Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern
Band: 34 (1996)

Artikel: Partikelgebundene Fremdstoffe in der Stadtluft von Luzern
Autor: Müller, Hans-Niklaus
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-523693

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Partikelgebundene Fremdstoffe in der Stadtluft von Luzern

HANS-NIKLAUS MÜLLER

Zusammenfassung

Im Rahmen lufthygienischer Analysen gewinnen die Aerosole zunehmend an Bedeutung. Als Ursache verschiedenartiger Allergien und im Zusammenhang mit Krebsrisiko-Beurteilungen stellen sich dabei vor allem die Feinpartikel als gesundheitsgefährdend heraus.

Die in der Stadt Luzern durchgeführten Untersuchungen zum Schwebestaub-Gehalt der Luft ermöglichen die Erfassung sowohl quantitativer als auch qualitativer Aspekte der auftretenden Elemente.

Die definierte Lage von Messpunkten innerhalb des Stadtzentrums und in einem Profil quer durch die Stadt ist Voraussetzung für die gezielte Ermittlung topografisch und meteorologisch modifizierter Emissionen. Ihre Ergebnisse bilden die Grundlage für die durchzuführende Realisierung notwendiger Sanierungsmassnahmen.

Résumé

Plus on approfondit les recherches concernant la purté de l'air, plus on se rend compte de l'influence des aérosoles. Ces fines «poussières» sont particulièrement dangereuses pour la santé. Elles sont à l'origine de diverses allergies et favorisent les risques de cancers.

Les études faites à Lucerne sur la teneur des substances en suspension dans l'air ont permis de classer ces éléments quantitativement et qualitativement.

L'emplacement définitif des points de repère en plein centreville et le long d'une ligne transversale est une condition essentielle au dépistage précis, topographique et météorologique, d'emissions nocives. Les résultats de ces dépistages serviront de base à la mise à exécution des mesures indespensables d'assainissement de l'air.

Abstract

In the framework of air-hygiene analysis, greater importance is being attributed to aerosols. As the cause of various allergies, and in connect with diagnosis of cancer risk, ensuing tiny particles are being revealed as dangerous to health.

The analysis carried out on the content of airborne dust in the atmosphere of the city of Lucerne permits registration both as to quantity and quality of elements found.

The defined position of measuring points within the city center and a cross-section all over the town is the prerequisite to precise investigation into topographically and meteorologically modified emission. The results form a basis for implementation of hygienic measures that need must be taken.

Problemstellung

Neben den gasförmigen Luftschadstoffen (CO, NO_2, SO_2, O_3) führt die Luftreinhalteverordnung (= LRV des Umweltschutzgesetzes = USG) auch den Schwebestaub als festen Bestandteil mit Immissionsgrenzwerten auf. Darin wird einerseits der Schwebestaub insgesamt und dessen Gehalt an Blei und Cadmium und andererseits der gesamte Staubniederschlag mit dessen Gehalt an Blei, Cadmium, Zink und Thallium auf Jahresmittelwerte begrenzt.

Sowohl bei den gasförmigen wie bei den festen Stoffen, die ermittelt und deren Menge gesetzlich limitiert werden, handelt es sich um Leitstoffe. Viele andere Luftfremdstoffe werden nicht erfasst, sei es, dass sie messtechnisch schwierig zu erheben sind, ihre Wirkung noch unbestimmt ist, oder dass sie überhaupt noch nicht bekannt sind.

Erst seit kurzer Zeit wird vor allem aus ärztlicher Sicht den Aerosolen verstärkt Beachtung geschenkt (GEBBERS 1992, SCHWYTZER 1992). Dabei stehen in erster Linie die an Pollen gebundenen Stoffe (GASSNER et al. 1987) und überdies die besonders durch Dieselmotoren freigesetzten Feinpartikel (DOCKERY et al. 1989, 1993; BRAUN-FAHRLÄNDER 1995) im Vordergrund. Einerseits bewirken sie eine Erkrankung der Atemwege und sind verantwortlich für vielfältige Allergien, die in zunehmendem Masse feststellbar sind, andererseits wirken sie besonders deshalb gefährlich, da sie lungengängig sind und ein hohes Krebsrisiko bedeuten.

Vor allem feine Stäube sind gesundheitsgefährdend, da beim Einatmen durch Adsorption Schadstoffe in den Organismus gelangen. Die lungengängigen Feinpartikel lagern sich an den Lungenbläschen ab, kommen so direkt zur Wirkung oder veranlassen chemische Umwandlungen. Chronische Erkrankungen der Atmungsorgane werden vermehrt in Gebieten hoher Schwebestaub-Immissionen festgestellt.

Ihre Erfassung ist deshalb aus Gründen der Volksgesundheit und gestützt auf Vorsorge- und Verursacherprinzip (nach USG) sowohl für kantonale (USG Art. 44, Einführungsgesetz zum USG = EGUSG Art. 7) als auch kommunale Stellen (EGUSG Art. 13, 23; Gesundheitsgesetz, Art. 13) nicht nur sinnvoll, sondern notwendig und gesetzlich vorgeschrieben.

