab. 4.9: Vergleich der gemessenen DOC-Werte [mg/L] im Säulen- und DEV S4-Versuch**

	DOC [mg/L] Säulenversuche				DOC [mg/L] DEV S4 - Versuch			
	Tag der Probenahme				Zentrifugationszeit (8500 g) / Filtration (Gf 51 + RC 55)			
	1.Tag	2. Tag	3. Tag	16. Tag	15 min	45 min	120 min	filtriert
OL 1 1-2 m	16,9	2,9	2,7	1,8	4,8	4,65	5,1	5
OL 3 0-2 m	29,5	4,4	2,9	1,8	7,5	8,3	9	8,35
OL 5 0-2 m	25,3	5,0	4,1	2,0	10	11,2	10,35	10,35
BP-Tanklager A1 1-3 m	161,7	4,4	3,2	4,2	7,7	8,75	7,75	9
BP-Tanklager A1 4-6 m	6,7	2,2	1,6	1,5	2,9	2,9	2,9	4,7

### 4.3.3 Trübe

Verglichen mit den Werten aus den DEV S4-Versuchen ist die Trübe im Säuleneluat meist kleiner als nach Zentrifugation und Filtration. In Tab. 4.10 sind die Trübewerte im Vergleich dargestellt

**Tab. 4.10: Vergleich der gemessenen Trübewerte [FNU] im Säulen- und DEV S4- Versuch**

	Trübe [FNU] Säulenversuche				Trübe [FNU] DEV S4 - Versuch			
	Tag der Probenahme				Zentrifugationszeit (8500 g)/ Filtration (Gf 51 + RC 55)			
	1.Tag	2. Tag	3. Tag	16. Tag	15 min	45 min	120 min	filtriert
OL 1 1-2 m	5,58	1,54	1,09	1,7	38,8	9,7	5,7	1,03
OL 3 0-2 m	7,72	9,48	9,94	2,29	32,5	14,85	2,85	1,105
OL 5 0-2 m	12,4	24,9	19,9	7,17	44,6	13,1	6,35	1,23
BP-Tanklager A1 1-3 m	170	11,2	9,96	1,03	95,35	89,85	57,3	1,26
BP-Tanklager A1 4-6 m	18,8	0,545	2,12	0,83	70,5	17,45	9,2	0,98



