Thomas Suttner, Walter Martin, Josef Schmederer, Günther Pommer

Ergebnisse eines Boden-Monitoring-Programms anlässlich des Pfingsthochwassers 1999 in Bayern

Results of a soil-monitoring program following the 1999 Whitsuntide flood in Bavaria

Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Pfingsthochwassers 1999 auf Böden wurden von den Bayerischen Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und deren nachgeordneten Behörden in einem Bodenmonitoring-Programm in den besonders betroffenen Gebieten dokumentiert. Ausgelaufenes Heizöl hatte im unmittelbaren Überflutungsbereich zu Mineralölbelastungen von bis über 13.300 mg/kg Mineralölkohlenwasserstoffe in abgelagerten Sedimenten und bis über 3.500 mg/kg in den Oberböden geführt. Die Stoffgehalte gingen im Verlauf weniger Wochen an den meisten Standorten deutlich zurück. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann ausgeschlossen werden, dass es zu dauerhaften und großflächigen Beeinträchtigungen der Böden durch Schwermetalle und organische Schadstoffe gekommen ist. Da Schwermetallgehalte von Sedimentablagerungen überwiegend im Bereich der natürlichen Hintergrundgehalte lagen, ist eine nachhaltige Erhöhungen der Stoffgehalte überschwemmter Böden durch dieses Ereignis nicht zu erwarten. Längerfristige Auswirkungen auf die Wasserqualität der Flüsse und Seen waren nicht zu verzeichnen.

Summary

The 1999 Whitsuntide flood caused extensive damage in southern Bavaria, particularly along the Danube, in Swabia and in the Prealps. The flooding resulted from extremely high precipitation coinciding with onset of spring melting in the Alps. 120 km² were flooded and numerous oil tanks were damaged leading to leakage of 2 million liters of fuel oil and diesel. The Bavarian Ministries of Regional Development and Environmental Affairs, of Nutrition, Agriculture and Forestry and their subordinate authorities initiated a soil-monitoring program in order to ascertain the effects of flooding on soils. Fuel oil contaminated the soil with mineral hydrocarbons (MHC) in concentrations of up to 13.300 mg/kg in sediment samples and exceeding more than 3.500 mg/kg in upper soil layers. The MHC concentration decreased greatly in the course of a few weeks. The monitoring program revealed that soil contamination by organic and inorganic pollutants was neglectible. The concentration of heavy metals remained in the normal range for natural soils excluding the possibility of heavy metal contamination of soils inundated by the flood. Long-term negative effects on the quality of river and lake water is not to be expected.

1 Einleitung

Das Hochwasser während der Pfingstfeiertage 1999 hat in weiten Teilen Südbayerns, besonders im Alpenvorland, in Schwaben und an der Donau teils verheerende Schäden verursacht. Auslöser war ein Zusammentreffen extremer Niederschlagsmengen (bis zu 300 l/m²) mit der gleichzeitig einsetzenden Schneeschmelze in den Alpen. Da die Böden aufgrund vorangegangener Niederschläge weitgehend wassergesättigt waren, gelangten diese Niederschläge großenteils unmittelbar in die Gewässer und trotz sofort eingeleiteter Maßnahmen wurden ca. 120 Quadratkilometer überschwemmt. In den Überschwemmungsgebieten kam es teilweise zu großflächigen Sedimentablagerungen. Als Folge der Überschwemmungen wurden Heizöl- und Mineralöltanks beschädigt, wodurch es vor allem in den Landkreisen Aichach-Friedberg, Ingolstadt und Neustadt a. d. Donau zu größeren Ölaustritten kam. Allein im Raum Neustadt a. d. Donau liefen mehr als 2 Mio. Liter Heizöl und Diesel aus, von denen rund die Hälfte bei Sofortmaßnahmen wiedergewonnen werden konnten. Dies führte im unmittelbaren Einwirkungsbereich zu starken Kontaminationen mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW).

Insgesamt waren die Schäden geringer als zunächst befürchtet. Das ausgelaufene Mineralöl konnte sich aufgrund des verhältnismäßig rasch abfließenden Hochwassers nur an wenigen Stellen, bevorzugt in Senken und Gräben sammeln und ablagern. Dennoch wurden Sachschäden von rund 680 Mio. DM an Gebäuden, Gegenständen, Grundstücken sowie Ernteschäden gemeldet. Die Bayerische Staatsregierung hat zu deren Beseitigung Mittel in Höhe von 250 Mio. DM zur Verfügung gestellt.

