

## 4 Wirkungserhebungen in hessischen Untersuchungsgebieten

### 4.1 Untersuchungsgebiet Untermain

#### 4.1.1 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

##### 4.1.1.1 Festsetzung und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Entscheidend für die Ausweisung des Untersuchungsgebiets Untermain im Jahr 1975 waren die im Rahmen einer lufthygienisch-meteorologischen Modelluntersuchung durchgeführten flächenbezogenen Immissionsmessprogramme für Schwefeldioxid und Staubbiederschlag, die für einzelne 1 km<sup>2</sup>-Beurteilungsflächen sowohl bei Schwefeldioxid als auch vereinzelt bei Staubbiederschlag deutliche Überschreitungen der Immissionswerte IW2 (Immissionswert für Kurzeiteinwirkungen) aufwiesen. Zu berücksichtigen war auch, dass es längs der Mainschiene eine starke Ballung chemischer Industrie gibt, deren Auswirkung auf die Immissionsbelastung mit den damals vorliegenden Messwerten nur unzulänglich zu beurteilen war.

Die Erfahrung hatte außerdem gezeigt, dass bei austauscharmen Wetterlagen in der Region Untermain stark erhöhte Immissionsbelastungen aufgetreten waren. Das Untersuchungsgebiet Untermain wurde deshalb auch als Smog-Gebiet – untergliedert in die vier Smog-Gebiete Untermain, Frankfurt-West, Frankfurt/Offenbach und Hanau – in die Polizeiverordnung zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen aufgenommen. Als Folge der deutlichen Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse konnte die genannte Verordnung im Jahr 1998 aufgehoben werden.

Die Angaben in Kapitel 4.1.1 sind dem Luftreinhalteplan Untermain [37] entnommen. Das Untersuchungsgebiet Untermain wurde in der Hessischen Verordnung über die Untersuchungsgebiete nach § 44 des BImSchG wie folgt festgelegt:

1. Frankfurt am Main mit Ausnahme der Stadtteile Bonames, Harheim, Kalbach, Nieder-Erlenbach und Nieder-Eschbach
2. Offenbach am Main
3. Steinbach (Taunus)
4. Eschborn
5. Sulzbach (Taunus)
6. Hattersheim
7. Raunheim
8. Kelsterbach

9. Mühlheim am Main
10. Hainburg mit Ausnahme des Ortsteils Klein-Krotzenburg
11. Großkrotzenburg
12. Hanau und Maintal.

Das Untersuchungsgebiet Untermain überdeckt eine Fläche von ca. 470 km<sup>2</sup> und ist damit das größte der vier in Hessen ausgewiesenen Untersuchungsgebiete. Die Größe des Untersuchungsgebiets Untermain lässt sich durch den Hinweis verdeutlichen, dass ca. 60 % der Gesamtfläche aller vier hessischen Untersuchungsgebiete zum Untersuchungsgebiet Untermain gehören.

##### 4.1.1.2 Topographische und naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet Untermain erstreckt sich längs der Mainschiene von Hanau im Osten über Offenbach und Frankfurt bis Raunheim im Westen. Die Region Untermain und mit ihr die Fläche des Untersuchungsgebiets Untermain sind Bestandteil der Rhein-Main-Ebene. Der Taunus mit seiner von Südwest nach Nordnordost verlaufenden Kammlinie begrenzt nach Norden hin die Rhein-Main-Ebene. Östlich von Hanau erhebt sich der Spessart. Im Süden der Untermainebene schließt das Messeler Hügelland an, das als Ausläufer des vorderen Odenwalds zu sehen ist. Der Main durchfließt von Ost nach West das Untersuchungsgebiet. Die Mainschiene ist ein bevorzugter Industriestandort, wobei die älteren Industriegebiete überwiegend direkt am Main liegen.

Die naturräumlichen Einheiten des Untersuchungsgebiets Untermain sind die Untermainebene, das Main-Taunus-Vorland und die Wetterau. Die Fläche des Untersuchungsgebiets Untermain kann in erster Näherung als weitgehend eben charakterisiert werden. Die Geländestrukturen mit Höhenunterschieden von im Allgemeinen weniger als 50 m haben überwiegend nur für begrenzte lokalklimatologische Fragen Bedeutung. Das regionale Windsystem in der Rhein-Main-Ebene wird durch die Ausrichtung des Taunuskamms bestimmt, so dass Südwest und Nordnordost im Frankfurter Raum die Hauptwindrichtungen sind. Im Hanauer Raum wirken sich auch noch der Spessart bzw. das Main- und Kinzigtal in der Windverteilung aus.

#### 4.1.1.3 Klima

Die Region Untermain gehört dem warmgemäßigten Regenklimate an. Derartige Niederungen, mit Höhenlagen zwischen 100 m und 300 m über NN (Normal Null), sind gekennzeichnet durch vergleichsweise niedrige Windgeschwindigkeiten, relativ hohe Lufttemperaturen und geringe Niederschlagshöhen, deren Hauptanteil in die Sommermonate fällt, wenn durch die hohe Einstrahlung verstärkt Schauer und Gewitter auftreten. Im Nahbereich der Flüsse kommt es vor allem im Herbst und Winter zu Talnebel. In den dichter besiedelten Regionen bilden sich durch den anthropogenen Einfluss Stadtklimate mit den bekannten Wärmeinseleffekten aus.

Bioklimatisch wird das Untermaingebiet nach [38] als „lufthygienisches Problemgebiet“ ausgewiesen. Das Gebiet Untermain gilt als inversionsreich. In der bodennahen Luftschicht wird bei Inversionen der Luftaustausch eingeschränkt; die von Industrie, Gebäudeheizung und Verkehr emittierten Schadstoffe führen dann zu erhöhter Immissionsbelastung.

#### 4.1.1.4 Flächennutzung und Wirtschaftsstruktur

Die Stadt Frankfurt am Main bildet von der Ausdehnung, der Einwohnerzahl und dem Wirtschaftspotential her den Schwerpunkt des Untersuchungsgebiets. Offenbach und Hanau sind ebenfalls größere Industriestädte; aber auch die kleineren Städte im Untersuchungsgebiet tragen mit ihren Emissionen zur Immissionssituation in der Region bei. Die Industriegebiete liegen weitgehend an der Mainschiene, angefangen von Großkrotzenburg (Kraftwerk), Steinheim, Hanau (Hafengebiet), Offenbach, Frankfurt (Fechenheim, Osthafen, Hauptbahnhof, Griesheim, Höchst), Kelsterbach und Raunheim; verbreitet sind vor allem in den älteren Siedlungsbereichen die Gemengelagen, wo Industrieanlagen direkt neben Wohnsiedlungen liegen. Nach Süden hin wird das Untersuchungsgebiet durch den Frankfurter und Offenbacher Stadtwald abgeschlossen; in der nördlichen Randzone des Untersuchungsgebiets befinden sich noch größere Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung.

Den Schwerpunkt der Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet Untermain bildet Frankfurt mit seinen vielen Büro- und Verwaltungshochhäusern im Innenstadtbereich. Von der Frankfurter Innenstadt folgen nach Westen längs der Mainschiene große Werke der chemischen Industrie, die in Frankfurt-Griesheim und Frankfurt-Höchst sowie zwischen Kelsterbach und Raunheim angesiedelt sind. Mainaufwärts

schließt auf der südlichen Mainseite an Frankfurt direkt die Industriestadt Offenbach an. Zwischen Offenbach und Hanau liegt mit Maintal nördlich und Mühlheim südlich des Mains ein Bereich, der überwiegend erst nach 1950 zum Verdichtungsraum mit größeren Wohngebieten und kleineren bis mittleren Industrie- und Gewerbebetrieben geworden ist.

Die chemische Industrie bildet im Untersuchungsgebiet Untermain allgemein den charakteristischen Industriezweig, der durch Art und Anzahl der emittierten Komponenten die Emissionsstruktur beeinflusst. Der Wirtschaftsbereich Elektrotechnik, der den zweitstärksten Wirtschaftsbereich innerhalb des verarbeitenden Gewerbes darstellt, ist hingegen kaum emissionsintensiv. Im Westen des Untersuchungsgebiets wird die Industriestruktur vorwiegend durch die Werke der chemischen Industrie geprägt, wobei aber auch in Frankfurt-Fechenheim und in Offenbach größere chemische Werke liegen. Obwohl Offenbach durch seine Lederindustrie bekannt ist, sind dort inzwischen Maschinenbau und chemische Industrie die führenden Industriezweige. Gold- und Silberschmiede sowie artverwandte Gewerbe und Industrien haben in Hanau einen hohen Anteil am Wirtschaftsleben.

