Zeitschrift: Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Graubünden

Band: 102 (1984-1985)

Artikel: Aspekte der lufthygienischen Untersuchungen im Raume Davos 1982 bis 1983 (MAB-Davos)

Autor: Moser, Hans Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-594592

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: 20.08.2025

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

Jber. Natf. Ges. Graubünden **102** (1985), 103–128

Aspekte der lufthygienischen Untersuchungen im Raume Davos 1982 bis 1983 (MAB-Davos)

Von Hans Rudolf Moser

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. R. Moser
Geographisches Institut
der Universität Basel
Klingelbergstrasse 16
4056 Basel

1. Einleitung und Problemstellung

In den Jahren 1982 und 1983 sind im Raume Davos lufthygienische Untersuchungen durchgeführt worden (unterstützt durch den Schweizerischen Nationalfonds). Diese sind Teil des Forschungsprogrammes MAB-Davos (Man and Biospehre), das zum Ziele hatte, die Beeinflussung des Naturhaushaltes durch Tourismus und Landwirtschaft im Raume Davos zu untersuchen. Im Rahmen des Klimaprojektes erfolgten auch noch Analysen der Besonnungs- und Strahlungsverhältnisse, des Ausaperungsverlaufes, sowie der mittleren thermischen und hygrischen Bedingungen (MOSER, H.R., M. KELLER, S. KUNZ: 1985). Die lufthygienischen Untersuchungen sind ausführlich dargestellt in H. R. MOSER (1985).

Die lufthygienische Situation im Hochtal von Davos wird durch zwei Faktorengruppen beeinflusst, die lokale Emission an Luftfremdstoffen, welche zusammen mit dem Fremdtransport den Input bildet, und die atmosphärischen Bedingungen, welche die Ausbreitung, Verdünnung, Umwandlung und Deposition der Luftschadstoffe steuern. Die Siedlung von Davos (Dorf und Platz) liegt im Talboden und am rechten Hangfuss des Landwassertales und hatte entsprechend der Volkszählung vom 2. Dezember 1980 eine Wohnbevölkerung von 10 468 Personen. Nicht nur wegen der Bevölkerungszahl sondern auch aufgrund der Baustruktur stellt sie eine eigentliche Stadt dar, die zur Hauptsache vom Fremdenverkehr lebt. Dementsprechend weist sie eine saisonal stark wechselnde Bettenbelegung und einen entsprechend ausgeprägten Ferien- und Wochenendverkehr auf, der sich dem Lokalverkehr noch überlagert. Während der Kälteperioden müssen auch leerstehende Ferienhäuser in ausreichendem Masse geheizt werden, um ein Einfrieren der Wasserleitungen zu verhindern. Aus diesen Gründen ist anzunehmen, dass die Belastung durch lokale Emissionen im Hochtal von Davos a priori schon relativ hoch sein wird. Der Schwefeldioxid-Emissionskataster der Schweiz (BUS, 1975) weist für die Fläche des Kartenblattes Prättigau (Nr. 248, Massstab 1:50 000), zu dem Davos gehört, eine mittlere Schwefeldioxidbelastung von 7.9 kg SO_2 pro km^2 und Tag aus. Diese Emissionen konzentrieren sich auf eine realtiv kleine Fläche und werden zudem in ein durch die Topographie stark beschränktes Luftvolumen abgegeben.

Die atmosphärischen Bedingungen in Alpentälern sind ausserordentlich stark durch klimatische Besonderheiten geprägt, d.h. sie bilden ihr eigenes spezifisches Lokalklima. Dieses tritt am stärksten in Erscheinung an ungestörten Schönwettertagen. Dann führt die unterschiedliche Strahlungsexposition der verschiedenen Hänge zu grossen Differenzen in den Temperaturen der Bodenoberfläche und der überlagernden Luftschicht. Als Folge davon bildet sich ein **tagesperiodisches Windsystem aus.** Tagsüber strömt die Luft an den Hängen (Hangaufwind) und in den Tälern aufwärts (Talwind), wobei sie in der Höhe durch eine entgegengesetzte, kompensierende Strömung überlagert wird. Sichtbar wird dieses Strö-

mungssystem tagsüber durch die Bildung von Cumulusbewölkung über den Gipfeln und Kämmen, sofern die Luftfeuchtigkeit ausreichend ist. Nachts kehrt sich dieses Windsystem um. Es herrscht an den Hängen (Hangabwind) und in den Tälern (Bergwind) eine abwärts gerichtete Luftbewegung, die allerdings nicht so kräftig und hochreichend ist wie der Talwind am Tage, da sie nur schwerkraftbedingt ist. Diese lokale Windzirkulation führt zu einer Verteilung der Luftfremdstoffe auf das gesamte Volumen der Talatmosphäre, aber nur in beschränktem Masse zur tatsächlichen Lufterneuerung. Im Winter kann die Schneebedeckung die Ausbildung thermischer Unterschiede an der Oberfläche verhindern und als Folge davon kann der talauf gerichtete Wind tagsüber ausbleiben (H. SCHWEGLER, 1978).

Im Falle von Davos ist zu unterscheiden zwischen dem Haupttal und den Seitentälern (Flüela, Dischma, Sertig). In der Regel bildet sich in den Seitentälern das beschriebene Windsystem aus und steuert durch seine Sogwirkung die Windströmung im Haupttal (vergl. M. SCHÜEPP/CH. URFER, 1963 und CH. URFER, 1970). Dort ist dementsprechend die vorherrschende Windrichtung am Tag wie auch nachts talabwärts gerichtet. Infolge der nächtlichen Ausstrahlung und unterstützt durch die sich sammelnde abfliessende Kaltluft bildet sich während der Nacht in Mulden- und Tallagen ein mehr oder weniger hochreichendes Kaltluftpolster. Kalte Luft in den Tälern ist durch warme Luft überlagert. Diese Situation verhindert aufgrund ihrere thermodynamischen Bedingungen den Austausch zwischen beiden Luftmassen. Die Grenzfläche zwischen der Warm- und Kaltluft stellt also eine Sperrschicht dar – eine **Inversion** –, welche den Transport von Luftfremdstoffen in höhere Luftschichten unterbindet. Solche bodennahen Inversionen werden tagsüber durch die Einstrahlung von unten her aufgelöst, worauf dann der turbulente Austausch mit der freien Atmosphäre einsetzt. Solche Inversionslagen sind während Schönwetterbedingungen für alpine Täler typisch und können unter Umständen tagelang anhalten. Dadurch sammeln sich die Luftfremdstoffe im begrenzten Luftvolumen unterhalb der Inversionsobergrenze und führen dort zu einem Ansteigen der bodennahen Immissionskonzentration.

Alpine Lagen sind also ausserordentlich stark durch solche austauscharme Lagen betroffen, weshalb auch relativ geringe Emissionen trotzdem zu lokal sehr hohen Schadstoffkonzentrationen führen können.

Die Arbeit im Raume Davos ist unabhängig von der Frage des Waldsterbens in Angriff genommen worden. Sie weist deshalb für diesen Fragenbereich Lücken auf, beispielsweise fehlen Ozonmessungen. Trotzdem sind ihre Resultate geeignet, Hypothesen zum Zusammenhang Luftverschmutzung/Waldsterben im Raume Davos zu formulieren. Diese benötigen allerdings noch entsprechende Abklärungen. Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich gezeigt, dass auch Mittelbünden und der Raum Davos im speziellen vom Waldsterben betroffen ist (J. STAHEL,

1984). Besonders gross ist die Waldschädigung im Bereich des unteren Landwasser- und des Albulatales (F. MAHRER et al., 1984).

2. Methodik, Messgeräte und Messnetz

Infolge der beschränkten Mittel, sowohl in personeller wie finanzieller Hinsicht, wie auch der beschränkten Zeitdauer der Felduntersuchungen können diese lufthygienischen Untersuchungen nicht den Charakter einer umfassenden Studie haben. Deshalb war das Ziel der Untersuchunge, stichprobenartig Auskunft zu erhalten über:

- die Maximalkonzentrationen und Spitzenbelastungen
- das räumliche Verbreitungsmuster der Schadstoffe

Auf ein begleitendes meteorologisches Messprogramm musste leider verzichtet werden. Untersucht wurden die gasförmigen Komponenten **Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxid (NO_x),** sowie die partikelförmige Verschmutzung durch **Staub** (Staubniederschlag), inklusive dessen Schwermetallgehalt. SO_2 entsteht durch die Verbrennung von schwefelhaltigen Brenn- und Treibstoffen und ist deshalb zu 95% auf die Abgase von Haus- und Industriefeuerungen zurückzuführen. Den Rest von 5% machen Abgase von Motorfahrzeugen aus. SO_2 ist deshalb ein Leitschadstoff für die Verschmutzung durch Feuerungsanlagen. CO entsteht bei unvollständiger Verbrennung. Zu 90 bis 95% ist es auf den Motorfahrzeugverkehr zurückzuführen, den Rest von 5 bis 10% machen Abgase von Feuerungsanlagen aus. Deshalb ist CO ein Leitschadstoff für die Verschmutzung durch den Motorfahrzeugverkehr. NO_x entsteht ebenfalls bei Verbrennungsprozessen. Zuerst wird dabei hauptsächlich Stickstoffmonoxid (NO) gebildet, das sich an der Luft zu Stickstoffdioxid (NO_2) umwandelt, das stark giftig ist. Beide werden unter dem Begriff Stickoxide (NO_x) zusammengefasst. Sie entstehen zu ¾ durch den Motorfahrzeugverkehr und zu ¼ in Feuerungsanlagen. Lufthygienisch sind Stickoxide, zsuammen mit den Kohlenwasserstoffen deshalb von Bedeutung, weil sie Ausgangsstoffe des photochemischen Kreislaufes sind. Unter der Anwesenheit von Sonnenstrahlung entsteht dabei Ozon (O_3).