Auf einer Fläche von ca. 40 ha, insbesondere in Neustadt a. d. Donau (Bild 1), waren konkrete Maßnahmen zur Beseitigung oder Überwachung der Ölschäden erforderlich. Allein im Landkreis Kelheim bestand auf 33 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche wegen der Mineralölverunreinigungen Handlungsbedarf. Zudem traten auf ca. 850 ha Ernteschäden auf. Auf den Äckern kam es bei Getreide (280 ha), Mais (135 ha), Kleegras (27 ha) und Kartoffel (8 ha) zum Totalausfall des Aufwuchses, bei Hopfen und Zuckerrüben (jeweils 40 ha) zum Teilausfall bzw. zu Ertragsminderungen. Die Schadenssymptome waren nicht immer eindeutig den Ursachen Überstau bzw. Mineralölkontamination zuzuordnen. Zonenweises Absterben von Blattflächen wurde durch Kontakt mit Mineralöl hervorgerufen. Flächen mit tauben Getreideähren, Verformungen von Rübenkörpern bei Zuckerrüben und der Totalausfall der Kartoffel waren eine Folge des Wasserüberstaus. Das flächige Absterben von Getreide, Mais und Zuckerrüben könnte auf beiden Schadursachen beruhen.

Im Grünland traten die Schäden hauptsächlich durch die Verunreinigung mit Mineralöl ein. Bei den betroffenen Flächen war der erste Aufwuchs verdorben. Den Landwirten wurde geraten, ihn zu verbrennen, gleichzeitig wurde dafür eine Ausnahmegenehmigung beim Landratsamt erwirkt. Mit dieser Maßnahme konnte eine vollständige Beseitigung der Verunreinigungen an Pflanzen und am Boden erreicht werden. Im zweiten Aufwuchs wurden keine Mineralölrückstände mehr festgestellt. Alle weiteren Aufwüchse waren uneingeschränkt nutzbar.

Die Wasserqualität der Flüsse wurde, wie chemische und biologische Sonderuntersuchungen zeigten, kaum beeinträchtigt, lediglich im Raum Neustadt a. d. Donau konnten in einigen Proben MKW nachgewiesen werden. Längerfristige Auswirkungen auf die Wasserqualität der Flüsse und Seen waren nicht zu verzeichnen. Das Grundwasser in den stärker betroffenen Gebieten war teilweise mit MKW verunreinigt, die als Orientierungshilfe geltenden Schwellenwerte wurden jedoch nicht überschritten, erhebliche Belastungen wurden an keiner Messstelle verzeichnet. Sowohl öffentliche Wasserversorgungen als auch private Hausbrunnen waren vom Hochwasser betroffen. Die Versorgung mit gesundheitlich einwandfreiem Trinkwasser war aber jederzeit überall gewährleistet.

Bild 1 Überschwemmung des Stadtteils Schwaigfeld (Neustadt a.d. Donau) beim Pfingsthochwasser 1999.
Figure 1 *Flooding of Schwaigfeld (section of Neustadt a. d. Donau) at Whitsuntide 1999.*

2 Boden-Monitoring-Programm

Um die Auswirkungen des Hochwassers auf die Böden abzuschätzen, wurde ein Boden-Monitoring-Programm an 107 ausgewählten Standorten (Bild 2) und die Analyse von 294 Sediment- und Bodenproben mit folgenden Zielsetzungen durchgeführt:

- Erfassung der Belastungssituation an mäßig bzw. stark mit Mineralöl verunreinigten Standorten, um mögliche Gefährdungen über die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Pflanze und Boden-Grundwasser abschätzen zu können.
- Vorsorgliche Erfassung der allgemeinen Belastungssituation im Hinblick auf organische und anorganische Schadstoffe an repräsentativen Standorten in allen besonders stark vom Hochwasser betroffenen Gebieten. Hierfür wurden gezielt Standorte ausgewählt, die nicht unmittelbar mit Mineralöl verunreinigt waren, bei denen jedoch im Umfeld Verunreinigungen aufgetreten waren.
- Beobachtung des Abbau-/Verlagerungsverhaltens von stark mit MKW verunreinigten Böden im Jahresverlauf.
- Ermittlung der Gehalte an organischen Schadstoffen in Böden nach dem Abbrennen verunreinigten Pflanzenmaterials

