

6. Ergebnisse und Bewertung der Schwermetallanalysen

L. Grünhage & H.-J. Jäger

Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen

Zur Erfassung der Belastungssituation mit Schwermetallen und Fluor über den Luftpfad wurden im Untersuchungsjahr 1992/93 Weidelgras-Kulturen, Klonfichten und Grünkohl an insgesamt 24 Meßpunkten im Großraum Biebesheim, an der Station Fürth/Odenwald des lufthygienischen Meßnetzes Hessens sowie in aktivkohle-gefilterter Luft in einer open-top-Kammer in Gießen exponiert und auf ihre Element-Konzentrationen untersucht. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden in 1993/94 an den Standorten 1, 4, 9, 10, 12 und 16 weitere Klonfichten und Sommerweizen exponiert. Um die Translokation von Schadstoffen aus dem Boden in die Pflanzen zu vereinheitlichen und substratbedingte Standortunterschiede auszuschließen, wurde als Substrat "Einheitserde, Fruhstorfer Erde, Typ LD 80" eingesetzt. Die enthaltenen Schwermetalle sind in Tab. 16 aufgeführt. Zusätzlich zu den Expositionen in Einheitserde wurde an den Standorten 2, 9, 15 und 17 Klonfichten und Grünkohl in unterschiedlich belasteten Erden aus dem Untersuchungsgebiet exponiert. Deren Schwermetall-Konzentrationen sind Tab. 16 zu entnehmen.

Tab. 16: Bodenchemische Charakterisierung der im Untersuchungsprogramm eingesetzten Substrate (alle Angaben in mg kg⁻¹)

	Station 2 *)	Station 9 **)	Station 15 ***)	Station 17 ****)	Einheits- erde 1992/93	Einheits- erde 1993/94
Sb	0,3	0,4	1,0	0,3	0,2	0,2
As	8,7	12,0	9,7	9,2	3,5	2,6
Be	0,8	1,5	1,2	1,1	1,2	0,9
Pb	33	47	67	41	25	23
Cd	0,2	0,2	1,3	0,2	0,4	1,2
Cr	29	45	76	40	59	45
Co	1,0	1,3	3,7	1,0	5,1	4,1
Fe	17020	30320	22760	21040	21160	12600
Cu	9,9	17	59	13	25	17
Mn	831	776	602	328	356	433
Ni	13	26	30	18	64	44
Hg	0,06	0,05	0,38	0,06	0,08	0,07
Tl	0,50	0,60	1,2	0,68	0,56	<0,3
V	50	71	44	59	45	31
Zn	31	63	213	48	88	95

*) : Parabraunerde aus Flugsand

**) : Reliktgley-Pelosol

***) : sandiger Auenschluff (aus dem Überflutungsbereich des Rheines)

****) : Parabraunerde, erodiert aus schluffig-tonigem Hochflutlehm des Rheins

Die Analysenergebnisse sind im Anhang A sowohl in tabellarischer Form als auch in Karten des

Untersuchungsgebietes dokumentiert⁴. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte in erster Linie anhand der Schweizer Studie "Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen" (LINDT et al. 1990). Die Kriterien zur Beurteilung von Element-Konzentrationen sind in Tab. 17 zusammengestellt. Weiterhin wurden zur Beurteilung der Schadstoff-Konzentrationen Richtwerte der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS 1990) sowie Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310) herangezogen.

Tab. 17: Beschreibung von Beurteilungskriterien für die Zuordnung von Element-Konzentrationen in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

<i>Beurteilung</i>	<i>Beschreibung</i>
Normal in unbelastetem Gebiet	Häufig vorkommende Konzentration in Gebieten außerhalb des direkten Einflusses eines Emittenten.
Normal in Ballungsgebieten	Häufig vorkommende Konzentration in Immissionsgebieten, nicht näher als 2 km vom Emittenten.
Leicht erhöht	Konzentration unterhalb Höchstwert (wenn vorhanden Grenzwert) für Menschen. Pflanzen ohne Bedenken verwertbar.
Stark erhöht	Konzentration oberhalb Höchstwert für Menschen, jedoch unterhalb des maximal tolerierbaren Gehaltes für Tiere. Pflanzen nur unter Berücksichtigung besonderer Vorsichtsmaßnahmen verwertbar (keine Gabe an Risikogruppen, Akkumulationsorgane nicht verwerten, nur über kürzere Zeit verfüttern).
Sehr stark erhöht	Konzentration oberhalb des maximal tolerierbaren Gehaltes für Tiere. Das Pflanzenmaterial soll nicht verfüttert werden.

Für einige Schadstoffe standen Vergleichsdaten für Grünkohl aus einem Biomonitoring-Programm im Raum Eich-Gimbsheim (Bereich der Standorte 21-24) aus dem Jahr 1990 zur Verfügung (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992). In die Bewertung einbezogen wurde weiterhin eine Studie aus dem Ballungsgebiet Berlin-West (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992). Bei der Berliner Studie wurde im Gegensatz zu den Programmen in Hessen und Rheinland-Pfalz die Standortvegetation untersucht, so daß systematische Unterschiede nicht auszuschließen sind.

Zur Prüfung auf Standortunterschiede im Raum Biebesheim wurden die ertragsgewichteten

⁴ Wegen zu geringer Biomassebildung mußte die 6. Weidelgras-Exposition verworfen werden (VDI-Richtlinie 3792 Bl. 2).

Standortmittel der Weidelgras-Expositionen 1 - 5, die Konzentrationen in den Fichtennadeln (Probenahme März 1993) sowie die Konzentrationen im Grünkohl transformiert⁵ und nach Prüfung der Voraussetzungen varianzanalytisch untersucht (vgl. Kap. 3.4). Die Auswertung erfolgte jeweils mit den Daten der Meßpunkte 1 - 24 mit und ohne Einbeziehung der Meßpunkte Fürth/Odenwald und Gießen. Für Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurde die volle Nachweisgrenze eingerechnet.

Generell läßt sich festhalten, daß keine unterschiedliche Schwermetall-Aufnahme aus den verschiedenen Substraten zu verzeichnen ist. Die Besprechung der Analysenergebnisse erfolgt im folgenden alphabetisch, wobei bezug auf die Exponate in Einheitserde genommen wird.

6.1 Antimon (Sb)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Antimon</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,04	<0,01	0,06	24
Klonfichten - Oktober 92	0,07	0,03	0,17	24
Klonfichten - März 93	0,04	0,01	0,08	24
Grünkohl	0,02	0,01	0,08	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,02	<0,01	0,03	6
Klonfichten - März 94	0,05	0,01	0,06	6
Sommerweizen	<0,02		<0,02	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,17	0,14	0,45	10

5

$$\text{normierter Wert}_{\text{Art}} = \frac{\text{aktueller Wert}_{\text{Art}} - \text{Mittelwert}_{\text{Art}}}{\text{Mittelwert}_{\text{Art}}}$$

Die Antimon-Konzentrationen der im Raum Biebesheim eingesetzten Indikatoren sind sehr niedrig (Abb. 17). Sie liegen nur geringfügig über den Werten der Kulturen, die in gefilterter Luft exponiert waren. Die Konzentrationen im Weizenkorn liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

Eine relevante Belastung durch Antimon im Untersuchungsgebiet ist offensichtlich nicht gegeben.

Dieser Befund wird durch die deutlich höheren Antimon-Werte der zeitgleich zum Plantainerprogramm 1992 auf dem Gelände des Flughafens Rhein-Main exponierten Grünkohl-Pflanzen gestützt.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Sb-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.2 Arsen (As)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Arsen</i> (Angaben in mg kg^{-1} TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,26	0,06	0,45	24
Klonfichten - Oktober 92	0,08	0,03	0,14	24
Klonfichten - März 93	0,15	0,04	0,29	24
Grünkohl	0,14	0,08	0,38	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,08	0,03	0,14	6
Klonfichten - März 94	0,12	0,01	0,13	6
Sommerweizen	0,04	0,02	0,06	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,04	0,02	0,07	10

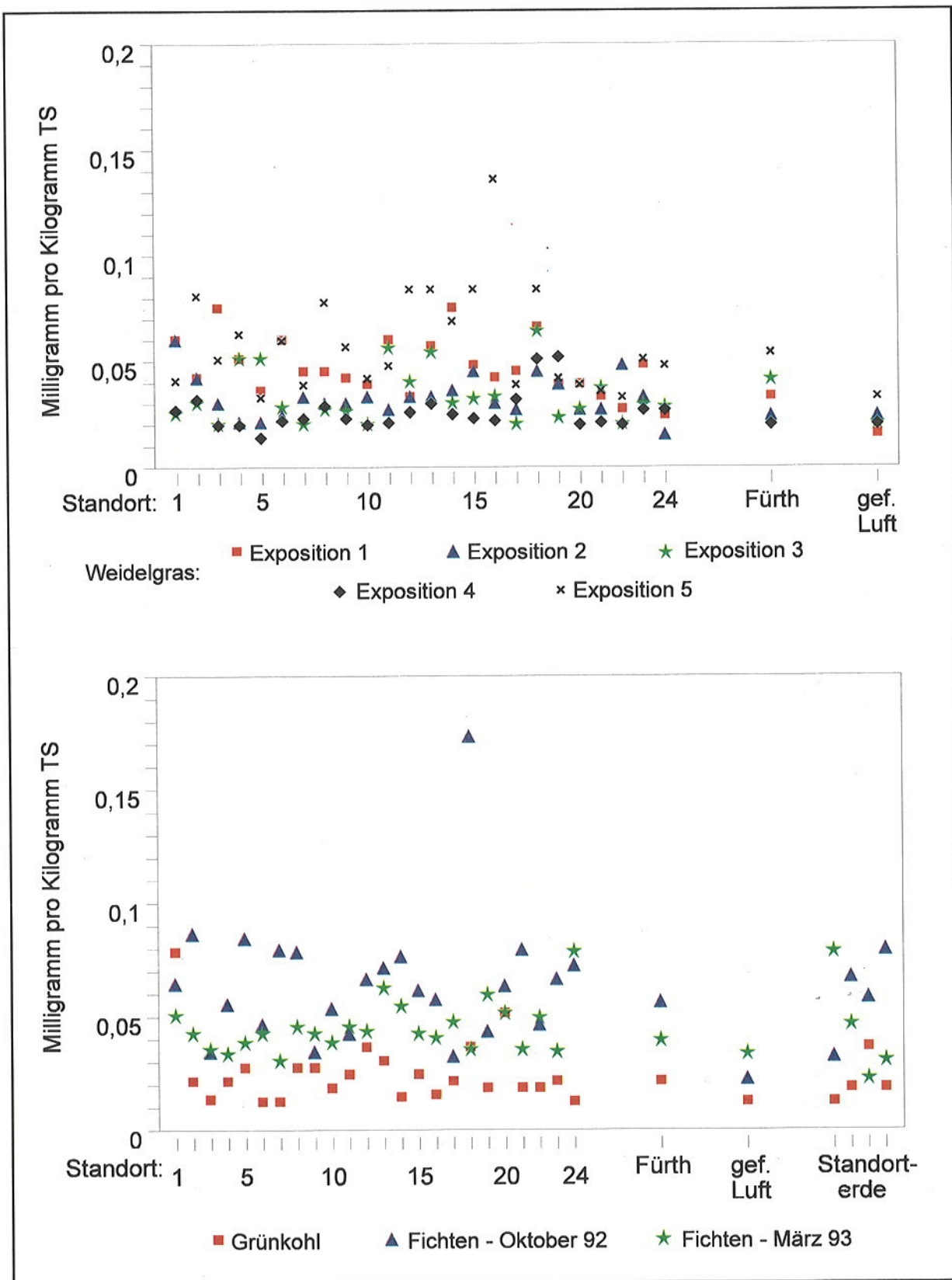


Abb. 17: Antimon-Konzentrationen im Weidelgrass (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

In Tab. 18 sind die Beurteilungskriterien für Arsen in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt. Alle Werte aus dem Untersuchungsgebiet liegen unterhalb des als "normal in unbelasteten Gebieten" angesehenen Richtwertes von 1,5 mg As kg⁻¹ Trockensubstanz (Abb. 18). RISS et al. (1990) geben als Normalgehalt im Grünlandaufwuchs bis 1,5 mg As kg⁻¹ Trockensubstanz an. Die Akkumulationsraten bei Grünkohl im Raum Eich-Gimbsheim beliefen sich auf 0,08 - 1,00 mg As kg⁻¹ Trockensubstanz (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992).