In der Stadt Luzern wird der Gehalt an Schwebestaub in der Luft seit Ende 1987 in einem Messcontainer erhoben, der anfänglich im Stichprobenverfahren an wechselnden Standorten aufgestellt worden war (MÜLLER 1990b), seit 1990 aber stationär am Löwenplatz eingesetzt ist. Dabei wird der Gesamtstaub ermittelt und keine Analyse seiner Zusammensetzung vorgenommen. Während je nach Standort die Jahresmittelwerte oft über und die Tagesmittelwerte im Bereich der Immissionsgrenzwerte liegen, fällt auf, dass einerseits den lokalen Verhältnissen in der Ausbreitung und andererseits der Vegetation eine grosse Bedeutung zukommen. Das Vorhandensein und der phänologische Zustand von Pflanzen (Sträucher und Bäume) beeinflussen den Staubgehalt der Luft offensichtlich entscheidend (HEINE 1994).

Über kurze Perioden konnten mit achtstufigen Impaktoren an verschiedenen innerstädtischen (Löwenplatz, Reussmatt, Stadthaus, Tribschen), sowie ausserhalb gelegenen Standorten (Sedel, Rigi), sehr differenzierte Messungen durchgeführt werden (BELOW et al. 1990, GEORGI, BELOW 1990). Dabei zeigte sich, dass bei der innerstädtischen Luftverschmutzung die Nitratpartikel dominieren. Der den industriell-gewerblichen Quellen zuzuordnende Anteil ist dabei wesentlich geringer als die aus dem Verkehr stammende Menge.

Die partikelförmigen Stickstoffverbindungen werden – im Unterschied zu den Gasen NO und NO_2 – teils über weite Entfernungen transportiert. Beim Kontakt mit der Schleimhaut der oberen Luftwege gefährden die Nitrat-Aerosole bereits bei geringen Dosen Asthmatiker und Personen mit akuten Atemwegsinfekten (GEBBERS 1990).

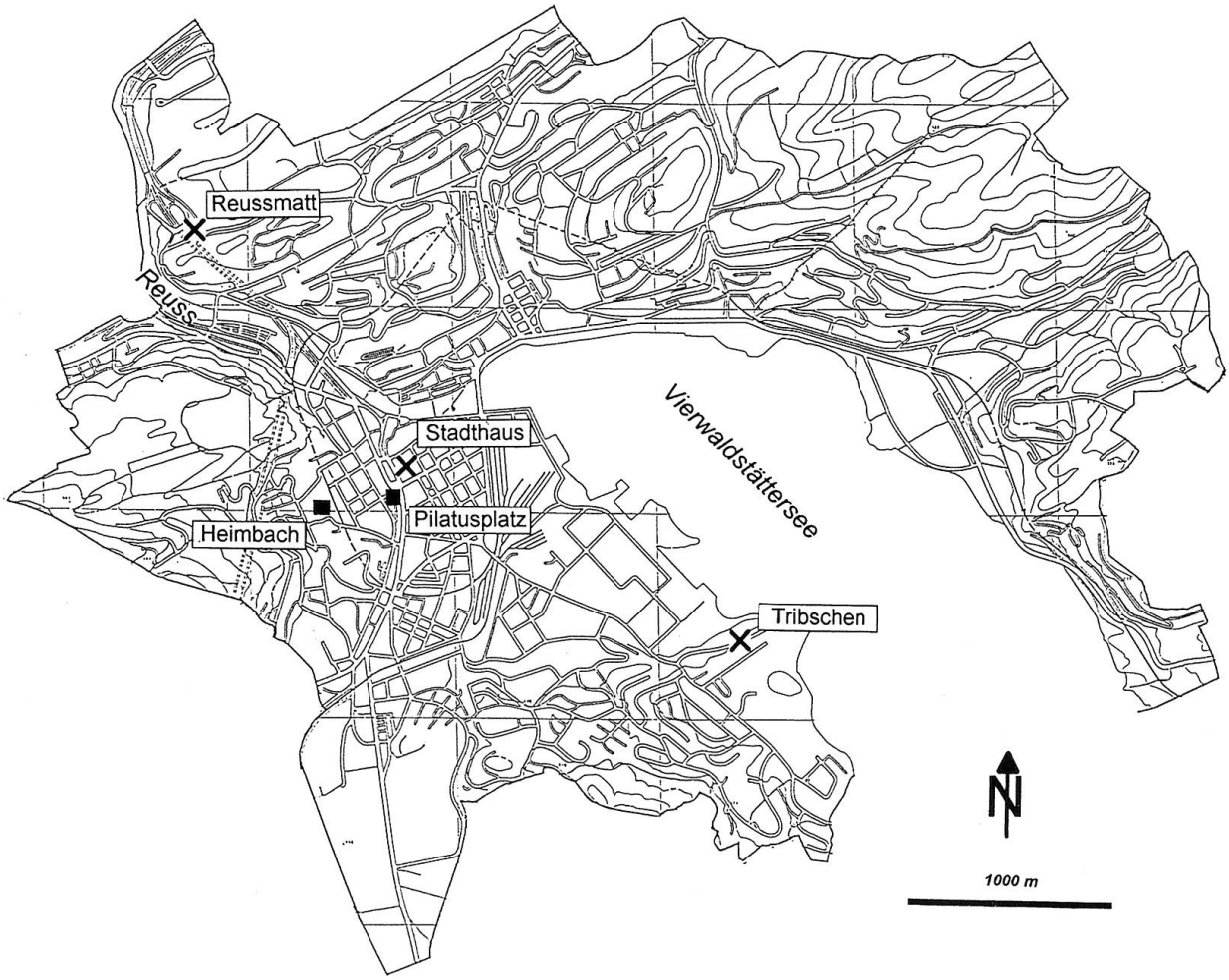

Abb. 1: Messstandorte der Aktivluftfilter in der Stadt Luzern.