2.1 Material und Methoden

Das Hochwasser begann am Pfingstsamstag, den 22. 05. 1999. Die erste Beprobung der Standorte erfolgte im Juni. Weitere Beprobungstermine, bei denen nur organische Schadstoffe untersucht wurden, waren 1999 im Juli/August (Zweite Beprobung), Anfang September (Dritte Beprobung), Ende Oktober (Vierte Beprobung) und im Jahr 2000 im Mai/Juni (Fünfte Beprobung) sowie im September (Sechste Beprobung). Bei den Wiederholungsbeprobungen wurden nur die Standorte untersucht, an denen Belastungen in vorangegangenen Kampagnen nachgewiesen wurden, sowie einige Vergleichsstandorte. Dadurch verminderte sich die Zahl der untersuchten Standorte bei jedem Probenahmetermin. Bei den späteren Probenahmeterminen wurden verstärkt auch Unterböden berücksichtigt, um eine mögliche Tiefenverlagerung mobiler Schadstoffe zu erfassen.

Die Standorte wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 1994) beschrieben.

Untersuchte Parameter:

- Anorganische Schadstoffe (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) im Königswasseraufschluss (DIN ISO 11466: 06.97, DIN EN ISO 11885: 04.98)
- pH-Werte in 0,01 M $CaCl_2$-Lösung (DIN ISO 10390: 05.97)
- C-, N-, S-Gehalte durch trockene Verbrennung (DIN ISO 10694: 08.96, DIN ISO 13878: 11.98, ISO CD 15178: 07.97)
- Organischer C-Gehalt durch trockene Verbrennung (DIN ISO 10694: 08.96)
- Karbonat C-Gehalt durch trockene Verbrennung (DIN ISO 10694: 08.96)
- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) nach Vorschlag für ein Einheitsverfahren, Bestimmung des Kohlenwasserstoff-Index Teil 4, Verfahren nach Lösemittelextraktion und Gaschromatographie; Blaudruck
- C3-C5-Alkylbenzole mit Headspace-GC-MS in Anlehnung an DIN 38407 Teil 9