Unter Staub verstehen wir feste Teilchen unterschiedlichster Grössenordnungen, Zusammensetzung und Herkunft. Er entsteht anthropogen durch Verbrennung, industrielle und gewerbliche Prozesse, Verkehr (Russ, Metalle, Salze, Reifenabrieb) oder stammt aus natürlichen Quellen wie der Ausblasung von Feinmaterial (Sand, Schluff) und Samen- und Pollenflug (Samenkörner, Pollen). Untersucht wurden also nur Luftfremdstoffe, denen eine Bedeutung als Leitschadstoff für bestimmte Emittentengruppen zukommt.

Entsprechend den beiden differierenden Fragestellungen sind zwei sich ergänzende Messnetze betrieben worden, eines für Konzentrationsmessungen und eines für Depositionsmessungen.

a) Konzentrationen: Zur Messung der Konzentration der Schadstoffe pro Volumeneinheit dienten kontinuierlich registrierende Messgeräte. Sie erlaubten die Auswertung von Halbstundenmittelwerten und bitten so die Möglichkeit, Analysen der Belastungsspitzen und von Tagesgängen vorzunehmen. Die Messgeräten sind von der Firma KONTRON AG (Zürich) und der EMPA (Dübendorf) zur Verfügung gestellt worden. Vom 6. Juli 1982 bis 28. September 1982 und vom 24. Februar 1983 bis 28. April 1983 standen folgende Geräte an zwei Standorten im Einsatz; Davos-Platz (Rathaus) je ein Gerät für SO_2, CO und NO_x, Davos-Dorf (Observatorium) ein Gerät für SO_2. Der Standort Davos-Platz diente zur Erfassung der Belastungsspitzen im Zentrum der Siedlung, der Standort Davos-Dorf zur Erfassung der Belastung am Dorfrand und der Vorbelastung der vom Prättigau her einströmenden Luft. Eine zusätzliche SO_2 Messstelle ist während der Winter/Frühlingsmonate betrieben worden, doch erwiesen sich deren Werte als nicht auswertbar. Ebenfalls erwiesen sich die NO_x Messungen als sehr störungsanfällig. Deshalb konnten für dieses Element von der 84 Tage umfassenden ersten Periode nur 52 Tage in die Auswertung einbezogen werden. Die entsprechenden Zahlen für die zweite Periode lauten 62 und 42 Tage. Den Konzentrationsmessungen kommt also nur Stichprobencharakter zu. Die erste Periode gibt die Verhältnisse während der Sommersaison wieder, die zweite Periode deckt das Ende der Wintersaison im Frühling ab. Es fehlen also Konzentrationsmessungen während der belastungsintensiven Monate Dezember und Januar.

b) Depositionsmessungen: In diesem Messnetz wird nicht die Konzentration eines Schadstoffes pro Luftvolumen gemessen, sondern seine Ablagerung aus der Luft pro Einheitsfläche und Zeit. Es handelt sich dabei um einfache Probensammlermethoden die relativ billig sind und energieunabhängig betrieben werden können. Damit sind sie auch geeignet für Messungen ausserhalb des Siedlungsbereiches. Sie liefern Mittelwerte der Schadstoffablagerung bezogen auf einen mehrwöchigen Aussetzzeitraum und ergeben so keine dichte zeitliche Auflösung. Im Rahmen dieses Netzes sind zwei unterschiedliche Gerätetypen eingesetzt worden, die Staubmessmethode nach BERGERHOFF und die LIESEGANG-Glocke.

Die Staubniederschlagsmessung nach BERGERHOFF liefert Angaben über die Staubmenge, die sich schwerkraftbedingt und im atmophärischen Niederschlag pro Quadratmeter und Tag im Mittel der ca. 4wöchigen Bezugsperiode abgelagert hat. Zusätzlich kann darin auch der Schwermetallgehalt bestimmt werden. Das Probennahme- und Analyseverfahren ist beschrieben im VDI-Richtlinienblatt Nr. 2119 (VDI, 1972). Die Laborverarbeitung erfolgte durch den Autor im Labor der EMPA Dübendorf, entsprechend den Analysen im Rahmen des NABEL-Netzes (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe).

━━━	Grenze des Testgebietes
———	Höhenkurven
———	Gewässer
○	Stationen (BERGERHOFF und/oder LIESEGANG)
◎	Station mit zusätzlicher Konzentrationsmessung mindestens eines Elementes
1–27	Stationsnummern

Abbildung 1
Lufthygienisches Messnetz 1982–83 im Raume Davos
Eingetragen sind alle Messpunkte für Luftschadstoffkonzentration oder -deposition, die zwischen Juli 1982 und September 1983 kurz- oder längerfristig im Rahmen des Programmes MAB-Davos in Betrieb standen. Im Text wird auf die Stationen anhand ihrer Nummern Bezug genommen.

Die Erfassung der Deposition gasförmiger Komponenten nach LIESEGANG ergibt nach der herkömmlichen Analysemethode die Menge SO_2 pro Filterfläche und 100 h. Durch die Wahl eines anderen Analyseverfahrens waren wir in der Lage, neben dem SO_2 auch Nitrat (NO_3), Chlor (Cl) und Fluor (Fl) zu bestimmen. Das Verfahren ist beschrieben in W. LANDOLT/H.R. MOSER (1985). Die Aussetzzeit der LIESEGANG-Filter war jeweils halb so lang wie diejenige der BERGERHOFF-Töpfe. Das Depositions-Messnetz war in Betrieb von Juli 1982 bis September 1983, sodass Resultate für 1¼ Jahre vorliegen, die auch den gesamten Winter mitumfassen.

Das Messnetz sowohl der Konzentrations- wie auch der Depositionsmessungen ist abgebildet in Abbildung 1. Messungen von Deposition und Konzentration erfolgten jeweils parallel am selben Standort (Nr. 1 Observatorium Davos-Dorf, Nr. 6 Rathaus Davos-Platz), wie auch BERGERHOFF- und LIESEGANG-Geräte je Standort zusammengefasst worden sind (vergl. Abbildung 2). Das Messnetz

Abbildung 2
Depositions-Messstation Edenstrasse (8)
Die Aufnahme zeigt die Messstelle Edenstrasse aus Richtung Südwesten. Zu sehen sind rechts die Lieseganggloke, die zur Erfassung der Deposition von Schwefeldioxid und weiterer Anionen dient, und links der Schutzkorb für das Sammelgefäss nach BERGERHOFF (Staubniederschlag). Die Station liegt ca. 75 m über dem Talboden am hangwärtigen Dorfrand von Davos-Platz (1615 m über Meer) und ist typisch für das Depositionsmessnetz.

wurde so gestaltet, dass es neben zwei Talquerschnitten noch einen Tallängsschnitt im Haupttal und eine isolierte Station im Seitental des Dischma (Nr. 11 Teufi) umfasst. Der eine Talquerschnitt reicht von Davos-Dorf bis zur Parsenn (Stationen Nr. 7 Flüelastrasse, Nr. 1 Observatorium, Nr. 2 Parsenn Höhenstation und Nr. 3 Versuchsfeld Weissfluhjoch), der zweite von der Schatzalp zur Ischalp, quer durch Davos-Platz (Nr. 5 Ischalp, Nr. 4 Bolgen, Nr. 6, Nr. 8 Edenstrasse, Nr. 12/21 Schatzalp/Strelaalp). Zusätzlich zu den schon erwähnten Stationen umfasste der Tallängsschnitt noch die Stationen Nr. 9 (Wolfgang), Nr. 14 (Kongresszentrum) und Nr. 10 (Kläranlage). Dieses Netz wurde im Sommer 1983 durch weitere, kurzfristige Stationen ergänzt.

Ergänzt wurden diese lufthygienischen Untersuchungen durch eine einmalige, möglichst flächenhafte Probenaufnahme und Analyse einer geringmächtigen Neuschneedecke am 14. Januar 1983. Dieser Neuschneefall schloss eine langdauernde niederschlagsfreie Schönwetterphase ab, die gekennzeichnet war durch Schadstoffakkumulation in den bodennahen Luftschichten. Sie erlaubt an einem Einzelfall die Analyse der räumlichen Struktur der Schadstoffdeposition durch flüssige oder feste Niederschläge. Untersucht wurde der Gehalt des Neuschnees an SO_2, NO_3 und Cl, sowie sein pH.

Zur Dokumentation der Luftbewegung im Bereich Davos-Dorf und Ausgang Dischma wurden von Dezember 1982 bis April 1983 während Schönwetterbedingungen vom Observatorium Davos-Dorf aus Zeitrafferaufnahmen (Filmkamera Super 8) durchgeführt. Diese erlauben aufgrund der Richtung der Kaminabgasfahnen und der Bewegung der Dunstschicht eine qualitative Interpretation des bodennahen Strömungsfeldes.

3. Resultate

3.1. Immissionskonzentrationen im regionalen Vergleich

Zur Beurteilung der lufthygienischen Situation irgendeiner Stadt oder einer Region wird der Vergleich mit Immissionsgrenzwerten vorgenommen. Sie sind so gewählt, dass entsprechend dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung davon ausgegangen werden kann, dass bei Immissionsbelastungen unterhalb dieser kritischen Werte eine Umweltgefährdung in der Regel nicht zu befürchten ist (BUS, 1979). Sie geben also an, ob die örtliche Luftverschmutzung ober- oder unterhalb der Schädlichkeits- oder Lästigkeitsgrenze liegt. Liegt sie darunter, so müssen die Anforderungen an die Emissionsbegrenzung nur vorsorglichen Charakter haben, liegen sie aber darüber, so müssen Emittenten verschärften Anforderungen genügen (EDI, 1984). Gebiete, welche als Folge mehrerer Emittenten eine lufthygienische Belastung im Bereich der Grenzwerte oder darüber aufweisen, werden als Belastungsgebiete bezeichnet und müssen saniert werden.

