Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 163 (1983)

Artikel: Lokalzirkulation und chemische Verunreinigungen

Autor: Broder, Benedikt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90912

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: 16.07.2025

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

Lokalzirkulation und chemische Verunreinigungen

Benedikt Broder

Zusammenfassung

Die für den Tagesgang des Ozons in der Planetaren Grenzschicht verantwortlichen Prozesse werden diskutiert. Anhand von Messungen im schweizerischen Mittelland wird gezeigt, dass Smogprozesse einen wesentlichen Einfluss ausüben. Zudem wird im Vergleich zu ebener Topographie festgestellt, dass unter Wirkung eines im hügeligen Gelände auftretenden lokalen Windsystems die am Erdboden ablaufenden heterogenen chemischen Prozesse (dry deposition) eine verstärkte Effektivität beim nächtlichen Abbau des Ozongehalts der bodennahen Luftschichten aufweisen. Die resultierende spezielle Immissionssituation wird dargestellt.

Résumé

Les processus responsables de la variation jounalière de l'ozone dans la couche limite planétaire sont discutés. Des mesures exécutées sur le Plateau suisse démontrent l'influence essentielle des processus de la chimie du «smog». En comparaison avec la topographie de plaine, on constate qu'un système de vent local, qui apparaît sur un terrain accidenté, renforce l'efficacité des processus chimiques hétérogènes au sol (dry deposition) réduisant pendant la nuit la teneur en ozone dans la couche d'air au voisinage de celui-ci. La situation d'immission spéciale qui en résulte est présentée.

Einleitung

Das Erscheinungsbild der chemischen Vorgänge in der Planetaren Grenzschicht (PBL, Planetary Boundary Layer), d.h. dem untersten, einige hundert Meter Mächtigkeit aufweisenden Stockwerk unserer Atmosphäre, hat in den letzten Jahren ein zunehmendes Interesse gefunden. Durch anthropogene Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung der Luft haben sich nämlich in diesem Zeitraum eine Vielzahl neuer Effekte eingestellt, die unerwünschte Auswirkungen auf das pflanzliche, tierische und menschliche Leben haben.

Für einmal soll hier nicht das Waldsterben, sondern die bisher noch nicht im Blickpunkt der Öffentlichkeit stehenden Ernteverluste, die durch die Wirkung des infolge photochemischer Prozesse erhöhten Ozongehalts der Luft bewirkt werden, in den Vordergrund gestellt werden. Laborversuche zeigten nämlich, dass eine Verfünffachung der natürlichen Hintergrundkonzentration des Ozons in Minderanbauerträgen von 50% bei Erdnüssen, 45 % bei Sojabohnen, 30% beim Winterweizen und 10 % beim Mais resultiert (Quelle: New Scientist, 4 March 1982, S. 563). Falls sich diese Resultate auch für Freilandverhältnisse bestätigen sollten, könnte dies natürlich zu einem schwerwiegenden volkswirtschaftlichen Problem werden.

Um eine effiziente Strategie zur Kontrolle der Auswirkungen solcher Art auf die natürliche Umgebung des Menschen zu etablieren, müssen sowohl die chemischen Prozesse, die in der Grenzschicht ablaufen, wie auch ihre Kopplung mit den dynamischen Vorgängen einem möglichst vollständigen Verständnis zugeführt werden.

Für die Verhältnisse über flacher Topographie war für das vergangene Jahrzehnt eine bemerkenswerte Forschungsaktivität festzustellen, doch blieb die Kopplung zwischen Chemie und Transport im Gelände, in dem das Auftreten lokaler Windsysteme zu erwarten ist, weitgehend unerforscht.

Am Laboratorium für Atmosphärenphysik der ETH wurde aus diesem Grunde seit 1978 ein Schwerpunkt auf die Erfassung dieser Wechselwirkung über hügeligem Gelände ge-

legt, wobei Ozon als zentrale Substanz in smogbeeinflusster Luft im Vordergrund stand.
An dieser Stelle soll von vorläufigen Resultaten der Messkampagne 1982 berichtet werden, wobei das Schwergewicht auf die Untersuchungen zu den nächtlichen Ozonabbaumechanismen gelegt werden soll. Der Einfachheit halber wird dabei von einer Betrachtung der Verhältnisse über ebenem Gelände ausgegangen, wobei noch zwischen Reinluft- und Smogverhältnissen unterschieden werden muss.