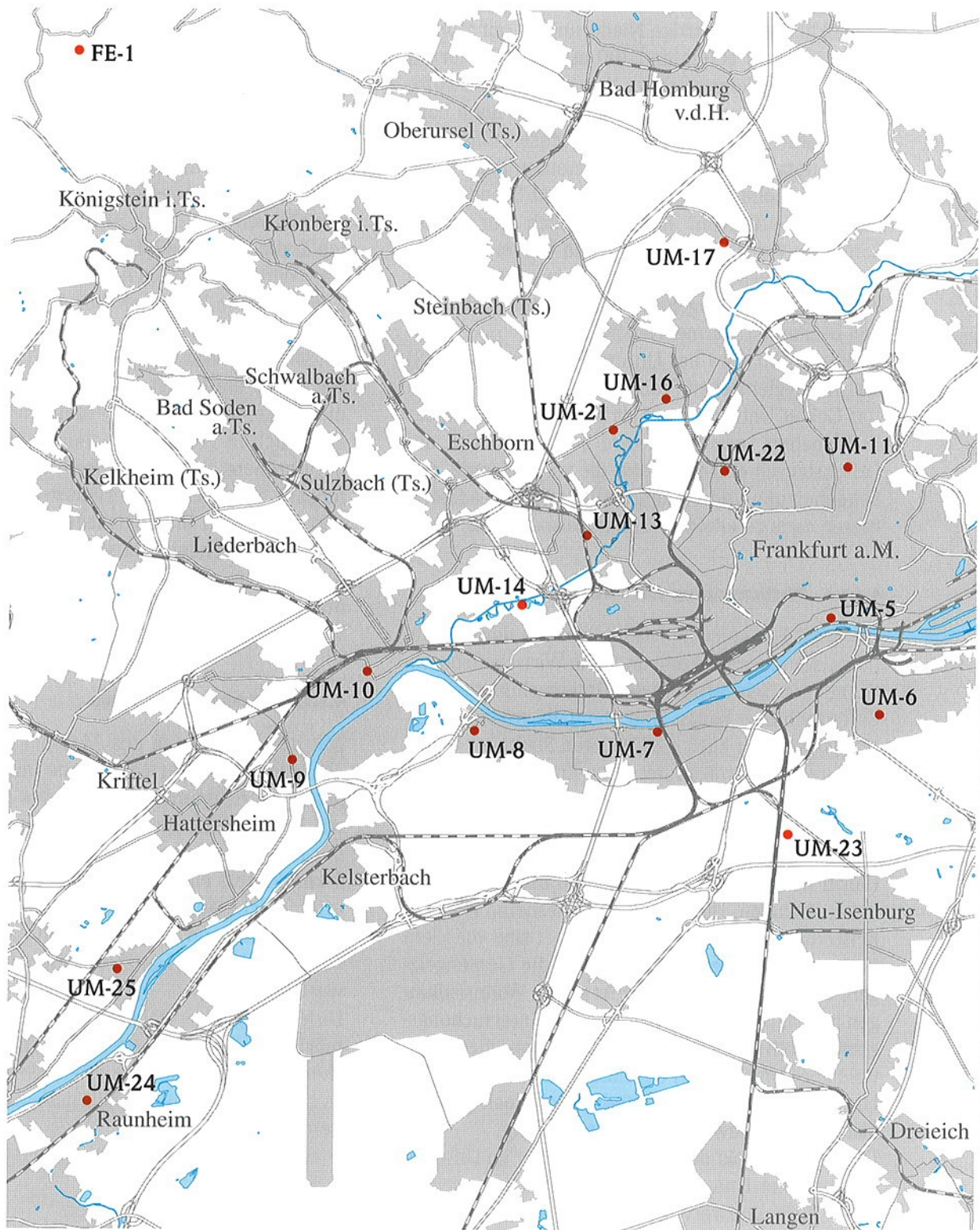
#### 4.1.1.5 Wirkungsmessstellen

Mit der Einrichtung des Messnetzes im Untersuchungsgebiet Untermain wurde im Jahre 1981 begonnen. Anzumerken ist, dass das Messnetz nicht wie beim Grundpegelmessprogramm zur Ermittlung der Immissionskonzentration in Form eines starren 1-km<sup>2</sup>-Rasters eingerichtet wurde, da einerseits die erforderliche Anzahl von Graskulturen nicht zur Verfügung stand und andererseits mit dem vorhandenen Personal ein derart großes Messnetz nicht betreut werden konnte.

Durch sorgfältige Standortauswahl wurde versucht, möglichst alle denkbaren, kleinräumig unterschiedlichen Immissionseinflüsse zu erfassen. Unter Berücksichtigung der Windverhältnisse wurden folgende Bereiche abgedeckt:

- chemische Industrie und sonstige Großemittenten
- Kernstadtzonen
- innerstädtische Grünflächen
- Verkehrsknotenpunkte und
- Stadtrandbereiche.

Abbildung 2 und Tabelle 7 geben einen Überblick über die Messstellen im Untersuchungsgebiet. Die Endausbaustufe mit 26 Weidelgrasstandorten ist im



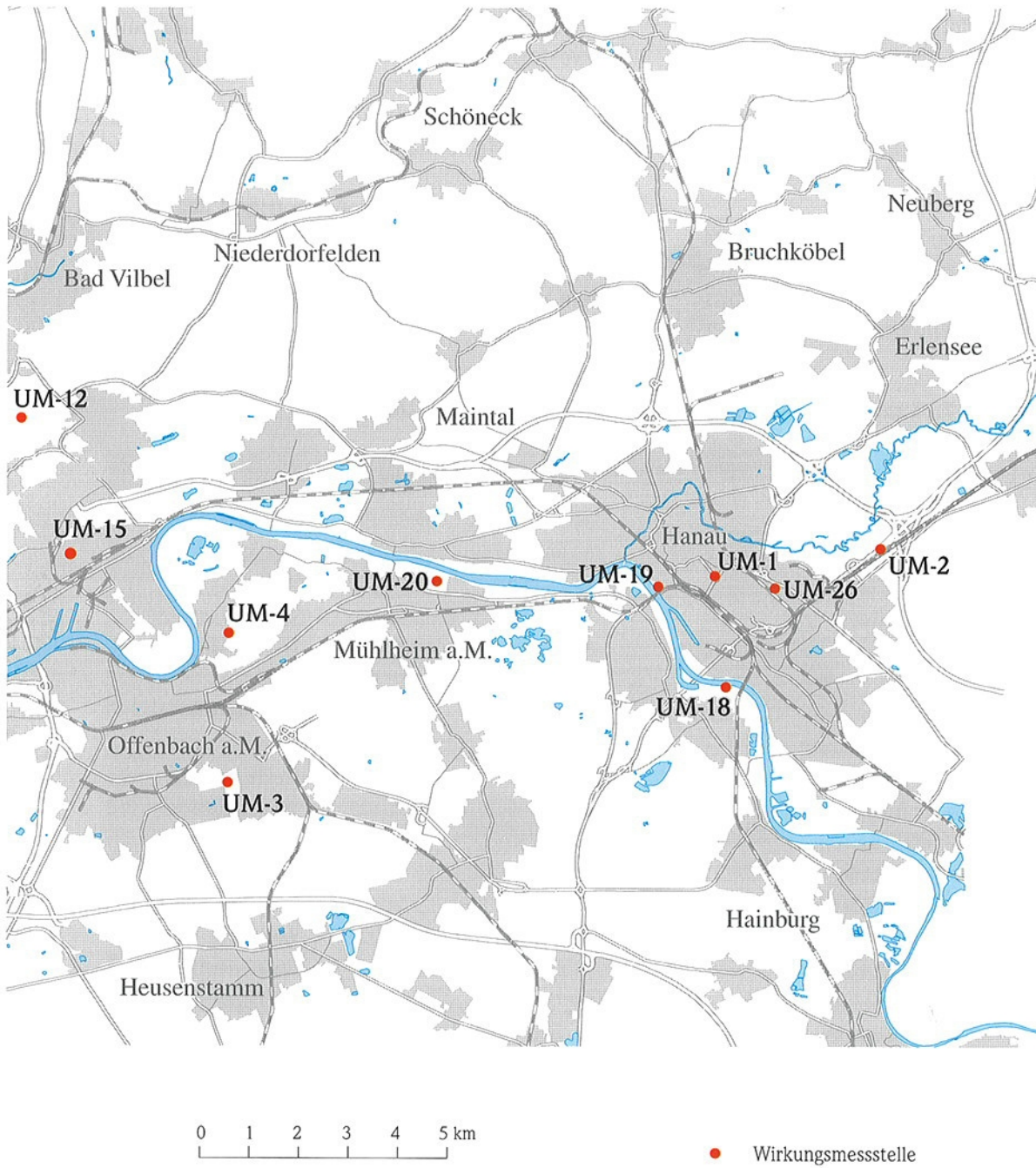


Abb. 2: Standorte der Wirkungsmessstellen im Untersuchungsgebiet Untermain

Jahr 1982 erreicht worden. Ab dem Jahre 1986 wurden die Messstellen zunächst auf drei, ab 1996 dann auf einen Weidelgrasstandort reduziert und in dieser Auflage weiterhin betrieben, da die früheren Massenemissionen im Nahbereich von Industrieanlagen immissionsseitig an Bedeutung verloren haben. Daneben wurden an acht Messpunkten im Untersuchungsgebiet Immissionsraten-Messungen vorgenommen.

Der Standort UM-1 in Hanau wurde aus Sicherheitsgründen (mangelnde Sicherheit beim Betreten des Turms) im Jahre 1992 von der evangelischen Christuskirche in die ca. 250 m entfernte Ludwig-Geisler-

Schule verlegt. Ein Vergleich der an beiden Standorten ermittelten Wirkdosen im Weidelgras erbrachte keine signifikante Ergebnisabweichung, so dass eine Rückverfolgung der Immissionsbelastung bis 1981 möglich ist.

Bei den Standorten Kleiner Feldberg sowie Bad Schwalbach-Hettenhain handelt es sich um außerhalb des Untersuchungsgebiets gelegene Vergleichsstationen. Die Station Hettenhain (HE-1) liegt in einem windgeschützten Waldtal im Hintertaunus und dient in diesem Bericht für alle vier Untersuchungsgebiete als emittentenferne Vergleichsstation.

