

## **KIESELROT AUF SPORT- UND FREITZEITFLÄCHEN IN FRANKFURT/M - UNTERSUCHUNGEN ZUM SANIERUNGSERFORDERNIS UND -VERLAUF**

U. Heudorf\*, M. Peters\*, K. Herklotz\*\*, T. Birkenfeld\*\*\*

\* Gesundheitsamt der Stadt Frankfurt am Main

\*\* Tauber- Herklotz- Consult, Wiesbaden

\*\*\* Institut Fresenius, Ingelheim

### **Zusammenfassung und Schlußfolgerungen:**

Nachdem 1991 die hohe PCDD/PCDF-Belastung von Kieselrot (maximal etwa 200 000 ng I-TEF/kg) auf Sport- und Spielflächen in Bremen bekannt wurde, wurden alle Länder und Gemeinden aufgefordert, Verdachtsflächen zu untersuchen und zu sanieren. Im Folgenden werden die Sanierungsvorbereitenden Tiefen- und Umgebungsuntersuchungen kieselrothaltiger Flächen in Frankfurt am Main sowie die Sanierungsabschlußkontrollen dargestellt.

- Bei 21 Anlagen wurde Kieselrot an der Oberfläche, bei weiteren fünf Anlagen unter einer Deckschicht aus anderen Materialien festgestellt. Der Schichtaufbau der einzelnen Flächen war extrem unterschiedlich. Deswegen kann die erforderliche Sanierungstiefe nur bezogen auf den Einzelfall entsprechend der Analysen-Ergebnisse festgelegt werden. Auffallend war bei allen Plätzen jedoch die sehr scharfe Abgrenzung der kieselrotführenden zu den angrenzenden darüber- und darunterliegenden Schichten.

- Bei mehr als einem Drittel der Fälle lag die PCDD/PCDF-Kontamination der Umgebungsflächen über dem Grenzwert von 1000 ng I-TEF/kg. Deshalb sollten die Umgebungsflächen mituntersucht und kontaminierte Flächen in die Sanierungsplanung miteinbezogen werden.

- Bei mehreren Sanierungs-Abschlußuntersuchungen wurden Grenzwertüberschreitungen auf den Umgebungsflächen festgestellt, die eine Nachsanierung notwendig machten. Diese Erfahrungen unterstreichen die Notwendigkeit, Sanierungsabschluß-Kontrolluntersuchungen auf PCDD/PCDF-Kontaminationen durchzuführen.

### **Einleitung:**

Im April 1991 informierte die Stadt Bremen über extrem hohe PCDD/PCDF-Blastungen auf Bremer Sportanlagen, verursacht durch "Kieselrot", ein wegen seiner günstigen Materialeigenschaften früher sehr geschätzter Belag für Sportflächen. Dieses war in den Jahren 1938-45 in den damaligen Hermann-Göring-Werken in Marsberg angefallen, wo unter Kriegsbedingungen Kupfererz mit dem sogenannten Röstlaugeverfahren aus dem Gestein gewonnen wurde. Dabei wurde das vor Ort gewonnene und zerkleinerte Erz (kieselsäurereicher Kulmschiefer mit ca. 1-2 % Kupfer und ca. 5-6 %

organischem Kohlenstoff) nach Zusatz von Salz (8 % NaCl) unter Anwesenheit von Sauerstoff in einem Temperaturbereich zwischen 450 und 500 °C in Etageröstöfen abgeröstet. Aufgrund der Zusammensetzung des Erzes und der o.a. Temperaturführung herrschten ideale Bedingungen für die PCDD-/PCDF-Bildung. Anschließend wurde das Röstgut zwecks Auswaschung von Metallchloriden einem Laugungsverfahren unterzogen. Diese Laugungsrückstände wurden in Marsberg zunächst auf Halde gelagert und nach dem Krieg bis etwa 1978 von der Firma Möllemann als Belag für Sport- und Spielflächen unter dem Begriff "Kieselrot" vertrieben. Nach Schätzungen der Behörden und der Firma wurde ein Großteil der etwa 800.000 Tonnen dieses Materials auf Sportflächen in der Bundesrepublik (alt) aufgebracht.