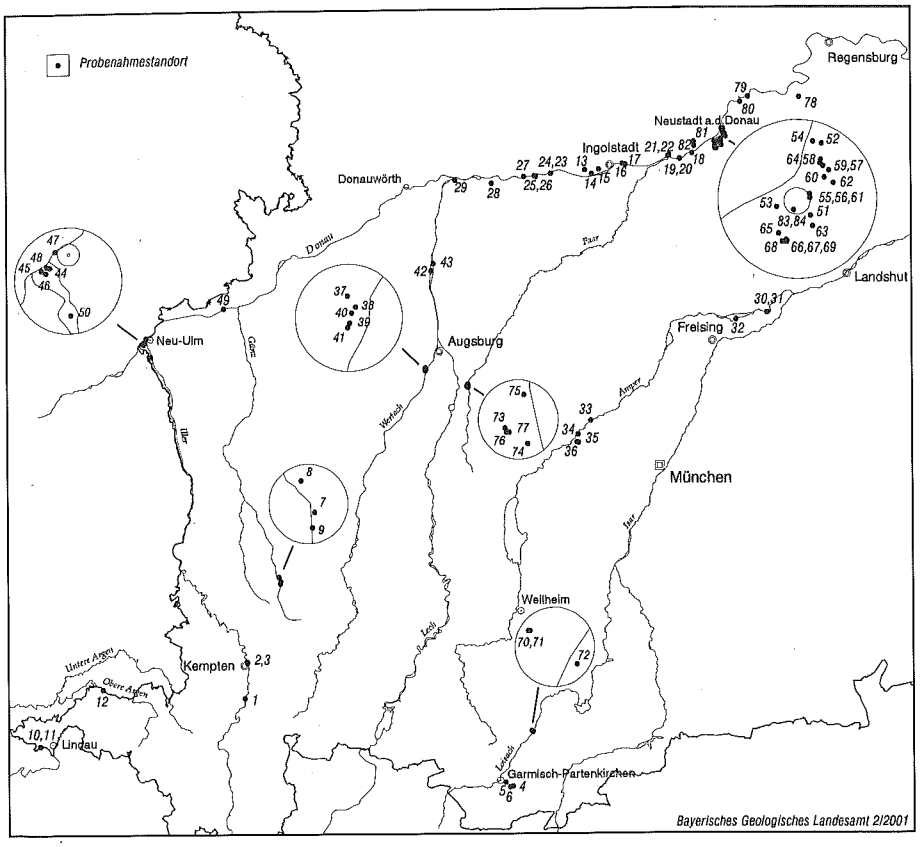

Bild 2 Lage der untersuchten Standorte.
Figure 2 *Location of the studied sites.*

– Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nach VdLUFA-Verfahren analog zur DIN 38407 Teil 18

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ergebnisse der Schwermetall-Untersuchungen

Tabelle 1 stellt die Schwermetallgehalte im Sediment denen der Oberböden gegenüber. Dargestellt sind Standorte, bei denen aus einem Landkreis mindestens drei Sedimentanalysen sowie Daten zu Stoffgehalten in den Oberböden vorlagen.

Die Schwermetallgehalte in den Oberböden lagen in der gleichen Größenordnung, z. T. sogar geringfügig höher als im Sediment. In den Landkreisen Lindau und Neuburg-Schrobenhausen konnten im Sediment lokal höhere Schwermetallgehalte als in den Oberböden nachgewiesen werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf den sandigen schwermetallarmen Oberböden, Sediment mit deutlich höherem Schluff- und Tonanteil und damit typischerweise höheren Schwermetallgehalten aufgetragen wurde.

An einigen Standorten wurden die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sowohl im Sediment als auch im Oberboden – meist aber nur geringfügig – überschritten. Die Überschreitungen traten insbesondere bei sandigem Sediment- oder Bodenmaterial auf, bei dem die niedrigen Vorsorgewerte der Bodenart Sand heranzuziehen sind. Die Schwermetallgehalte in Oberböden aller untersuchten 107 Standorte lagen – von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen – im Schwankungsbereich typischer Hintergrundgehalte (geogene Grundgehalte plus ubiquitäre, anthropogene Zusatzgehalte) von Böden Bayerns. Nach einer Untersuchung von Suttner et al. (1998) werden in mehr als 25 % der sandigen Böden aus Auenmaterial und quartären Sedimenten die Vorsorgewerte überschritten.

In den untersuchten Auen-Oberböden sind die erhöhten Schwermetallgehalte überwiegend geogen und nicht durch das Pfingsthochwasser 1999 bedingt, da meist auch

Tabelle 1 Mittelwerte der Schwermetallgehalte in Sedimenten und Böden in vom Hochwasser betroffenen Landkreisen (Anzahl der Überschreitungen der Vorsorgewerte in Klammer)
Table 1 Average heavy metal concentration in sediments and soils in flooded regions (number of results exceeding precautionary values in brackets)

Landkreis	Horizont	n[1]	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb	
Garmisch-Partenkirchen	Sediment	4	49,6	(1)	31,6		20,0		80,2		0,29		32,6	
	Oberboden	3	55,0	(1)	31,1		23,7		98,8		0,36		38,5	
Kelheim	Sediment	10	28,8	(2)	18,4	(4)	25,2	(3)	114	(5)	0,24	(1)	26	(1)
	Oberboden	6	35,0	(1)	17,2	(1)	20,6	(1)	66,4	(1)	0,32	(1)	36,3	(1)
Kempten	Sediment	2	25,4		17,8	(2)	14,9		39,3		0,10		25,2	
	Oberboden	2	44,9		22,4		24,1		70,4		0,22		42,2	
Lindau	Sediment	3	38,5	(1)	19,5	(1)	22,4		123	(2)	0,41		33,5	
	Oberboden	3	42,7	(1)	20,5	(1)	19,9		69,2		0,25		20,8	
Neuburg-Schrobenh.	Sediment	4	39,4		24,4		26,8		74,0		0,35		25,0	
	Oberboden	3	26,2		16,0		11,3		39,5		0,19		17,8	
Pfaffenhofen a. d. Ilm	Sediment	3	25,5		19,8	(2)	17,6	(1)	57,5		0,21		16,3	
	Oberboden	3	29,6	(1)	18,8	(2)	18,0	(1)	55,2	(1)	0,24		19,6	