Tab. 18: Beurteilungskriterien für Arsen in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 1,5	mg As kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	1,5 - 2	mg As kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	2 - 10	mg As kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	10 - 50	mg As kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 50	mg As kg ⁻¹ Trockensubstanz

Eine relevante Belastung durch Arsen ist im Untersuchungsgebiet offensichtlich nicht gegeben.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter As-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.3 Beryllium (Be)

In Tab. 19 sind die Beurteilungskriterien für Beryllium in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 19: Beurteilungskriterien für Beryllium in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,1	mg Be kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,1 - 0,2	mg Be kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	0,2 - 0,5	mg Be kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	0,5 - 1	mg Be kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 1	mg Be kg ⁻¹ Trockensubstanz

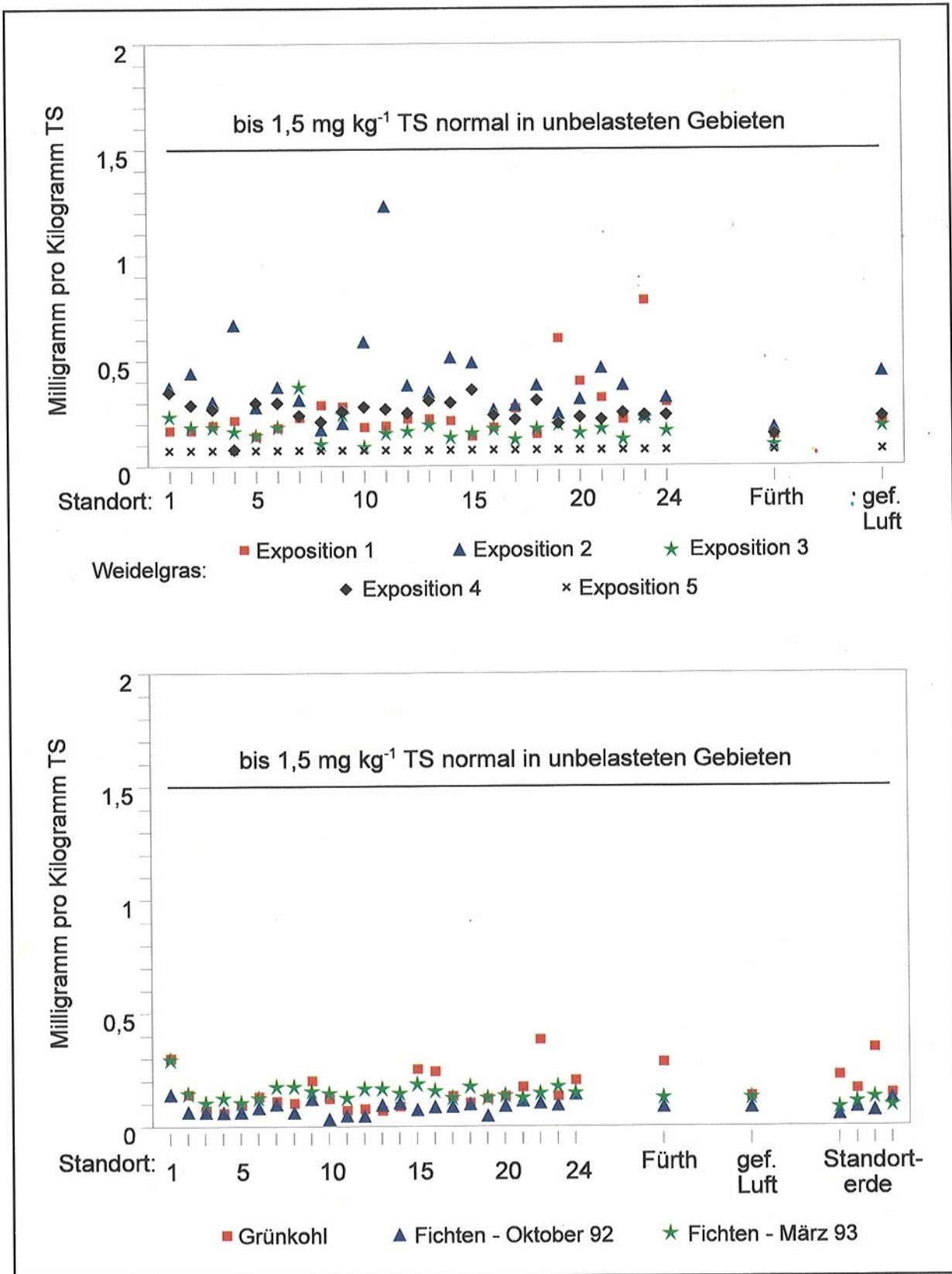


Abb. 18: Arsen-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Die Meßdaten liegen generell unter $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ Trockensubstanz an bzw. unter der analytischen Nachweisgrenze. Auf eine graphische Darstellung der Konzentrationen in Weidelgras, Grünkohl und Fichtennadeln wurde deshalb verzichtet. **Eine relevante Belastung durch Beryllium ist im Untersuchungsgebiet offensichtlich nicht gegeben.**

6.4 Blei (Pb)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Blei</i> (Angaben in mg kg^{-1} TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	1,4	0,2	2,1	24
Klonfichten - Oktober 92	1,2	0,3	1,6	24
Klonfichten - März 93	1,9	0,7	3,7	24
Grünkohl	0,7	0,2	1,3	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	1,3	0,4	1,9	6
Klonfichten - März 94	1,5	0,5	2,0	6
Sommerweizen	0,1	0,1	0,3	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	1,2	0,4	1,8	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	2,1		20,8	2724
Grünkohl aus Hausgärten	1,8		6,9	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	1,7		10,1	329

In Tab. 20 sind die Beurteilungskriterien für Blei in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt. RISS et al. (1990) geben als Normalgehalt im Grünlandaufwuchs bis 5 mg Pb kg^{-1} Trockensubstanz an. Als Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 27E) werden 20 mg kg^{-1} Futter mit 88 % Trockenmasse für Kälber und Lämmer, 40 mg kg^{-1} Futter mit 88 % Trockenmasse für Milchkühe, Milchziegen und Milchschafe, 30 mg kg^{-1} Futter mit 88 % Trockenmasse für andere Wiederkäuer und 5 mg kg^{-1} Futter mit 88 % Trockenmasse für Schweine angesetzt.

Tab. 20: Beurteilungskriterien für Blei in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,5	mg Pb kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,5 - 1	mg Pb kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	1 - 10	mg Pb kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	10 - 30	mg Pb kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 30	mg Pb kg ⁻¹ Trockensubstanz

Als weiteres Beurteilungskriterium kann der Richtwert der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS 1990) für Grünkohl von 2 mg Pb kg⁻¹ Frischmasse bzw. 12 mg Pb kg⁻¹ Trockenmasse herangezogen werden.

Die Akkumulationsraten bei Grünkohl aus dem Untersuchungsjahr 1990 im Raum Eich-Gimbsheim beliefen sich auf 0,4 - 1,4 mg Pb kg⁻¹ Trockensubstanz (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992) und liegen damit im gleichen Wertebereich wie die Grünkohl-Daten dieser Studie. Nach HEIDINGSFELD (1991) beträgt die Konzentrationsspanne im 1. Nadeljahrgang von Fichten (Rastererhebung 1989 in Rheinland-Pfalz) 0,34 - 2,26 mg Pb kg⁻¹ Trockensubstanz (Median = 0,98 mg kg⁻¹).

Alle Werte aus dem Untersuchungsgebiet liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der landwirtschaftlichen Nutztiere (vgl. Abb. 19). **Eine relevante Belastung durch Blei ist offensichtlich nicht gegeben.**

Daß die Pb-Belastung hessenweit mittlerweile als unkritisch zu werten ist, macht die Darstellung der Entwicklung der Blei-Konzentrationen im Weidelgras von 1981 bis 1994 in Abb. 20 deutlich. Vor allem in den Ballungsräumen ist aufgrund des stark rückgängigen Einsatzes bleihaltiger Kraftstoffe eine deutliche Entspannung der Belastungssituation festzustellen (vgl. auch Abb. 7b). So lagen die Werte von Weidelgras-Expositionen für den Expositionszeitraum Mai bis Oktober 1982 im Raum Biebesheim noch zwischen 5,8 - 11,8 mg Pb kg⁻¹ Trockensubstanz (HLFU 1984).

Als Ergebnis der varianzanalytischen Prüfung (Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse, Tab. 21) auf Standortunterschiede kann, trotz des generell niedrigen Konzentrationsniveaus, bei Betrachtung der Standorte 1 - 24, Fürth/Odenwald sowie Gießen (aktivkohle-gefilterte Umgebungsluft) festgehalten werden:

Signifikante Standortunterschiede in der Pb-Belastung sind gegeben (p = 0,0382).

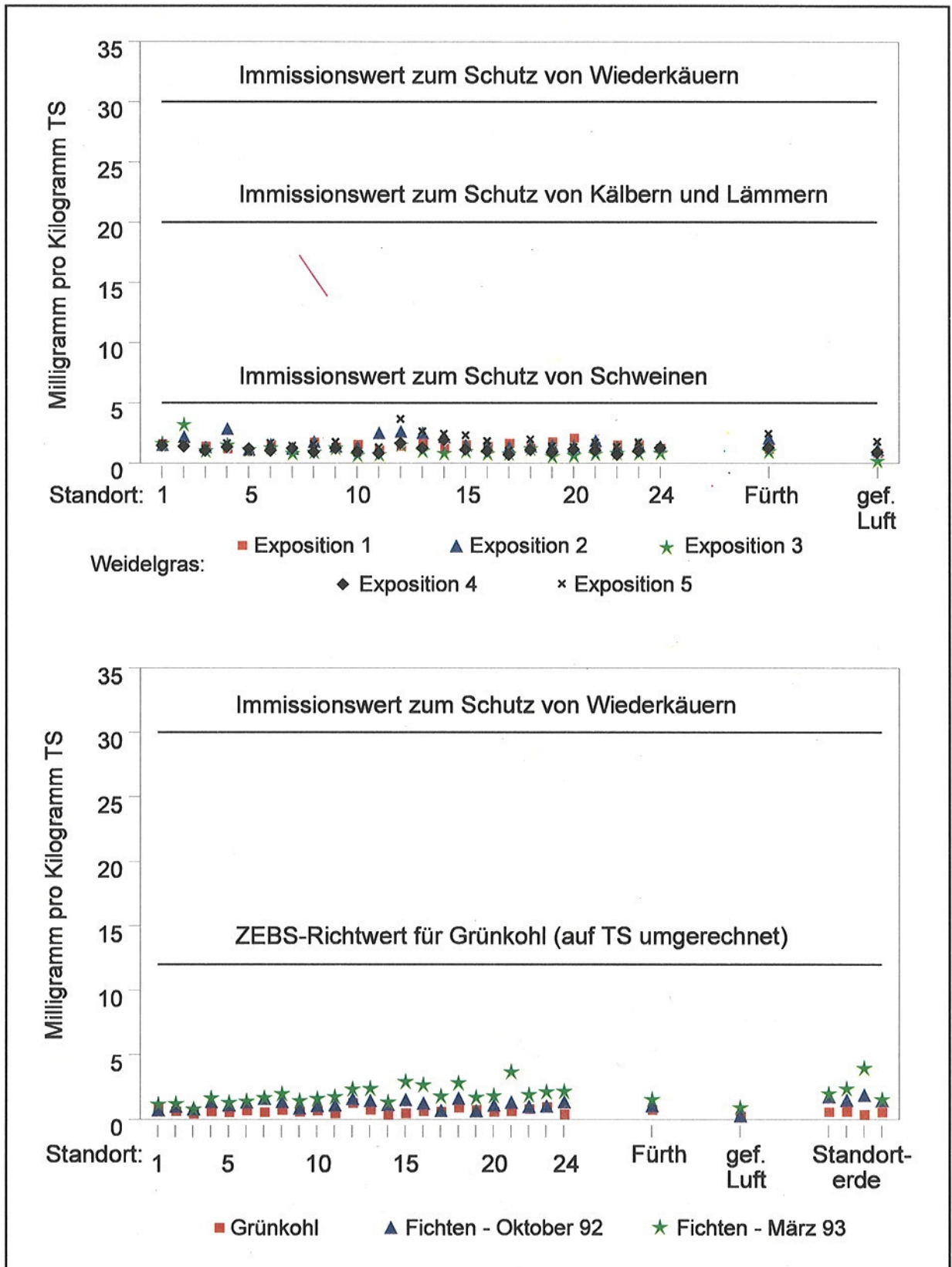


Abb. 19: Blei-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Tab. 21: Ergebnisse der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse

Station	mittlerer Rang		Station	mittlerer Rang
gefilterte Luft	3,3		2	40,3
3	13,7		19	42,3
5	15,3		Fürth/Odenwald	43,3
7	22,3		15	45,7
14	24		1	46
9	28,3		16	46,2
17	30,7		22	46,8
10	31		21	54,3
11	31,3		8	55
24	34,7		23	57,7
20	37,3		18	63
6	38,3		13	65,3
4	40		12	70,7

kritische Differenz_{0,05} = 113,5 (berechnet nach BAUER 1986)

Der Standort "gefilterte Umgebungsluft" nimmt hierbei den niedrigsten Rang ein. Dies kann als Hinweis darauf interpretiert werden, daß eine - wenn auch geringe - Pb-Belastung über den Luftpfad gegeben ist.