Im Entwurf zur Luftreinhalte-Verordnung (EDI, 1984) sind Immissionsgrenzwerte für die Schweiz vorgeschlagen. Da diese Verordnung noch in der Vernehmlassung ist, habe diese Grenzwerte noch keine Gesetzeskraft und es ist unter Umständen noch mit Abänderungen zu rechnen. Trotzdem sind die neuen, noch unverbindlichen Grenzwerte für SO_2 und CO in Tab. 1 zusammengestellt (Bestehende Grenzwerte SO_2 siehe BUS, 1979). Dabei muss unterschieden werden zwischen Langzeit- und Kurzzeitpegel. Beide sollten auf den Halbstundenwerten eines vollständiggen Messjahres beruhen. Der Langzeitpegel ist der arithmetische Mittelwert des Jahres und ist ein Mass für die Dauerbelastung. Der Kurzzeitpegel für SO_2 ist definiert als derjenige Wert, der in 95% aller Halbstunden-Mittelwerte eines Jahres nicht überschritten werden darf. 5% der Werte dürfen also höher als dieser Grenzwert sein. Der Kurzzeitpegel für CO ist dagegen definiert als der Tagesmittelwert, der höchstens einmal pro Monat überschritten werden darf. Die Kurzzeitpegel dienen also zur Charakterisierung der kurzfristigen Spitzenbelastungen.

Da unsere Messungen im Raume Davos insgesamt nur gerade 5 Monate umfassten, ist also im Sinne der Luftreinhalte-Verordnung noch keine definitive Aussage möglich. Unsere Daten dienen als Schätzwerte für die wahrscheinliche Luftbelastung. Das Bundesamt für Umweltschutz gibt ein Verfahren an, mit dessen Hilfe auch aus lückenhaften Messreihen ein vermutlicher Jahresmittelwert für SO_2 geschätzt werden kann (BUS, 1979). Nach dieser Anleitung haben wir den

Tabelle 1
Immissionsgrenzwerte gemäss LRV-Entwurf

Luftverunreinigender Stoff	Langzeitgrenzwert	Kurzzeitgrenzwert
Schwefeldioxid (SO_2)	30ug/m^3	100ug/m^3
Kohlenmonoxid (CO)	–	8mg/m^3
Staubniederschlag	200mg/(m^{2}Tag)	–
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100ug/(m^{2}Tag)	–

Definitionen:
Langzeitgrenzwert SO_2: Jahresmittelwert
Kurzzeitgrenzwert SO_2: 95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung aller ½-Mittelwerte eines Jahres
Kurzzeitgrenzwert CO: Tagesmittelwert, der pro Monat höchstens einmal überschritten werden darf
Langzeitgrenzwert Staubniederschlag und Bleigehalt: Jahresmittelwert

Jahresmittelwert für SO_2 in Davos geschätzt, wobei die Genauigkeit +/– 15% beträgt. Der Jahresmittelwert für CO wurde hingegen als arithmetisches Mittel aus den vorliegenden Einzelmonaten gerechnet.

In Tabelle 2 und 3 sind Monatsmittelwerte, Kurzzeitpegel und geschätzter Jahresmittelwert für SO_2 und CO der Messungen der beiden Perioden aufgeführt. Der Wert des Kurzzeitpegels ist jeweils auf die beiden Perioden im einzelnen bezogen. Zusätzlich sind in Tabelle 3 auch noch die höchsten monatlichen CO-Tagesmittel aufgeführt (in Klammern) zum Vergleich mit dem Kurzzeitpegel für CO. Als Grundbasis für alle Berechnungen dienen Halbstundenmittelwerte. Entsprechend den Empfehlungen des Cercle d'Air umfasst ein Tagesmittelwert mindestens 32 gültige Halbstundenmittelwerte und ein Monatsmittelwert setzt sich aus mindestens 20 gültigen Tagesmitteln zusammen. Wenn ein Monats- oder Jahresmittel diese Bedingungen nicht erfüllt, so ist dieser Wert mit einem Stern versehen.

Neben den Monats- und Jahreswerten von Davos sind die Tabellen 2 und 3 noch mit den Daten ausgewählter NABEL-Stationen ergänzt. Dabei gibt die Station Zürich (Kaserne) innerstädtische Verhältnisse wieder, die Station Basel (Ob-

Tabelle 2
Mittel- und Spitzenwerte SO_2 in ug/m³

Station	Juli 1982	Aug. 1982	Sept. 1982	März 1983	April 1983	Jahr 82/83	95 Prozent 82/83
Davos-Platz (Rathaus)	9	10	14	43	17	ca. 23	29/103[1]
Davos-Dorf (Observatorium)	1	–	1	12	6	ca. 5	–/ 39[1]
Zürich (Kaserne)	45	16	33	56*	36*	49/48	174/150
Basel (Observatorium)	12	12	22	21*	11	38/36	114/109
Payerne	3	3	2	12	4	9/ 8	–/–

*) unvollständige Messreihe (siehe Text)
[1] Perioden: 6. 7.–28. 9. 82 und 24. 2.–28. 4. 83

Tabelle 3
Mittel- und Spitzenwerte CO in mg/m³

Station	Juli 1982	Aug. 1982	Sept. 1982	März 1983	April 1983	Jahr 82/83	95 Prozent 82/83
Davos-Platz (Rathaus)	1.2 (1.8)	1.1 (2.0)	1.2 (1.8)	1.7 (3.6)	0.6 (1.3)	ca. 1.2[2]	2.6/2.9[1]
Zürich (Kaserne)	1.1	1.2	1.7	1.5*	1.1*	1.5/1.4	3.6/3.4
Basel (Observatorium)	0.3*	0.3	0.6*	0.6	0.4*	0.6/0.8	1.9/2.4

*) unvollständige Messreihe (siehe Text)
[1]) Perioden: 6. 7.–28. 9. 82 und 24. 2.–28. 4. 83
[2]) arithmetischer Mittelwert

servatorium) Stadtrandbedingungen und Payerne steht für ländliche Bedingungen (BUS, 1983 + 1984).

Die beiden Davoser SO_2-Messreihen (Rathaus und Observatorium) unterscheiden sich deutlich voneinander. Die Werte an der Station Rathaus sind massiv höher als an der Station Observatorium. Bei beiden Stationen lässt der erhöhte Märzwert auf einen ausgeprägten Jahresgang schliessen. Der geschätzte Jahresmittelwert am Rathaus beträgt ca. 23ug/m³, am Observatorium ca. 5ug/m³ (Genauigkeit +/– 15%). Damit liegen beide geschätzten Jahresmittelwerte tiefer als der neu vorgesehene Langzeitgrenzwert von 30ug/m³. Allerdings reicht der Wert vom Rathaus relativ nahe an diesen Schwellenwert heran. Der als arithmetisches Mittel aus den beiden Werten der Messperioden geschätzte Kurzzeitpegel für die Station Rathaus beträgt 66ug/m³ und erreicht ca. 65% des neuen Grenzwertes. Verglichen mit den übrigen aufgeführten Stationen lässt sich aussagen, dass auch die Station Davos-Platz am Rathaus im Mittel tiefer liegt als die Innerstadt-Station in Zürich und die Stadtrandstation Basel. Allerdings scheinen die jahreszeitlichen Unterschiede in Davos stärker ausgeprägt zu sein, da die Monate März und April in Davos höhere Werte aufweisen als Basel-Binningen (vergl. Kapitel 3.3). Zu erklären ist dies durch die kältebedingte intensive Heiztätigkeit während des Winters in Davos, die zusammenfällt mit einem intensiven Verkehrsaufkommen und erschwerten Austauschbedingungen (vergl. Kapitel 1). Es lässt sich deshalb

vermuten, dass die Belastung im Hochwinter hohe Werte erreichen wird und deshalb die Spitzenwerte, ausgedrückt durch den Kurzzeitpegel weiter ansteigen können bei einer umfassenden Messreihe. Die SO_2-Werte ausserhalb des Siedlungsbereiches, erhoben durch die Station Observatorium liegen dagegen deutlich tiefer als ländliche Vergleichswerte.

Eine erhöhte SO_2-Konzentration im Raume Davos ist also nachweisbar, ohne dass sie allerdings im Mittel innerstädtische Werte erreicht. Gleichzeitig scheint das davon betroffene Gebiet lokal begrenzt zu sein.

Die CO-Konzentration, die im Raume Davos leider nur an einer Messstelle erhoben werden konnte, liegt deutlich unterhalb des vorgeschlagenen Kurzzeitgrenzwertes. Ein entsprechender Langzeitgrenzwert für CO ist in der Verordnung nicht vorgesehen. Der Langzeitgrenzwert in der Bundesrepublik Deutschland ist auf 10.0mg/m^3 festgelegt (TA-Luft, 1983), ein Wert welcher sogar den vorgesehenen schweizerischen Kurzzeitpegel überschreitet und deshalb ca. das Neunfache der Davoser-Werte ausmacht. Aufgrund des erhöhten März-Wertes, Kurzzeit- wie Langzeitpegel lässt sich wieder die Vermutung aufstellen, dass die Winterwerte im Dezember und Januar noch etwas höher liegen können. Weiter zeigt sich, dass die CO-Werte während der Tourismus-Saison relativ erhöht sind und in den Zwischenmonaten (April) stark absinken. Verglichen mit den gesetzlichen Richtwerten für CO erscheint die Situation in Davos relativ günstig.

Verglichen mit den übrigen Stationen in Tabelle 3 zeigt sich aber, dass die Messungen in Davos-Platz im Bereich der CO-Belastung an der NABEL-Station Kaserne liegen, und gleichzeitig deutlich höher sind als am Stadtrand von Basel. Die Messung in Davos erfolgte praktisch an dem am stärksten durch den Autoverkehr beeinträchtigten Platz. Dies bedeutet, dass die CO-Belastung entlang der Hauptverkehrsstrasse in Davos-Platz etwa im Bereich innerstädtischer Werte liegt, wie sie dort in einiger Entferung von den Hauptverkehrsachsen auftreten.

Zusammenfassend lässt sich also für SO_2 und CO aussagen, dass die erhobenen Stichproben-Messungen nahe legen, dass in Davos die Richtwerte der Luftreinhalte-Verordnung (noch) nicht erreicht werden. Damit kann Davos nicht als Belastungsgebiet im Sinne der Verordnung bezeichnet werden. Damit sind allerdings trotzdem vorsorgliche Massnahmen zu treffen, um ein weiteres Ansteigen der Luftverschmutzung zu verhindern.