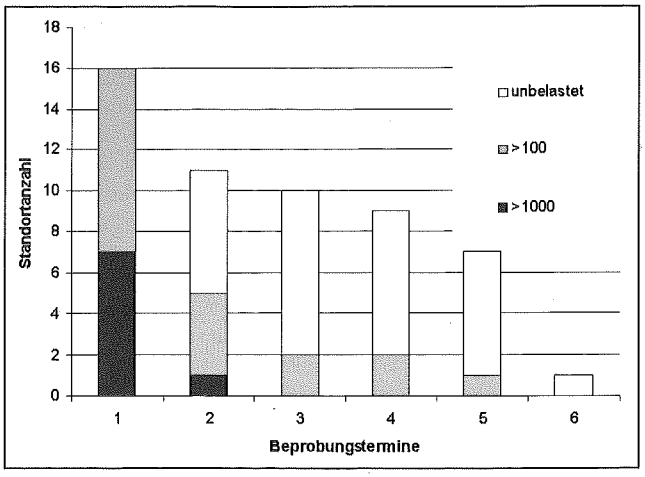

Bild 3 Standorte mit festgestellten MKW-Belastungen.
Figure 3 *Locations with ascertained MHC contaminations.*

im Unterboden Überschreitungen von Vorsorgewerten bei den betreffenden Elementen festgestellt wurden. Auf einigen Standorten ist aufgrund der Nähe zu Siedlungen und Verkehrswegen ein anthropogener Einfluss nicht auszuschließen. Prüfwerte der BBodSchV wurden in keinem Fall erreicht. Die Ergebnisse des Monitoring-Programms decken sich weitestgehend mit früheren Schwermetall-Untersuchungen in Böden und Sedimenten an Main und Donau (Joneck und Prinz, 1993; Ruppert et al., 1988).

3.2 Ergebnisse der Untersuchung organischer Schadstoffe

Von den 107 Standorten wurden 86 auf ihre Belastung mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und weiterer organischer Schadstoffe untersucht. Insgesamt wurden an 56 Standorten MKW-Gehalte > 0,5 mg MKW/kg Boden (Messgrenze) ermittelt. Davon überschritten 7 Standorte 1000 mg MKW/kg Boden und weitere 9 Standorte 100 mg MKW/kg Boden. Diese Standorte wurden wiederholt untersucht, wobei die Zahl der auffälligen Standorte und Proben stetig zurückging (Bild 3).

Der sehr rasche Rückgang der MKW-Konzentration in den Böden wird am Rückgang der Maximalkonzentrationen und der Mediane erkennbar (Tabelle 2). Die Gehalte der C3-C5-Alkylbenzole als Maß für leichter flüchtige MKW-Bestandteile, waren nicht auffällig erhöht und meist unter der Nachweisgrenze.

Besonders hohe Stoffgehalte wurden in den Landkreisen Kelheim, Aichach-Friedberg, Garmisch-Partenkirchen und Neuburg-Schrobenhausen gefunden (Tabelle 3). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich um zufällige

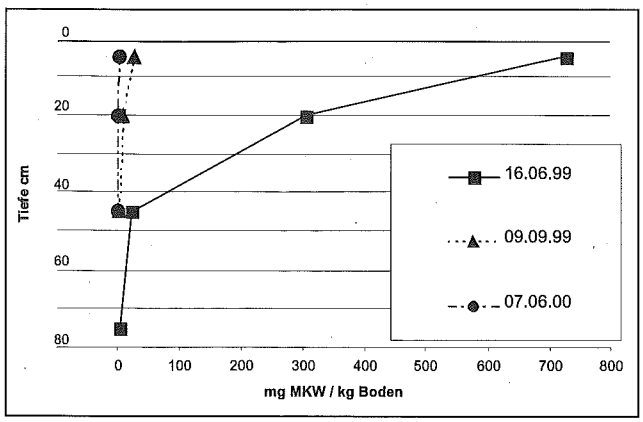

Bild 4 Tiefenprofile (Beprobungstiefen 0–10, 10–30, 30–60 und 60–90 cm) zu 3 Beprobungsterminen am Standort 56, Lkrs. Kelheim.
Figure 4 *Section from location 56, Kelheim, (sampling depth 0–10, 10–30, 30–60, 60–90 cm) at 3 different sampling times.*