Prozesse über flachem Gelände

Reinluftverhältnisse

Von Reinluftverhältnissen kann gesprochen werden, falls die Zeitskala der homogen ablaufenden chemischen Prozesse einige Tage beträgt und damit kein Beitrag dieser Vorgänge zum Tagesgang des Ozons erwartet werden kann. Betrachtet man einen solchen Tagesgang genauer, wird ein charakteristischer nächtlicher Abbau der Ozonkonzentration ersichtlich. Die Ozonabnahme ist dabei am grössten in Bodennähe und nimmt mit der Höhe ab, um oberhalb der Inversionsschicht schliesslich zu verschwinden. Dieser Abbau ist auf die Wirkung der trockenen Deposition, d. h. der Zerstörung von Ozon infolge heterogener chemischer Prozesse am Erdboden, zurückzuführen. Da in der Nacht durch die bestehende Temperaturinversion der Vertikalaustausch stark eingeschränkt ist, bewirken diese heterogenen Reaktionen die beobachtete Abnahme der Ozonkonzentration innerhalb der Inversionsschicht.
Tagsüber hingegen wird durch starken vertikalen Austausch viel Ozon in Bodennähe geführt, und kurze Zeit nach dem Aufbrechen der Inversion beobachtet man bis in unmittelbare Bodennähe eine vertikal beinahe homogene Ozonverteilung (Galbally, 1968). Die Effektivität, mit der Ozon durch trockene Deposition aus der Atmosphäre entfernt wird, hängt ab von der in Bodennähe vorherrschenden Ozonkonzentration und den Eigenschaften der Oberfläche. Ist diese Oberfläche bewachsen, so ergeben sich erhöhte Zerstörungsraten, weil die Pflanzen durch ihre Stomata Ozon aufnehmen, welches im Innern der Zellen zerstört wird. Dabei treten zwischen verschiedenen Pflanzenarten beträchtliche Unterschiede auf, und auch der durch äussere Umstände (Lichtverhältnisse, Feuchteverhältnisse) gesteuerte Zustand der Schliesszellen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Effektivität der Ozonzerstörung infolge Pflanzenaktivität und damit der trockenen Deposition überhaupt (Galbally et al., 1980).
Zusammengefasst kann gesagt werden, dass der Tagesgang des Ozons in Reinluftverhältnissen durch das Zusammenwirken des turbulenten Transports mit der Ozonzerstörung am Boden erklärt werden kann.

Smogverhältnisse

Bei Vorliegen von Smogverhältnissen, d. h. in der Nähe städtischer Ballungsräume, erhöhen sich die Emissionsraten einer Vielzahl von Substanzen beträchtlich.
Dadurch verschiebt sich die Zeitskala der chemischen Prozesse in den Bereich von Stunden. Tagsüber erfolgt ein starker Ozonaufbau, der mit einer Konzentrationszunahme der für die Smogphotochemie typischen Kettenabbruchprodukte wie Peroxiacetylnitrat (PAN) und einem Abbau des Stickoxidgehalts einhergeht (Butler, 1979).
Nachts hingegen gibt die Emission von Stickstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffen Anlass zu einem Ozonabbau infolge homogener chemischer Reaktionen. Dabei steht die sehr schnelle Reaktion R1

$$\text{(R1)} \qquad NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$

im Vordergrund. Das entstandene Stickstoffdioxid reagiert mit Ozon weiter nach

$$\text{(R2)} \qquad NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$$

und das dabei gebildete NO_3 geht in der Folge eine Reihe weiterer Reaktionen ein, deren relative Wichtigkeit aber noch weitgehend unbekannt ist (Platt et al., 1981). Die beiden angegebenen Reaktionen bewirken nun einen, verglichen mit der Wirkung der trockenen Deposition, verstärkten nächtlichen Abbau des Gehalts von Ozon. Zusammen mit den tagsüber ablaufenden ozonproduzierenden Vorgängen führt dies zu einer gegenüber Reinluftverhältnissen sehr viel ausgeprägte-