Nach den PCDD/PCDF-Funden auf Bremer Sportplätzen wurden alle Bundesländer und Gemeinden aufgefordert, Verdachtsflächen zu überprüfen sowie mit Kieselrot belastete Flächen abzusperren und zu sanieren. Empfehlungen zum Umgang mit diesen Flächen wurden von der Bund-Länder Arbeitsgruppe Dioxine erstellt (1) und für die einzelnen Bundesländer in Erlassen geregelt (zB: 2).

In Frankfurt am Main wurden alle 192 Sport-, Spiel- und Freizeitflächen, bei denen nach Aktenlage eine mögliche Verwendung von Kieselrot nicht sicher ausgeschlossen werden konnte, innerhalb weniger Wochen vor Ort überprüft. Kieselrotverdächtige Flächen wurden sofort gesperrt und untersucht. Auf insgesamt 26 Flächen wurde Kieselrot gefunden. Die Ergebnisse der sanierungsvorbereitenden Untersuchungen sowie der Abschlußuntersuchungen nach Sanierung der Flächen sollen im folgenden geschildert werden.

#### **Material und Methode:**

Sanierungsvorbereitende Tiefenbeprobung: Der Schichtaufbau der Kieselrot-enthaltenden Flächen wurde an bis zu zehn Stellen je Fläche untersucht und das Schichtenprofil dokumentiert. Mischproben der einzelnen Schichten aus den verschiedenen Probenahmepunkten wurden entnommen.

Sanierungsvorbereitende Umgebungsbeprobung: In der Umgebung der Kieselrotflächen wurden Rasenflächen sowie Bodenflächen ohne Bewuchs oder mit Baum-, bzw. Buschbestand beprobt. Ausgehend von der kieselrotbelasteten Sportfläche erstreckte sich der Probenahmebereich für die Umgebungsuntersuchung soweit möglich auf eine Zone von 0 - 5 m, bei entsprechendem Befund wurde dieser um einen zweiten, 5-10 m weiten Bereich ergänzt. Im Durchschnitt wurden acht Einzelproben innerhalb einer Fläche von 100 m<sup>2</sup> entnommen. Die Bodenproben wurden in einem Tiefenbereich von 0-3 cm entnommen, die Grasnarbenproben auf 0-2 cm.

Sanierungsabschlußbeobachtung: Nach Abtrag der erforderlichen Schichtdicke wurden je sanierter Kieselrot-Fläche mehrere Einzelproben aus den Umgebungsflächen entnommen und vor Ort zu flächenspezifischen Mischproben (ca 10 kg) vereinigt. Aus jeder Mischprobe wurde nach dem Homogenisieren die eigentliche Analysenprobe gezogen (ca. 1 kg).

Laboranalytik: Die Mischproben der optisch "kieselrotverdächtigen" Schichten, der Grasnarbenproben der sanierungsvorbereitenden Umgebungsuntersuchungen sowie der Sanierungsabschlußbeobachtungen, wurden mit hochauflösender Gaschromatographie/Massenspektrometrie auf PCDD/PCDF untersucht (VG-Autospec und Finnigan MAT) (3).

Für die sanierungsvorbereitende Analyse der Umgebungs-Bodenproben wurde aus Kostengründen Screening-Verfahren entwickelt, das bei guter Genauigkeit etwa ein Drittel der Kosten für die Vollanalyse verursacht (4). Der Methoden-Vergleich des Screening-Verfahrens mit der hochauflösenden Massenspektrometrie ist in Tabelle 1 dargestellt.

Grundgedanke für diese Screeninganalyse war die Feststellung, daß im Laugungsrückstand Kieselrot durchschnittlich 30% der Gesamt-Toxizitätsäquivalente auf folgende Kongeneren entfallen: 1,2,3,4,6,7,8,-HpCDD, Summe-HpCDD, OCDD, 1,2,3,4,6,7,8,-HpCDF, 1,2,3,4,7,8,9,-HpCDF, Summe-HpCDF und OCDF. Aus dem Hepta-/Octa-TE-Anteil kann durch Multiplikation mit dem Faktor 3.5 der Gesamt-I-TEF-Anteil mit ausreichender Genauigkeit errechnet werden kann (4).