Tabelle 2 Verteilung der Konzentration von MKW, C3-C5-Alkylbenzolen in Sedimenten, Oberböden und Unterböden zu unterschiedlichen Probenahmeterminen
Table 2 Distribution of MHC and C3-C5-alcylbenzene concentrations in sediments, upper soils and sub-soils at different sampling times

Beprobung Nr.	Alle Standorte	MKW mg/kg Boden (trocken)				C3-C5-Alkylbenzole mg /kg Boden (trocken)			
		n	Minimum	Median	Maximum	n	Minimum	Median	Maximum
	Sediment	33	< 0,5	2,5	13634,7	34	< 0,005	< 0,005	0,981
1	Oberboden	108	< 0,5	< 0,5	3518	108	< 0,005	< 0,005	1,217
	Unterboden	26	< 0,5	< 0,5	140,8	26	< 0,005	< 0,005	0,567
	Sediment								
2	Oberboden	15	< 0,5	27,1	2048,8	13	< 0,005	0,023	1,338
	Unterboden	1	< 0,5			1			0,65
	Sediment								
3	Oberboden	13	< 0,5	7,7	670,2	13	< 0,005	< 0,005	0,025
	Unterboden	3	0,7	1,5	5,8	3	< 0,005	< 0,005	0,052
	Sediment	4	< 0,5	2	50,3				
4	Oberboden	20	< 0,5	< 0,5	210,7				
	Unterboden	16	< 0,5	< 0,5	116,1				
	Sediment								
5	Oberboden	10	< 0,5	0,6	138				
	Unterboden	10	< 0,5	< 0,5	4,1				
	Sediment								
6	Oberboden	1			17,2				
	Unterboden								

Tabelle 3 MKW-Belastung bei der Erstbeprobung in mg MKW/kg Boden in den von Hochwasser am stärksten betroffenen Landkreisen
Table 3 MHC contamination in mg MHC/kg of soil at first sampling in the regions most severely hit by the flood

	Landkreis	n	Minimum	Median	Maximum	Landkreis	n	Minimum	Median	Maximum
Sediment	Kelheim	9	0,7	11,1	13634,7	Pfaffenhofen an der Ilm	3	1	14,3	19,2
Oberboden		41	< 0,5	1	1987,8		2	< 0,5		1,4
Unterboden		11	< 0,5	3,9	140,8		2	< 0,5		< 0,5
Sediment	Neuburg-Schrobenhausen	4	2,5	4,8	9,8	Neu-Ulm	0			
Oberboden		8	< 0,5	< 0,5	338,9		7	< 0,5	< 0,5	154,2
Unterboden		5	< 0,5	< 0,5	< 0,5		0			
Sediment	Garmisch-Partenkirchen	4	< 0,5	7,4	7256,4	Ingolstadt	1	< 0,5		
Oberboden		7	< 0,5	0,9	102		5	< 0,5	1,2	2527,6
Unterboden		2	< 0,5		< 0,5		0			
Sediment	Aichach-Friedberg	0								
Oberboden		8	1,1	221,8	3518					
Unterboden		0								

Stichprobenuntersuchungen handelt. Die Ergebnisse sind daher nicht repräsentativ für die Belastung der jeweiligen Regionen.

Die höchsten MKW-Gehalte wurden in Sedimenten mit mehr als 13.000 mg/kg gemessen. Oberböden enthielten z. T. mehr als 3.500 mg/kg. Der höchste Wert in den Unterböden wurden mit 140,8 mg MKW/kg Boden in 10–30 cm in einem Boden mit gering mächtigem Oberboden gefunden. Bei der Wiederholungs-Beprobung im Herbst war dort der MKW-Gehalt auf 1,2 mg/kg Boden zurückgegangen. Der mit 221,8 mg MKW/kg Boden hohe Median für Oberböden im Landkreis Aichach-Friedberg ist darauf zurückzuführen, dass dort überwiegend stärker belastete Standorte beprobt wurden.