Weiter werden in Tabelle 1 auch die Langzeitgrenzwerte für den Staubniederschlag und dessen Gehalt an Blei (Pb) angegeben. Die Jahresmittelwerte aller Stationen im Raum Davos liegen deutlich tiefer. Der höchste festgestellte Jahresmittelwert wurde mit 113mg/m^2/d im Zentrum von Davos-Platz gemessen. Er liegt damit etwas über der Hälfte des Grenzwertes von 200mg/m^2/d. Auch der Grenzwert für Blei (Pb) wird maximal nur gerade zur Hälfte erreicht. Die Werte aller übrigen Stationen im Raum Davos liegen deutlich darunter. Quantitativ gesehen liegen die Werte des Staubniederschlages im Siedlungsbereich von Davos-Platz et-

was niedriger als in Innerstadtbedingungen. Die Werte sind vergleichbar mit Stadtrand- oder Agglomerationsbedingungen. Die Höhenlagen im Raum Davos weisen Werte auf, die tiefer sind als in ländlichen Bedingungen im Mittelland. Sie dürften in etwa dem natürlichen Background entsprechen.

3.2. Beispiel eines ausgewählten Tagesganges

Die beschriebenen kontinuierlichen Messungen liefern Halbstundenmittelwerte, d.h. sie bieten eine hohe zeitliche Auflösung. Damit wird die Analyse einzelner Tagesgänge möglich, was erlaubt, den Zusammenhang zwischen Belastung und Ursachen zu erkennen. Der Termin des Auftretens der Spitzenbelastungen kann festgelegt werden und dies ermöglicht, den Einsatz verkehrsorganisatorischer Massnahmen zu planen und zu bewerten. Weiter kann der Tagesgang der lufthygienischen Belastung im Zusammenhang mit seinen beeinflussenden meteorologischen Faktoren analysiert werden. Im folgenden wird deshalb ein ausgewählter Einzeltag als Beispiel vorgestellt. Zusammenfassungen zu mittleren Tagesgängen finden sich in H.R. MOSER (1985).

Als Einzeltag ausgewählt wurde **Freitag, der 4. März 1983.** Die Wetterlage an diesem Tage wurde dominiert durch ein Hoch über Mitteleuropa, das langsam vor einer Kaltfront zurückwich, die sich von den Britischen Inseln bis Skandinavien erstreckte. In der Höhe herrschte bei einer winkelförmigen Strömung über Mitteleuropa und den Alpen Nordwind. Im Talboden war es bei 9.3 Stunden Sonnenscheindauer tagsüber beinahe wolkenlos. Erst gegen Abend bildete sich stärkere Bewölkung. Mit einem Tagesmittel von –5.1°C war dieser Tag gegenüber dem langjährigen Mittel um –1.7°C zu kalt. Es handelt sich also um einen typischen winterlichen Schönwettertag mit intensiver Sonneneinstrahlung und für diese Jahreszeit ausgeprägter Tagesamplitude der Temperatur. Dieser ausgewählte Tag fällt mitten in die winterliche Hochsaison.

In Abbildung 3 ist der **Tagesgang der meteorologischen Elemente** am 4. März 83 im Detail aufgezeichnet, wobei Messdaten vom Observatorium (Tallage) und vom Weissfluhjoch (Gipfellage) miteinander verglichen werden. Die Globalstrahlung am Observatorium weist einen sinusförmigen Verlauf auf, wie er für Schönwettertage charakteristisch ist. Auch die Temperatur am Observatorium zeigt einen ausgeprägten Tagesgang mit dem Minimum am Morgen (–12.6°C) und dem Maximum am Nachmittag (+ 4.0°C). Am Weissfluhjoch hingegen ist der Tagesgang nur noch schwach ausgebildet, die Temperatur schwankt dort nur zwischen –7°C und –3.5°C. Während der Nacht besteht am 4. März 1983 also eine starke Inversion von 5.3°C, was einer Temperaturzunahme mit der Höhe von 0.5°C pro 100m entspricht, die sich tatsächlich aber auf die untersten Luftschichten im Tal konzentrieren wird. Tagsüber liegt die Temperatur im

Tal um 7.9°C höher als auf dem Weissfluhjoch, was einer Temperaturabnahme mit der Höhe von 0.7°C pro 100m entspricht. Die nächtliche Inversion wird also tagsüber aufgelöst, wobei maximal etwa der normale Temperaturgradient der Atmosphäre erreicht wird. Der trockenadiabatische Gradient von 1.0°C wird weder erreicht noch überschritten und somit bleibt die Atmosphäre mindestens trockenstabil geschichtet.

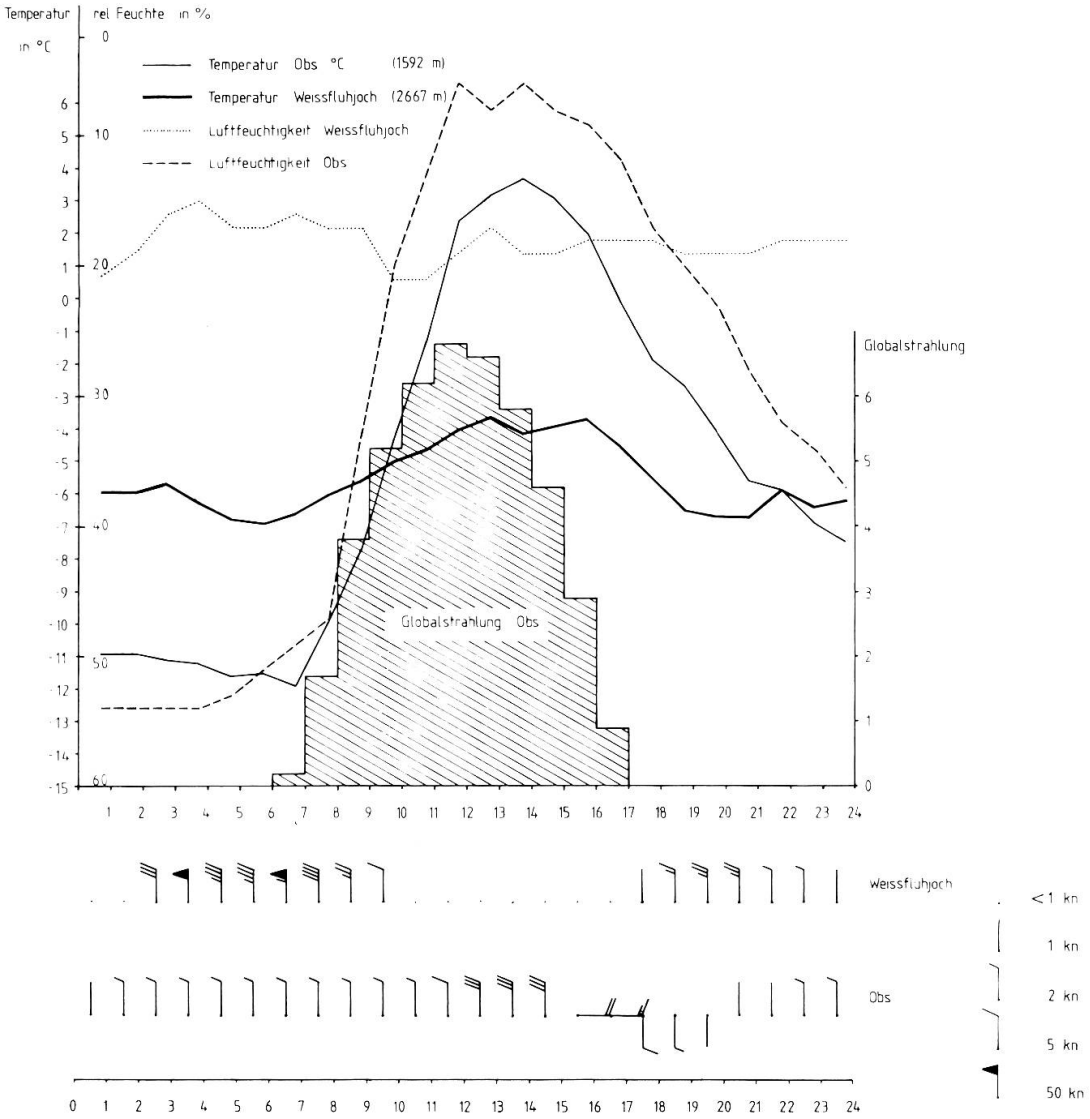

Abbildung 3
Tagesgang der meteorologischen Bedingungen am 4. März 1983 im Raume Davos
Eingetragen ist der Tagesgang lufthygienisch relevanter meteorologischer Daten der Stationen Observatorium (Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind) und Wissfluhjoch (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind) am 4. März 1983. Bezugsbasis sind Stundenmittelwerte.

Der 4. März 1983 ist ebenfalls gekennzeichnet durch geringe relative Luftfeuchtigkeit. Am Weissfluhjoch schwankt sie nur unwesentlich zwischen 15 und 20%. Am Observatorium zeigt sich wiederum ein Tagesgang mit einem Maximum nachts bei 55% und einem Minimum tagsüber mit nur 5%. Am Weissfluhjoch weht nachts und abends der Wind aus Norden, während tagsüber praktisch Windstille herrscht. Auch am Observatorium dominiert Nordwind, der im Unterschied zum Weissfluhjoch bis zum Nachmittag an Stärke zunimmt. Mit aufziehender abendlicher Bewölkung dreht er dann auf Ost und Süd.