Methodik

Um eine direkte Beziehung von Luftfremdstoffen zu einer möglichen Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit herstellen zu können, muss eine entsprechende Messanordnung getroffen werden. Aktivluftfilteranlagen mit einem Luftdurchsatz von rund 10 m^3 – dem mittleren, täglichen Luftbedarf eines Menschen –, die mit einem Durchmesser von 15 µm im wesentlichen die lungengängigen Partikel erfassen, erfüllen diesen Zweck. Entsprechend der mittlern Gesichtshöhe eines Menschen erfolgt die Luftentnahme 1,5 m über dem Boden.

Die in Luzern eingesetzten Aktivluftfilter – ein Eigenbau des Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart-Hohenheim (WIESER et al. 1987) – besitzen zur Erzeugung des Luftstroms eine leistungsfähige Elektropumpe, deren Gleichlaufschwankungen über einen Gasometer normiert werden können. Unterhalb des Ansaugkopfs befindet sich eine Filterkammer, in die Tiefenfilter aus Cellulose-Nitrat mit einem Porendurchmesser von 8 µm – der eine Ausscheideeffektivität von mind. 96,5% garantiert – eingelegt werden.

Die verunreinigten Filter werden mittels Röntgenfluoreszenzspektrometrie analysiert. Dabei kann der Elementgehalt von S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Br, Ba, Pb, As, Rb und Se bestimmt werden. Diese quantitative Elementanalyse ermittelt

den Mengenanteil der Elemente, liefert aber keine Angaben über die Verbindungen, in der die Fremdstoffe vorliegen. Da überdies auch chemische Reaktionen auf dem Ausbreitungsweg nicht berücksichtigt werden, ist eine unmittelbare und eindeutige Zuordnung der Elemente zu einem Emittenten oft nicht möglich. Während viele davon bei verschiedenen Prozessen freigesetzt werden, gibt es einige, die auf wenige Prozesse beschränkt sind. Zur Ermittlung ihrer Herkunft ist die Kenntnis der Produktionsprozesse notwendig, in der die fraglichen Elemente eine Rolle spielen. So fallen beispielsweise Nickel, Zink und Blei in der Kehrichtverbrennung an, und dem Automobil können Blei (Benzinmotor), Nickel, Selen, Vanadium (Katalysator), Kupfer, Chrom und Zink (Brems-, Reibbeläge) zugeordnet werden. Industriellen Prozessen entstammen u.a. Chrom, Nickel und Zink. Überdies sind für die Transmission und Immission die Wetterlagen und Windrichtungen von Bedeutung (LOTTER 1990, FILLINGER 1992).

In einem die Stadt von NW nach SE querenden Profil (Reussmatt – Stadthaus –Tribschen) wurden in Luzern periodisch 1986 und 1987 während drei jeweils zweimonatlichen Messkampagnen und 1988 während einer dreimonatlichen Zeitspanne sowie kontinuierlich im Stadtzentrum seit Anfang 1989 (bis Mitte 1991 Stadthaus, seither am Pilatusplatz und Heimbach seit Herbst 1990) Aktivluftfilter eingesetzt (Abb. 1). Einige Resultate sollen hier erläutert werden.

Aktivluftfilter-Messungen

Im Rahmen der auf breiter Basis angelegten, stadtökologischen Erhebungen, die den aktuellen Zustand der Umweltbelastung erfassen und mögliche Massnahmen für Sanierungen aufzeigen sollen (MÜLLER, MEURER 1990, MEURER, MÜLLER 1992), fallen vielfältige Daten an, die in einen gegenseitigen Bezug zu setzen sind. Dabei erlangen rasterbezogene und möglichst flächendeckend erhobene Werte eine besondere Bedeutung und Aussagekraft. Im Bereich der Luftschadstoffbelastung kann dies zeitgleich mit einer ansehnlichen Zahl von Passivsammlern (MÜLLER 1990a) erfolgen. Im Stichprobenverfahren eingesetzte Messcontainer (MÜLLER 1990b) erlauben zwar ebenfalls einen Flächenbezug, können aber nur über eine Referenzstation in einen zeitlichen Vergleich gestellt werden.

Aktifluftfilter stehen nur in begrenzter Zahl zur Verfügung. Ihr Einsatz ist deshalb gezielt so darauf auszurichten, dass repräsentative Aussagen möglich sind. In einer ersten Periode wurden deshalb drei Standorte in einem NW-SE-Profil quer durch die Stadt Luzern bestimmt und für eine zweite Phase zwei unterschiedlich stark belastete Messpunkte im Stadtzentrum ausgewählt.

Vergleich im Querprofil

Die drei Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Verkehrsbelastung deutlich. Die Station Reussmatt liegt am Rande eines Wohngebiets im Durchbruchstal der Reuss, südlich des Industriegebiets von Emmenbrücke und in unmittelbarer Nähe zur Gotthardautobahn, die eine maximale Verkehrsbelastung aufweist. Demgegenüber befindet sich die Station Tribschen (Richard-Wagner-Weg) in einem nahe dem See gelegenen, parkartigen Erholungsraum an der städtischen Peripherie. Die Station Stadthaus steht in einem Innenhof im innerstädtischen Verdichtungsraum.