Tab. 7: Standorte der Wirkungsmessstellen im Untersuchungsgebiet Untermain

Kennung	Standort	Rechtswert	Hochwert	Messeinrichtung
UM-1*	Hanau, Evangelische Christuskirche	34 94 875	55 54 450	Weidelgras/IRMA
UM-2	Hanau-Wolfgang, Großbaumschule	34 98 250	55 55 000	Weidelgras
UM-3	Offenbach, Städtisches Tierheim	34 85 000	55 50 250	Weidelgras
UM-4	Offenbach-Bürgel, Bürgerhaus	34 85 000	55 53 250	Weidelgras/IRMA
UM-5	Frankfurt, Historisches Museum	34 77 354	55 52 660	Weidelgras/IRMA
UM-6	Frankfurt-Sachsenhausen, Friedhof	34 78 450	55 50 500	Weidelgras
UM-7	Frankfurt-Niederrad, Kläranlage	34 73 650	55 50 200	Weidelgras
UM-8	Frankfurt-Schwanheim, Kläranlage	34 69 500	55 50 200	Weidelgras
UM-9	Frankfurt-Sindlingen, Kläranlage	34 65 500	55 49 500	Weidelgras/IRMA
UM-10	Frankfurt-Höchst, am Bahnhof	34 67 195	55 51 525	Weidelgras/IRMA
UM-11	Frankfurt, Hauptfriedhof	34 77 750	55 56 000	Weidelgras
UM-12	Frankfurt-Seckbach, Lohrberg	34 80 800	55 57 600	Weidelgras
UM-13	Frankfurt-Rödelheim, Entwässerungsamt	34 72 000	55 54 500	Weidelgras
UM-14	Frankfurt-Griesheim, Luftbad Nieder-Wald	34 70 500	55 53 000	Weidelgras
UM-15	Frankfurt-Fechenheim, Osthafenbahn	34 81 800	55 54 900	Weidelgras/IRMA
UM-16	Frankfurt-Heddernheim, Müllverbrennung	34 73 700	55 57 500	Weidelgras
UM-17	Frankfurt-Bonames, Sozialzentrum Burghof	34 75 000	55 61 000	Weidelgras/IRMA
UM-18	Hanau-Klein-Auheim, Städtische Sportanlage	34 95 100	55 52 200	Weidelgras
UM-19	Hanau-Steinheim, Kläranlage	34 93 700	55 54 200	Weidelgras
UM-20	Mühlheim, Bürgerhaus	34 89 250	55 54 300	Weidelgras
UM-21	Frankfurt-Praunheim, ehemalige Kläranlage	34 72 500	55 56 800	Weidelgras
UM-22	Frankfurt, Palmengarten	34 75 000	55 56 000	Weidelgras
UM-23	Neu-Isenburg, Fasanerie	34 76 500	55 47 900	Weidelgras
UM-24	Raunheim, Parkplatz Ringstraße	34 60 900	55 41 900	Weidelgras/IRMA
UM-25	Hattersheim-Eddersheim, Kläranlage	34 61 700	55 44 900	Weidelgras
UM-26	Hanau, Hauptfriedhof	34 96 100	55 54 200	Weidelgras
FE-1	Kleiner Feldberg (Vergleichsstation)	34 60 630	55 65 250	Weidelgras/IRMA
HE-1	Bad Schwalbach-Hettenhain (Vergleichsstation)	34 34 425	55 55 425	Weidelgras/IRMA

\* ab 1992 UM-51, Ludwig-Geisler-Schule (Entfernung zu UM-1 ca. 250 m Luftlinie)

## 4.1.2 Ergebnisse der Wirkungsuntersuchungen

### 4.1.2.1 Untersuchungen mit der standardisierten Graskultur

#### Fluor

Die über die Vegetationsperioden gemittelten Fluorgehalte im Weidelgras sind in Abbildung 3 für die Jahre 1981 bis 1997 dargestellt. Bei der Betrachtung fällt sofort auf, dass an der Messstelle UM-1 (Hanau, Evangelische Christuskirche) im gesamten Zeitraum der 80er Jahre sehr hohe Mittelwerte über die Vegetationsperioden aufgetreten sind. In den Jahren 1981–1983 wurden Spitzenmittelwerte von 105–197  $\mu\text{g F/g TS}$  im Weidelgras gefunden. Nachdem die Fluorgehalte des ersten Jahreskollektivs im Februar 1982 vorlagen, wurde die Gewerbeaufsicht unverzüglich über die hohen Messwerte informiert. Daraufhin wurde noch im selben Jahr vom zuständigen Gewerbeaufsichtsamt Frankfurt/Main bei dem in Frage kommenden Verursacher die Durchführung von emissionsmindernden Maßnahmen eingeleitet. Die seitdem rückläufige Entwicklung ist in Abbildung 3 dokumentiert; die Fluorbelastung ist jedoch bis Anfang der 90er Jahre auf relativ hohem Niveau (ca. 40–70  $\mu\text{g/g TS}$ ) verblieben. Erst ab 1990 gleichen sich die Werte an die des übrigen Untersuchungsgebiets an.

Ansonsten liegen die mittleren Fluorgehalte im Weidelgras des Untersuchungsgebiets Untermain während der 80er Jahre bei 8–28  $\mu\text{g/g TS}$  und in den 90er Jahren bei 4–17  $\mu\text{g/g TS}$ . Eine Überschreitung der mittleren Wirkungsnachweisgrenze von 10,3  $\mu\text{g F/g TS}$ , so dass man von einer immissionsbedingten Anreicherung in den Pflanzenexponaten ausgehen kann, ist in den 80er Jahren teilweise, aber in den 90er Jahren kaum mehr gegeben. Ein Vergleich mit den emittententfernten Stationen FE-1 (Kleiner Feldberg) und HE-1 (Bad Schwalbach-Hettenhain) zeigt, dass sich – bis auf den zuvor geschilderten Einzelfall in Hanau – der Großteil der übrigen Messwerte in einem für „Reinluftgebiete“ üblichen Bereich bewegt.

Die Fluorgehalte im Weidelgras variieren nach [32] in einem für Ballungsgebiete normalen Rahmen. Der VDI-Richtwert für den Schadstoffgehalt in Viehfutter von 30  $\mu\text{g F/g TS}$  [34] wird an der o. g. Hanauer Messstelle ab 1990 eingehalten. An allen anderen Messstellen wird er im gesamten Untersuchungszeitraum unterschritten.

#### Blei

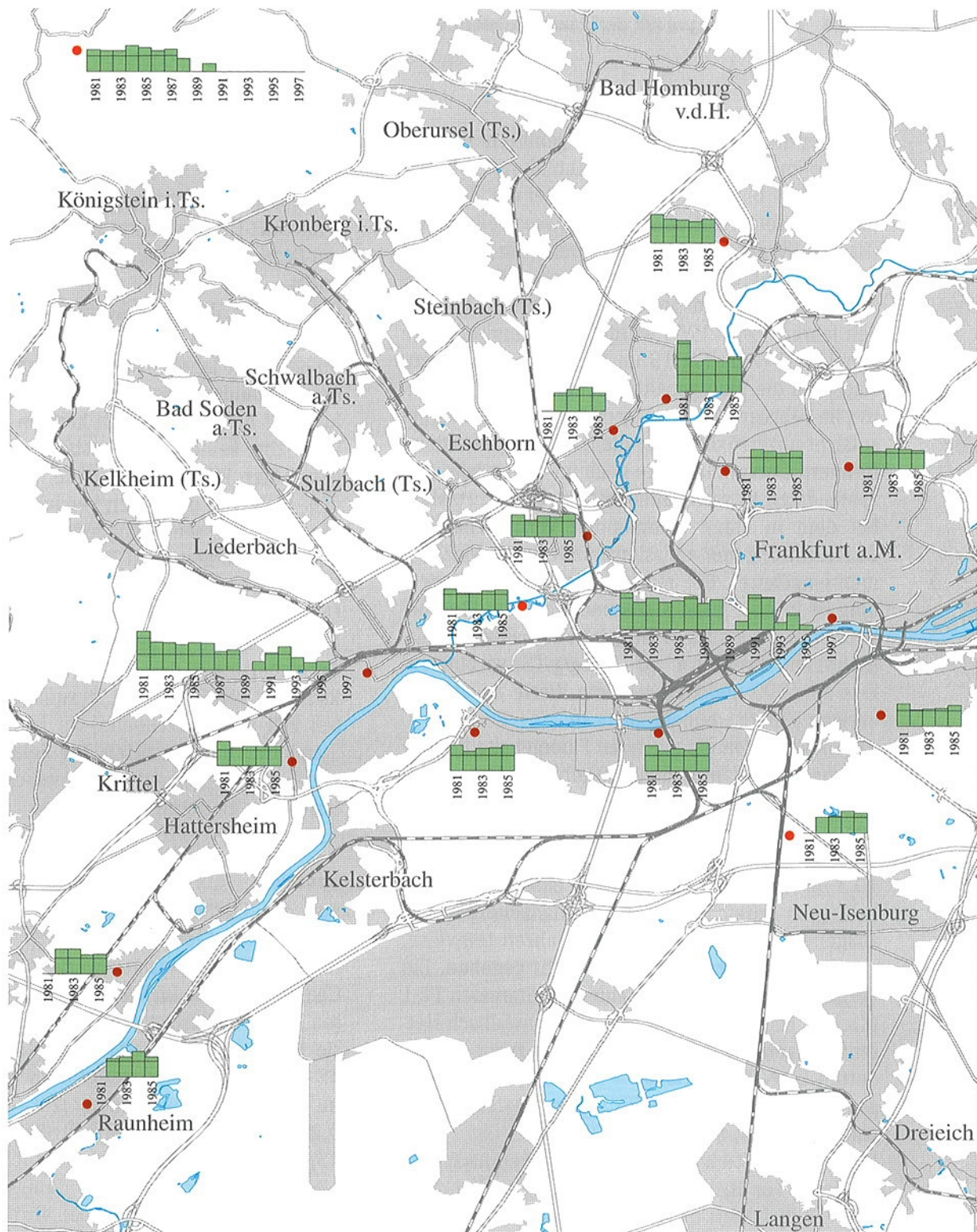
Abbildung 4 zeigt die Untersuchungsergebnisse für das Schwermetall Blei. Die Bandbreite der Mittelwerte in den Weidelgraskulturen liegt vielfach zwischen 2 und 6  $\mu\text{g Pb/g TS}$  und in den 80er Jahren auch vereinzelt bei ca. 7–11  $\mu\text{g Pb/g TS}$ . Der einzige Fall mit erhöhten Bleiwerten im Weidelgras (1981/82: 26  $\mu\text{g/g TS}$ ) ist die Messstelle UM-16, die sich auf dem Gelände einer Müllverbrennungsanlage (Frankfurt-Heddernheim) und damit im unmittelbaren Bereich von Ascheverwehungen und Verkehr befindet.

Die mittlere Wirkungsnachweisgrenze von 1981 bis 1997 beträgt 4,3  $\mu\text{g Pb/g TS}$ ; darüber liegende Werte (in den 80er Jahren) werden durch Kfz-Bleiemissionen in Standortnähe verursacht. Durch die Umstellung auf bleifreies Benzin können seit Beginn der 90er Jahre keine immissionsbedingten Anreicherungen in den Pflanzenexponaten nachgewiesen werden. Dies wird durch den Vergleich der Mittelwerte mit den gemessenen Konzentrationen an den emittententfernten Stationen FE-1 (Kleiner Feldberg) und HE-1 (Bad Schwalbach-Hettenhain) bestätigt.