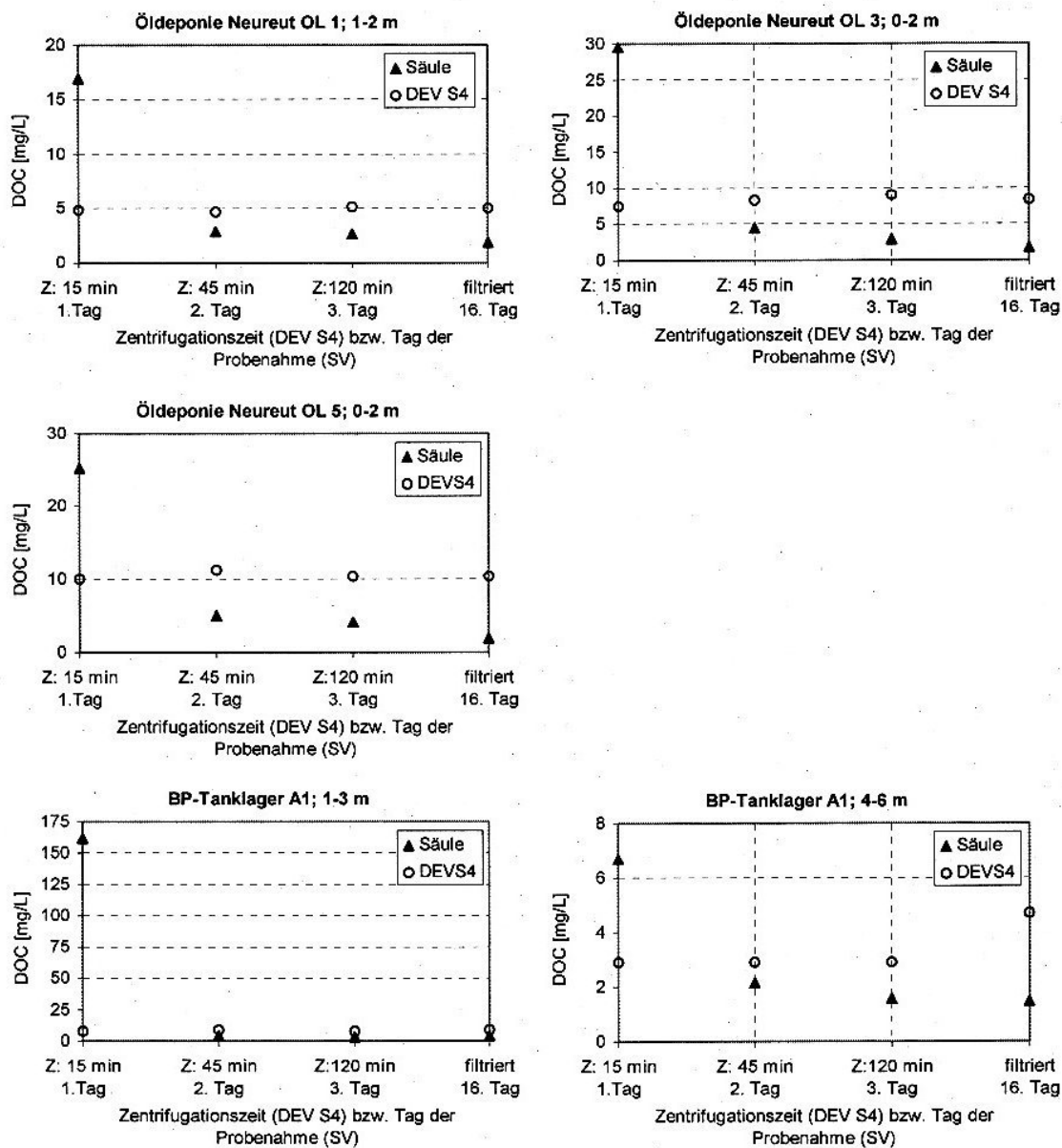


Abb. 4.8: DOC-Konzentrationen [mg/L] im Säuleneluat an verschiedenen Beprobungstagen im Vergleich zu DOC-Konzentrationen bei unterschiedlicher Zentrifugationsdauer (8500 g) und Filtration (Gf51+ RC 55) im DEV S4-Versuch