Kennzeichnend für alle drei Standorte ist die während allen Messperioden feststellbare, gleichartige Belastung durch die einzelnen Elemente. Durch den erstaunlich gleichbleibenden Verlauf der Kurven wird die, bei unterschiedlichen absoluten Werten, sich über das gesamte Stadtareal ausbreitende Luftbelastung verdeutlicht. Dabei unterscheiden sich die beiden Stationen Stadtrand und Stadtzentrum durch eng benachbarte Werte deutlich von der an der Autobahn gelegenen Station. Beispielhaft wird diese Situation durch die Elemente Blei und Brom

für die Perioden August–September 1986, Januar–Februar 1987 und Juli–August 1987 deutlich (Abb. 2A, B). Sie zeigt den dominierenden Einfluss von verkehrsbedingten Emissionen der Autobahn auf das Stadtgebiet. Die innerstädtischen Verkehrsflüsse vermögen offenbar die Gleichförmigkeit der generellen Kurvenverläufe nicht wesentlich zu verändern (MÜLLER, MEURER 1993, 1995). Die diesen Resultaten zugrunde liegenden Erhebungen stützen sich auf Expositionszeiten der Filter von zwei bis drei Tagen.

Darüber hinaus wurden während des Sommers 1988 in Verbindung mit einer detaillierten Untersuchung der Windsituation die Filter einer jeweils bloss 24stündigen Expositionszeit ausgesetzt (LOTTER 1990). Die dreimonatige Messperiode (Juli–September) ermittelte hier für die Elemente Ba, Br, Ca, Cr, Fe, Mn, Pb, Rb, Ti, V, Zn ein von NW nach SE abnehmendes Konzentrationsgefälle. Aufgrund der Lage der beiden Emissionsquellen Strassenverkehr und Metallverarbeitungsprozesse konnte diese Verteilung erwartet werden. Das umgekehrte Gefälle zeigt das Element Cl. Die Konzentrationsabnahme der Elemente As, Cu, K, Ni, S und Se von der Peripherie zum Stadtzentrum muss von mehreren Emittenten verursacht sein. Kein Element weist im Stadtzentrum (Stadthaus) die höchste Konzentration auf.

Die Ausarbeitung von Korrelationsmatrizen der verschiedenen Elemente an allen Stationen ermöglicht die Zusammenstellung von Fremdstoffkollektiven in einzelne Emittentengruppen. So besteht zwischen dem sprunghaften Anstieg von Barium und Kalium – die in Feuerwerkskörpern eingesetzt werden und normalerweise niedrige Konzentrationen aufweisen – am Nationalfeiertag und in Nächten mit Feuerwerksveranstaltungen ein direkter Zusammenhang.

Das als Hauptelement im Strassenstaub auftretende Calzium, dessen Konzentration von der Aufwirbelung abhängt, zeigt eine starke Korrelation mit den Elementen Eisen, Mangan, Titan und Zink. Deshalb ist zu vermuten, dass diese Elemente ebenfalls über den Strassenstaub wieder in die Atmosphäre gelangen.

Die hohen Korrelationen zwischen Eisen und Titan, Mangan und Zink sowie zwischen Eisen und Mangan lassen einen gemeinsamen Emittenten in der Schwerindustrie vermuten.

Während für die Elemente As, Cl, Cr, Cu, V, Se, Rb, Ni – die mit Ausnahme von Cu häufig nur in geringen Konzentrationen vorliegen – eine lokale Ausprägung aufgezeigt werden kann, sind die Elemente S, Br, Ca, Fe, Mn, Pb, Ti, Zn sehr grossräumig verteilt. Eine direkte Abhängigkeit der Filterkonzentrationen von Niederschlagsereignissen konnte nicht nachgewiesen werden. Auch werden – aufgrund der während der Messperiode vorherrschenden Schwachwindsituationen sommerlicher Hochdrucklagen – Hinweise auf den Standort von Emittenten vorerst nur in beschränktem Masse gewonnen.

An einzelnen Stationen konnten für die Elemente Pb, Br, Ca, Fe, Mn, Ti und Zn Periodizitäten nachgewiesen werden. An allen Stationen fällt dabei für Ca, Mn und Zn eine Periodenlänge von 7 Tagen auf, mit Minimum am Sonntag, bzw. für Fe von $3^1/_2$ Tagen, was auf den Produktionsprozess hindeutet. Die verkehrsabhängigen Elemente Blei und Brom zeigen eine 5tägige Periode, womit eine Differenzierung in Wochentags- und Wochenendverkehr möglich erscheint.