Die Bewertung nach [32] ergibt eine gegenüber den Normalgehalten für belastete Gebiete leicht erhöhte Anreicherung in den Pflanzenexponaten. Der VDI-Richtwert von 25  $\mu\text{g Pb/g TS}$  ist (bis auf den erwähnten Fall in Heddernheim) zu jeder Zeit an allen Standorten unterschritten. Die Belastung durch Blei und Bleiverbindungen im Untersuchungsgebiet Untermain ist als gering einzustufen.

#### Cadmium

Für das Element Cadmium (Abbildung 5) sind während des Messzeitraums 1981–1997 durchweg niedrige Vegetationsmittelwerte zu beobachten. Die Cadmiumgehalte im Weidelgras liegen in den meisten Jahren im Bereich von 0,1–0,6  $\mu\text{g/g TS}$ , während sie 1984 und 1989 vielfach Werte von 0,7–0,9  $\mu\text{g/g TS}$  aufweisen. Die Wirkungsnachweisgrenze variiert im Untersuchungszeitraum 1981–1997 zwischen 0,2 und 1,2  $\mu\text{g Cd/g TS}$  (Mittelwert: 0,6  $\mu\text{g Cd/g TS}$ ), d. h. die Gehalte im Untersuchungsgebiet bewegen sich im Bereich der Wirkungsnachweisgrenze und außerdem in der gleichen Größenordnung wie die Messwerte an den beiden emittententfernten Vergleichsstationen. Die Tatsache, dass an nahezu allen Messstellen im Untersuchungsgebiet ebenso wie an den Vergleichsstationen (Bad Schwalbach-Hetten-



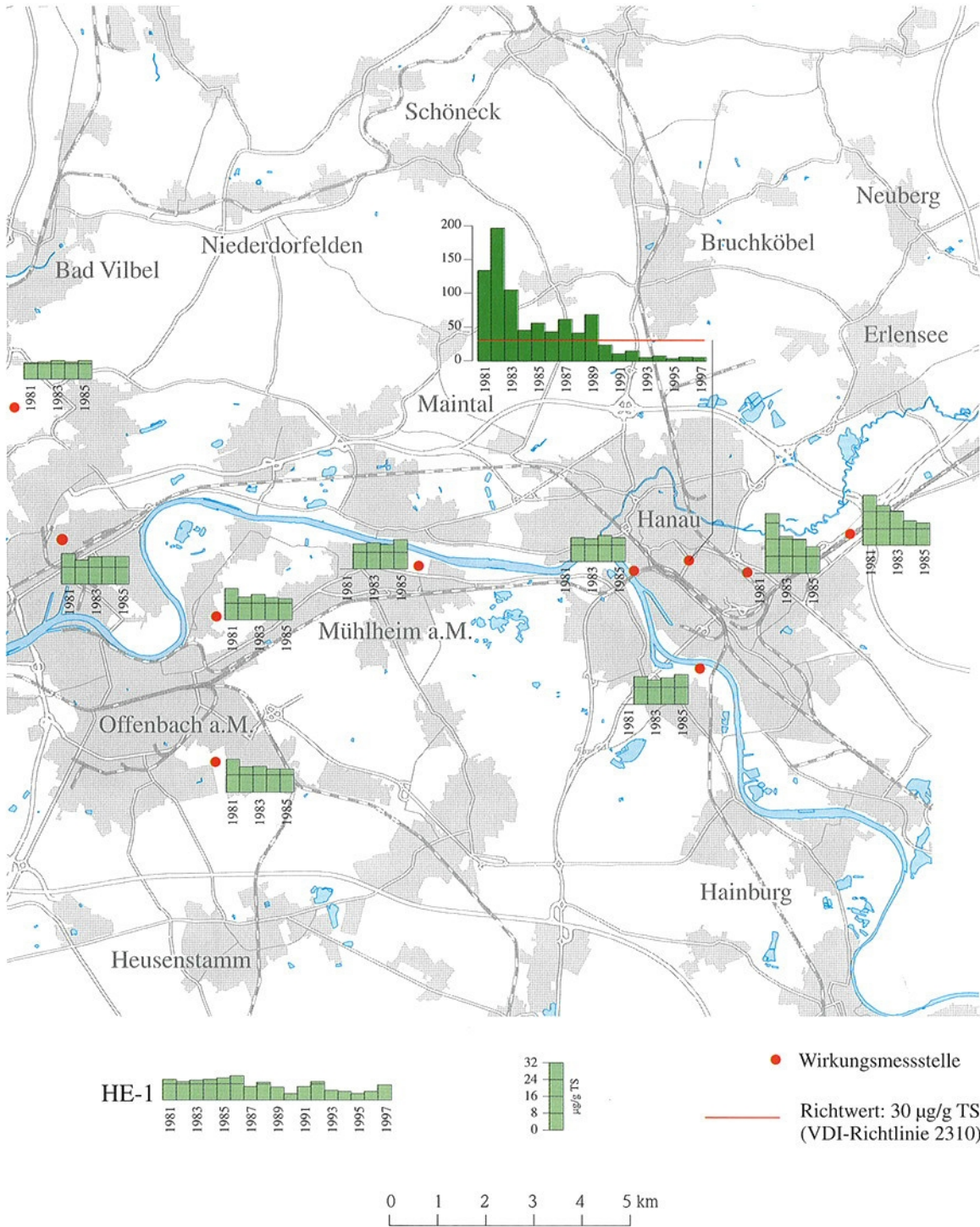
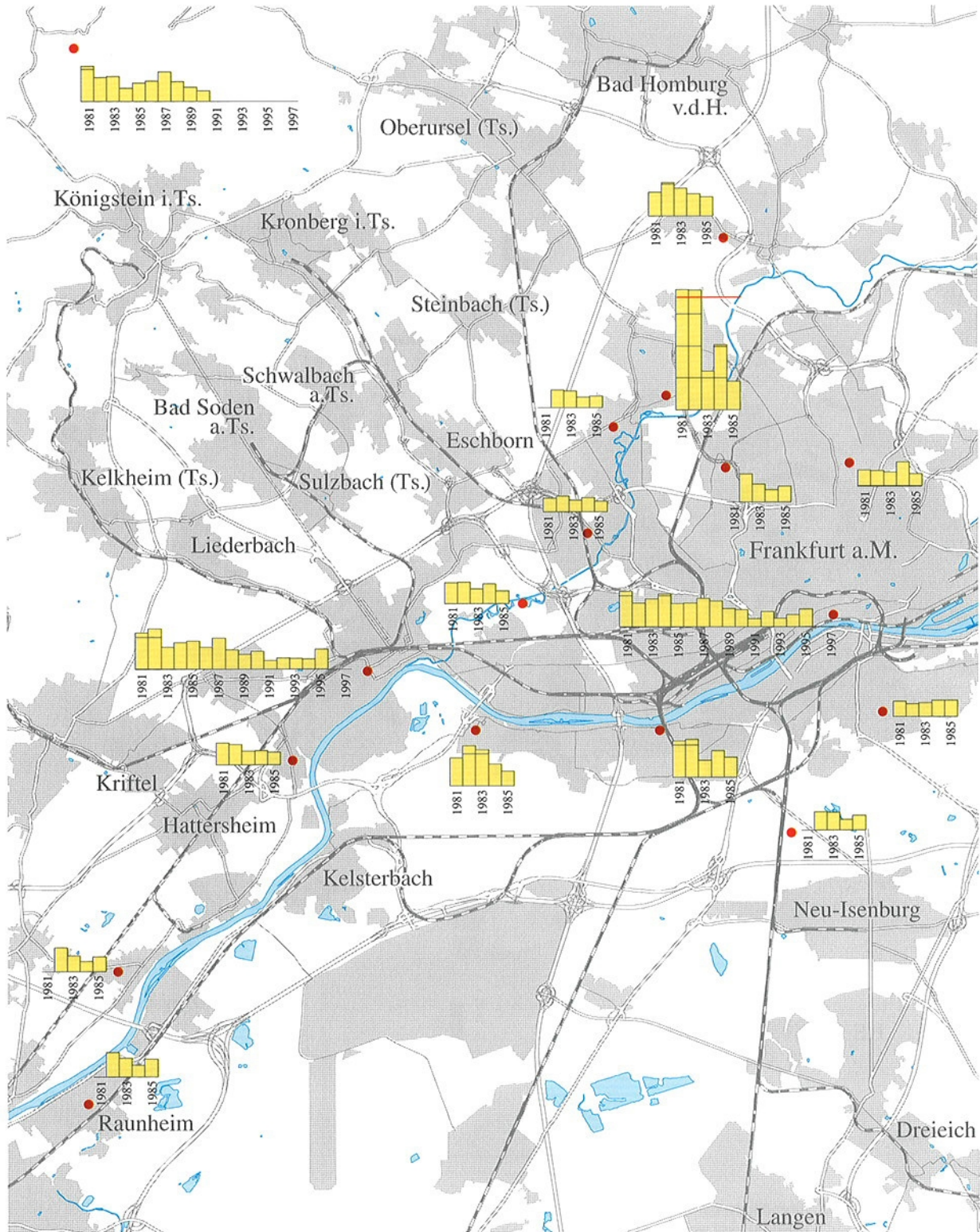


Abb. 3: Bioindikationsuntersuchungen an standardisierten Weidelgraskulturen, Wirkdosis von Fluor (Mittelwerte in µg/g TS)