MKW wurden überwiegend im obersten Bodenbereich abgelagert und wurden nur in wenigen Fällen auch in tieferen Bodenhorizonten beobachtet. Die Funde in tieferen Horizonten sind nicht systematisch den Standorteigenschaften zuzuordnen. Das (Bild 4) zeigt am Beispiel des Standorts 56 die Tiefenverteilung und den Verlauf der Stoffkonzentration im Jahresverlauf.

Die MKW wurden in den Böden rasch abgebaut. Insgesamt konnte bereits im Herbst 1999 nur noch an zwei Standorten MKW-Messwerte von mehr als 100 mg/kg nachgewiesen werden. Eine Untersuchung, inwieweit Anteile ausgegast sind, fand nicht statt. Eine Verlagerung der MKW-Belastung in tiefere Bodenschichten in größerem Umfang konnte nicht beobachtet werden. Einige Standorte konnten nicht weiter untersucht werden, da der Boden ausgetauscht wurde oder weil die dünne Sedimentdecke nach einigen Wochen nicht mehr gefunden werden konnte.

Ein Teil der Konzentrationsabnahme ist auch auf Verdünnungseffekte durch Bodenbearbeitung zurückzuführen, bei denen die oberste kontaminierte Schicht mit dem darunterliegenden Boden intensiv vermischt wurde. Diese Maßnahme wurde auch von der Landwirtschaftsverwaltung empfohlen, da die intensive Belüftung des Bodens bei der Durchmischung die biologische Aktivität und somit den Abbau fördert (Tabelle 4). Der Boden am Standort 77 mit der deutlich langsamsten Abnahme der MKW-Gehalte, wies eine um bis zu 57 % geringere biologische Aktivität gegenüber einem benachbarten Vergleichsstandort auf, wodurch der Abbau stark verzögert wurde.

Die PAK-Gehalte wurden an 4 Standorten untersucht. An je 2 dieser Standorte (Nr. 81 und 83) war mit Öl kontaminierter Pflanzenaufwuchs abgebrannt worden, während die beiden anderen, nur wenige Meter entfernten Vergleichsstandorte (Nr. 82 und 84), nicht behandelt wurden. Dabei wurde kurz nach dem Abbrennen (Probenahme vom 27. 10. 99) zumindest am Standort 81 ein erhöhter Gehalt an PAK festgestellt (Tabelle 5). Bei der Wiederholungsbeprobung war dieser Effekt nicht mehr nachweisbar.

Tabelle 4 Entwicklung der MKW-Gehalte im obersten Bodenhorizont an ausgewählten Standorten mit bekannten Bearbeitungsmaßnahmen.
Table 4 MHC concentrations in the upper soil-horizon at selected sites after cultivation

Standortnummer und Nutzung		Bearbeitungsmaßnahme	MKW Gehalte in mg/kg Boden zu den Probenahmeterminen					
			1	2	3	4	5	6
75	Acker	gepflügt	221,8	27,1	4,1	–	< 0,5	–
68	Acker	vor 2. Probe gegrubbert, vor 3. Probe gepflügt	104,2	9,9	< 0,5	< 0,5	–	–
56	Grünland	vor 2. Probe gegrubbert, vor 3. Probe eingesät	762,2	18,4	27,4	5,2	1,2	–
71	Grünland	unbehandelt	102,0	25,1	–	–	–	–
74	Grünland	unbehandelt	199,7	–	96,1	<0,5	–	–
81	Grünland	Aufwuchs vor erster Probenahme abgebrannt	13346,2	–	–	50,3	–	–
13	Hausgarten	unbekannt	2527,6	< 0,5	–	<0,5	< 0,5	–
67	Hausgarten	unbekannt	1118,9	531,2	534,4	5,9	4,8	–
51	Kindergarten	Proben in unbehandelten Restflächen genommen	695,5	190,0	47,4	5,9	–	–
76	Schulgelände	Sportrasen	686,8	251,1	3,2	–	–	–
77	Schulgelände	Oberkrume für Rasen aus aufgeschütteten Sand	2302,6	2048,8	670,2	210,7	138,0	17,2

Tabelle 5 Gehalte organischer Schadstoffe auf abgebrannten und nicht abgebrannten Flächen
Table 5 Concentration of organic pollutants on torched and non-torched surfaces