Vergleich im Stadtzentrum

Die im Stadtzentrum nur unweit auseinander liegenden Stationen Pilatusplatz und Heimbach zeigen die innerstädtische Belastungsamplitude auf. Während der Pilatusplatz, ein Kreuzungspunkt von drei Hauptverkehrsstrassen, mit mehrgeschossigen Wohn- und Geschäftshäusern dicht bebaut und stark versiegelt ist und nur über wenig Grünanteil verfügt, liegt die Station Heimbach am Rande eines gut durchgrünten Wohnquartiers kleinerer Mehrfamilienhäuser mit Gärten an einer relativ wenig

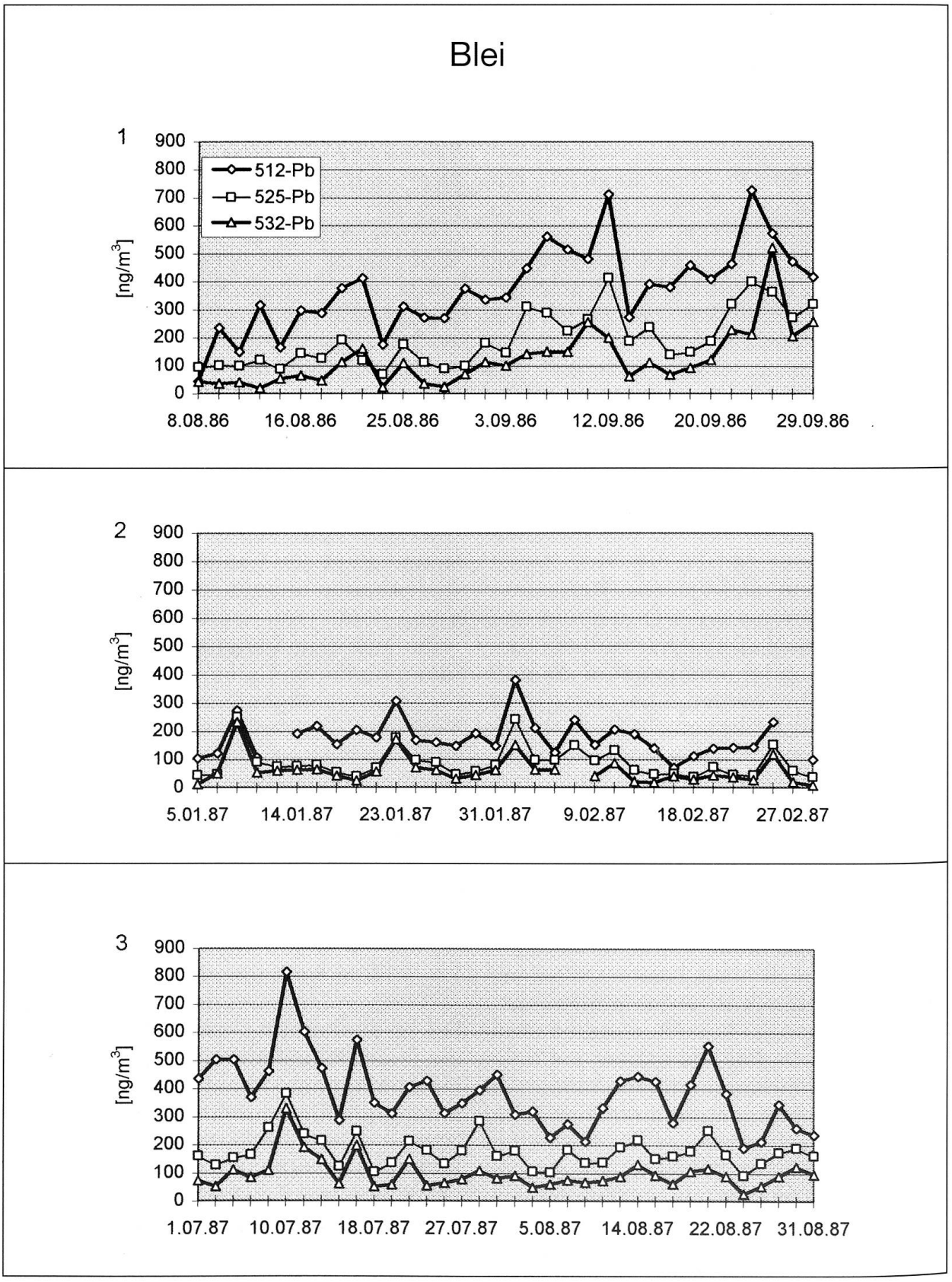

Abb. 2 A: Blei-Immissionen im NW-SE-Profil, Stadt Luzern: 512 Reussmatt, 525 Stadthaus, 532 Richard-Wagner-Weg. 1: August–September 1986; 2: Januar–Februar 1987; 3: Juli–August 1987.