Tabelle 1

<b>Verfahrensschritte der Screening- und der Vollanalyse (nach 4)</b>		
	<b>Vollanalyse</b>	<b>Screeningtest</b>
<b>Probenvorbehandlung:</b>		
- gefriertrocknen, homogenisieren	+	+
- Zugabe von <sup>13</sup> C-markierten Standards	+	+
<b>Extraktion:</b>		
- Toluol/Methoxyethanol/HCL unter Rückfluß	+	+
- Zeitdauer der Extraktion	4 h	0,5 h
<b>Clean-up-Verfahren</b>		
	Kieselgel/saures Kieselgel	
	Florisol	-
	Aluminiumoxyd	-
Einengen und Aufnahme in 50 µl Tetradecan mit Injektionsstandard	+	+
<b>Meßtechnische Realisierung:</b>		
Tetra-bis Hexa-CDD/F	HRGC/HRMS	HRGC/HRMS
	+	-
Hepta- und Octa-CDD/F	+	+

### **Ergebnisse und Diskussion:**

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Tiefenbeprobungen zusammengefaßt. Die Flächen 1-10 befinden sich im Bereich von Schulen, bei den Flächen 11-15 handelt es sich um Bolzplätze, und die Flächen 16-26 betreffen Sportanlagen mit oft mehreren Teilflächenchen. Bei 21 Anlagen wurde Kieselrot an der Oberfläche, bei weiteren fünf Flächen unter einer Deckschicht aus anderen Materialien, z.B. Kies, festgestellt. Die Schichtbeprobungen zeigten individuell sehr stark abweichende Ergebnisse, die einzelnen Schichten waren an verschiedenen Stellen eines Platzes durchaus sehr unterschiedlich hoch. Die Schichten, bei denen optisch der Verdacht auf eine Kieselrotuntermischung nicht ausgeschlossen werden konnte, wurden auf PCDD/PCDF analysiert.

Ein von Fläche zu Fläche vergleichbarer Schichtaufbau konnte nicht festgestellt werden. Auf einigen Plätzen (Plätze 4,7,8,10) fand sich unter dem Kieselrot nach einer nahezu dioxinfreien Schicht nochmals tieferliegend eine kieselrothaltige Schicht. Hieraus ergibt sich, daß der Schichtaufbau jeder Fläche individuell untersucht werden muß und die Sanierungstiefe erst nach eingehender Untersuchung jedes Einzelplatzes festgelegt werden kann.

Andere Autoren stellten bei 18 Anlagen eine negative Korrelation zwischen der Dioxinbelastung und der Schichttiefe fest (5). Dies ist wegen des individuell extrem unterschiedlichen Schichtaufbaus der Plätze für die Sanierungsplanung nicht ausreichend und ersetzt nicht die Untersuchung des Schichtenprofils mit Analyse kieselrotverdächtiger Schichten.

Auffallend war bei allen von uns untersuchten Plätzen die sehr scharfe Abgrenzung der kieselrotführenden zu den angrenzenden darüber- und darunterliegenden Schichten. Da dies alles mindestens 20 Jahre alte Plätze betraf, läßt dies darauf schließen, daß die Dioxine im Kieselrot fest gebunden vorliegen und eine wesentliche Tiefenverfrachtung des Materials z.B. durch Regen auch über die lange Zeit nicht stattgefunden hat. Im Umkehrschluß läßt sich hieraus keine erhebliche Gefährdung des Grundwassers durch Kieselrotflächen ableiten.

Nach diesen Untersuchungen wurde die Austauschtiefe für die Sanierung festgelegt - gemäß Erlaß der Hessischen Ministerien (2). Entsprechend den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine (1) waren folgende nutzungsabhängige Richtwerte vorgegeben worden, bei deren erheblicher Überschreitung (> 25%) eine Sanierung durchzuführen ist: für Kinderspielplätze ab 100 ng I-TEq/kg mT; für Wohngebiete, einschließlich öffentlicher und privater Grünflächen, Parkanlagen, Sportplätze, sowie Wege in diesen Gebieten ab 1000 ng I-TEq/kg mT. Bei Kinderspielplätzen ist der empfohlene Richtwert bis zu einer Tiefe von 30 cm, bei Sportflächen bis zur "dynamischen Schicht" einzuhalten, d.h. in der Regel bis zu ca. 10 cm Tiefe.