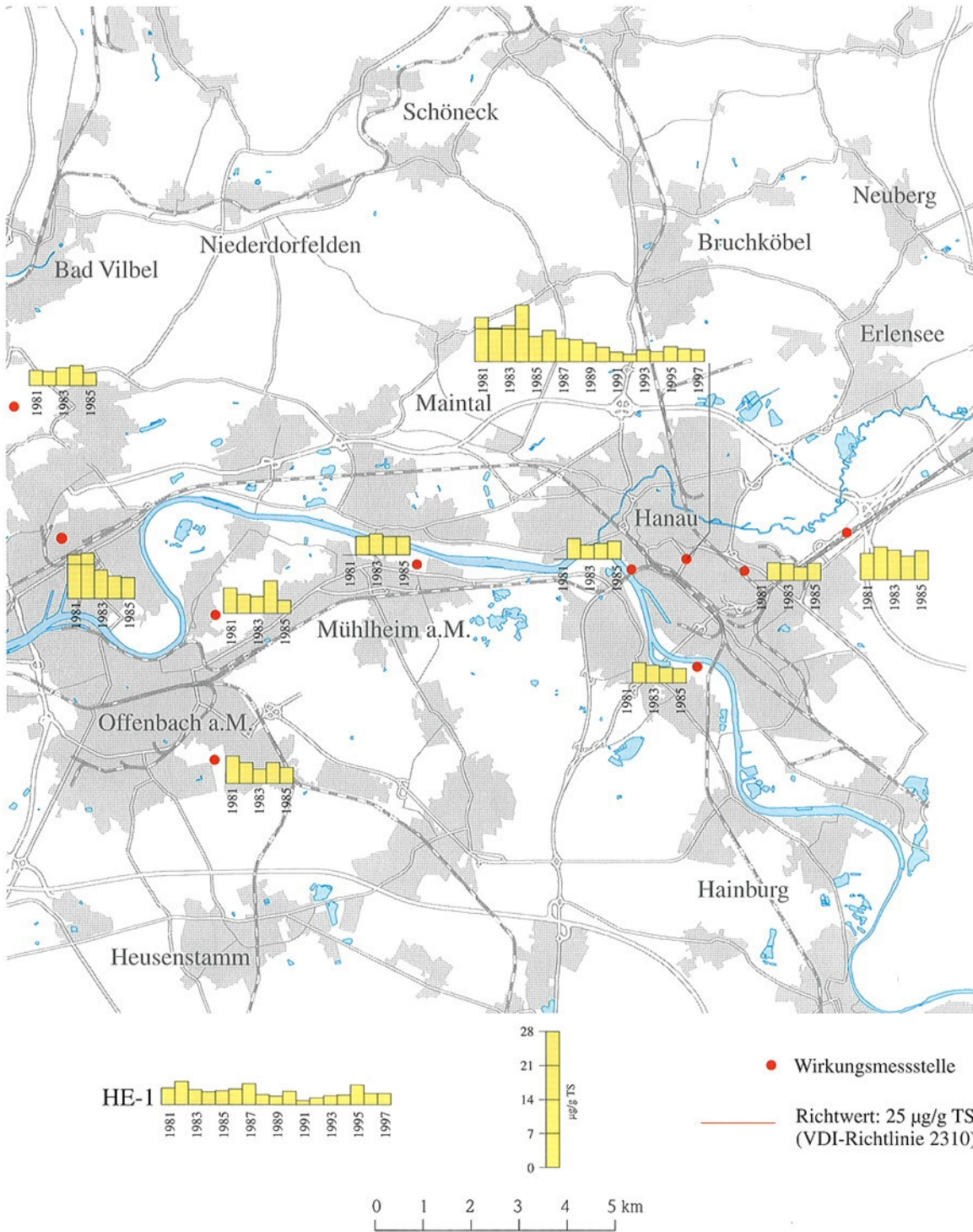
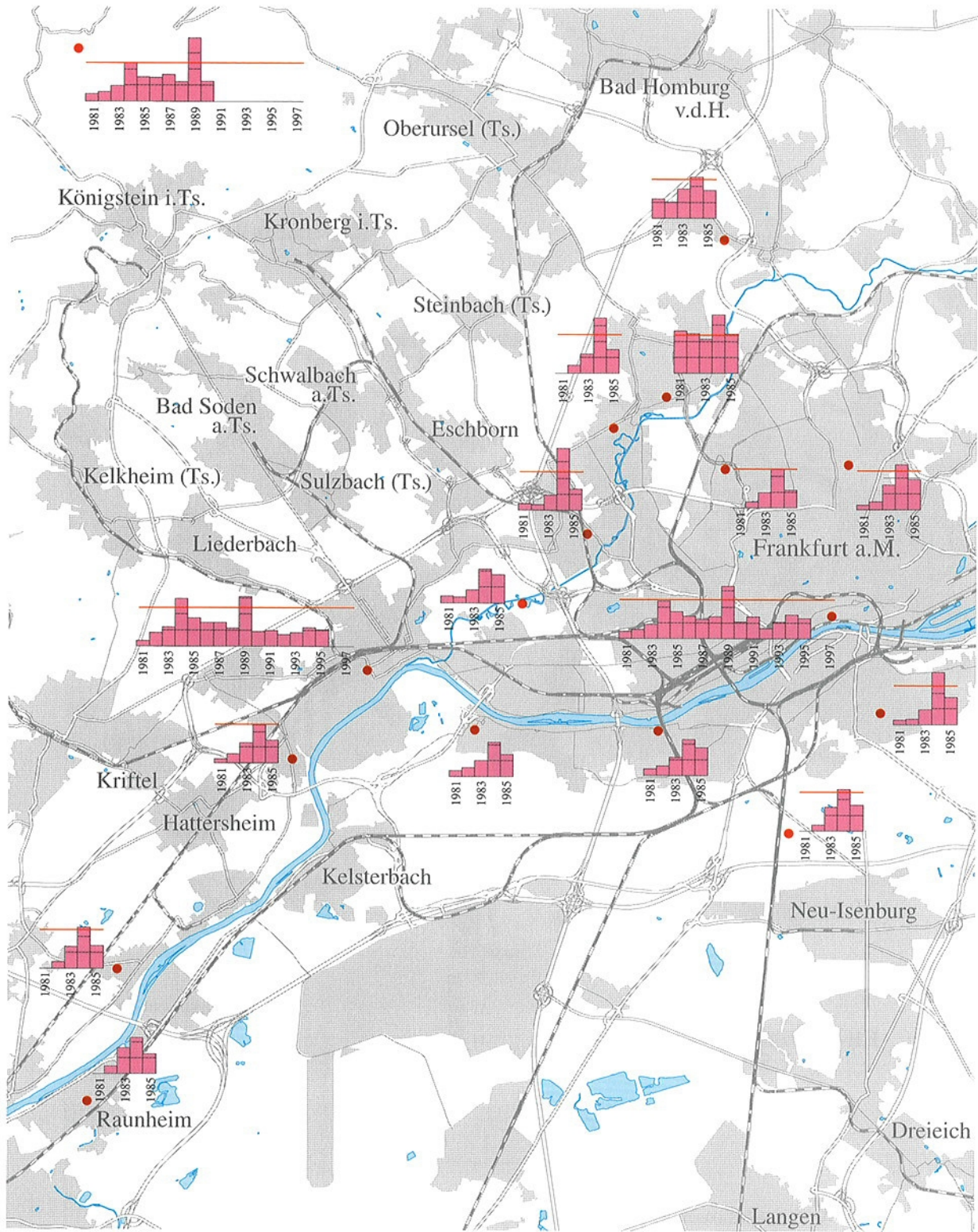


Abb. 4: Bioindikationsuntersuchungen an standardisierten Weidelgraskulturen, Wirkdosis von Blei (Mittelwerte in µg/g TS)