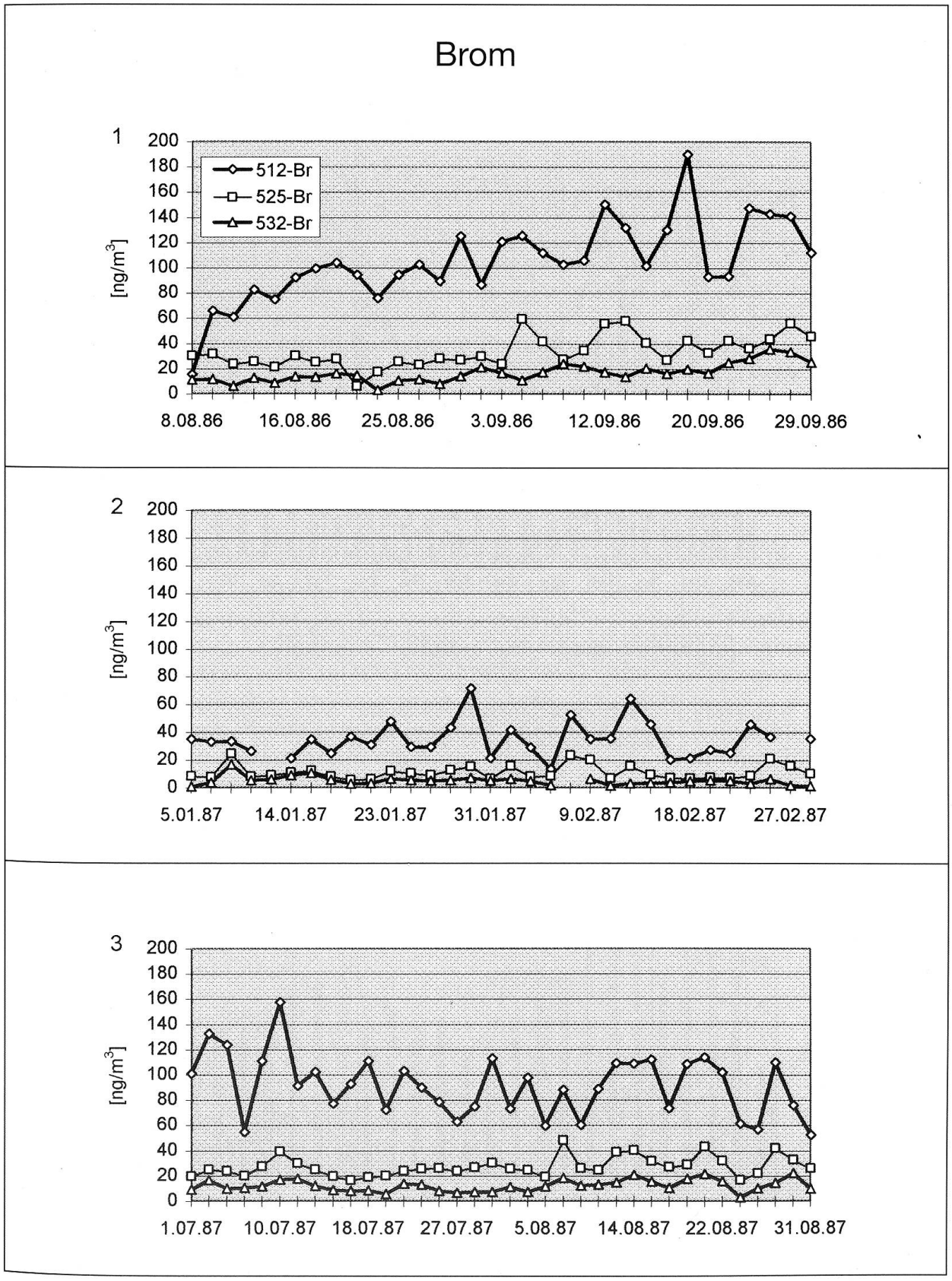

Abb. 2 B: Brom-Immissionen im NW-SE-Profil, Stadt Luzern: 512 Reussmatt, 525 Stadthaus, 532 Richard-Wagner-Weg. 1: August–September 1986; 2: Januar–Februar 1987; 3: Juli–August 1987.

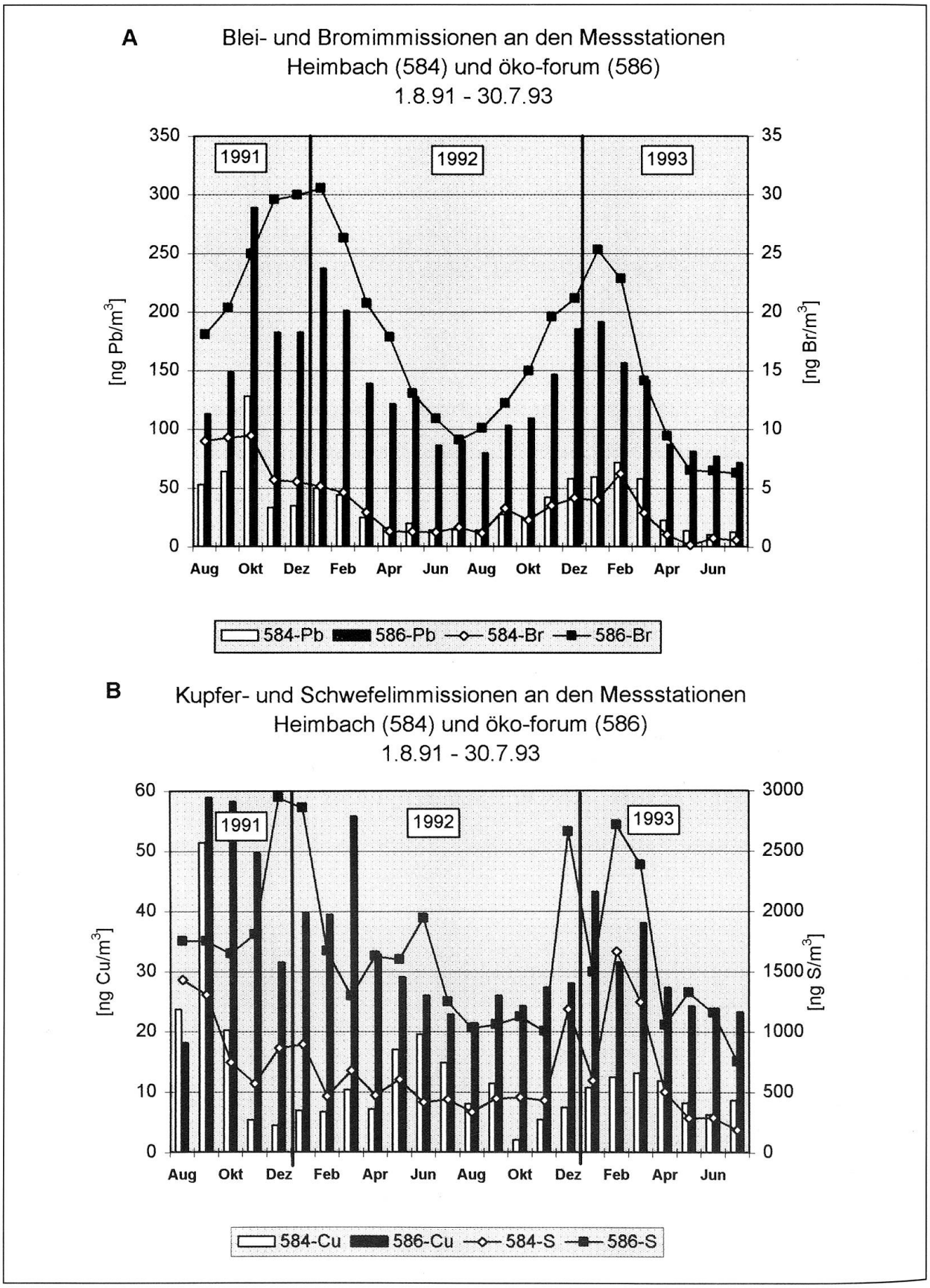
A
Blei- und Bromimmissionen an den Messstationen
Heimbach (584) und öko-forum (586)
1.8.91 - 30.7.93
1991
1992
1993
[ng Pb/m3]
[ng Br/m3]
350
300
250
200
150
100
50
0
35
30
25
20
15
10
5
0
Aug Okt Dez Feb Apr Jun Aug Okt Dez Feb Apr Jun
584-Pb 586-Pb 584-Br 586-Br
B
Kupfer- und Schwefelimmissionen an den Messstationen
Heimbach (584) und öko-forum (586)
1.8.91 - 30.7.93
1991
1992
1993
[ng Cu/m3]
[ng S/m3]
60
50
40
30
20
10
0
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Aug Okt Dez Feb Apr Jun Aug Okt Dez Feb Apr Jun
584-Cu 586-Cu 584-S 586-S