Tabelle 2

## Sanierungsuntersuchungen an kieselrotbelasteten Flächen an Schulen/Kitas, Bolzplätzen und Sportanlagen

Ort	Schicht 1		Schicht 2		Schicht 3		Schicht 4		cm
	cm (Bereiche)	ng I-TEF/kg	cm (Bereiche)	ng I-TEF/kg	cm (Bereiche)	ng I-TEF/kg	cm (Bereiche)	ng I-TEF/kg	
1	0-(2-4)	52 631	(2-4)-(3-7)	524	(3-7)-(12-22)	229	(>12-22)	28	25
2	0-(2-4)	59 251	(2-4)-(6-8)	199	(6-8)-(>25)	6			10
3	0-(2-3)	50 931	(2-3)-(3-4)	n.b.	(3-4)-(10-12)	141	(10-12)-(19-25)	n.b.	6 (+F)
4	0-(2.5)	57 155	(2.5)-(3.5)	n.b.	(3.5)-(12)	2 394	(5-12)-(18->24)	100	15
5	0-(3.5-6.5)	71 818	(3.5-6.5)-(15.5)	59	(15.5)-(>23)	n.b.			10
6	0-(1.5)	37 203	(1.5)-(3-4)	67 929	(3-4)-(4-7)	480	(4-7)-(10-20)	88	10
7	0-(2-4)	66	(2-4)-(5-13)	22 047	(ca.8)-(13-15)	795	(5-13)-(>10->23)	8 020	25
8	0-(2-4)	n.b.	(2-4)-(7-11)	9 951	Sch. 6: 9-35!!	15 277	Sch. 7: > 35 cm	636	38
9	0-(4-8)	5 490	(4-8)-(7-15)	45	(7-15)-(26-43)	n.b.	(26-43)->50	n.b.	10
10	0-(3.5-7)	84 451	(3.5-7)-(15-35)	32	(15-35)-(30->45)	1 007			10(+F)
11	0-(3-4)	73 833	(3-4)-(4-5)	n.b.	(4-5)-(13-20)	80	(13-20)-(18-27)	n.b.	
12	0-(1-8)	50 295	(1)-(10)	79	(8-10)-(14-30)	85	(ca.14)-(>>28)	n.b.	12
13	0-(2-4)	90 874	(2-4)-(4-11)	?	(4-11)-(12-14)	1 179	Sch. 5: (26-35)	165	12
14	0-(3-5)	105 090	(3-5)-(6-11)	476	(6-11)-(11-19)	50	>11->19	n.b.	8
15	0-(2-3.5)	9 166	(2-3.5)-(3.5-7)	53 754	(3.5-7)-(8-13)	244	(8-13)-(20->25)	62	9
16	0-(2-4)	51 521	(2-4)-(5-8.5)	940	(5-8.5)-(9-16)	940	(9-16)-(15->29)	n.b.	7
17	0-(1)	15 642	1-4	37 868	(3-4)-(7-8)	103	(3.5)-(10-19)	103	8
18	0-(2-3)	54 314	(2-3)-(3-4)	7 998	(4.5-5)-(10-13)	1 052	(10-13)-(16-20)	16	13
19	0-(2-5.5)	40 433	(2-5.5)-(4-11)	n.b.	(4-11)-(10-17)	89	(10-17)-(17-24)	n.b.	9
20	0-(1-7)max.	146 439	(3.5-7)-10	n.b.	(1-10)-(12-20)	28	(12-20)-(20-28)	n.b.	10
21	1-3	48 759	1-(18-23)	n.b.	(18-23)-(20-24)	n.b.	(20-24)-(25-30)	11	12
22	0-2	n.b.	2-9	18 432				>10	
23	0-2	n.b.	(2-3)-(4-6)	1 188	(4-6)-(28-29)	482	(28-29)-> 40	n.b.	7
24	0-(1-2)	1 068	2-5	n.b.	5-10	53			5
25	0-2.5	20 369	2.5-10	1 566					10
26	0-4	n.b.	4-10	48 246					8