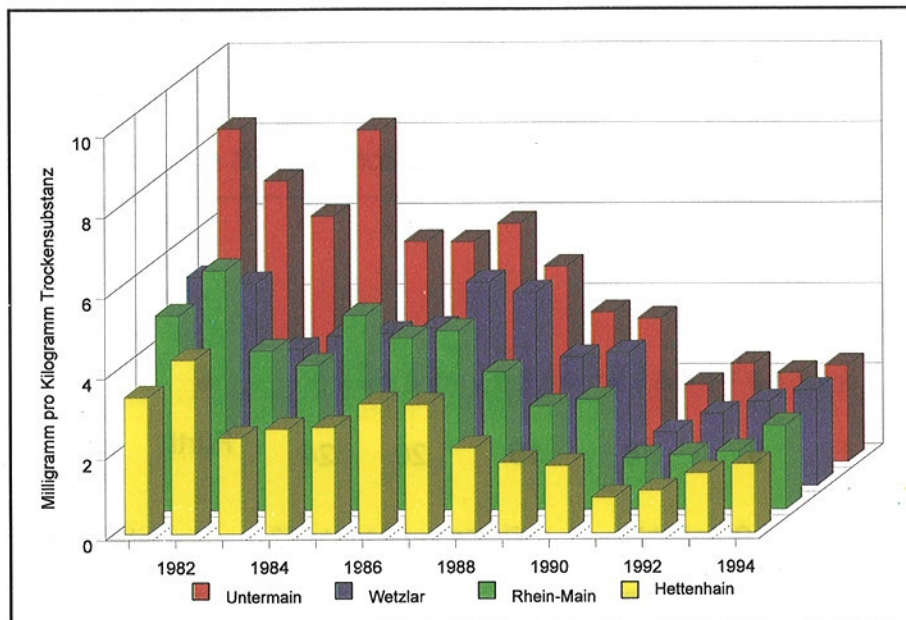


Abb. 20: Entwicklung der Blei-Konzentrationen in Weidelgras-Kulturen von 1991 bis 1994

Standörtliche Belastungsunterschiede sind dagegen bei ausschließlicher Betrachtung der Stationen 1 - 24 nicht signifikant ($p = 0,0901$).

6.5 Cadmium (Cd)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Cadmium</i> (Angaben in mg kg^{-1} TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,08	0,01	0,11	24
Klonfichten - Oktober 92	0,09	0,07	0,36	24
Klonfichten - März 93	0,05	0,03	0,11	24
Grünkohl	0,06	0,04	0,18	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,04	0,01	0,05	6
Klonfichten - März 94	0,05	0,02	0,07	6
Sommerweizen	0,05	0,01	0,06	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,09	0,02	0,13	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	0,2		5,2	2724
Grünkohl aus Hausgärten	0,2		0,7	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	0,24		3,3	329

RISS et al. (1990) geben als Normalgehalte im Grünlandaufwuchs bis 1 mg Cd kg^{-1} Trockensubstanz an. Der Richtwert der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS 1990) für Grünkohl von $0,1 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ Frischmasse beträgt umgerechnet auf Trockenmasse $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$.

Als Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 28E) werden - bezogen auf 88 % Trockenmasse - $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter für Rinder < 6 Monate, $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter für Rinder > 6 bis 24 Monate, $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter für Rinder > 24 Monate, $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter für Schafe < 6 Monate, $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter für Schafe > 6 Monate, $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter

für Schweine, 0,5 mg kg⁻¹ Futter für Hühner und 0,4 mg kg⁻¹ Futter für Pferde angesetzt.

Nach HEIDINGSFELD (1991) beträgt die Konzentrationsspanne im 1. Nadeljahrgang von Fichten (Rastererhebung 1989 in Rheinland-Pfalz) 0,04 - 0,63 mg Cd kg⁻¹ Trockensubstanz (Median = 0,17 mg kg⁻¹).

In Tab. 22 sind die Beurteilungskriterien für Cadmium in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 22: Beurteilungskriterien für Cadmium in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,2	mg Cd kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,2 - 0,5	mg Cd kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	0,2 - 0,5	mg Cd kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	0,5 - 1	mg Cd kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 1	mg Cd kg ⁻¹ Trockensubstanz

Aus Abb. 21 wird deutlich, daß die Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der landwirtschaftlichen Nutztiere eingehalten werden. **Eine relevante Belastung durch Cadmium ist offensichtlich nicht gegeben.**

Nach HLFU (1984) lagen die Werte von Weidelgrasexpositionen für den Expositionszeitraum Mai bis Oktober 1982 im Raum Biebesheim zwischen 0,22 und 0,29 mg Cd kg⁻¹ Trockensubstanz. Die Akkumulationsraten bei Grünkohl aus dem Untersuchungsjahr 1990 im Raum Eich-Gimbsheim (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992) beliefen sich auf 0,12 - 0,42 mg Cd kg⁻¹ Trockenmasse. Im Vergleich mit den o.a. Daten dieser Studie wird die Entspannung der Belastungssituation im Untersuchungsgebiet auch für dieses toxische Element deutlich.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Cd-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

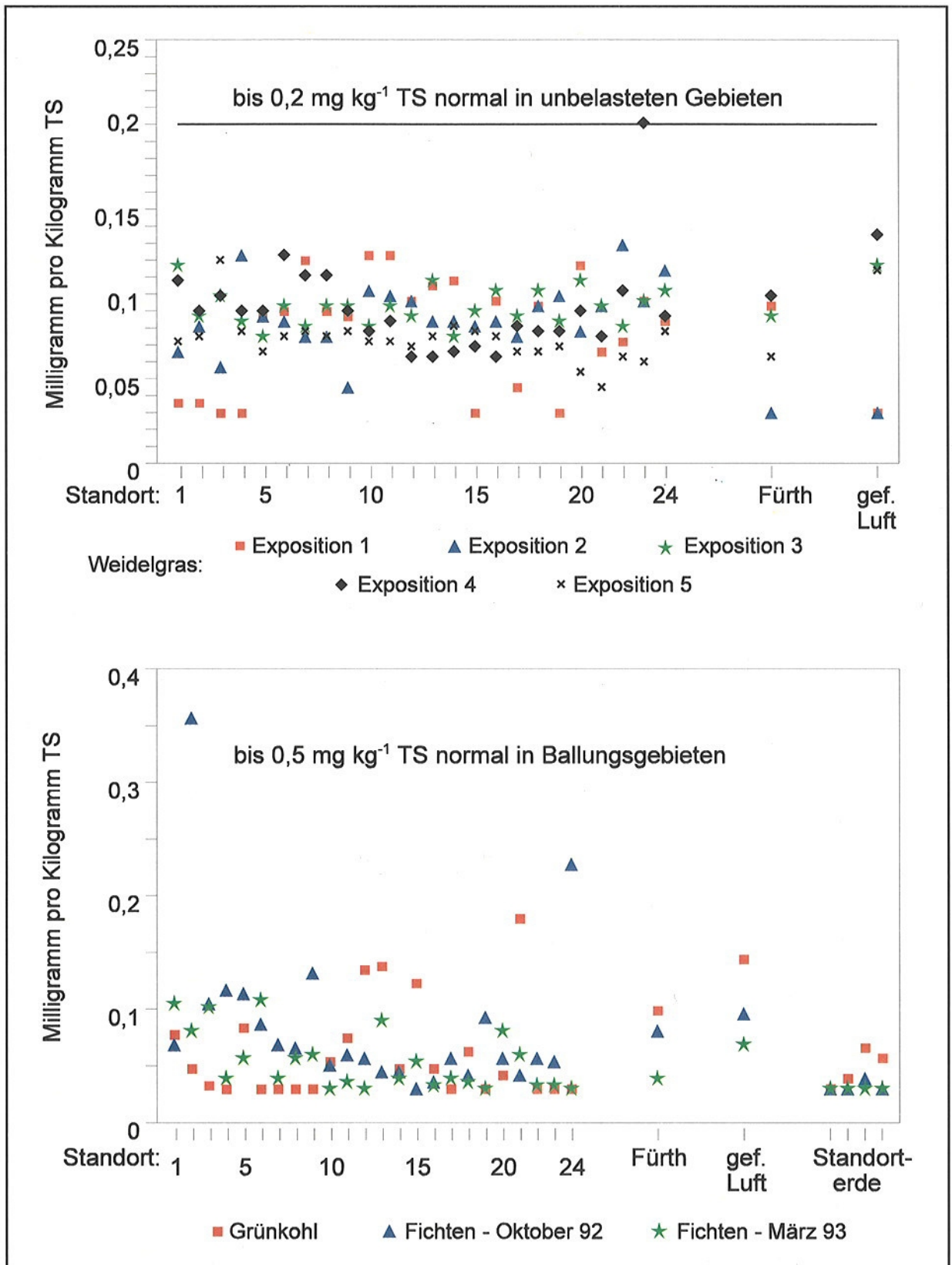


Abb. 21: Cadmium-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

6.6 Chrom (Cr)

In Tab. 23 sind die Beurteilungskriterien für Chrom in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 23: Beurteilungskriterien für Chrom in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,5	mg Cr kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	bis 0,5	mg Cr kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	0,5 - 1	mg Cr kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	1 - 1000	mg Cr kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 1000	mg Cr kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Chrom</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	1,15	0,41	2,08	24
Klonfichten - Oktober 92	1,86	1,34	7,60	24
Klonfichten - März 93	1,26	1,18	6,70	24
Grünkohl	1,28	2,19	10,75	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,79	0,35	1,22	6
Klonfichten - März 94	1,40	0,87	2,88	6
Sommerweizen	0,20	0,07	0,33	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,41	0,22	0,73	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	0,9		6,3	2724
Grünkohl aus Hausgärten	0,8		9,4	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	1,2		7,1	329

Die Akkumulationsraten bei Grünkohl aus dem Untersuchungsjahr 1990 im Raum Eich-Gimbsheim (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992) beliefen sich auf 0,17 - 2,75 mg Cr kg⁻¹ Trockenmasse.

Einige Chromwerte sind erhöht (Abb. 22). Auffällig sind hierbei die Standorte 3, 4 und 11. Da die Meßwerte in der Regel im selben Bereich wie die Werte der Pflanzen liegen, die in gefilterter Luft exponiert waren, ist eine **relevante Belastung durch Chrom wenig wahrscheinlich**. Auch der Vergleich der Grünkohlproben aus dem Untersuchungsgebiet Biebesheim mit denen aus Berlin stützt diese Einschätzung.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die **"Belastungssituation"** ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Cr-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.7 Cobalt (Co)

In Tab. 24 sind die Beurteilungskriterien für Cobalt in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt. Der Vergleich mit Abb. 23 verdeutlicht, daß eine **relevante Belastung offensichtlich nicht gegeben** ist. Die z.T. etwas höheren Werte in den Weidelgraskulturen aus dem Großraum Biebesheim scheinen beim Vergleich mit den Werten der Kulturen, die in gefilterter Luft exponiert waren, unbedenklich.