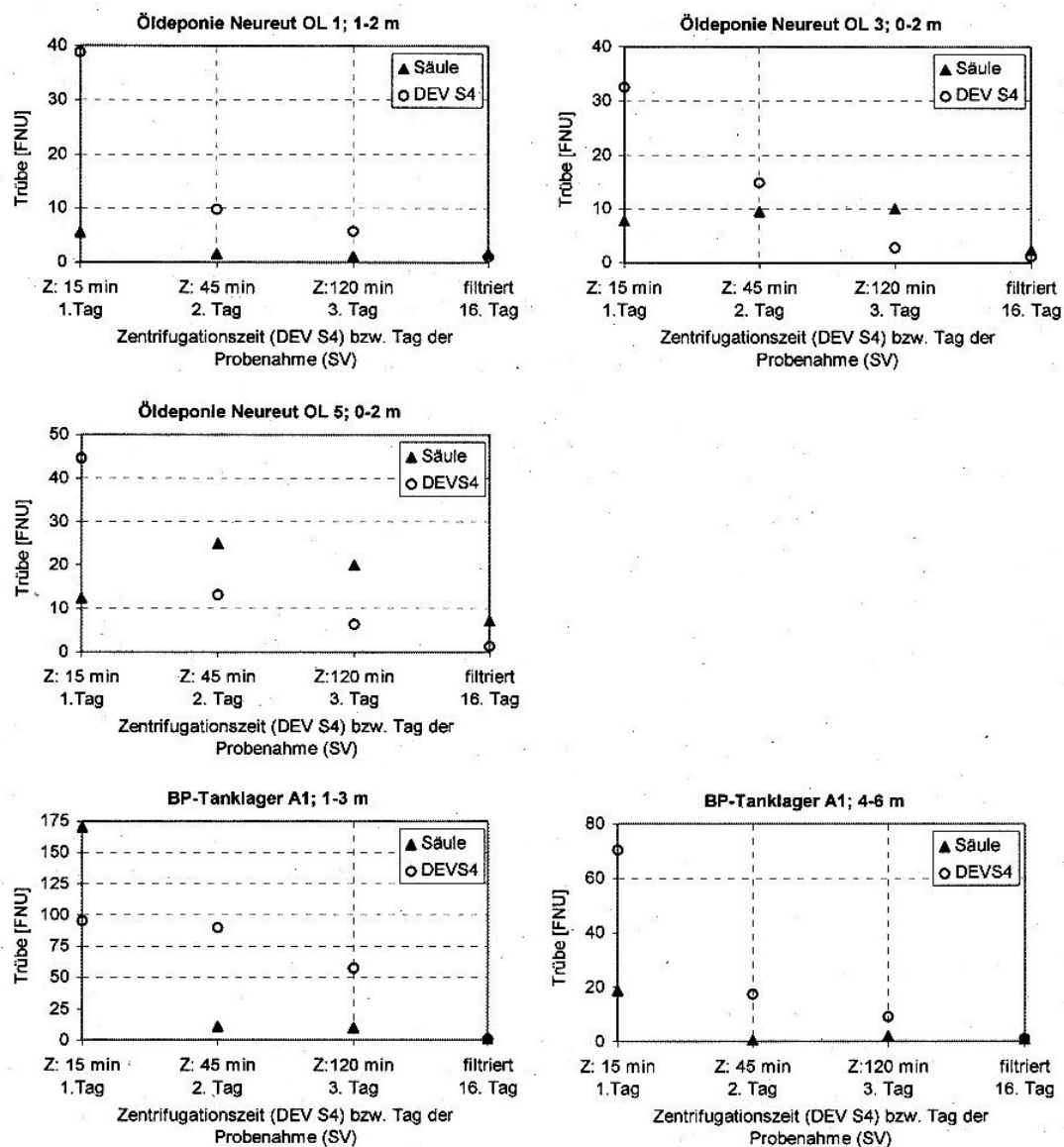


Abb. 4.9: Trübe [FNU] im Säuleneluat an verschiedenen Beprobungstagen im Vergleich zur Trübe bei unterschiedlicher Zentrifugationsdauer (8500 g) und Filtration (Gf51 + RC 55) im DEV S4-Versuch

## 5. Zusammenfassung

Die Freisetzung von Kohlenwasserstoffen aus kontaminierten Böden (Elution - "Leaching") wurde in Säulenexperimenten untersucht und mit Ergebnissen aus Untersuchungen des TZW und DEV S4-Versuchs verglichen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die KW-Konzentrationen im Säuleneluat sind am 1. Tag bedingt durch die Störung des Korngefüges während des Materialeinbaus in die Säule relativ hoch, gehen dann aber stark, z.T. unter den Trinkwassergrenzwert zurück.
2. Die KW-Konzentrationen (mit und ohne polare Verbindungen) aus den Säulenversuchen liegen immer unter den im DEV S4-Versuch nach der Zentrifugation gemessenen Werten. Die KW-Konzentrationen aus den Säulenversuchen korrelieren dagegen relativ gut mit den nach Filtration der DEV S4-Eluate bestimmten Konzentrationen.
3. Die DOC-Konzentrationen in den Säulenversuchen sind am 1.Tag hoch, gehen innerhalb des 2. und 3. Tages auf einen mehr oder weniger konstanten Wert zurück. Im Vergleich mit den DOC-Werten aus dem DEV S4-Versuch liegen nur die DOC-Konzentrationen im Säuleneluat des 1. Tages deutlich höher, ab dem 2. Tag niedriger.
4. Die Trübe ist ebenfalls während des ersten Tages im Säulenversuch hoch, geht aber schon am 2. Tag um über eine Größenordnung und im weiteren Elutionsverlauf noch weiter zurück. Die Trübe liegt mit wenigen Ausnahmen weit unter den Werten der zentrifugierten DEV S4-Eluate und erreicht im Versuchsverlauf in etwa den Bereich des filtrierten DEV S4-Eluats.