Die Gesundheitsämter haben laut Erlaß (2) darauf zu achten, daß in dem Sanierungsplan die Belange des gesundheitlichen Umweltschutzes berücksichtigt werden; ausdrücklich erwähnt wurden hier u.a. Fragen der Verwehungen und Verschleppungen des kontaminierten Materials. Vor diesem Hintergrund forderte das Gesundheitsamt der Stadt Frankfurt Umgebungsuntersuchungen - vor der Sanierung zur Festlegung des Sanierungsbedarfs und nach der Sanierung zur Erfolgskontrolle.

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Umgebungsuntersuchungen vor der Sanierung. Für jede Anlage ist hierbei die Höhe der PCDD/PCDF-Kontamination der Kieselrotfläche sowie der höchste und der niedrigste Wert in der Umgebung der Anlage angegeben. Die Untersuchungen der Umgebungsflächen waren veranlaßt worden, da von einem Austrag von Kieselrot in die Umgebung ausgegangen werden mußte. Dabei wurde zunächst an einen Windaustrag oder auch an einen mechanischen Austrag von Kieselrot, z. B. an den Schuhsohlen, gedacht. Die Befunde zeigten jedoch noch andere mögliche Belastungswege auf, nämlich die Kontamination während der Anlage der Areale oder bei Umbauarbeiten. Dies wurde aus der - zunächst unerklärlich - hohen Umgebungsbelastung von Plätzen geschlossen, wo das Kieselrot-Material selbst jeweils unter einer mehrere Zentimeter dicken und kompakten Schicht aus anderen Materialien lag (z.B. Platz 8).

Bei 20 von insgesamt 52 Proben (38%) lag die Umgebungs-kontamination über 1000 ng I-TEF/kg, dem Richtwert für Wohngebiete. Dies bestätigt die Notwendigkeit, die Umgebungsflächen zu untersuchen. Unter Zugrundelegung dieses Richtwerts ergab sich für die Umgebungsflächen von zehn Anlagen ein Sanierungsbedarf. Die Sanierungstiefe wurde mit 5 cm festgelegt.

Die Umgebungsbelastung der Kieselrotflächen war bei den einzelnen Flächen sehr unterschiedlich und konnte in keinem Fall aus der Belastung der Kieselrotfläche abgeschätzt oder vorhergesagt werden. Sie lag zwischen 5 und 20680 ng I-TEF/kg. Ebenso wenig wurde ein Zusammenhang zwischen der Umgebungsbelastung und der Bodenbeschaffenheit, z.B. Rasen, lockeres Erdreich etc. festgestellt. Die Kontamination der Umgebungsflächen schien vielmehr von den topographischen Gegebenheiten der Kieselrotflächen und deren Nutzung beeinflußt zu werden (zu Beispielen mit Lageskizzen s. 4).

Tabelle 3

Umgebungsbelastung der Kieselrotflächen in Frankfurt

Ort	Kieselrotfläche		Umgebung (min.-max.)	
	cm (Bereiche)	ng I-TEF/kg	ng /-TEF/kg	ng I-TEF/kg
1	0-(2-4)	52 631		1 157
2	0-(2-4)	59 251	10 -	912
3	0-(2-3)	50 931		1 484
4	0-(2.5)	57 155	481 -	20 680
5	0-(3.5-6.5)	71 818	11 -	118
6	0-(1.5)	37 203		4 892
7	(2-4)-(5-13)	22 047	186 -	355
8	(2-4)-(7-11)	9 951		1 134
9	0-(4-8)	5 490	5 -	454
10	0-(3.5-7)	84 451	8 -	51
11	0-(3-4)	73 833		n.u.
12	0-(1-8)	50 295		357
13	0-(2-4)	90 874	68 -	1 396
14	0-(3-5)	105 090		736
15	0-(2-3.5)	9 166		299
16	0-(2-4)	51 521		236
17	0-(1)	15 642	753 -	977
18	0-(2-3)	54 314	119 -	2 617
19	0-(2-5.5)	40 433	312# -	1 690#
20	0-(1-7)	146 439	193# -	3 474#
21	1-3	48 759		767
22	2-9	18 432	7# -	94
23	(2-3)-(4-6)	1 188	13# -	13#
24	0-(1-2)	1 068	30 -	44
25	0-2.5	20 369	24# -	125
26	4-10	48 246		270