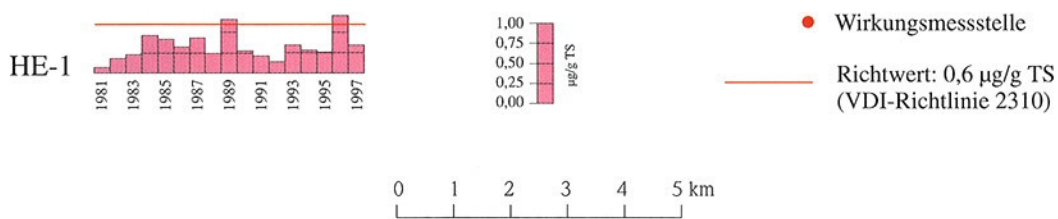
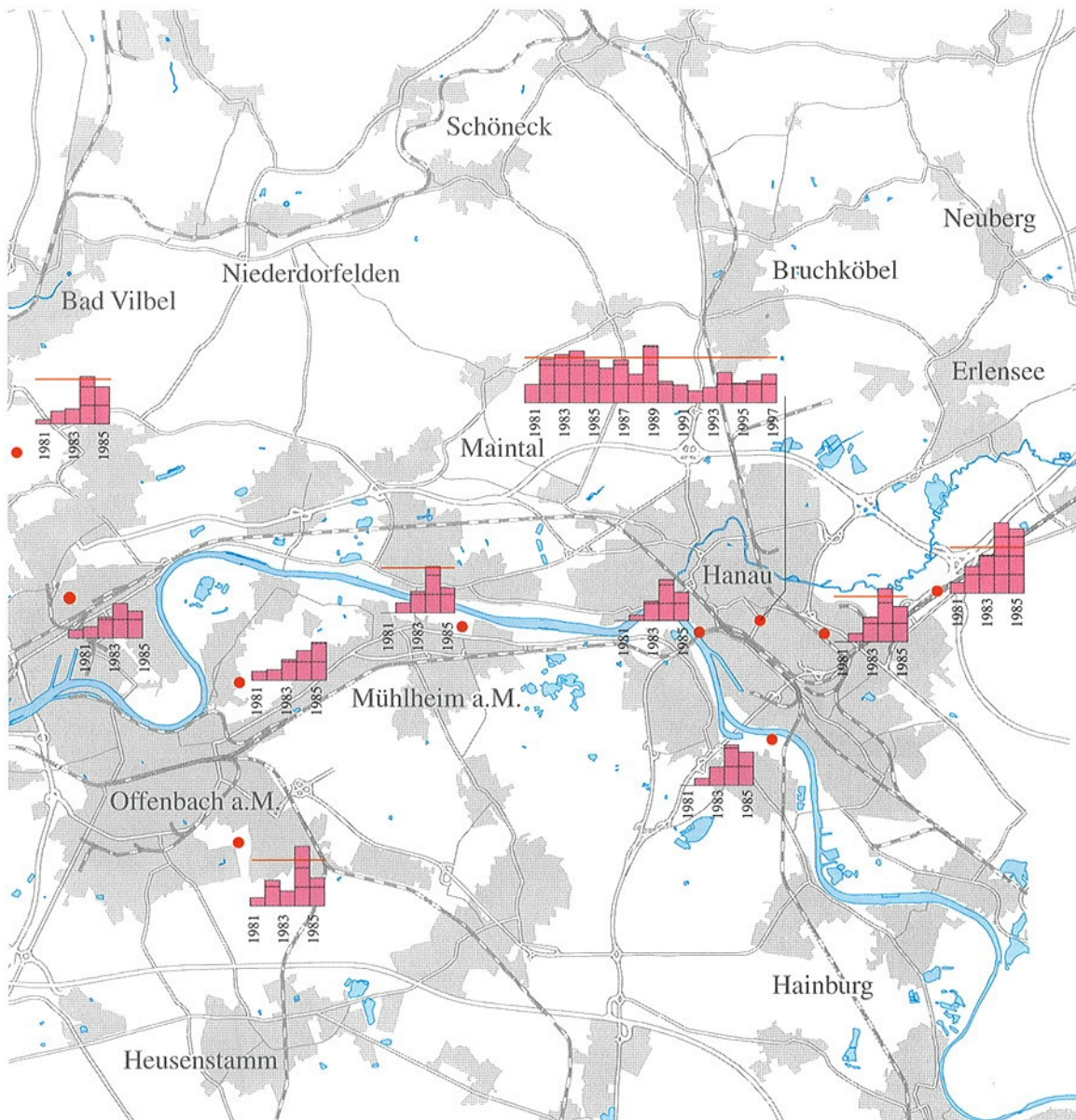
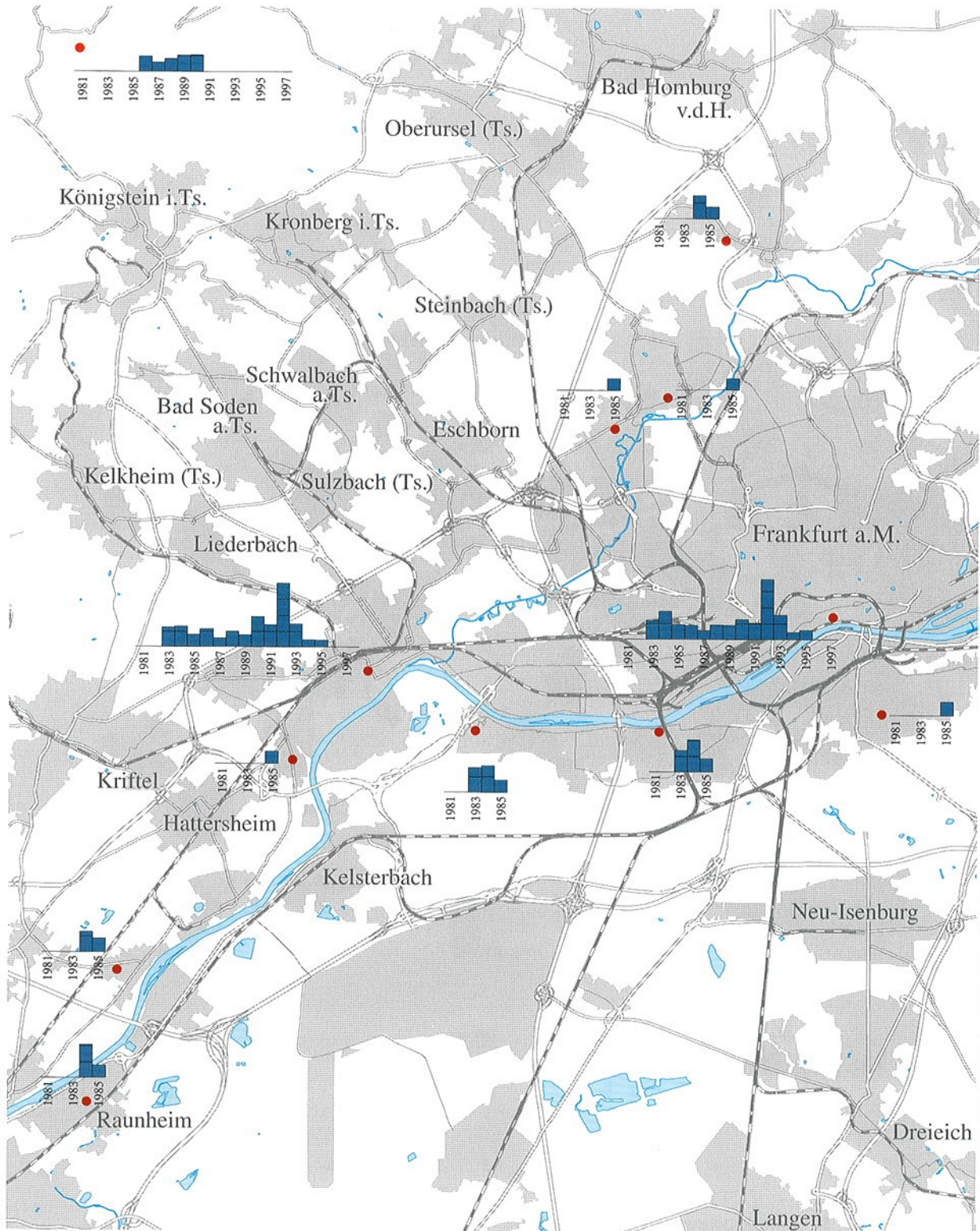
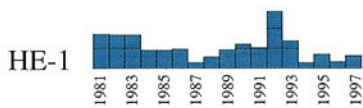
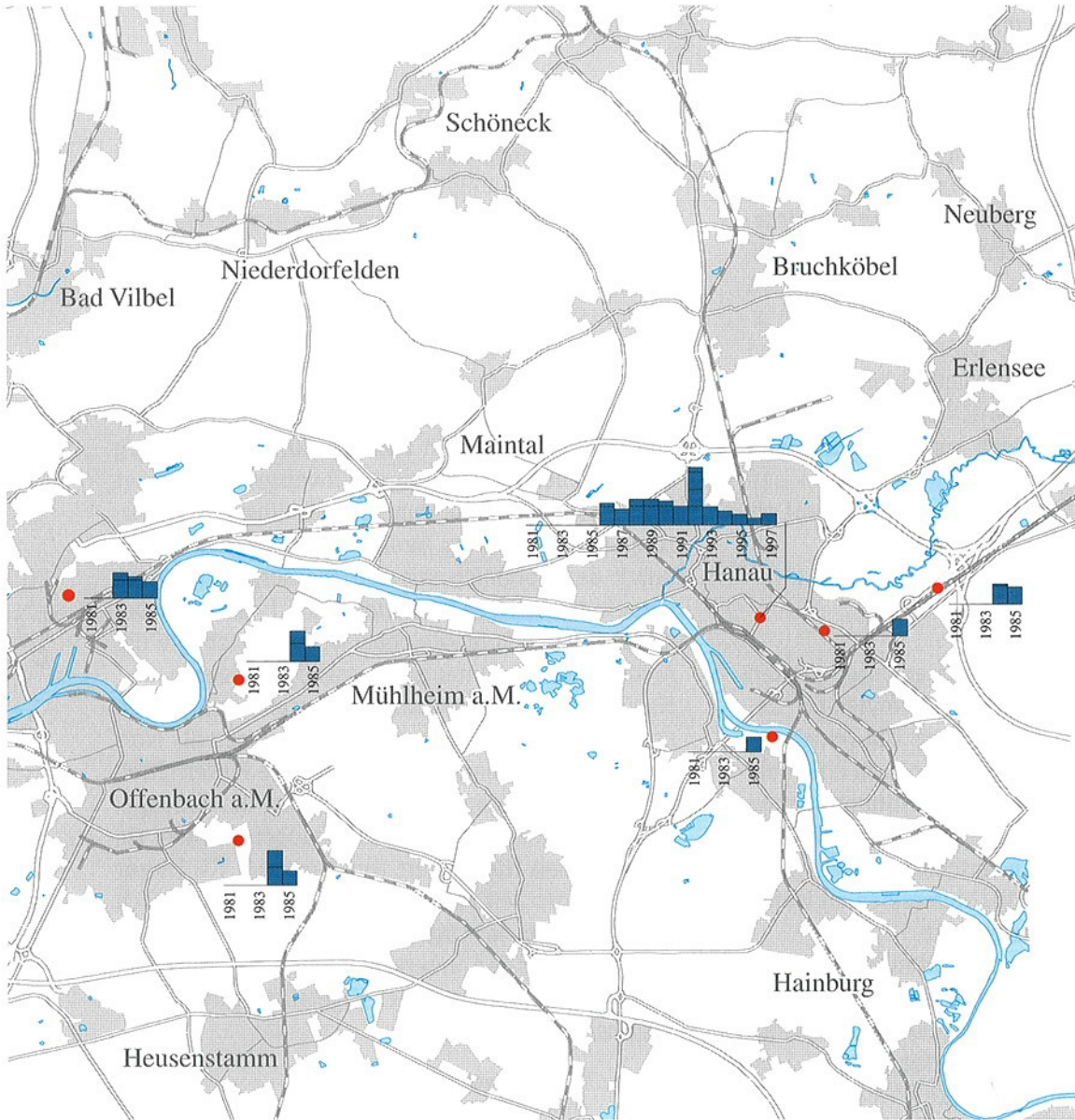


Abb. 5: Bioindikationsuntersuchungen an standardisierten Weidelgraskulturen, Wirkdosis von Cadmium (Mittelwerte in µg/g TS)



Wirkungserhebungen in hessischen Untersuchungsgebieten



● Wirkungsmessstelle



Abb. 6: Bioindikationsuntersuchungen an standardisierten Weidelgraskulturen, Wirkdosis von Nickel (Mittelwerte in  $\mu\text{g/g TS}$ )

hain und Kleiner Feldberg) sowie bei der Wirkungsnachweisgrenze die Maximalwerte in die Jahre 1984 und 1989 fallen, weist auf eine bestehende Kontamination der Anzuchtsubstrate in diesen Jahren hin.