Abbildung 4 zeigt den **Tagesgang der gasförmigen Luftfremdstoffe SO_2, CO, NO_2 und NO_x** für den 4. März 1983 an der Station Rathaus. Alle Kurven zeigen

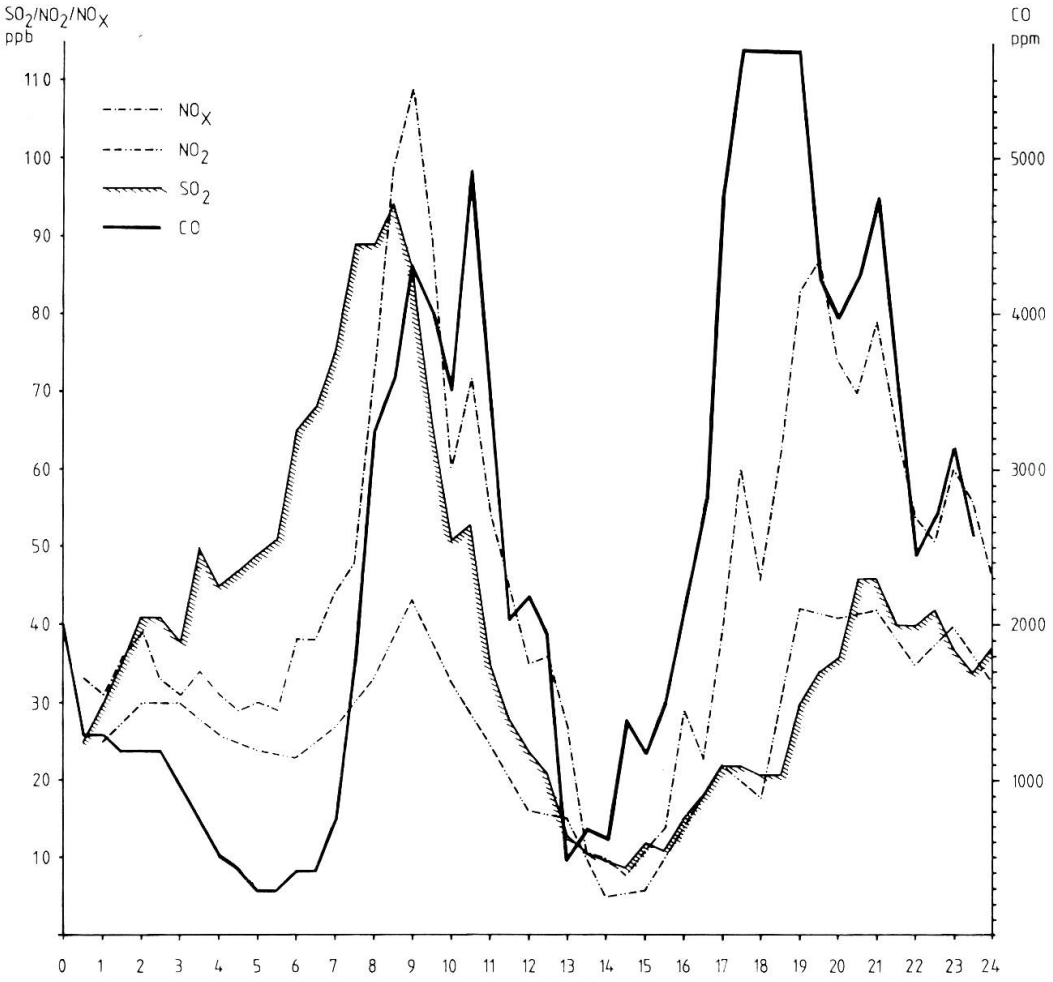

Abbildung 4
Tagesgang ausgewählter Luftschadstoffe am 4. März 1983 in Davos-Platz
Eingetragen ist der Tagesgang von SO_2, CO, NO_2 und NO_x, wie er an der Station Davos-Platz (Rathaus) am 4. März 1983 registriert worden ist. Bezugsbasis sind Halbstundenmittelwerte.

dabei einen ähnlichen Tagesverlauf. Beim SO_2, das als Leitkomponente für die Verbrennung fossiler Heizstoffe gilt, lässt sich im Laufe des Morgens ein stetiger Anstieg verfolgen, der seine Kumulation um 8 Uhr erreicht. Danach erfolgt ein rasches Absinken der Werte. Ein zweites, allerdings wesentlich geringeres Maximum tritt nach 20 Uhr am Abend auf. Beide Maxima korrespondieren mit den beiden täglichen Heizperioden, dem Einheizen am Morgen vor und beim Aufstehen und dem Temperieren der Wohnungen am Abend nach Rückkehr der Gäste und Einheimischen vom Skifahren, Wandern und Arbeiten. Tagsüber ist der Verlauf der SO_2-Kurve praktisch umgekehrt proportional zum Verlauf der Temperatur am Observatorium.

Der Verlauf des CO, das ein Leitschadstoff für den motorisierten Verkehr ist, zeigt zwei Maxima. Das morgendliche Maximum um 10 Uhr ist dabei etwas geringer als dasjenige am Abend um 18 Uhr. Verglichen mit der SO_2-Kurve tritt beim CO die morgendliche Spitze später, und die abendliche Spitze umgekehrt früher auf. Da das CO zu 90% auf den Autoverkehr zurückzuführen ist, kann sein Verlauf annäherungsweise mit dem Verkehrsaufkommen gleichgesetzt werden. Dieses zeigt daher einen ersten Schub um 10 Uhr, wenn Bewohner und Gäste das Haus verlassen, um arbeiten oder skifahren zu gehen und einen zweiten am Abend, der sich zusammensetzt aus der Heimkehr der Gäste, dem Arbeits- und Geschäftsschlussverkehr und dem allgemeinen Verkehr nach Feierabend.

Währenddem CO ja zu 90% auf Motorfahrzeuge zurückgeht, machen diese bei den Stickoxiden nur noch 75% aus (ATAL, 1983). Der Rest von 25% geht auf die Abgase von Feuerungsanlagen zurück. Deshalb zeigen die Stickoxide nicht dieselbe enge Bindung an das Verkehrsaufkommen, wie dies beim CO der Fall ist. Zusätzlich sind NO und NO_2 Vorläufersubstanzen für die Bildung von Photooxidantien. Deshalb ist ihr Gang verknüpft mit der Sonneneinstrahlung und der Anwesenheit von Kohlenwasserstoffen (HC). Damit ist die Konzentration der Stickoxide eng verbunden mit photochemischen Zyklen und deshalb schwieriger zu interpretieren. Nach EDI (1984) laufen dabei folgende grundsätzliche Reaktionen ab:

$$NO_2 \xrightarrow{\text{Licht (hv)}} NO + O \qquad 1)$$

$$O + O_2 \longrightarrow O_3 \qquad 2)$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O \qquad 3)$$

Diese Gleichungen bilden zusammen ein Gleichgewichtssystem, bei dem das Verhältnis von NO und NO_2 abhängig ist von der O_3-Konzentration und damit von der Intensität der Sonneneinstrahlung. Damit wird die maximale O_3-Konzentration begrenzt. Tatsächlich bilden aber Kohlenwasserstoffe (HC), die zur Hauptsache auf Motorfahrzeugverkehr und Industrie zurückgehen, zusätzliche Reaktionspartner. Die Kohlenwasserstoffe werden durch hochreaktive Radikale

und Luftsauerstoff zu Peroxyradikalen (RO_2) umgewandelt, welche noch besser als O_3 geeignet sind zur Oxidation von NO zu NO_2. Anstelle von Gleichung 3) kann deshalb unter solchen Bedingungen die folgende Gleichung gelten:

$$NO \xrightarrow{RO_2} NO_2 \qquad 4)$$

Diese Reaktion erhöht also die NO_2 Konzentration ohne gleichzeitigen Verbrauch von O_3, wodurch sich die O_3-Konzentration nicht erniedrigt. Dieses System steuert also vor allem den Ozonaufbau und kann bei genügend Nachschub an NO, wie er bei grossem nächtlichen Verkehrsaufkommen gegeben ist, auch nachts weiterlaufen. Dadurch erhöht sich die NO_2-Konzentration, ohne dass gleichzeitig der Ozongehalt sinkt. Zusätzlich bilden sich dabei noch weitere Photosmog-Komponenten wie PAN. Zusammenfassend lassen sich über die Kurven in Abbildung 4 die folgenden Aussagen machen:

1 Der Verlauf des NO_2-Gehaltes verläuft relativ gut übereinstimmend mit der CO-Konzentration, d.h. dem Verkehrsaufkommen, wobei die abendliche Spitze etwas zeitlich später eintritt und die Werte nachts erhöht bleiben.
2 Beim Verlauf der NO_x-Kurve liegt die morgendliche Spitze etwas vor dem Auftreten der maximalen CO-Belastung, die wieder etwa mit dem maximalen Verkehrsaufkommen gleichgesetzt wird. Dabei ist bei den Stickoxiden die morgendliche Spitze höher als die Abendspitze, umgekehrt wie beim CO-Verlauf. Dies wird wohl darauf zurückzuführen sein, dass am Morgen der NO_x-Gehalt noch durch die Heizungsabgase zusätzlich erhöht wird.
3 Am frühen Morgen und nachmittags bleibt der NO-Gehalt gering, d.h. es fehlt der Autoverkehr, der zunächst NO emittiert.
4 Während den Verkehrsspitzen treten hingegen hohe NO_x-Spitzen auf, welche auf einen nahmhaften Anteil NO zurückzuführen sind. Die Messung erfolgte nahe an einem stark frequentiertem Parkplatz und in ca. 50m Distanz von der stark befahrenen Hauptstrasse. Zwischen Strassenrand und Messstandort besteht ein leichtes Gefälle. Dies hat zur Folge, dass die Umwandlungszeit von NO zu NO_2 kurz ist, womit der NO-Gehalt anteilsmässig hoch bleibt.
5 Der Abfall der NO_x-Werte nach der Morgenspitze erfolgt parallel zum Abfall der CO-Werte und parallel zur zunehmenden Einstrahlung, welche die O_3-Produktion in Gang setzt.
6 Der abendliche Anstieg der NO_x-Werte erfolgt gegenüber dem CO mit Verspätung und setzt erst richtig ein nach Abschluss der Einstrahlung.

Zur detaillierten Analyse fehlen also nicht nur Angaben über das Verkehrsaufkommen, die mittlere Fahrgeschwindigkeit und Zusammensetzung des Verkehrs, sondern auch ergänzende Messungen des Gehaltes an Ozon und Kohlenwasserstoff.