Standort Nr.	Behandlung	Probenahmedatum	Horizont	Horizontgrenzen [cm]		Bemerkung	MKW	C3-C5-Alkylbenzole	PAK	
				oben	unten		[mg/kg TG]	[mg/kg TG]	B(a)p	Summe
81	Aufwuchs abgebrannt	27.07.99	aAh1	2	0	Sediment	13346,2	0,060	0,15	<7,16*
		27.07.99	aAh2	0	8		1987,8	0,285	0,13	0,8
		27.07.99	aM	8	28		140,8	<0,005	0,23	1,27
		21.10.99	aAh1	2	0	Sediment	50,3			<0,01
		21.10.99	aAh2	0	8		13,9			<0,01
		21.10.99	aM	8	28		1,2			<0,01
82	Aufwuchs belassen	27.07.99	aAh1	2	0	Sediment	11,1	<0,005	0,07	0,44
		27.07.99	aAh2	0	8		12,1	<0,005	0,03	0,03
		27.07.99	aM	8	28		<0,5	<0,005	0,04	0,14
		21.10.99	aAh1	2	0	Sediment	1,7			<0,01
		21.10.99	aAh2	0	8		<0,5			<0,01
		21.10.99	aM	8	28		<0,5			<0,01
83	Aufwuchs abgebrannt	27.07.99	aAh1	2	0	Sediment	2,5	0,019	0,13	0,77
		27.07.99	aAh2	0	8		<0,5	<0,005	0,15	0,91
		27.07.99	aM	8	28		<0,5	<0,005	0,12	0,73
		21.10.99	aAh1	2	0	Sediment	2,2			<0,01
		21.10.99	aAh2	0	8		<0,5			<0,01
		21.10.99	aM	8	28		<0,5			<0,01
84	Aufwuchs belassen	27.07.99	aAh1	2	0	Sediment	90,8	<0,005	0,05	0,17
		27.07.99	aAh2	0	8		<0,5	<0,005	0,03	0,03
		27.07.99	aM	8	28		2,2	<0,005	0,05	0,15
		21.10.99	aAa1	2	0	Sediment	<0,5			<0,01
		21.10.99	aAh2	0	8		<0,5			<0,01
		21.10.99	aM	8	28		<0,5			0,03

* Der exakte Messwert konnte aufgrund starker Probenverunreinigungen nicht bestimmt werden

Ein nachhaltiger Effekt der Verbrennung auf die Stoffgehalte in den Böden konnte somit nicht nachgewiesen werden.

4 Schlussfolgerungen

Die durch ausgelaufenes Heizöl und Diesel verursachten z. T. erheblichen MKW-Belastungen gingen innerhalb weniger Wochen, insbesondere auf biologisch aktiven Böden, deutlich zurück. Durch gezielte Maßnahmen zur Belebung der biologischen Aktivität (Pflügen, Umgraben) kann die Abbauleistung der Mikroorganismen erhöht werden. Insbesondere dann, wenn empfindliche Schutzgüter betroffen sind, z. B. in Wohngebieten oder zum Schutz der Trinkwasserversorgung und des Grundwassers war empfohlen worden, stark kontaminiertes Erdreich abzutragen und ordnungsgemäß zu entsorgen.

Danksagung
Allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen der Landesämter und der Staatsministerien wird für das Engagement bei Probenahme und Analytik sowie für die fachliche Begleitung des Monitoring-Programms gedankt.

Literatur

AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover.

Joneck, M., Prinz, R. (1993): Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler; GLA-Fachbericht 10, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München.

Ruppert, H., Schmidt, F., Joneck, M., Jerz, H., Drexler, O. (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales; GLA-Fachbericht 4, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München.

Suttner Th., Martin W., Aussendorf, M. (1998): Hintergrundgehalte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns; GLA-Fachbericht 16, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München.

Anschriften der Verfasser

Dr. Thomas Suttner, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, E-Mail: thomas.suttner@stmlu.bayern.de; Dr. Walter Martin, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, 80797 München, E-Mail: walter.martin@gla.bayern.de; Dr. Günther Pommer, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Vöttinger Str. 38, 85354 Freising, E-Mail: lotte.doerge@lbp.bayern.de; Dipl.-Geol. Josef Schmederer, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 37, 80636 München, E-Mail: josef.schmederer@lfw.bayern.de