Basierend auf den in [32] erstellten Kriterien befinden sich die ermittelten Konzentrationen (ohne die Werte aus den Messjahren 1984 und 1989) in einem Bereich, der zwar als normal für Ballungsgebiete, aber auch als leicht erhöht bezeichnet wird. Die Cadmiumgehalte im Weidelgras liegen im Wesentlichen unterhalb des VDI-Richtwerts von  $0,6 \mu\text{g/g TS}$ ; Ausnahme sind wiederum die Messjahre 1984 und 1989 sowie wenige Fälle in Hanau und Hedderheim in den 80er Jahren (UM-1, UM-2, UM-16). Somit kann man die großräumige Immissionswirkungssituation für Cadmium und Cadmiumverbindungen im Untersuchungsgebiet Untermain insgesamt als unkritisch betrachten.

### Nickel

Zwischen 1983 und 1985 wurden an ausgewählten Standorten die Nickelgehalte im Weidelgras bestimmt (Abbildung 6). Durch diese Untersuchung mit orientierendem Charakter sollten zum einen die Größenordnungen der Wirkdosen bestimmt werden sowie zum anderen Basisdaten für künftige Erhebungen ermittelt werden. Nach Abschluss der Orientierungserhebungen wurden die Messreihen an weiteren Standorten bis 1997 fortgeführt.

Für das Schwermetall Nickel werden im Untersuchungsgebiet üblicherweise Vegetationsmittelwerte zwischen  $2$  und  $10 \mu\text{g/g TS}$  gefunden. Die mittlere Wirkungsnachweisgrenze liegt jedoch bei  $10,5 \mu\text{g Ni/g TS}$ , so dass immissionsbedingte Anreicherungen im Weidelgras auszuschließen sind. Dies steht im Einklang damit, dass im gesamten Untersuchungsgebiet Untermain gegenüber den Vergleichsstationen HE-1 und FE-1 keine wesentlich überhöhten Nickelgehalte auftreten. Bei der Betrachtung der Zeitreihe fällt das deutliche Maximum mit Werten von ca.  $15\text{--}20 \mu\text{g Ni/g TS}$  im Messjahr 1992 auf. Da es aber mit erhöhten Werten an der Vergleichsstation Bad Schwalbach-Hettenhain sowie einer Wirkungsnachweisgrenze von  $22,3 \mu\text{g Ni/g TS}$  im selben Jahr einhergeht, liegt die Annahme nahe, dass die verwendete Anzuchterde zu einer erhöhten Anreicherung in den Pflanzenexponaten geführt hat.

Nach den in [32] erwähnten Beurteilungswerten sind die analysierten Wirkdosen als normal für belas-

tete Gebiete bis leicht erhöht einzustufen. Die ermittelten Werte liegen jedoch deutlich unterhalb des VDI-Richtwerts von  $50 \mu\text{g Ni/g TS}$ .

### Arsen

Die in Emissionen aus der Industrie enthaltenen Arsenverbindungen sind bereits in geringen Mengen umweltrelevant. Um zu überprüfen, in welchem Umfang ihnen diesbezüglich eine Bedeutung im Untersuchungsgebiet Untermain zukommt, wurde in den Jahren 1986 bis 1990 sowie ab 1993 der Arsengehalt im Weidelgras bestimmt. Die Mittelwerte über die Vegetationsperioden sind in Tabelle 8 dargestellt.

Die mittleren Arsengehalte an den drei ausgewählten Messstellen liegen zwischen  $0,1$  und  $0,5 \mu\text{g/g TS}$ . Die mittlere Wirkungsnachweisgrenze beträgt  $0,75 \mu\text{g As/g TS}$ , d. h. immissionsbedingte Anreicherungen sind nicht zu beobachten. Dies wird auch durch den Vergleich mit den Messergebnissen an den emittentfernen Stationen FE-1 und HE-1 bekräftigt, die sich im gleichen Wertebereich wie die Arsengehalte im Untersuchungsgebiet bewegen.

Nach den in [32] erwähnten Beurteilungskriterien erweisen sich die analysierten Wirkdosen als Normalgehalt für unbelastete Gebiete. Die Futtermittelverordnung [40] kann zur Bewertung der Arsengehalte im Pflanzenmaterial herangezogen werden; sie enthält einen Höchstwert von  $2 \mu\text{g As/g TS}$ . Dieser wird zu jeder Zeit und an allen Messstellen deutlich unterschritten. Im Untersuchungsgebiet Untermain kann daher für den untersuchten Zeitraum eine umweltrelevante Belastung der Vegetation durch Arsen ausgeschlossen werden.

Tab. 8: Wirkdosis von Arsen in Weidelgras (Mittelwerte über die Vegetationsperioden in  $\mu\text{g/g TS}$ )

Station	1986	1987	1988	1989	1990	1993	1994
UM-1	0,28	0,19	0,26	0,11	0,49		
UM-5	0,22	0,21	0,37	0,09	0,44	0,28	0,27
UM-10	0,18	0,16	0,17	0,07	0,41		
FE-1	0,21	0,28	0,20	0,21	0,44		
HE-1	0,28	0,29	0,25	0,35	0,31	0,27	0,27
WNG	0,71	0,40	0,81	0,49	1,22		0,88

### Vanadium

Die Untersuchungsergebnisse für Vanadium aus den drei Messjahren 1984–1986 sind in Tabelle 9 darge-

stellt. Danach ergeben sich unter Einbeziehung der Vergleichsstation Bad Schwalbach-Hettenhain (HE-1) Jahresmittelwerte zwischen 0,5 und 1,2  $\mu\text{g V/g TS}$  im Weidelgras. Die mittlere Wirkungsnachweisgrenze der Weidelgrasexponate von 0,87  $\mu\text{g V/g TS}$  wird nur einmal leicht überschritten.

Zur Bewertung können Vergleichsdaten aus dem nordrhein-westfälischen Untersuchungsgebiet Rheinschiene-Mitte [31] herangezogen werden. Für das Jahr 1979 werden hier Werte zwischen 0,35 und 0,93  $\mu\text{g V/g TS}$  angegeben.

Nach den in [32] genannten Beurteilungskriterien sind die in Hessen gemessenen Vanadiumgehalte als normal für unbelastete Gebiete anzusehen. Der VDI-Richtwert von 10  $\mu\text{g V/g TS}$  wird an den untersuchten Standorten zu jeder Zeit deutlich unterschritten. Eine Belastung durch Vanadium liegt damit im Untersuchungsgebiet Untermain nicht vor.

**Tab. 9:** Wirkdosis von Vanadium in Weidelgras (Mittelwerte über die Vegetationsperioden in  $\mu\text{g/g TS}$ )

Station	1984	1985	1986
UM-1			0,69
UM-2	0,89	0,70	
UM-3		0,55	
UM-4		0,54	
UM-5	0,64	0,60	0,50
UM-6		0,65	
UM-7	0,61	1,21	
UM-8	0,54	0,64	
UM-10	0,65	0,58	0,52
UM-15	0,54	0,53	
UM-16		0,78	
UM-17		0,73	
UM-18		0,58	
UM-24		0,53	
UM-25		0,59	
UM-26		0,51	
FE-1			0,70
HE-1	0,67	0,54	0,50
WNG	1,02	0,71	0,89

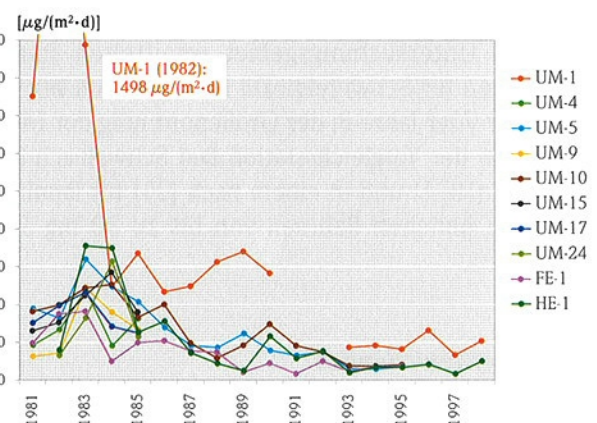
#### 4.1.2.2 Immissionsratenmessungen

##### Fluorverbindungen

Die Jahresmittelwerte von 1981 bis 1998 sind in Abbildung 7 eingezeichnet. Die Immissionsraten sind in  $\mu\text{g F}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  angegeben. An der Messstelle UM-1 (Hanau, Evangelische Christuskirche) werden

1981–1983 sehr hohe Fluorid-Immissionsraten von 750–1500  $\mu\text{g F}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  gefunden, die auf den Einfluss eines benachbarten Emittenten zurückzuführen sind. Am gleichen Standort werden auch mit der Weidelgras-Methode stark erhöhte Belastungen in diesen Jahren nachgewiesen (siehe Fluor-Abschnitt in Kapitel 4.1.2.1). Nach der Durchführung emissionsmindernder Maßnahmen stabilisieren sich die Messwerte ab 1984 bis etwa 1990 auf einem Niveau um 300  $\mu\text{g F}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  und danach auf ca. 100  $\mu\text{g F}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ .

Die zeitliche Entwicklung der Fluorid-Immissionsraten an den übrigen Stationen weist ebenfalls einen deutlichen Rückgang auf. Abgesehen von der o. g. Station UM-1 liegen die Jahresmittelwerte ab etwa 1985 in einem üblichen Rahmen für ländliche Gebiete, der in [31] mit bis zu 250  $\mu\text{g F}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  angegeben wird.



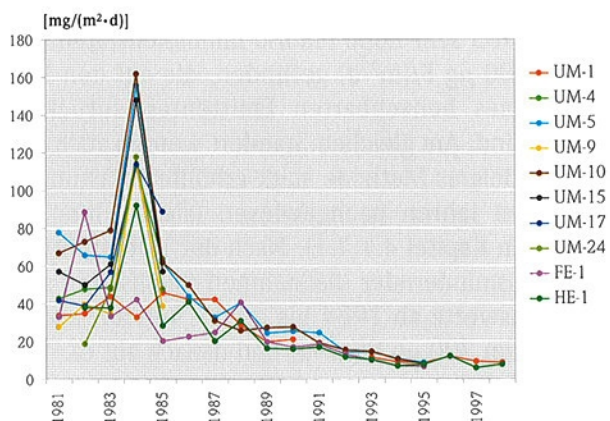
**Abb. 7:** Immissionsraten von Fluorverbindungen im Untersuchungsgebiet Untermain (Jahresmittelwerte in  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , angegeben als F)

##### Schwefelverbindungen

Die Immissionsraten für Schwefelverbindungen sind in Abbildung 8 als Jahresmittelwerte in  $\text{mg SO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  wiedergegeben. Die  $\text{SO}_2$ -Immissionsraten unterliegen einem sehr starken Jahresgang mit einem deutlich ausgeprägten Maximum in den Wintermonaten. Dies ist auf die Raumheizung sowie auf die im Winter vermehrt auftretenden austauscharmen Wetterlagen zurückzuführen.