3.3. Jahreszeitliche und räumliche Luftfremdstoffverteilung

Die Resultate der Depositionsmessungen liegen für die gesamte Messperiode der Jahre 1982 und 1983 ohne Unterbruch vor. Sie umfassen ca. 12 Stationen, was auch Aussagen erlaubt über die Luftfremdstoffbelastung ausserhalb des Siedlungsgebietes. Sie sind deshalb geeignet, die räumliche Verteilung der verschmutzten Luft und deren Jahresgang zu untersuchen. Allerdings basieren diese Aussagen auf Depositionsmessungen, welche nicht nur abhängig sind von der Konzentration des Schadstoffes in der Luft, sondern auch vom pro Zeiteinheit umgesetzten Luftvolumen, d.h. der mittleren Belüftung des Standortes. Sie sind deshalb, mit Ausnahme der Staubniederschlags- und Schwermetallbelastung, nicht mit Grenzwerten vergleichbar, welche auf Konzentrationsmessungen beruhen. In Abbildung 5 wird die Belastung durch folgende Luftfremdstoffe dargestellt: SO_2, getrennt nach Winter- und Sommerhalbjahr, Staubniederschlag, Bleigehalt im Staubniederschlag. Aufwärts gerichtete Säulendiagramme geben die SO_2-Deposition wieder, die linke im Winter, die rechte im Sommer. Die abwärts gerichteten Säulendiagramme stehen für Staubniederschlagsmenge (links) und Bleigehalt (rechts). Randlich sind jeweils die Werte des entsprechenden Flächenmittels angebracht, das gebildet wird als arithmetisches Mittel aus den vier Stationen: Observatorium (1), Rathaus (6), Flüelastrasse (7) und Edenstrasse (8). Es stellt einen ungefähren Mittelwert für die Belastung im Siedlungsgebiet dar. Die Abbildung 5 ist als schematisiertes Blockbild des Untersuchungsraumes gestaltet, das nach Norden orientiert ist.

Zu räumlichen Verteilung der ausgewählten Fremdstoffe, wie sie in Abbildung 5 dargestellt sind, lassen sich folgende Punkte hervorheben (vergl. auch H.R. MOSER, 1984):

1 **Staubniederschlag:** Die grösste Menge Staubniederschlag findet sich im Tal im Bereich der Siedlung. Mit zunehmender Höhe und weiterer Entfernung vom Siedlungszentrum nimmt die Menge ab, wobei die Abnahme mit der Höhe rascher erfolgt. Der natürliche Grundpegel des Staubniederschlags beträgt etwa 40 bis 50mg/m^3/d.

2 **Bleigehalt:** Für den Bleigehalt im Staubniederschlag gilt dasselbe, was oben für den Staubniederschlag gesagt worden ist. Einzig die Station Flüelastrasse (7) weist, gemessen an ihrer Lage an der stark befahrenen Flüelapassstrasse, einen erstaunlich niedrigen Bleipegel auf. Dies ist zurückzuführen auf ihre von der Strasse windabgewandten Seite und die geschützte Lage hinter einem Gebäude.

3 **SO_2 Winter:** Hohe Werte treten nur im Talboden auf. Von Davos-Dorf steigen sie bis ins Zentrum von Davos-Platz an. Dabei ist auch der unüberbaute Talboden südöstlich des Zentrums (Bolgen) in erheblichem Masse mitbetroffen. Im Talbereich unterhalb von Davos-Platz, d.h. südwestlich erfolgt die Abnahme

der SO_2-Werte nur langsam. Die Station Kläranlage (11), 4 km entfernt von Davos-Platz gelegen, weist im Winter SO_2-Werte auf, die beinahe noch im Bereich des Siedlungsmittels liegen. Mit zunehmender Höhe über Talboden erfolgt hingegen eine sehr rasche Abnahme der Belastung.

4 **SO_2 Sommer:** Da SO_2 zu einem grossen Teil auf Hausfeuerungen zurückzuführen ist, sind die Werte im Sommer wesentlich niedriger. Im Mittel machen sie

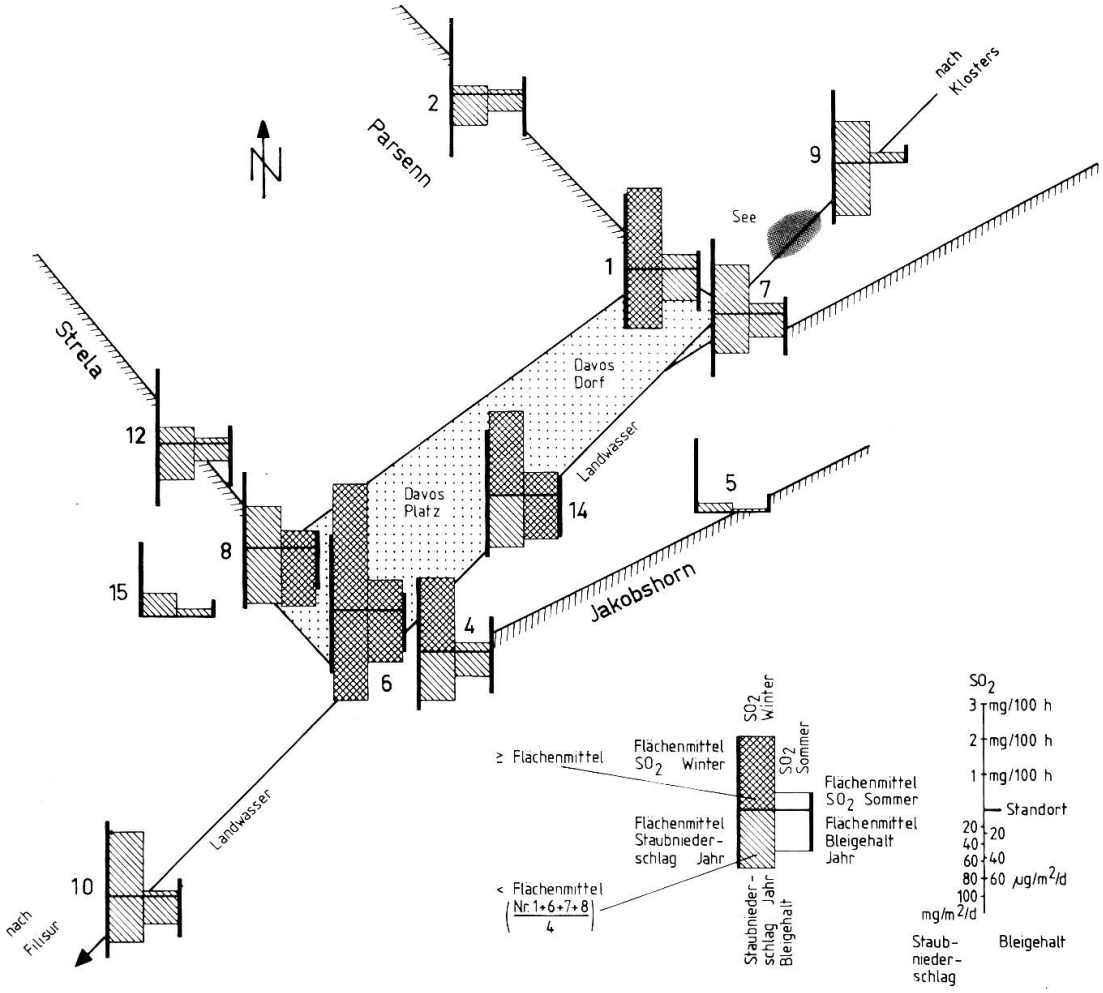

Abbildung 5

Schematisiertes Blockbild der Luftfremdstoffdeposition im Raume Davos

Das Blockbild zeigt in stark schematisierter Form einen Blick auf das Hochtal von Davos aus Süden. Eingetragen sind entlang der beiden Talquerschnitte (Davos-Dorf und Davos-Platz) und entlang des Tallängsschnittes die Depositionen von SO_2 (Winter- und Sommerhalbjahr), Staubniederschlag und Bleigehalt (Jahresmittel). Bezugsbasis sind die Erhebungen zwischen Juli 1982 und September 1983.

noch 20% der Winterwerte aus. Im Sommer zeigen sich relativ hohe Werte nur im Siedlungsbereich, wo sie allerdings über Talboden höher hinauf reichen. Im Sommer überschreitet die Station Edenstrasse (8), an der unteren Waldgrenze gelegen, deutlich das Siedlungsmittel, währenddem dieselbe Station im Winter deutlich darunter bleibt.

5 **Unterschiede Winter zu Sommer:** Im Bereich der Siedlung macht die heizungsbedingte Zunahme des SO_2 im Winter einen Faktor 5 aus. Die stärkste Zunahme betrifft den Talboden von Davos-Platz und südwestlich davon, wo die Zunahme einen Faktor 10 (Bolgen) bis 15 (Kläranlage) ausmacht. Die Zunahme ist mit der Höhe ist hingegen geringer als ein Faktor 5. Bei der Station Höhenstation (2) sind die Werte beider Jahreszeiten beinahe ausgeglichen. Dieses Verteilungsmuster legt die Vermutung nahe, dass sich im Winter die schadstoffbelastete Luft vor allem im Talboden von Davos-Platz sammelt, wo sie nur schwer abfliessen kann. Der Austausch mit höheren Luftschichten in der Talatmosphäre durch Hangaufwinde scheint weitgehend zu unterbleiben.

Dieser Vergleich der Werte des Winter- und des Sommerhalbjahres gibt eine erste Übersicht zur räumlichen Verteilung der Luftschadstoffe, die jahreszeitlich variiert. Eine detaillierte Betrachtung ermöglicht die Darstellung des Jahresgangs, wie in Abbildung 6 und 7. Abbildung 6 zeigt den Jahresgang des Profils bei Davos-Dorf, Abbildung 7 den Jahresgang des Profils durch Davos-Platz. Beiden Darstellungen unterlagert ist wieder ein Flächenmittelwert (gerasterte Fläche), der diesmal aus nur drei Stationen gebildet wird: Flüelastrasse (7), Edenstrasse (8) und Rathaus (6). Verlaufen die Jahresgangkurven der einzelnen Stationen oberhalb der gerasterten Fläche, so überschreiten ihre Werte das Flächenmittel, verlaufen sie innerhalb der gerasterten Fläche, so liegen sie tiefer als das Flächenmittel.