# Ergebnisse der Screening-Methode; die I-TEF-Werte errechnen sich durch Multiplikation mit dem Faktor 3.5

Der Erfolg der Sanierung der Kieselrotflächen wurde anhand der Ausbautiefe und durch optische Kontrolle überprüft. Unter dem Aspekt der gesundheitlichen Vorsorge konnte auf eine Probennahme und Dioxinanalyse aus der sanierten Fläche verzichtet werden, da ein unmittelbarer Kontakt der Nutzer zu den sanierten Flächen ausgeschlossen ist, weil diese wieder aufgebaut werden. Die Umgebungsflächen wurden jedoch nachbeprobzt und die Mischproben auf PCDD/F analysiert. Dies geschah zu einen, um den Erfolg der Umgebungssanierung zu kontrollieren, insbesondere wenn die sanierte Fläche weiterhin direkt den Nutzern zugänglich bleibt. Zum anderen sollte auch bei den nicht sanierungspflichtigen Umgebungsflächen ein Austrag und eine Kontamination dieser Umgebungsflächen während der Sanierung kontrolliert und ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der Sanierungsabschlußkontrollen der bislang in Frankfurt sanierten Flächen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Bei den Flächen 1 und 2 konnte ein guter Sanierungserfolg auch der Umgebungsflächen bestätigt werden, bei Fläche 26 zeigte die Abschlußkontrolle, daß während der Sanierung kein wesentlicher Kieselrotaustrag in die Umgebung stattgefunden hat. Die überhöhten Umgebungskontaminationen der Flächen 3, 4, 6, 7, 8 nach Sanierung unterstrichen die Notwendigkeit der Nachkontrollen. Bei Fläche 4 war der Sanierungserfolg ungenügend; da jedoch bei Erhalt des Ergebnisses die Umgebungsfläche bereits mit 10 cm neuer Erde wieder aufgeschüttet war und kein unmittelbarer Kontakt gegeben war, wurde von einer Nachsanierung abgesehen. Bei den übrigen Flächen wurde eine Nachsanierung mit Kontrolle gefordert (die Ergebnisse stehen derzeit noch aus und können deswegen hier noch nicht mitgeteilt werden).

Die Sanierung der Kieselrot-Flächen ist keine Maßnahme der Gefahrenabwehr sondern der gesundheitlichen Vorsorge (6). Erste Risikoabschätzungen ließen zwar ein nicht unerhebliches Krebsrisiko für die Nutzer solcher Flächen annehmen (7), Laboruntersuchungen ergaben jedoch nur eine extrem geringe Bioverfügbarkeit der PCDD/F aus Kieselrot (8). Ein Biomonitoring von Sportlern und Platzwarten, die sich teilweise mehrere Tausend Stunden auf den Kieselrotflächen aufgehalten hatten, erbrachte keine über der altersabhängigen Hintergrundbelastung (9) liegende PCDD/PCDF-Belastung im Blut (10). Bei einem Teil der untersuchten Kinder jedoch waren leicht erhöhte TE-Werte und ein auf eine Kieselrotbelastung hinweisendes Kongenerenmuster nachweisbar. Eine Gesundheitsgefährdung konnte aus diesen Werten nicht abgeleitet werden (10). Insofern wurden durch diese Untersuchung frühere Risikoabschätzungen unterstützt (11), die keine akute Gesundheitsgefahr für die Bevölkerung durch Kieselrot angenommen hatten.