Abb. 3 A, B.

befahrenen Strasse inmitten einer parkartigen Umgebung.

Bei beiden Stationen zeigen die Kurven der gemessenen Werte einzelner Elemente eine erstaunlich hohe Übereinstimmung an Gleichläufigkeit. Die Werte sämtlicher Elemente am Pilatusplatz liegen jedoch markant höher als im Heimbach (Abb. 3A, B). Obwohl diese Station dem direkten Einfluss des Verkehrs durch ihre Installation auf einem Flachdach (auf Höhe des ersten Stockwerks beim öko-forum) entzogen ist, dominieren die Immissionen des Strassenvekehrs deutlich. Die damit in Verbindung stehenden Elemente Blei und Brom (Abb. 3A) vermögen dies klar aufzuzeigen. Überdies vermitteln mit den Elementen Kupfer und Schwefel (Abb. 3B) zwei weitere Stoffe Hinweise auf die übermässige Belastung der Stadtluft.

Erstaunlicherweise kann im Verlauf von zwei Jahren (Sommer 1991 bis Sommer 1993) für beide Stationen und für alle Elemente ein charakteristischer Jahresgang festgestellt werden, dessem Kulmination im Winter liegt. Dieser steht zwar im Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen, wird aber durch die meteorologischen Verhältnisse – winterliche austauscharme Wetterlagen mit Smoggefahr – deutlich modifiziert.

Darin begründet sich die von ärztlicher Seite beobachtete Erhöhung der Gesundheitsgefährdung und besonders die Zunahme von Atemwegserkrankungen bei der in städtischen Siedlungen wohnenden und/oder arbeitenden Bevölkerung.

Sanierungsmassnahmen

Wie so oft im ökosystemaren Bereich sind auch bei den vorliegenden Ergebnissen (noch) nicht alle Abhängigkeiten geklärt und im Sinne kausaler Wirkungsketten aufgezeigt. Weitere Auswertungen, besonders in bezug auf Zusammenhänge mit Wetterlagen und Windrichtungen sind vorzunehmen. Es liegen jedoch genügend Erkenntnisse vor, um Massnahmen im restriktiven und im prospektiven Sinne zu treffen.

Die Reduktion der Umweltbelastungen im Verkehrsbereich sind unumgänglich. Verkehrslenkende, -beschränkende und -vermeidende Massnahmen sind bereits durch die heutige gesetzliche Situation weitgehend möglich. Dabei stehen nachhaltige Förderungen umweltverträglicher Verkehrsmittel (Fuss, Rad, öffentlicher Verkehr) ebenso wie Einschränkungen des motorisierten Individualverkehrs im Vordergrund.

Ausserdem sind Massnahmen vorzukehren, die durch die Gestaltung des Stadtraums (Baumpflanzungen, Fassaden- und Dachbegrünungen, Entsiegelung von unnötigerweise dem natürlichen Wasser-Boden-Kreislauf entzogener Flächen usw.) qualitative Verbesserungen ermöglichen.