Das Profil im Bereich Davos-Dorf (Abbildung 6) umfasst folgende Stationen: Flüelastrasse (7) im Talboden, Observatorium (1) am unteren Hangabschnitt, ca. 25 m über dem Talboden, Höhenstation (2) oberhalb der Waldgrenze und Kulm (9) auf der Passhöhe des Wolfgang, ca. 2.5 km nord-nordöstlich von Davos-Dorf. Der Verlauf des Flächenmittels, das einen Mittelwert für die Verhältnisse im Siedlungsbereich bildet, zeigt im Herbst einen kontinuierlichen Anstieg, der in den Monaten Dezember und Januar seine Spitze erreicht. Danach sinken die Werte bis zum April wieder ab und steigen im Verlauf der Sommersaison nur geringfügig an. Die Höhenstation (2) zeigt praktisch keinen Jahresgang mehr und gibt in etwa den natürlichen Grundpegel wieder. Verglichen mit der Kurve des Flächenmittelwertes sind die Kurven der übrigen eingezeichneten Stationen etwas nach links verschoben, d.h. ihre Höchstwerte treten schon während der Monate November und Dezember auf. Deshalb weisen diese Kurven keinen annähernd sinusförmigen Verlauf auf, sondern zeigen im Herbst einen raschen Anstieg und im Winter und Frühling ein langsames Absinken der Werte. Die grösste Belastung tritt am

Observatorium auf, das auf einer kleinen Verebnung am Hang, 25 m über dem Talboden gelegen ist (Der Messpunkt der Depositionsmessungen befand sich ca. 1.5 m über der Erdoberfläche und ist nicht identisch mit dem Messpunkt der kontinuierlichen Messungen, der sich auf dem Dach befand, ca. 15 m über Grund.). Die Werte an der Flüelastrasse steigen nur bis Anfang Dezember an und fallen dann schon wieder sehr rasch ab, sodass Ende Februar die Werte von Ende Oktober erreicht werden. Das Absinken der Werte an der Flüelastrasse verläuft praktisch deckungsgleich mit der Station Kulm (9), wo der Anstieg im Herbst zeitlich etwas später erfolgt.

Nach dieser Darstellung aufgrund der Depositionsmessungen tritt im Bereich von Davos-Dorf die Hauptbelastung durch SO_2 schon im Frühwinter auf, wobei die Maximalwerte etwas oberhalb des Niveaus des Talbodens zu finden sind. Im weiteren Verlauf des Winters sinkt die SO_2-Deposition wieder ab. Dies legt den Schluss nahe, dass die verschmutzte Luft aus dem Talkessel von Davos zum einen nur in geringem Mass während des Winters über den Wolfgangpass abfliesst und zum andern auch nicht bei Davos-Dorf liegen bleibt.

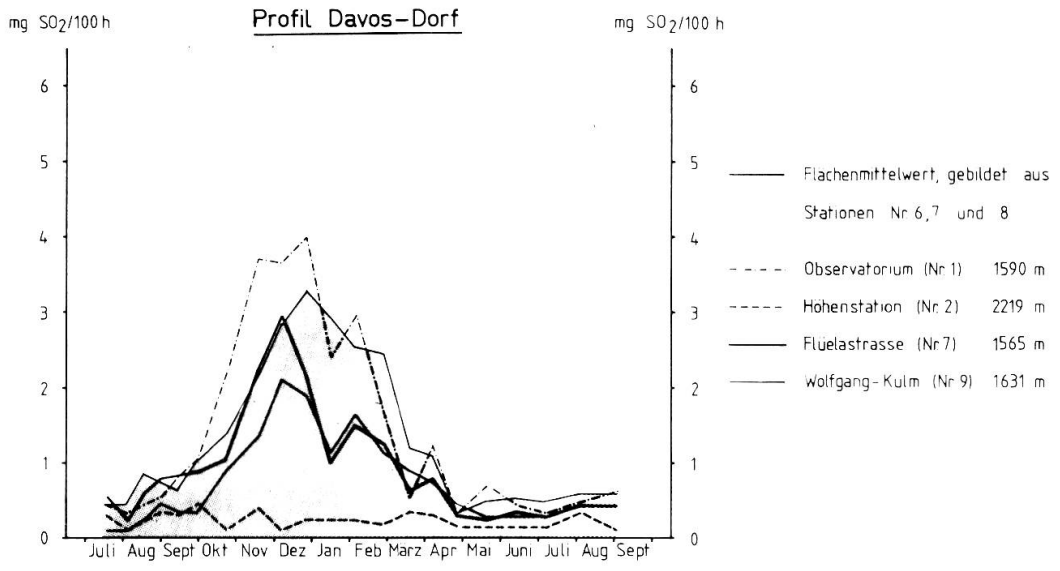

Abbildung 6
Jahresgang der SO_2-Deposition im Profil Davos-Dorf
Eingetragen sind die Werte der SO_2-Deposition nach der Methode Liesegang für ausgewählte Stationen im Bereich von Davos-Dorf und dem Wolfgangpass zwischen Juli 1982 und September 1983. Bezugsbasis sind Probensammelperioden von 2 bis 3 Wochen.

Abbildung 7 zeigt die Verhältnisse im Bereich Davos-Platz. Neben dem Flächenmittelwert sind die folgenden Stationen eingetragen: Bolgen (4) im Talboden östlich von Davos-Platz, Rathaus (6) im Zentrum, Edenstrasse (8) in Hanglage, ca. 75 m über dem Talboden, Schatzalp (12) als Höhenstation im Bereich der oberen Waldgrenze und Kläranlage (10), im Talboden 4 km unterhalb Davos-Platz gelegen. Auch die Station Schatzalp zeigt praktisch keinen deutlichen Jahresgang mehr, trotzdem sie 360 m tiefer liegt als die Höhenstation (2) beim Profil von Davos-Dorf. Die verschmutzte Luft während des Winterhalbjahres reicht also auch bei Davos-Platz nicht in grössere Höhen. Bestätigt wird diese Aussage durch den Kurvenverlauf an der Station Edenstrasse (8). Diese Station gibt die Verhältnisse am hangwärtigen Dorfrand wieder. Sie ist nach der Schatzalp diejenige Kurve mit den geringsten Werten und zeigt nur zwischen Dezember und Februar eine Spitze.

Dagegen steigen die Werte beim Bolgen (4) praktisch in Übereinstimmung mit dem Flächenmittel an, und übersteigen es zwischen Dezember und März leicht, also während der Wintersaison. Während des Sommers sind sie niedriger als das Flächenmittel. Bei der Station Kläranlage erfolgt erst im November und Dezember ein starker Anstieg, der sein Maximum im Januar erreicht. Dieser Spitzenwert überragt deutlich die Spitzenwerte aller übrigen Stationen, mit Ausnahme der Station Rathaus (6). Schon im Februar erfolgt bei der Kläranlage ein rasches Absin-

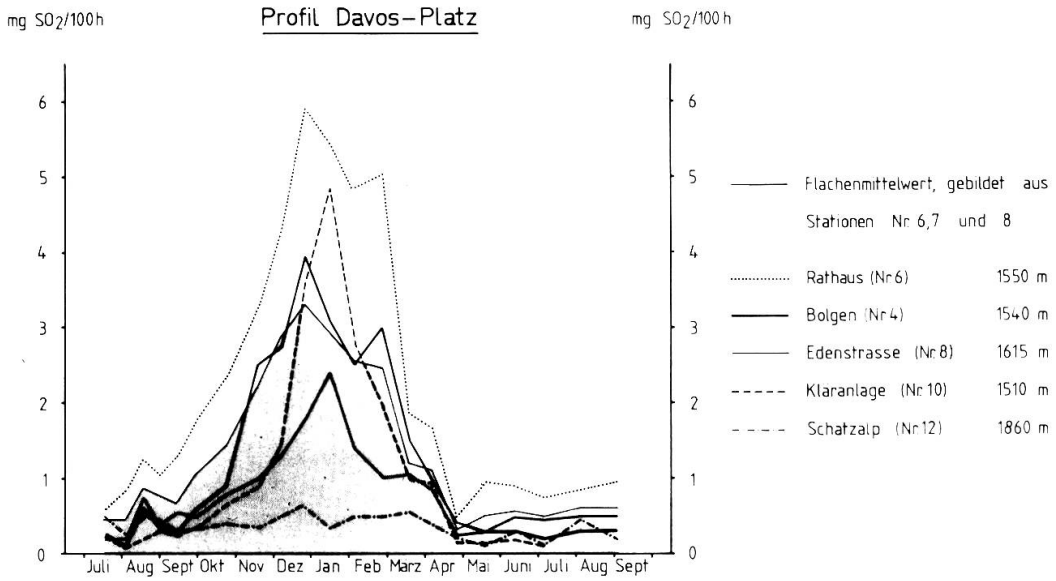

Abbildung 7
Jahresgang der SO_2-Deposition im Profil Davos-Platz
Eingetragen sind die Werte der SO_2-Deposition nach der Methode Liesegang für ausgewählte Stationen im Bereich von Davos-Platz bis Frauenkirch zwischen Juli 1982 bis September 1983. Bezugsbasis sind Probensammelperioden von 2 bis 3 Wochen.

ken der Werte. Während der Sommermonate bewegen sich die Werte dann im Bereich der Höhenstation Schatzalp. Die höchsten Werte im Profil Davos-Platz nimmt immer die Messreihe im Zentrum, beim Rathaus (6) an. Dies trifft auf sämtliche Monate zu. Verglichen mit den Kurvenverläufen im Profil Davos-Dorf zeigt sich bei Davos-Platz eine deutliche Verspätung der Maximalwerte, das heisst diese treten dort jahreszeitlich etwas später auf. Zudem sind sie weit höher als um Davos-Dorf.