Tabelle 4

**Kontrolluntersuchungen nach Sanierung kieselrobelasteter Flächen in Frankfurt am Main**

	vor Sanierung ng I-TEF/kg	nach Sanierung ng I-TEF/kg
Fläche 1		
Sportfläche (Oberfläche)	52 631	
Umgebung	1 157	396
Fläche 2		
Sportfläche (Oberfläche)	59 251	
Umgebung	10 - 912	198
Fläche 3		
Sportfläche (Oberfläche)	50 931	
Umgebung	1 484	4 008
Fläche 4		
Sportfläche (Oberfläche)	57 155	
Umgebung	481- 20 680	1 853
Fläche 6		
Sportfläche (Oberfläche)	37 203	
Umgebung	4 892	4 200
Fläche 7		
Sportfläche (2-13 cm Tiefe)	22 047	
Umgebung	186 - 355	1 980
Fläche 8		
Sportfläche (2-11 cm Tiefe)	9 951	
Umgebung	1 134	1 943
Fläche 26		
Sportfläche (4-10cm Tiefe)	48 246	
Umgebung	270	310

**Literatur:**

1. Bundesumweltminister: Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE. Rechtsnormen, Richtwerte, Handlungsempfehlungen, Meßprogramme, Meßwerte und Forschungsprogramme. Information des Bundesumweltministers 1992.

2. Gemeinsamer Erlaß des Hessischen Ministeriums für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz und anderer Hessischer Ministerien. "Dioxinkontamination durch Kieselrot". Staatsanzeiger für das Land Hessen (1991) 47: 2604-2613.

3. Kloepter RD, Greenall RL, Viswanathan TS, Kirchmer CJ, Gier A, Muse J: Determination of Polychlorinated Dibenzo-Dioxins and Dibenzo-Furans in Environmental Samples Using High Resolution Mass Spectrometry. *Chemosphere* (1989) 18: 109-118.

4. Kalker U, Peters M, Herklotz K, Cordt T, Ehmann J: Dioxin/Furan-Kontamination in der Umgebung kieselrotbelasteter Sport- und Freizeittflächen in Frankfurt am Main. *Forum Städte-Hygiene* (1992) 43: 266-270.
5. Schuller E, Heinz H, Stoffers H: PCDD/PCDF-Kontaminationen aus Kieselrot von Sport- und Spielanlagen. *Z. Umweltchem. Ökotox.* (1995) 7: 9-14.
6. Heudorf U: Umgang mit Kieselrot auf Sport-, Spiel-, und Freizeittflächen unter Berücksichtigung neuer toxikologischer Untersuchungsergebnisse. *Das Gesundh.-Wes.* (1993) 55: 521-526.
7. Csicsaky M: Wie gefährlich sind Schlackenplätze? *Niedersächsisches Ärzteblatt* (1991) 13: 5-10.
8. Rotard W, Christmann W, Knoth W, Mailahn W: Bestimmung von re-sorptionsverfügbaren PCDD/PCDF aus Kieselrot. *Z. Umweltchem. Ökotox.* (1995) 7: 3-9.
9. Schrey P, Wittsiepe J, Ewers U, Exner M, Selenka F: Polychlorierte Dibenz-o-p-dioxine und Dibenzofurane in Humanblut. *Bundesgesundheitsblatt* (1993) 36: 455-463.
10. Ewers U, Wittsiepe J, Schrey P, Exner M, Selenka F, Hofbauer M, Schmeer D, Holwitt L, Eck R: Dioxingehalte im Blutfett von Kindern, Sportlern, Platz-warten und Anwohnern nach Kontakt mit dioxinhaltigen Tennenflächen (Kieselrot). *Das Gesundh.-Wes.* (1994) 56: 14-20.
11. Fiedler H, Hutzinger O, Lau C, Cykrit P, Hosseinpour J: Toxicological and environmental risk assessment of a highly dioxin contaminated sports field. *Dioxin 93*. 13. *International Symposium on Chlorinated Dioxins and Related Compounds*. Vienna, Tagungsband, Volume 14, 39-42 (1993).

Korrespondenzadresse:

Dr. Ursel Heudorf  
Abteilung Umweltmedizin und -hygiene  
Gesundheitsamt der Stadt Frankfurt/M  
Braubachstr. 18-22  
60311 Frankfurt