Tab. 24: Beurteilungskriterien für Cobalt in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,1	mg Co kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,1 - 0,3	mg Co kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	0,3 - 0,5	mg Co kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	0,5 - 1	mg Co kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 1	mg Co kg ⁻¹ Trockensubstanz

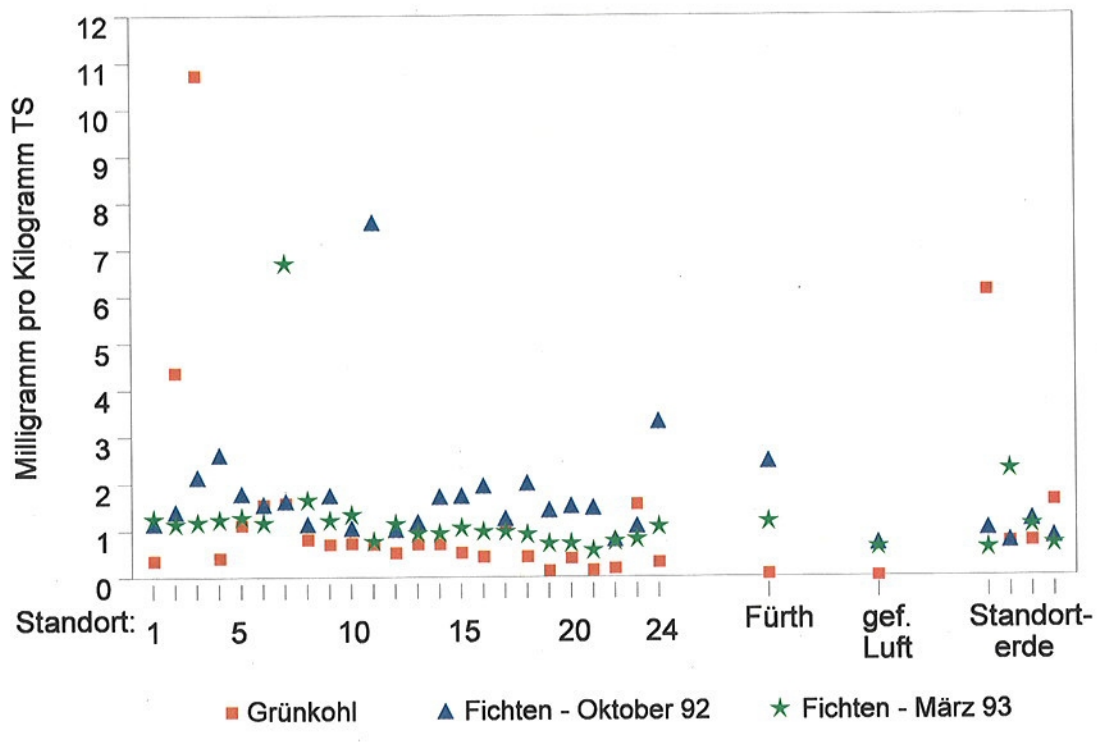
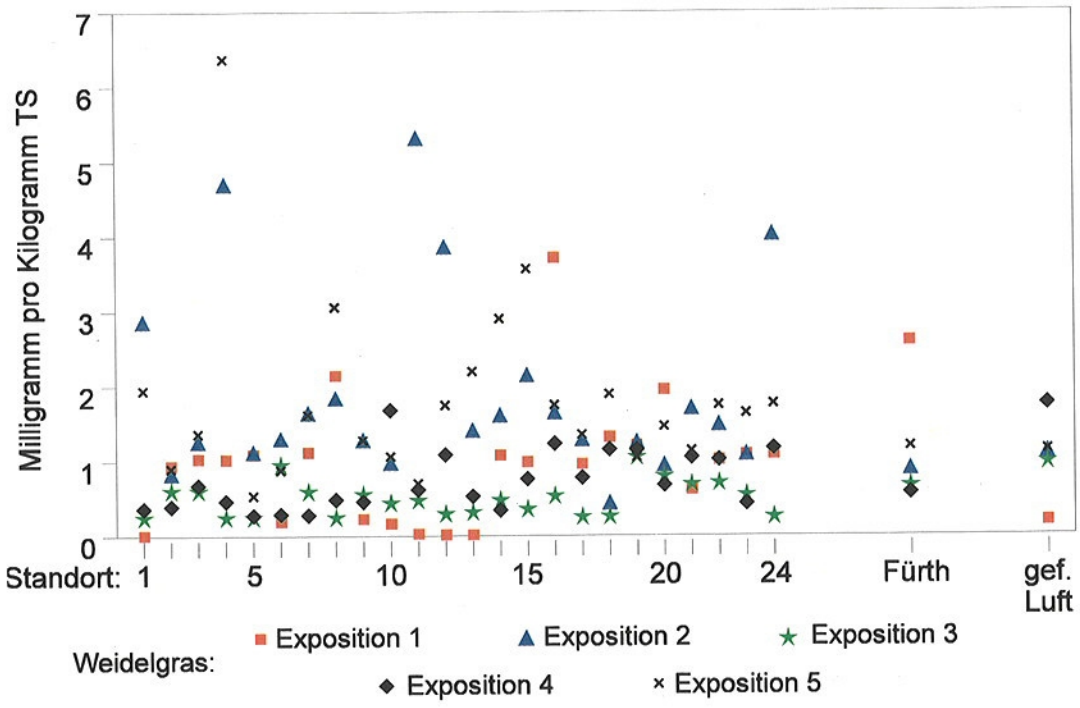


Abb. 22: Chrom-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

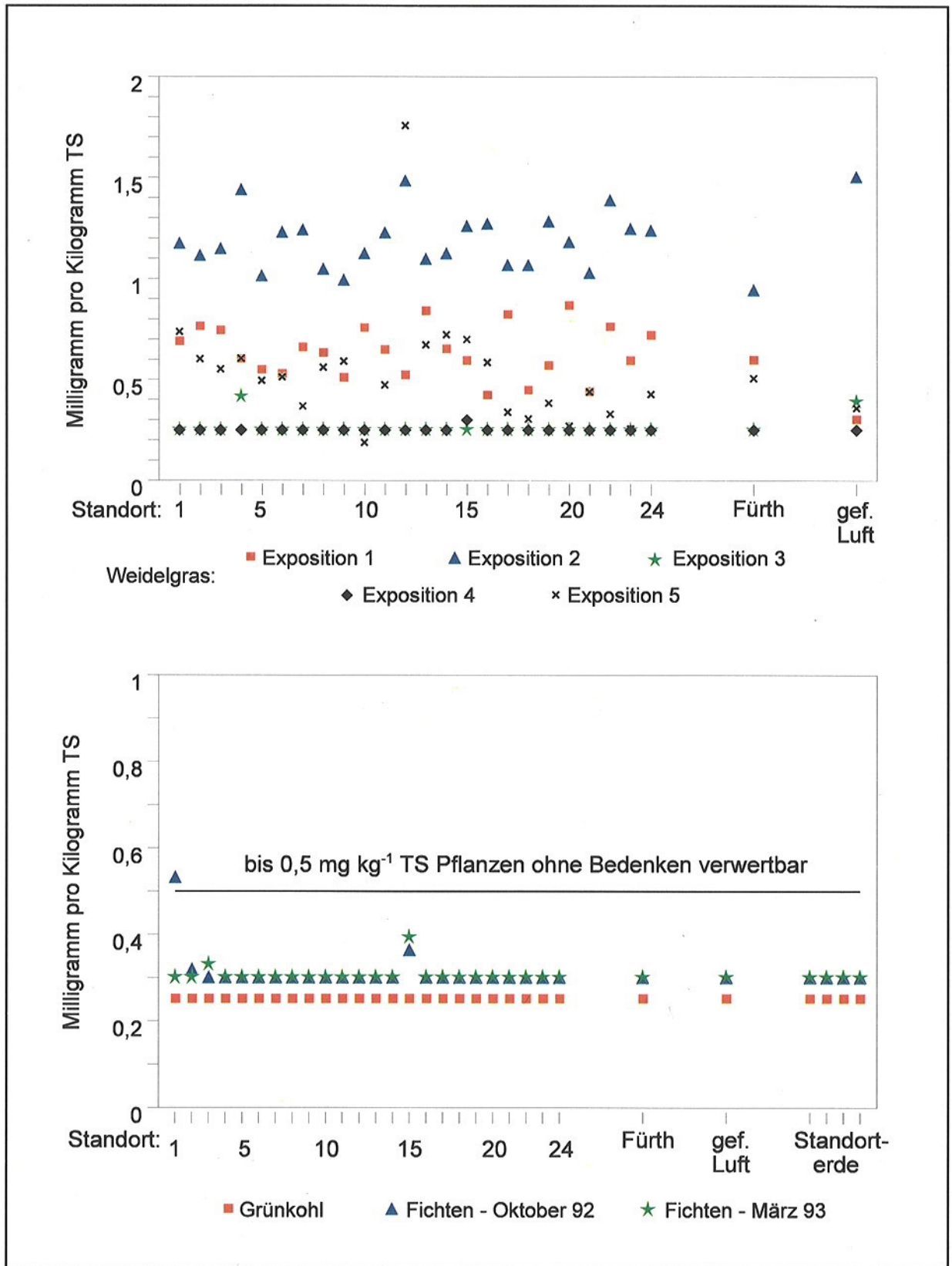


Abb. 23: Cobalt-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Cobalt</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,64	0,06	0,78	24
Klonfichten - Oktober 92	0,31	0,05	0,53	24
Klonfichten - März 93	0,31	0,02	0,39	24
Grünkohl	<0,25		<0,25	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	<0,3		<0,3	6
Klonfichten - März 94	<0,3		<0,3	6
Sommerweizen	<0,3		<0,3	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	<0,3		<0,3	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	0,2		4,5	2724
Grünkohl aus Hausgärten	0,2		2,8	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	0,12		2,4	329

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Co-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.8 Eisen (Fe)

In Tab. 25 sind die Beurteilungskriterien für Eisen in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt. Die Konzentrationsspanne im 1. Nadeljahrgang von Fichten, die in der Rastererhebung 1989 in Rheinland-Pfalz beprobt wurden, beträgt nach HEIDINGSFELD (1991) 47 - 173 mg Fe kg⁻¹ Trockenmasse bei einem Median von 85 mg kg⁻¹.

Tab. 25: Beurteilungskriterien für Eisen in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	50 - 150	mg Fe kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	bis 200	mg Fe kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	bis 200	mg Fe kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	200 - 500	mg Fe kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 500	mg Fe kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Eisen</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	160	56	358	24
Klonfichten - Oktober 92	166	33	239	24
Klonfichten - März 93	202	45	283	24
Grünkohl	78	21	144	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	130	34	174	6
Klonfichten - März 94	140	81	230	6
Sommerweizen	46	5	54	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	97	46	187	10

Eine relevante Belastung durch Eisen ist nicht gegeben (vgl. Abb. 24). Die Meßdaten im Grünkohl und Weizen liegen durchgehend in einem Bereich, der für unbelastete Gebiete angenommen wird. Die z.T. etwas höheren Werte im Weidelgras koinzidieren mit niedrigen Biomassen. Die zwei Eisenwerte > 500 mg kg⁻¹ TS in den Weidelgraskulturen der 2. Exposition koinzidieren mit hohen Chromwerten.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Fe-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