Diese Aussagen über die SO_2-Verteilung im Raume Davos lassen sich kombinieren mit dem Aussagen zum vermuteten Windsystem. Ergänzt durch die visuellen Analysen der Zeitrafferaufnahmen im Winter 82/83 erlauben sie dann, die folgenden Hypothesen zum Mechanismus der Luftschadstoffverteilung im Raume Davos zu formulieren:

1 Die städtische Siedlung von Davos, verbunden mit ihrem Verkehrsaufkommen ist eine flächenhafte Quelle von Luftschadstoffen von grosser lokaler Bedeutung. Ein grosser Teil der Luftfremdstoffe ist dabei hausgemacht und lässt sich nicht mit advektiven Einflüssen aus den Ballungsräumen des Mittellandes erklären. Solche Luft nimmt ihren Weg vornehmlich über den Wolfgangpass, wo die lufthygienischen Messwerte niedrig sind.

2 Während der Sommermonate nimmt die lufthygienische Belastung ausserhalb des Ortes rasch mit der Höhe und mit der Entfernung von der Siedlung im Talboden ab, d.h. ein tageszeitlich wechselndes Berg/Talwind und Hangwindsystem transportiert die verschmutzte Luft in die Höhe und führt so zu deren wirksamen Verdünnung.

3 Im Winterhalbjahr ist die Situation weitaus komplizierter. Häufige, tiefliegende und langdauernde Inversionen während der Monate November bis Februar führen dazu, dass der Austausch mit den höheren Luftschichten im Tal unterbleibt oder zumindestens erschwert wird. Dadurch muss sich die verschmutzte Luft zunächst im Bereich des Talbodens bei Davos-Platz ausdehnen und nimmt im Laufe des Winters den gesamten Talbodenbereich bis unterhalb Frauenkirch ein. Mit wachsender Kraft der Sonneneinstrahlung Ende Winter werden die Inversionen tagsüber wieder aufgelöst und die tageszeitlich wechselnden lokalen Windsystem können die verschmutzte Luft wegtransportieren.

4 Während der Wintermonate führt die im Haupttal talabwärts gerichtete Strömung zur guten Lufterneuerung im Bereich Wolfgang und Davos-Dorf und zur Akumulation der verschmutzten Luft im Bereich des Talbodens Davos-Platz bis Frauenkirch.

4. Fazit und Ausblick

Die vorliegenden stichprobenartigen **Untersuchungsresultate** zur lufthygienischen Situation geben einen ersten Hinweis auf das Ausmass der Belastung durch Luftfremdstoffe im Raume Davos. Sie genügen aber nicht für eine abschliessende Beurteilung. Sie erlauben auch, Hypothesen zum Mechanismus der Ausbreitung der Luftfremdstoffe aufzustellen. Die wichtigsten Punkte werden im folgenden nochmals zusammengestellt:

1 Davos stellt selbst eine nicht zu vernachlässigende Quelle von Luftschadstoffen dar. Vorgesehene, neue schweizerische Grenzwerte werden bei den erhobenen Luftschadstoffen nicht überschritten, oft gar nicht erreicht. Damit stellt der Raum Davos kein Belastungsgebiet im Sinne der Luftreinhalte-Verordnung dar. Trotzdem liegen die in Davos gemessenen Werte in der Grössenordnung der Belastung in Agglomerationen des Mittellandes. Es ist eine politische, eine fremdenverkehrspolitische Frage, ob dieser Stand der lufthygienischen Situation als ausreichend erachtet wird, oder ob schon jetzt Massnahmen auch auf Gemeindeebene einzuleiten sind, die zu einer Senkung der Schadstoffbelastung führen.

2 Im Sommer werden die Luftschadstoffe durch lokale Windsysteme verdünnt und wegtransportiert, so dass die Schadstoffbelastung ausserhalb der Siedlung gering bleibt. Im Winter hingegen wird dieser Wegtransport durch häufige bodennahe Inversionen unterbunden und die talabwärts gerichtete Luftbewegung führt zu einer Ansammlung verschmutzter Luft im Bereich des Talbodens von Davos-Platz bis Frauenkirch.

Die Resultate der Untersuchungen legen aber auch nahe, eine Reihe von **weiterführenden Fragestellungen** zu formulieren. Dazu gehören:

1 Die Kenntnis der Emissionsrate der wichtigsten Luftschadstoffe in einem Hektarraster, das die Gemeinde Davos abdeckt, d.h. ein raumbezogener Emissionskataster. Dieser ist Grundlage zur Abschätzung der Wirksamkeit behördlicher Massnahmen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung und Ausgangspunkt für Berechnungen der Ausbreitung der Luftschadstoffe.

2 Ergänzende Messungen von NO, NO_2, O_3 und HC sind notwendig um die photochemischen Prozesse im Raume Davos studieren zu können. Dies ist notwendig, weil die Voraussetzungen, intensive Sonneneinstrahlung und grosses Verkehrsaufkommen, sicher gegeben sind. Resultat der photochemischen Prozesse ist O_3, das entsprechend den heutigen Annahmen zu einem wesentlichen Teil für das Waldsterben verantwortlich gemacht wird. Zu ergänzen sind diese Messungen durch meteorologische und Verkehrserhebungen.

3 Zur Beurteilung der Auswirkungen der in Davos produzierten Luftverschmutzung auf die Landschaft Davos ist es notwendig, die lokalklimatischen Verhält-

nisse und insbesondere die Zusammenhänge zwischen dem Klima der Seitentäler und dem Haupttal besser zu kennen. Stichworte dazu sind: Höhenlage, Häufigkeit und Andauer von Inversionen, Lokalwindsysteme, Durchlüftung und Lufterneuerung.

5. Zusammenfassung

Die Resultate lufthygienischer Untersuchungen im Hochtal von Davos während der Jahre 1982 und 1983 werden vorgestellt (MAB-Davos). Die Untersuchungen umfassten stichprobenartige Messungen der Luftschadstoffkonzentration (SO_2, CO, NO_x) und Erhebungen der Luftschadstoffdeposition (SO_2, Staubniederschlag, Pb) während mehr als eines Jahres. Bei keinem der erhobenen Schadstoffe werden die Grenzwerte gemäss Luftreinhalte-Verordnung (in Vernehmlassung) überschritten. In diesem Sinne ist also der Raum Davos kein Belastungsgebiet. Trotzdem stellt die Stadt Davos eine Emissionsquelle dar, die von grosser lokaler Bedeutung ist. Generell nimmt die Schadstoffbelastung mit der Höhe über dem Talboden rasch ab. Im Winter führen langandauernde, bodennahe Inversionen und eine schwache, von Davos-Dorf nach Davos-Platz gerichtete Windströmung dazu, dass sich schadstoffreiche Luft im Talboden von Davos-Platz bis Frauenkirch ansammelt.

6. Literatur

MOSER, H.R./M. KELLER/S. KUNZ (1985): Klima und Luftbelastung. In: O. Wildi und K. Ewald (Red.): Der Naturraum und dessen Nutzung im alpinen Tourismusgebiet von Davos. Ergebnisse des MAB-Projektes Davos. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Ber. im Druck.

MOSER H.R. (1985): Die lufthygienischen Verhältnisse im Hochtal von Davos. In: Schlussberichte MAB Nr. 16, 55 S.

BUS (1976): Schwefeldioxid-Emissionskataster 1975 für die Schweiz und Liechtenstein. Bern – Dübendorf, 31 S.

SCHWEGLER, H. (1978): Luftreinhaltung im Alpenraum. = Tagungsbericht 15. Int. Tagung für Alpine Met., Grindelwald, S. 57–60

STAHEL, J. (1984): Das Waldsterben im Gebirge. In: Forstarchiv **55**/2, S. 48–51.

MAHRER, F./P. BRASSEL/H.R. STIERLIN (1984): Erste Ergebnisse zum Waldsterben aus dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI), = Bericht EAFV Nr. 261, S. 289–305

VDI (1972): Messung partikelförmiger Niederschläge, Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem BERGENHOFF-Gerät (Standartverfahren). = VDI-Richtlinien Nr. 2119, Blatt 2, 4 S.

LANDOLT, W./H.R. MOSER (1985): Methode zur Bestimmung von Anionen aus Liesegangfiltern mit Hilfe der Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie. In: Staub (im Druck)

EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN (1984): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) – Entwurf, Bern 103 S.

EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN (1984): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) – Entwurf, Bern 103 S.

EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN (1984): Bericht zum Entwurf für eine Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Bern 49 S.

BUS (1979): Empfehlungen zur Messung und Beurteilung von Schwefeldioxid (SO_2)-Immissionen, Bern, 6 S.

BUS (1983): Luftbelastung 1982. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). = Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 16, Bern, 30 S.

BUS (1984): Luftbelastung 1983. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). = Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 30, Bern, 37 S.

TA-LUFT (1983): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft), Köln, 113 S.

ATAL (1983): Luftreinhaltung im Kanton Zürich. Amt für technische Anlagen und Lufthygiene, Zürich, 48 S.

EDI (1984): Waldsterben und Luftverschmutzung. Bern, 125 S.

MOSER, H.R. (1984): Die räumliche und jahreszeitliche Verteilung ausgewählter Luftschadstoffe im Talquerschnitt von Davos-Platz, Kanton Graubünden (Schweiz). = Zbornik broj 10, Beograd (18th International Conference for Alpine Meteorology, Opatija, 25.–29. Sept. 1984), S. 361–364

SCHÜEPP, M./CH. URFER (1963): Die Windverhältnisse im Davoser Hochtal. In: Archiv f. Met. Geoph. Biokl. (Serie B) 12, S. 337–349

URFER, CH. (1970): Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetterwindsystems in einem V-förmigen Alpental (Dischmatal bei Davos). In: Archiv f. Met. Geoph. Biokl. (Serie B), 18, S. 21–42

VOLZ, R./M. BAUMGARTNER (1985): Vergleichende Darstellung und Interpretation der lufthygienischen Messungen in den MAB-Testgebieten Davos und Grindelwald. In: Fachbeiträge zur Schweiz. MAB-Information Nr. 22, 23 S.