Zu Beginn des Messzeitraums treten teilweise sehr hohe Schwefel-Immissionsraten mit Spitzenwerten im Jahr 1984 auf. Ab Mitte der 80er Jahre ist eine starke Abnahme der Immissionsraten festzustellen. Der kontinuierliche Rückgang der Belastung geht auf





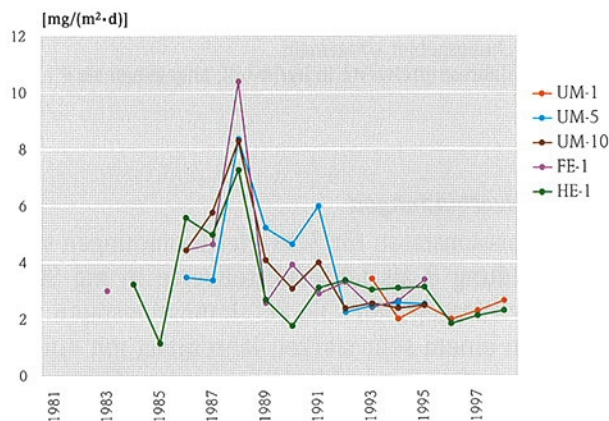
**Abb. 8:** Immissionsraten von Schwefelverbindungen im Untersuchungsgebiet Untermain (Jahresmittelwerte in mg/(m<sup>2</sup>·d), angegeben als SO<sub>2</sub>)

emissionsmindernde Maßnahmen im industriellen Sektor (Verbesserung der Abgasanlagen) und privaten Bereich (Entschwefelung von Heizöl und Diesel) zurück.

Die im Untersuchungsgebiet ermittelten Immissionsraten für Schwefeldioxid bewegen sich seit Anfang der 90er Jahre in der Größenordnung der Messwerte an der Vergleichsstation Bad Schwalbach-Hettenhain (HE-1) und in einem nach [31] für ländliche Gebiete üblichen Rahmen von bis zu 30 mg SO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·d).

### Stickstoffverbindungen

Die Immissionsraten für Stickstoffverbindungen sind



**Abb. 9:** Immissionsraten von Stickstoffverbindungen im Untersuchungsgebiet Untermain (Jahresmittelwerte in mg/(m<sup>2</sup>·d), angegeben als NO<sub>2</sub>)

in Abbildung 9 als Jahresmittelwerte in mg NO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·d) dargestellt. Infolge zunehmender Bedeutung der Stickstoffoxide, auch im Bereich der Wald-

schadensproblematik, wurde dieser Parameter an einigen Standorten (und zwei Vergleichsstationen) in das Wirkungsmessprogramm aufgenommen.

In den ersten Untersuchungsjahren lässt sich ein Anstieg der Immissionsraten mit Maximalwerten im Jahr 1988 verzeichnen. Danach ist ein allmählicher Rückgang der Jahresmittelwerte zu sehen. In den 90er Jahren bewegen sich die Immissionsraten im Bereich der an der Vergleichsstation Bad Schwalbach-Hettenhain (HE-1) gemessenen Werte.

### 4.1.2.3 Ergänzende Wirkungserhebungen

#### Flechtenkartierung 1985

Basierend auf der Ersterhebung im Jahr 1971 wurde im Jahr 1985 im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Gießen-Friedberg eine Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation im Untersuchungsgebiet Untermain durchgeführt. Die Flechtenkartierung von 1971 hat insbesondere die Schädigung der Flechten durch saure Schadgase aufgezeigt (vor allem durch Schwefel-, Fluor- und Chlorverbindungen). Deshalb sollte eine Wiederholungsuntersuchung die Einschätzung einer gegebenenfalls veränderten Immissionsbelastung ermöglichen.

Tabelle 10 zeigt eine Übersicht der in dem Untersuchungsgebiet ermittelten IAP-Werte (Index of Atmospheric Purity). An dieser Stelle sollen die IAP-Werte kurz erläutert werden. Die VDI-Richtlinie zur Flechtenkartierung ist im Jahr 1995 erschienen [22] und wird in den Kapiteln 3.2.8 und 5.6.1 ausführlich be-

**Tab. 10:** Veränderung der Luftreinhalteindizes (IAP-Werte) in der Region Untermain zwischen 1971 und 1985

IAP-Wert	0–50		51–150		101–200		über 200	
	schlecht ← Luftqualität → besser							
Jahr	1971	1985	1971	1985	1971	1985	1971	1985
Anzahl Stationen	24	29	11	15	20	11	7	7

schrieben. Die Flechtenkartierung als Methode existiert bereits wesentlich länger. Zur quantitativen und qualitativen Beschreibung der Flechtenbesiedlung war früher – anstelle des heute üblichen Luftgütewerts – der Luftreinhalteindex IAP gebräuchlich, der etwas abweichend berechnet wird. Diese Kenngröße wird ermittelt unter Einbeziehung der

Kriterien Artenzahl, Häufigkeit des Vorkommens und Toxizitätsgrad der am Probenort vorhandenen Flechten.

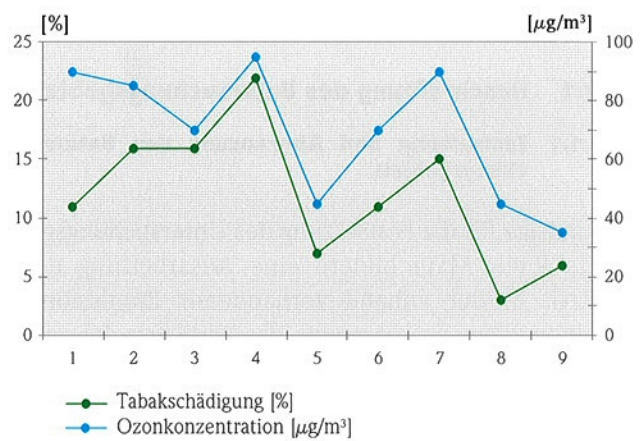
Aus der Tabelle wird deutlich, dass die Stationsanzahl in den Kategorien der schlechten Luftqualität gestiegen ist. Es konnte also anhand der Flechtenvegetation kein Rückgang der sauren Immissionen in der Region Untermain zwischen 1971 und 1985 nachgewiesen werden. Für den Bereich der Randzonen konnte sogar eine verstärkte Substratansäuerung beobachtet werden [37].

Eine Folgekartierung im Jahr 1993 zeigt allerdings eine gewisse Trendumkehr bezüglich der lufthygienischen Verhältnisse im Gebiet Untermain. Die Ergebnisse, die im Rahmen der landesweiten Flechtenkartierung (siehe Kapitel 5.6.1) gewonnen wurden, lassen leichte Erholungstendenzen beim Flechtenbewuchs erkennen und weisen damit auf eine inzwischen eingetretene Verbesserung der Situation hin.

#### Bioindikatoreinsatz 1993

Im Jahr 1993 wurde in der Region Untermain ein Bioindikationsprogramm zur Untersuchung der Immissionsbelastung durch Photooxidantien durchgeführt. Dabei wurden in einem Rhythmus von ca. 14 Tagen an 25 Standorten im Untersuchungsgebiet Tabakpflanzen (*Nicotiana tabacum*, var. *BEL W3*) und Brennnesselkulturen (*Urtica urens*) exponiert. Die Standortauswahl richtete sich im Wesentlichen nach der Lage der automatischen Luftmessstationen des HLUG in der Region Untermain. Anhand der meteorologischen Messdaten und der gemessenen Ozonkonzentrationen im untersuchten Zeitraum sollte eine präzisere Bewertung der Schadsymptome an den Pflanzenexponaten vorgenommen werden.

Die exponierten Brennnesselkulturen zeigen über den gesamten Zeitraum der Untersuchung (Mai bis September) keine bis sehr geringe Schädigungen. Ein Vergleich mit Erhebungen aus früheren Jahren bestätigt die Tatsache, dass Brennnesselkulturen deutlich unempfindlicher als Tabak auf vorhandene Immissionsbelastungen durch Photooxidantien reagieren.



**Abb. 10:** Vergleich der Tabakschädigung mit der Ozonkonzentration in der Region Untermain 1993

(Tabakpflanzen: durchschnittliche Schädigung pro Charge an 25 Expositionsstandorten; Ozon: mittlere Konzentration von 6–21 Uhr an 11 Messstellen; 1–9: 2-Wochen-Zeitspannen zwischen Mai und September)

Im Gegensatz zur Kleinen Brennnessel treten an den Tabakkulturen zu jeder Zeit und an allen Standorten photooxidantientypische Schadsymptome auf. In Abbildung 10 ist der zeitliche Verlauf der mittleren Tabakschädigung sowie der mittleren Ozonkonzentration dargestellt.

Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, ergibt sich eine relativ deutliche Korrelation zwischen Ozonwerten und Tabakschädigung. In Anbetracht der Tatsache, dass lediglich an zwei Standorten eine unmittelbare Nachbarschaft zwischen Messgerät und Tabakpflanze bestand, ist diese Übereinstimmung erstaunlich.

Die mittlere Tabakschädigung liegt 1993 bei 13 %. Im Rahmen von Diplomarbeiten durchgeführte Wirkungserhebungen (siehe Kapitel 5.1) ergaben folgende Werte für die mittlere Tabakschädigung in der Region Untermain: im Jahr 1991 6,1 % [17] und 1998 9,2 % [65]. Aus diesen Ergebnissen lässt sich keine einheitliche zeitliche Entwicklung ablesen. Allgemein ist zu sagen, dass für die Schäden an Tabakpflanzen weniger die Ozonjahresmittelwerte ausschlaggebend sind, sondern die Pflanzen speziell in der Wachstumsphase stark gegen Ozon empfindlich sind.