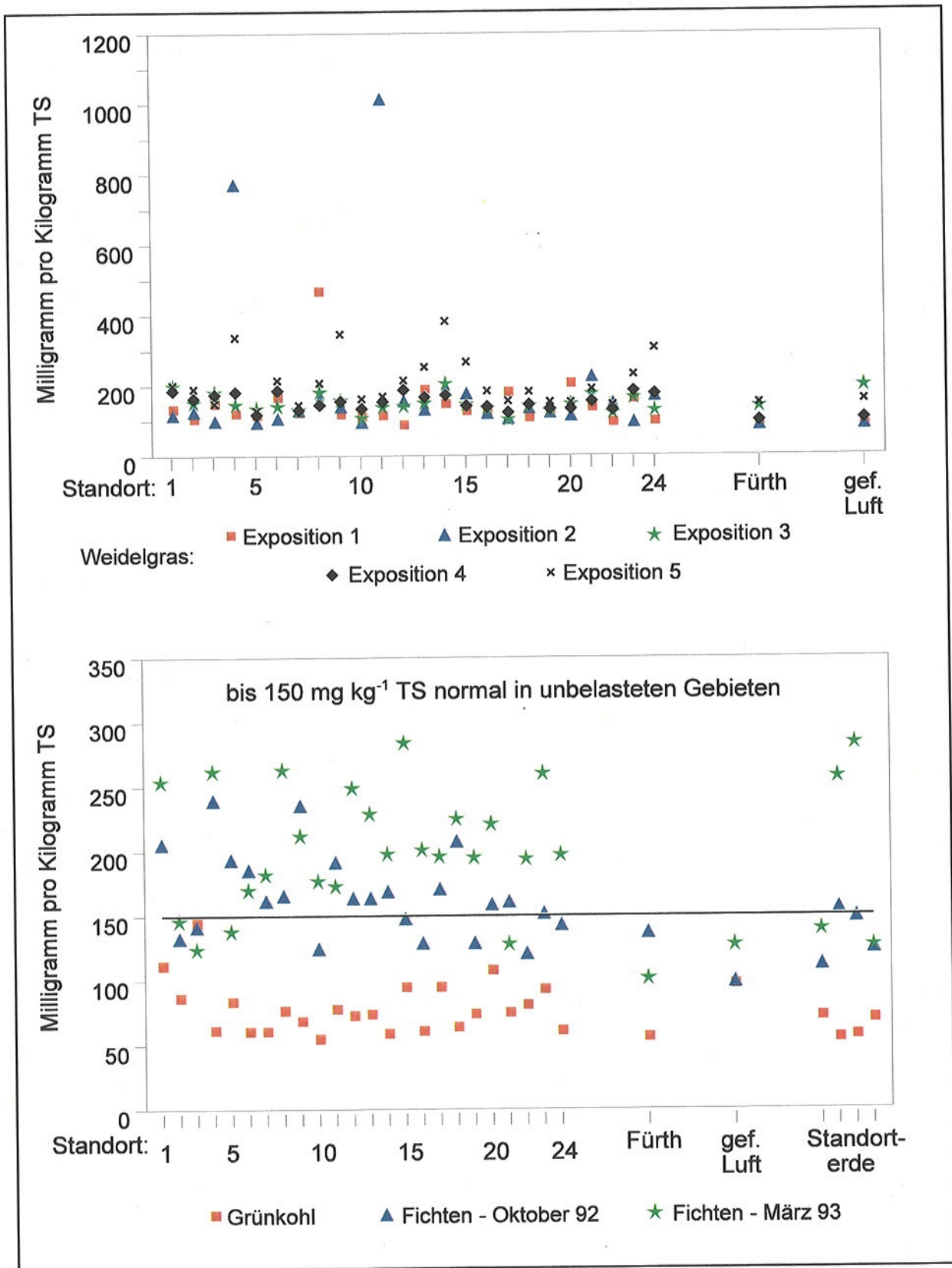


Abb. 24: Eisen-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

6.9 Fluor (F)

In Tab. 26 sind die Beurteilungskriterien für Fluor in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt. Als Maximaler Immissions-Wert zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 26) werden 30 mg F kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse angesetzt. Die Akkumulationsraten bei Grünkohl aus dem Untersuchungsjahr 1990 im Raum Eich-Gimbsheim (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992) lagen zwischen 3,0 und 8,5 mg F kg⁻¹ Trockenmasse und liegen damit im gleichen Wertebereich wie die Grünkohl-Daten dieser Studie (vgl. Abb. 25).

Tab. 26: Beurteilungskriterien für Fluor in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 5	mg F kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	5 - 20	mg F kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	20 - 30	mg F kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	30 - 100	mg F kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 100	mg F kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Fluor</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	4,9	0,9	6,2	24
Klonfichten - Oktober 92	6,3	3,1	15	24
Klonfichten - März 93	7,4	3,2	14	24
Grünkohl	3,9	1,8	7,5	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	1,7	0,8	3	6
Klonfichten - März 94	2,7	0,8	4	6
Sommerweizen	1,6	0,7	2,7	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	5,2	1,1	6,5	10

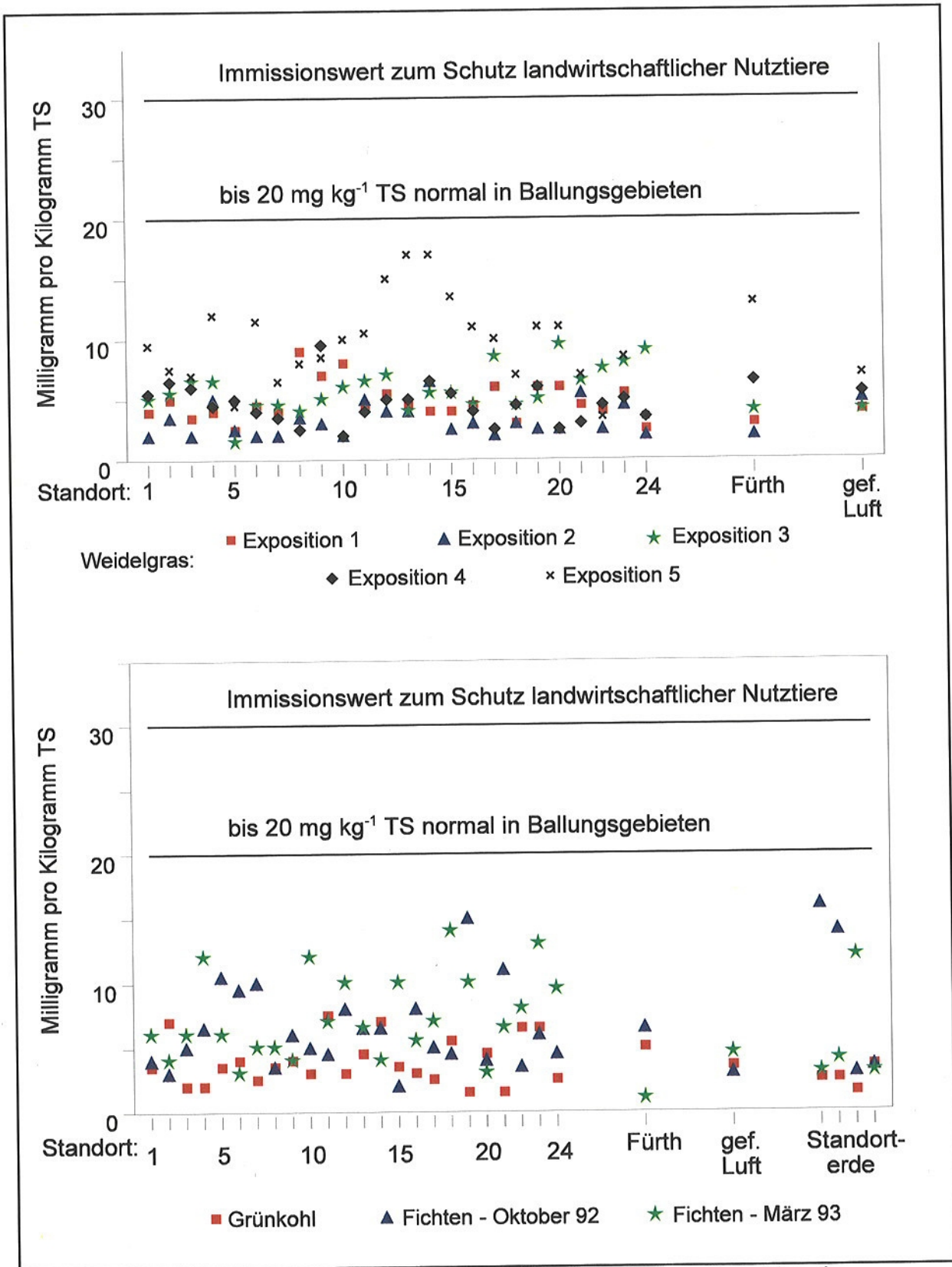


Abb. 25: Fluor-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Eine relevante Belastung durch Fluor ist nicht gegeben. Alle Werte liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der landwirtschaftlichen Nutztiere. Die z.T. etwas höheren Werte im Weidelgras der 5. Exposition koinzidieren mit niedrigen Biomassen.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter F-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.10 Kupfer (Cu)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Kupfer</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	14,9	0,7	16,3	24
Klonfichten - Oktober 92	9,1	9,6	28,6	24
Klonfichten - März 93	10	2,4	17	24
Grünkohl	5,3	1,5	8,3	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	2	0,5	2,8	6
Klonfichten - März 94	2,1	0,2	2,3	6
Sommerweizen	6,4	1	8,1	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	6,9	5,3	18	10

In Tab. 27 sind die Beurteilungskriterien für Kupfer in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Nach RISS et al. (1990) kann als "normal" im Grünlandaufwuchs bis zu 20 mg Cu kg⁻¹ Trockenmasse angesehen werden.

Tab. 27: Beurteilungskriterien für Kupfer in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 10	mg Cu kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	10 - 20	mg Cu kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	20 - 100	mg Cu kg ⁻¹ Trockensubstanz (unproblematisch für Menschen und Tiere außer Schafe, die höchstens 15 mg kg ⁻¹ ertragen)
stark erhöht	100 - 200	mg Cu kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 200	mg Cu kg ⁻¹ Trockensubstanz

Aus Abb. 26 kann abgeleitet werden, daß eine **relevante Belastung durch Kupfer offensichtlich nicht gegeben ist**. Alle Werte liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich **sehr homogen**. Ein erhöhter Cu-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.11 Mangan (Mn)

In Tab. 28 sind die Beurteilungskriterien für Mangan in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 28: Beurteilungskriterien für Mangan in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 100	mg Mn kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	100 - 150	mg Mn kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	150 - 200	mg Mn kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	200 - 400	mg Mn kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 400	mg Mn kg ⁻¹ Trockensubstanz

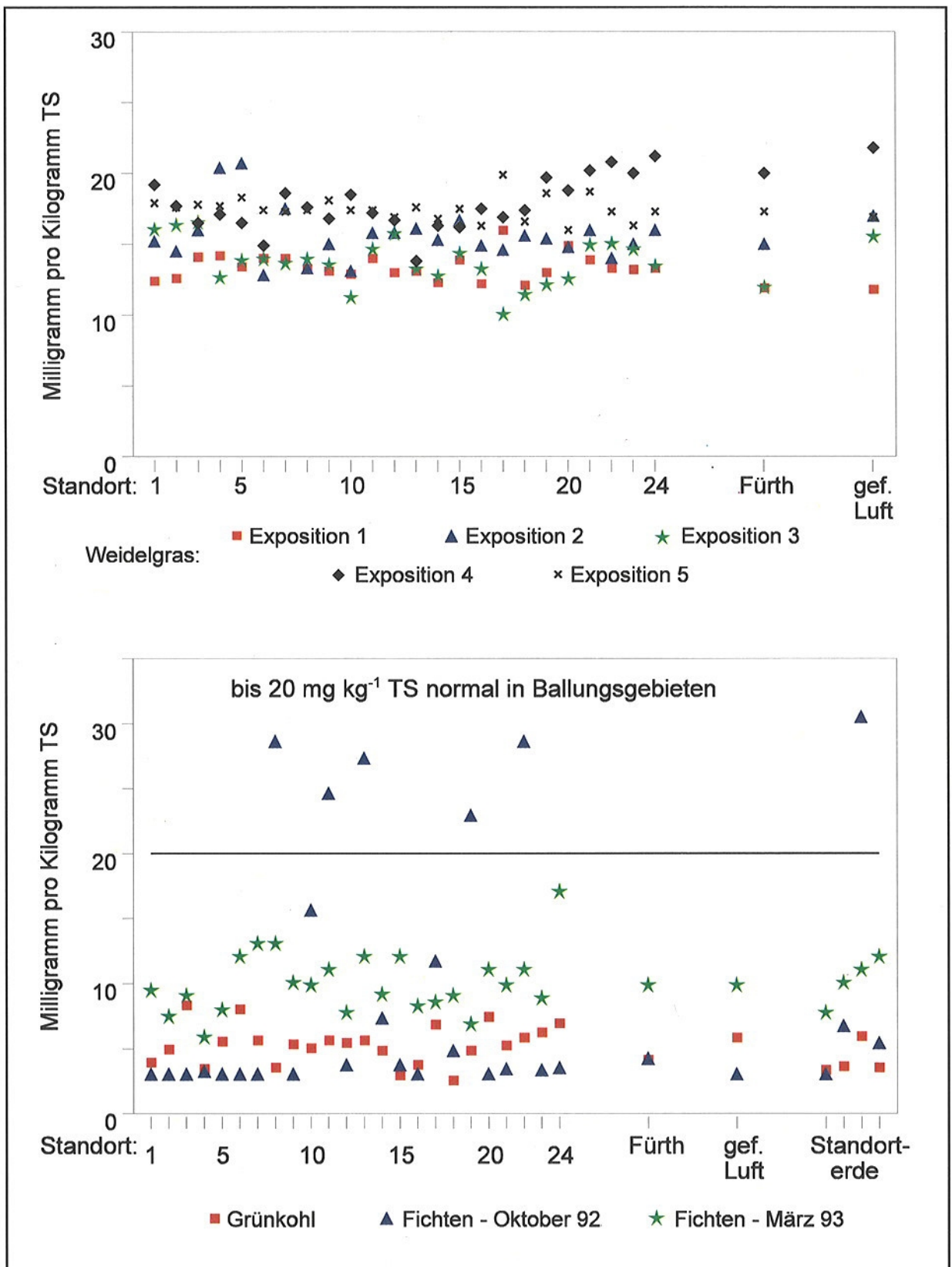


Abb. 26: Kupfer-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Mangan</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	279	10	296	24
Klonfichten - Oktober 92	799	348	1773	24
Klonfichten - März 93	719	286	1410	24
Grünkohl	102	37	180	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	434	41	487	6
Klonfichten - März 94	502	152	699	6
Sommerweizen	97	12	112	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	89	27	138	10

Nach HEIDINGSFELD (1991) beträgt die Konzentrationsspanne im 1. Nadeljahrgang von Fichten der Rastererhebung 1989 in Rheinland-Pfalz 235 - 4550 mg Mn kg⁻¹ Trockenmasse (Median = 1800 mg kg⁻¹). Die Daten der im Großraum Biebesheim exponierten Klonfichten liegen in der gleichen Größenordnung (Abb. 27).