Die Verkehrspolitik hat sich somit künftig in ihrem gesamten Umfang einer ganzheitlichen Umweltpolitik einzufügen. Nur so ist die Verwirklichung eines menschengerechten Lebensraumes Stadt (MÜLLER 1989) möglich.

LITERATURVERZEICHNIS

BELOW M., GEORGI B., MÜLLER H.-N., 1990: *Particle Measurements – a comparison between the City area of Lucerne and a mountain site.* – The aerosol society: Aerosols – their generation, behaviour and applications; 4th annual conference, Surrey.

BRAUN-FAHRLÄNDER C., 1995: *Verkehrsbedingte Luftschadstoffe: Neue Aspekte – Die Rolle von Feinpartikeln.* – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 8 (im Druck).

DOCKERY D. W., SPEIZER F. W., STRAM D. O. et al., 1989: *Effects of inhalable particles on respiratory health* of *children.* – Am. Rev. Respir. Res. 43: 317–331.

DOCKERY D. W., POPE C. A., XU X., SPENGLER J. D., WARE S. H., FAY M. E., FERRIS B. G., SPEIZER F. E., 1993: *An association between air pollution and mortality in six U.S. States.* – New England Journ. of med. 329/24.

FILLINGER R., 1992: *Analyse von Niederschlagsereignissen zur Erfassung der innerstädtischen Belastungssituation Luzerns in Abhängigkeit von Wetterlagen.* – DA, Univ. Eichstätt, Manus.

GASSNER M., PETERS A. G., PRIMAULT B., 1987: *Relation von meteorologischen Gegebenheiten mit Pollen- und Luftschadstoffimmissionen, insbesondere Ozon im Rheintal.* – Schw. Ärzteztg. 68: 1079–1082.

GEBBERS J. O., 1990: *Umwelt – Gesundheit – Mitwelt.* – Müller H.-N., Meurer M. (Hg): *Stadtökologie Luzern – zur aktuellen Umweltbelastung;* Luz. Stadtökolog. Stud., Bd 3: 205–238, Luzern.

GEBBERS J. O., 1992: *Luftschadstoffe und Krankheit.* – MÜLLER H.-N., SCHWYTZER F. X. (Hg): *Verkehrskranke Stadt und ihre Zukunft.* – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 5: 31–46, Luzern.

GEORGI B., BELOW M., 1990: *Luftgetragene Partikel in Luzern und ihr Einfluss auf das Stadtökosystem.* – MÜLLER H.-N., MEURER M. (Hg): *Stadtökologie Luzern – zur aktuellen Umweltbelastung;* Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 3: 183–204, Luzern.

HEINE K., 1994: *Untersuchungen zur Staubfilterwirkung von Strassenbäumen am Beispiel Luzern.* – DA, Freie Univ. Berlin, Manus.

LOTTER M., 1990: *Windlagen und Luftschadstoffsituation in der Stadt Luzern.* – DA, Univ. Zürich, Manus.

MEURER M., MÜLLER H.-N., 1992: *Erfassung der Umweltbelastung in einem Stadtökosystem – Das Beispiel Luzern.* – Geogr. Rundsch. 44/10: 562–567.

MÜLLER H.-N. 1989: *Stadtökologie – die Stadt als Lebensraum.* – VPK (Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik) 87/11: 609–612.

MÜLLER H.-N., 1990a: *Luftschadstoff-Situation in Luzern – erste Ergebnisse flächenbezogener Messungen.* – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 3: 169–182, Luzern.

MÜLLER H.-N., 1990b: *Luftbelastung in der Stadt Luzern.* – Mitt. Natf. Ges. Luzern, Bd. 31: 233–243, Luzern.

MÜLLER H.-N., MEURER M., (Hg) 1990: *Stadtökologie Luzern – zur aktuellen Umweltbelastung* – 2. Luzerner Umwelt-Symposium 1989. – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 3, 321 S, Luzern.

MÜLLER H.-N., MEURER M., 1993: *Blei als Indikator verkehrsbedingter Belastungen im Stadtökosystem.* – Peterm. Geogr. Mitt. 137/1: 13–31.

MÜLLER H.-N., MEURER M., 1995: *Verkehrsbedingte Luftbelastung in Luzern im Vergleich zum Umland.* – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 8 (im Druck).

SCHWYTZER F. X., 1992: *Die Verkehrskrankheit unserer Städte.* – MÜLLER H.-N., SCHWYTZER F. X. (Hg): *Verkehrskranke Stadt und ihre Zukunft.* – Luz. Stadtökolog. Stud. Bd. 5: 9–29, Luzern.

WIESER P., SCHREIBER H., GREINER W. (Hg) 1987: *Chemische Umsetzung von Luftschadstoffen an Hand von Partikeln;* KfK-PEF 12: 381–395, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

WIESER P., SCHREIBER H., GREINER W. (Hg) 1987: *Quellenspezifische Merkmale partial gebundener atmosphärischer Spurenstoffe der bodennahen Luft. Vergleichende Untersuchungen mit dem Laser-Microsonden-Massenanalysator LAMMA 500, Röntgenfluoreszenzanalyse, KfK-PEF 20:* 163, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

Die Anfertigung der Abbildungen verdanke ich Frau R. Würmli und Herrn dipl. geogr. R. Fillinger.

Dr. Hans-Niklaus Müller
Umweltbeauftragter der Stadt Luzern
Sälistrasse 24
6002 Luzern