Die zum Verzehr geeigneten Exponate Grünkohl und Weizen sind ohne Bedenken verwertbar. Auch der Vergleich der Werte aus dem Großraum Biebesheim mit denen der Pflanzen, die in gefilterter Luft exponiert wurden, weist darauf hin, daß eine **relevante Belastung durch Mangan nicht gegeben ist.**

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die **"Belastungssituation"** ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Mn-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

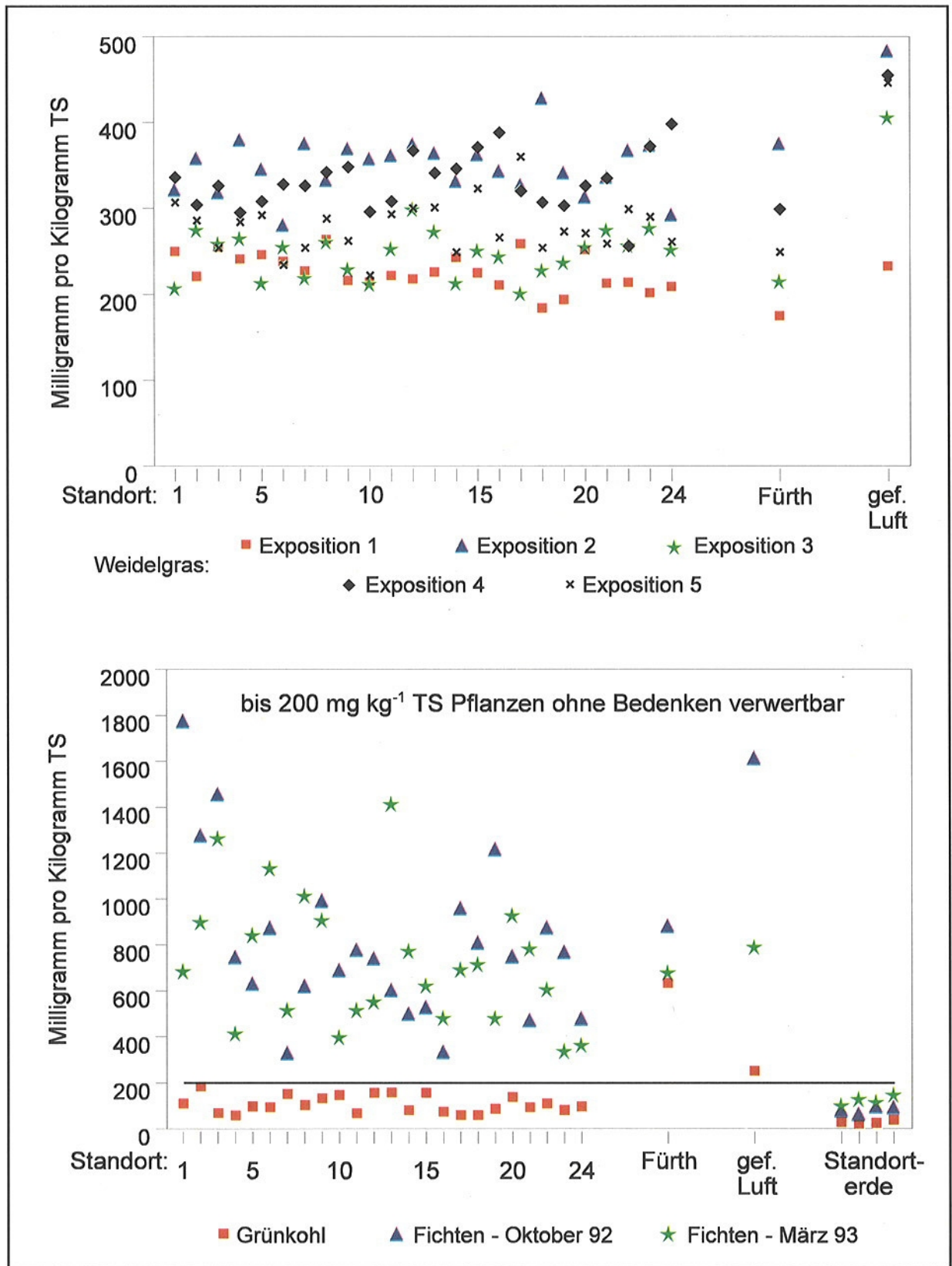


Abb. 27: Mangan-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

6.12 Nickel (Ni)

In Tab. 29 sind die Beurteilungskriterien für Nickel in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 29: Beurteilungskriterien für Nickel in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 2,5	mg Ni kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	2,5 - 5	mg Ni kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	5 - 10	mg Ni kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	10 - 50	mg Ni kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 50	mg Ni kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Nickel</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	3,2	0,5	4,4	24
Klonfichten - Oktober 92	0,9	1	5,1	24
Klonfichten - März 93	0,7	0,3	1,8	24
Grünkohl	1,2	1	5,2	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,6	0,3	1	6
Klonfichten - März 94	0,7	0,4	1,2	6
Sommerweizen	0,5	0,3	1	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,6	0,7	2,5	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	0,5		12,5	2724
Grünkohl aus Hausgärten	0,5		4,8	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	1,46		13,8	329

Bis 5 mg Ni kg⁻¹ Trockenmasse können nach RISS et al. (1990) als Normalgehalt im Grünlandaufwuchs angesehen werden. Als Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 30) gelten 50 mg Ni kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse für Rinder und 100 mg Ni kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse für Schweine und Hühner.

Abb. 28 verdeutlicht, daß **eine relevante Belastung durch Nickel nicht gegeben ist**. Die Meßdaten im Grünkohl liegen durchgehend in einem Bereich, der als "normal" für Ballungsgebiete angenommen wird. Das MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ (1992) berichtet von Akkumulationsraten bei Grünkohl im Raum Eich-Gimbsheim zwischen 0,65 und 3,15 mg Ni kg⁻¹ Trockenmasse (Untersuchungsjahr 1990). Die z.T. etwas höheren Werte in den Weidelgraskulturen aus dem Großraum Biebesheim erscheinen beim Vergleich mit den Werten der Kulturen, die in gefilterter Luft exponiert waren, ebenfalls als "normal".

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Ni-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.13 Quecksilber (Hg)

In Tab. 30 sind die Beurteilungskriterien für Quecksilber in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 30: Beurteilungskriterien für Quecksilber in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,1	mg Hg kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,1 - 0,2	mg Hg kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	0,2 - 0,5	mg Hg kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	0,5 - 2	mg Hg kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 2	mg Hg kg ⁻¹ Trockensubstanz

RISS et al. (1990) geben als Normalgehalt im Grünlandaufwuchs bis 0,2 mg Hg kg⁻¹ Trockenmasse an. Der Richtwert der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS 1990) für Grünkohl von 0,05 mg kg⁻¹ Frischmasse beträgt umgerechnet auf Trockenmasse 0,3 mg kg⁻¹.

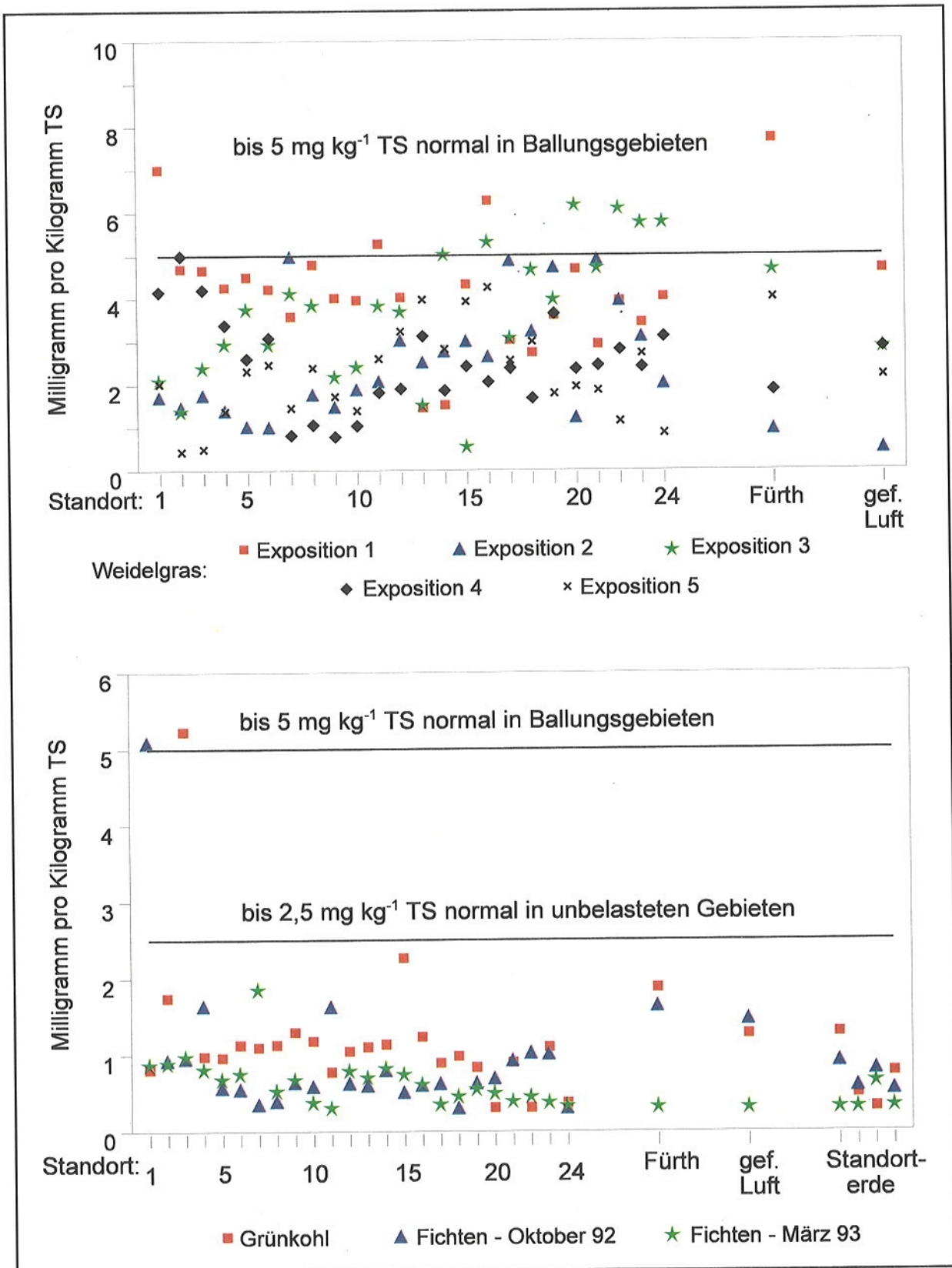


Abb. 28: Nickel-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Als Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 33E) werden für Futter mit 88 % Trockenmasse 0,1 mg kg⁻¹ für Rinder, 0,05 mg kg⁻¹ für Schafe, 0,08 mg kg⁻¹ für Schweine sowie 0,02 mg kg⁻¹ für Hühner angesetzt.

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Quecksilber</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,02	<0,01	0,03	24
Klonfichten - Oktober 92	0,04	0,01	0,06	24
Klonfichten - März 93	0,04	0,01	0,08	24
Grünkohl	0,03	0,01	0,05	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,02	<0,01	0,02	6
Klonfichten - März 94	0,03	0,01	0,04	6
Sommerweizen	<0,01		<0,01	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,02	0,01	0,04	10

Die Akkumulationsraten bei Grünkohl aus dem Untersuchungsjahr 1990 im Raum Eich-Gimbsheim liegen mit 0,01 - 0,03 mg Hg kg⁻¹ Trockenmasse (MINISTERIUM FÜR UMWELT DES LANDES RHEINLAND-PFALZ 1992) in der gleichen Größenordnung wie die Daten dieser Studie.

Eine relevante Belastung durch Quecksilber ist offensichtlich nicht gegeben (vgl. Abb. 29). Alle Werte liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Hg-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

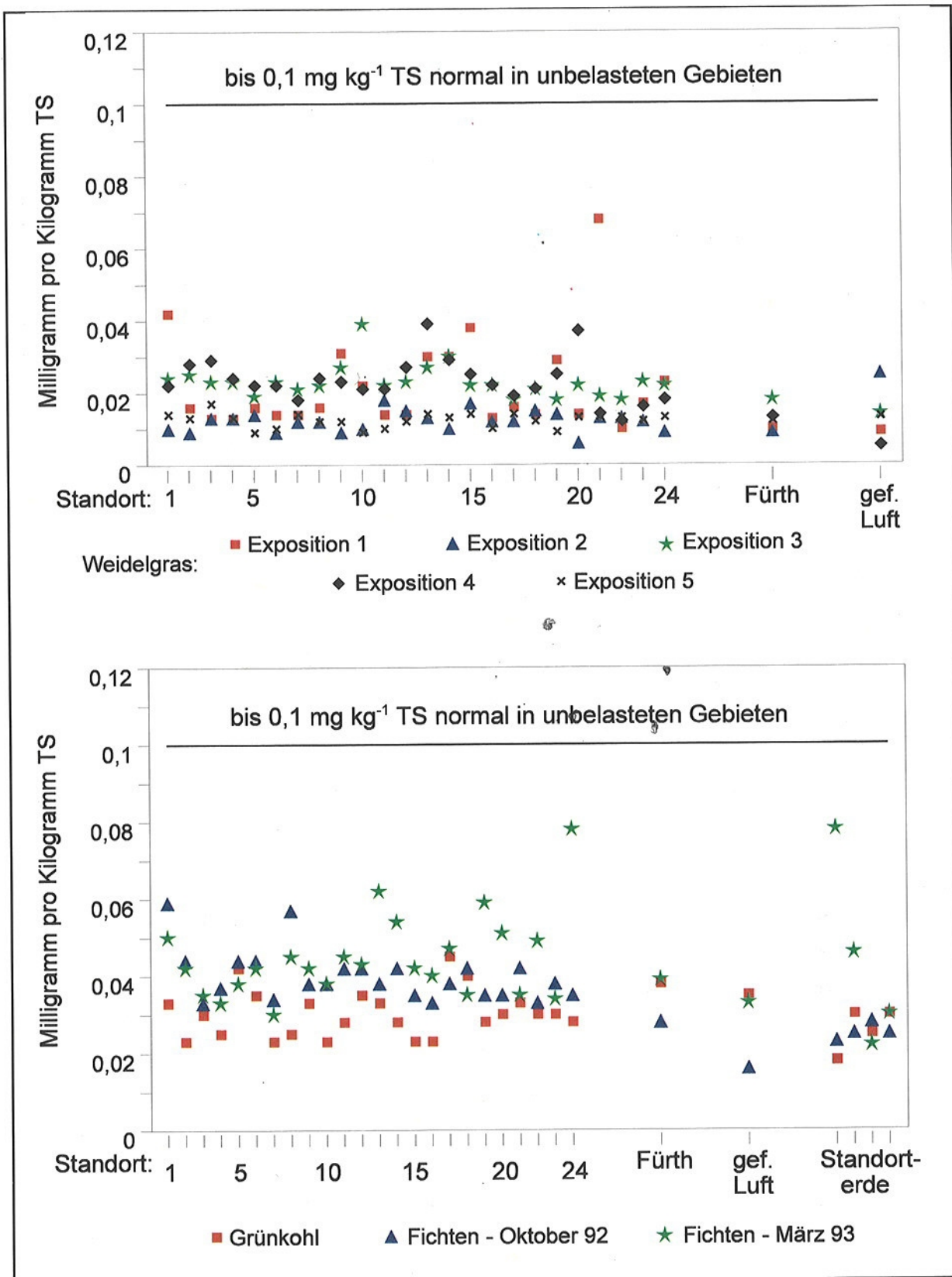


Abb. 29: Quecksilber-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

6.14 Thallium (Tl)

In Tab. 31 sind die Beurteilungskriterien für Thallium in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 31: Beurteilungskriterien für Thallium in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 0,1	mg Tl kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	0,1 - 0,5	mg Tl kg ⁻¹ Trockensubstanz (diese Werte gelten für Gras; viele Gemüsearten akkumulieren schnell bedeutend mehr, wenn Tl in die Umwelt gelangt)
leicht erhöht	0,5 - 2,5	mg Tl kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	2,5 - 5	mg Tl kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 5	mg Tl kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Thallium</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,28	<0,25	0,29	24
Klonfichten - Oktober 92	<0,3		<0,3	24
Klonfichten - März 93	<0,3		<0,3	24
Grünkohl	0,63	0,26	1,31	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	<0,3		<0,3	6
Klonfichten - März 94	<0,3		<0,3	6
Sommerweizen	<0,3		<0,3	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	<0,3		<0,3	10

Als Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 29E) gelten 1 mg Tl kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse für Mastbullen, 0,5 mg kg⁻¹ Futter

mit 88 % Trockenmasse für Mastschweine, $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter mit 88 % Trockenmasse für Schafe, $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter mit 88 % Trockenmasse für Mastküken und $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ Futter mit 88 % Trockenmasse für Legehennen.

Als weiteres Beurteilungskriterium kann der Richtwert der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS 1990) für Gemüse von $0,1 \text{ mg Tl kg}^{-1}$ Frischmasse herangezogen werden, der für Grünkohl auf Trockenmasse umgerechnet mit ca. $0,6 \text{ mg Tl kg}^{-1}$ angesetzt werden kann.

Grünkohl akkumulierte Thallium etwas mehr als das Weidelgras und die Klonfichten. Deren Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze des Analyseverfahrens. Sie wurden deshalb grafisch nicht dargestellt. Aus Abb. 30 wird deutlich, daß die Tl-Konzentrationen im Grünkohl den ZEBS-Richtwert mehr oder weniger ausschöpfen. Da die Meßwerte im selben Bereich wie die Werte der Pflanzen liegen, die an den Referenzstandorten exponiert waren, ist insgesamt gesehen eine toxikologisch relevante Belastung über den Luftpfad durch Thallium wenig wahrscheinlich.

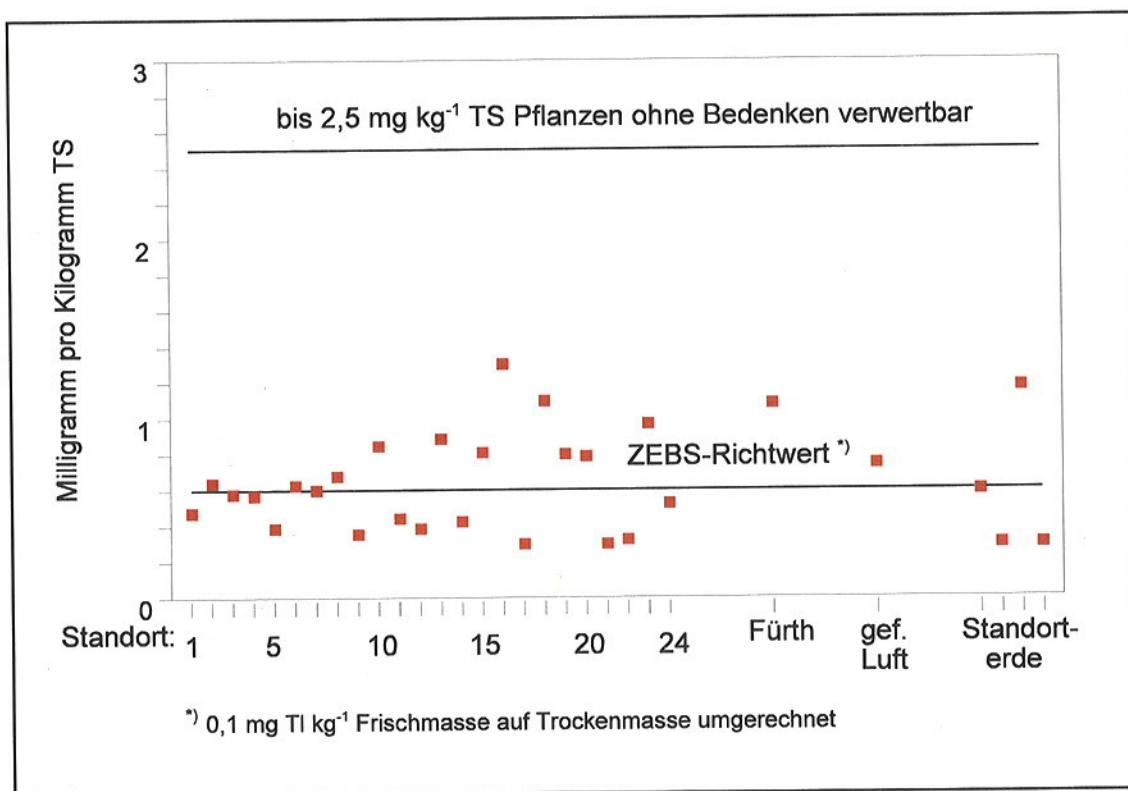


Abb. 30: Thallium-Konzentrationen im Grünkohl

6.15 Vanadium (V)

In Tab. 32 sind die Beurteilungskriterien für Vanadium in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 32: Beurteilungskriterien für Vanadium in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 10	mg V kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	bis 10	mg V kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	10 - 30	mg V kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	30 - 300	mg V kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 300	mg V kg ⁻¹ Trockensubstanz

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Vanadium</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	0,25	0,06	0,4	24
Klonfichten - Oktober 92	0,36	0,08	0,51	24
Klonfichten - März 93	0,61	0,17	1,13	24
Grünkohl	0,06	0,04	0,17	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	0,29	0,03	0,33	6
Klonfichten - März 94	0,61	0,28	1,1	6
Sommerweizen	<0,1		<0,1	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	0,07	0,04	0,13	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	0,2		5,1	2724
Grünkohl aus Hausgärten	0,2		0,9	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	0,21		2,6	329

Die Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 34E) belaufen sich auf 10 mg V kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse für Schafe und 5 mg kg⁻¹ Fut-ter mit 88 % Trockenmasse für Hühner.

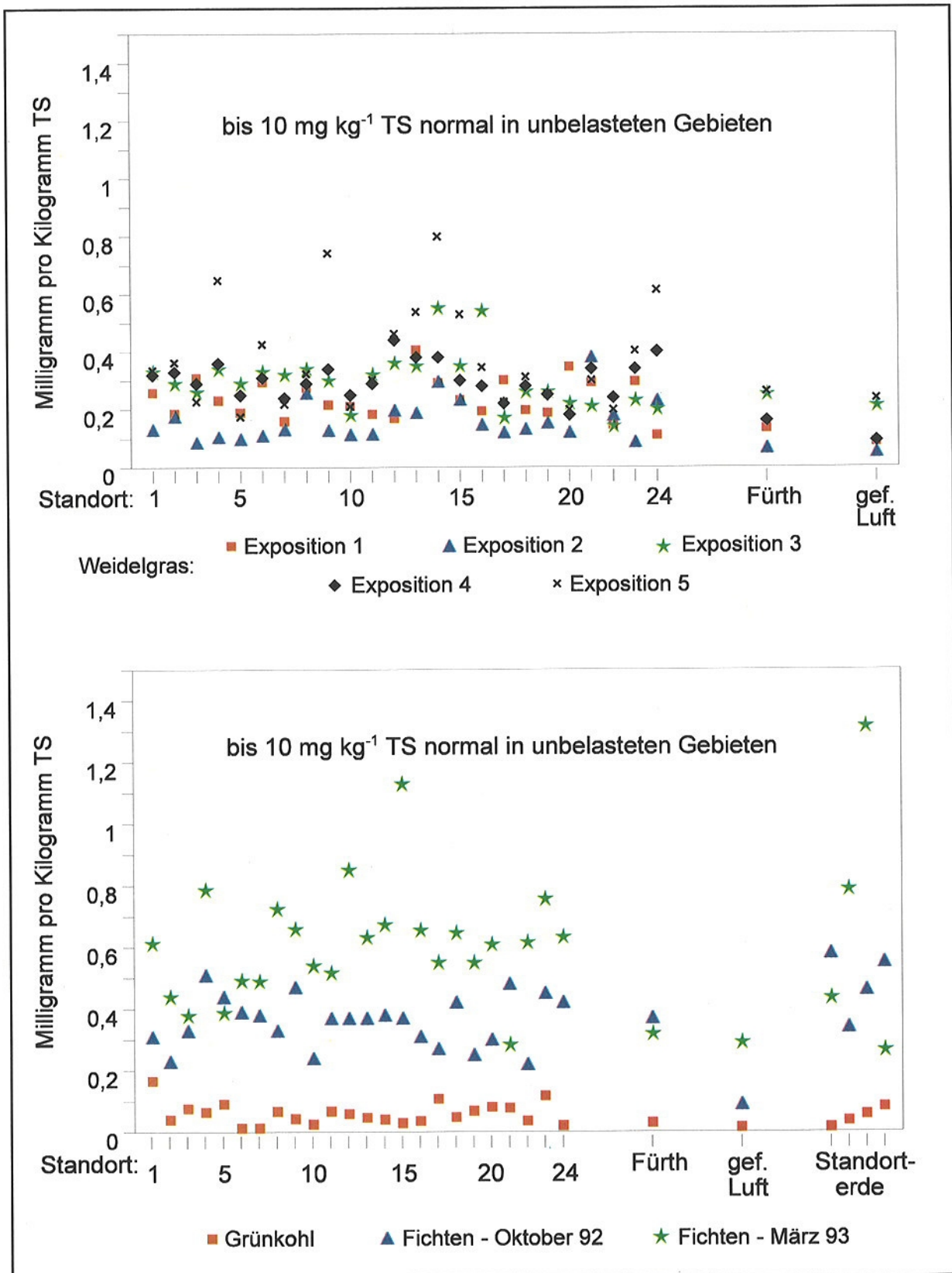


Abb. 31: Vanadium-Konzentrationen im Weidelgrass (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

Aus Abb. 31 wird deutlich, daß eine relevante Belastung durch Vanadium nicht gegeben ist. Alle Werte liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der landwirtschaftlichen Nutztiere.

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter V-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

6.16 Zink (Zn)

Statistische Kenngrößen der Exponate aus dem Großraum Biebesheim sowie Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungsgebieten sind nachstehend aufgeführt.

<i>Zink</i> (Angaben in mg kg ⁻¹ TS)	<i>Mittelwert</i>	<i>Standard- abweichung</i>	<i>Maximal- Wert</i>	<i>n</i>
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1992/93 (Stationen 1 - 24)				
Weidelgras - ertragsgewichtet	65	3	74	24
Klonfichten - Oktober 92	47	8	65	24
Klonfichten - März 93	45	12	75	24
Grünkohl	33	9	55	24
Großraum Biebesheim - Untersuchungsjahr 1993/94 (Stationen 1, 4, 9, 10, 12, 16)				
Klonfichten - Oktober 93	23	8	33	6
Klonfichten - März 94	27	8	34	6
Sommerweizen	78	25	95	6
Biomonitoring-Programm - Flughafen Rhein-Main (vgl. Kap. 8)				
Grünkohl	27	7	40	10
Monitoring-Programm - Berlin (SCHÖNHARD & VON LAAR 1992)				
Grünkohl aus Kleingärten	68		493	2724
Grünkohl aus Hausgärten	56		168	191
Wiesen-/Weidenaufwuchs	69		379	329

In Tab. 33 sind die Beurteilungskriterien für Zink in Nahrungs- und Futterpflanzen nach LINDT et al. (1990) zusammengestellt.

Tab. 33: Beurteilungskriterien für Zink in Nahrungs- und Futterpflanzen (nach LINDT et al. 1990)

normal in unbelastetem Gebiet	bis 50	mg Zn kg ⁻¹ Trockensubstanz
normal in Ballungsgebieten	50 - 100	mg Zn kg ⁻¹ Trockensubstanz
leicht erhöht	100 - 150	mg Zn kg ⁻¹ Trockensubstanz
stark erhöht	150 - 250	mg Zn kg ⁻¹ Trockensubstanz
sehr stark erhöht	über 250	mg Zn kg ⁻¹ Trockensubstanz

Die Normalgehalte im Grünlandaufwuchs können nach RISS et al. (1990) bis 150 mg Zn kg⁻¹ Trockenmasse betragen. Der Maximale Immissions-Werte zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (VDI-Richtlinie 2310 Bl. 31) beläuft sich auf 500 mg Zn kg⁻¹ Futter mit 88 % Trockenmasse.

Eine relevante Belastung durch Zink ist nicht gegeben. Alle Werte liegen unterhalb der Richtwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der landwirtschaftlichen Nutztiere (vgl. Abb. 32).

Die varianzanalytische Prüfung auf Standortunterschiede erbrachte keine Signifikanz. Die "Belastungssituation" ist offensichtlich sehr homogen. Ein erhöhter Zn-Eintrag über den Luftpfad ist nicht nachweisbar.

Literatur

- Bauer, F. (1986): *Datenanalyse mit SPSS*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Heidingsfeld, N. (1991): Nähr- und Schadstoffgehalte in Fichten- und Kiefernadeln als Bioindikator im Rahmen großräumiger Waldzustandserhebungen. in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Bioindikation - Ein wirksames Instrument der Umweltkontrolle*. Düsseldorf: VDI Berichte 901, 235-257.
- HlfU (1984): Abschlußbericht über Weidelgrasuntersuchungen im Raum Biebesheim. Wiesbaden: Hessische Landesanstalt für Umwelt.
- Lindt, T.J., Fuhrer, J. & Stadelmann, F.X. (1990): *Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen*. Schriftenreihe der FAC Nr. 8. Liebfeld-Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene.
- Ministerium für Umwelt des Landes Rheinland-Pfalz (1992): *Bioindikator-Messprogramm 1990 in den Gebieten Frankenthal-Gerolsheim und Gimsheim-Eich*. Mainz: Ministerium für Umwelt.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.26 (1987): *Maximale Immissions-Werte*. *Maximale Immissions-Werte für Fluoride zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

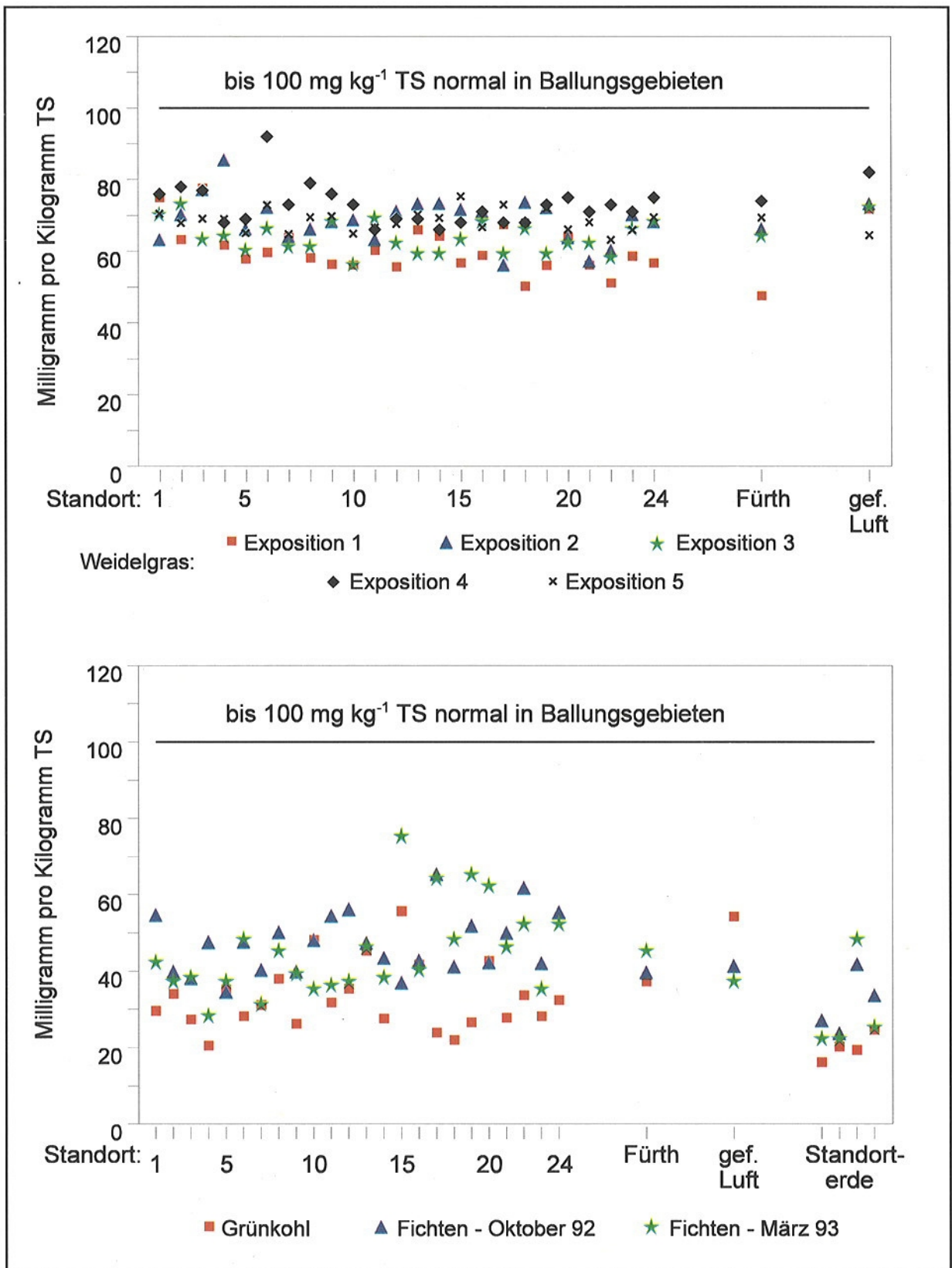


Abb. 32: Zink-Konzentrationen im Weidelgras (oben) sowie in Grünkohl und Fichtennadeln (unten)

- VDI-Richtlinie 2310 Bl.27E (1983): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Blei zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.28E (1990): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Cadmium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.29E (1992): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Thallium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.30 (1991): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.31 (1991): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Zink zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.33E (1992): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Quecksilber in organischer Bindungsform zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 2310 Bl.34E (1992): *Maximale Immissions-Werte. Maximale Immissions-Werte für Vanadium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI-Richtlinie 3792 Bl.2 (1982): *Messen der Immissions-Wirkdosis. Messen der Immissions-Wirkdosis von gas- und staubförmigem Fluorid in Pflanzen mit dem Verfahren der standardisierten Graskultur.* Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Riss, A., Schwarz, S., Benetka, E. & Rebler, R. (1990): Schwermetalle und Grünlandaufwuchs in der Umgebung einer Kupferhütte in Brixlegg/Tirol. in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Einträge, Bewertung, Regelungen.* Düsseldorf: VDI Berichte 837, 209-223.
- Schönhard, G. & von Laar, C. (1992): Die Schwermetallbelastung von Pflanzen auf gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzten Flächen im Ballungsgebiet Berlin (West). *Gesunde Pflanzen* 44, 21-30.
- ZEBS (1990): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. *Bundesgesundheitsblatt* 5/90, 224-226.