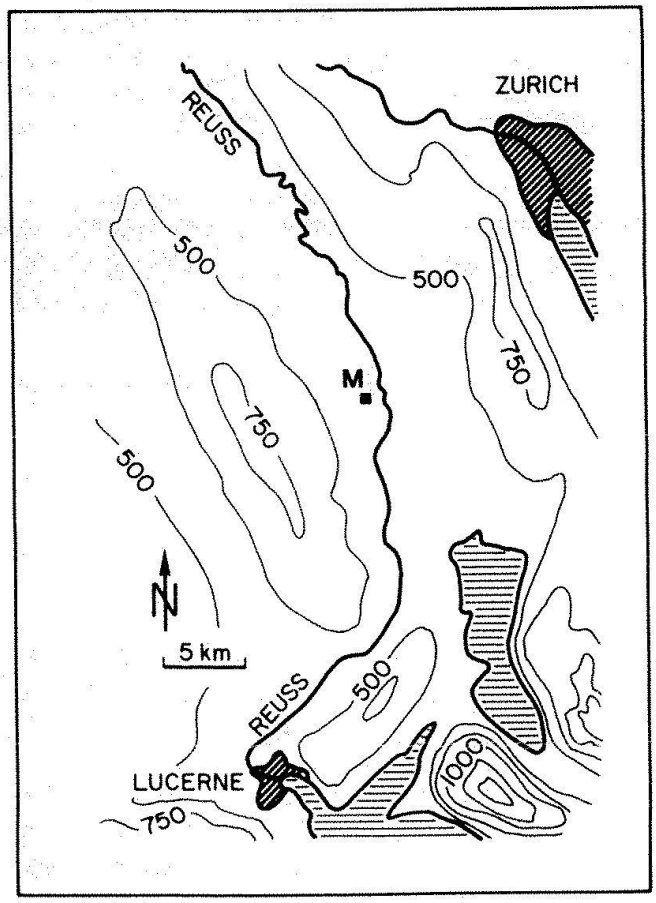

Abb. 1. Karte des Reusstals. M steht für die Messstation Merenschwand. Höhen sind in Meter über Meer.

ren Variation des Ozongehalts in der PBL (Hov, 1983).

Verhältnisse über hügeligem Gelände

Messprogramm

Die im folgenden zu diskutierenden Messungen zur Abklärung der Verhältnisse über hügeligem Gelände wurden im Gebiet des Reusstals, zwischen der Albiskette und dem Lindenberg, durchgeführt. Dabei wurden von Merenschwand und Schüren aus mit Hilfe von Fesselballonen vertikale Profile von Ozon, Temperatur, Wind und Feuchtigkeit erfasst (Abb. 1 und 2). Zusätzlich standen uns Aufzeichnungen des Bodennetzes, das in einem Talquerschnitt auf der Höhe von Merenschwand errichtet wurde, zur Verfügung (Abb. 2). In Merenschwand war ferner eine Sackprobennahmeeinrichtung zur punktweisen Erfassung der vertikalen Verteilung des NO_x-Gehalts im Einsatz, und zusätzlich wurde mit Freiballonen der Ozongehalt, die Temperatur wie auch die Feuchtigkeit der Luft bis in die untere Troposphäre gemessen.

Immissionssituation

Um entscheiden zu können, ob die mit unseren Messungen erfassten Verhältnisse durch Smogprozesse beeinflusst wurden, bietet es sich an, den Zusammenhang zwischen den am Fesselballon in Merenschwand gemessenen maximalen Ozonmischungsverhältnissen und den aufgetretenen Maximaltemperaturen in die Diskussion einzubeziehen (Abb. 3). Dabei sind die mit D bezeichneten Tage als advektiv gestört zu betrachten, da die angegebenen maximalen Ozonkonzentrationen während der Nachtstunden beobachtet wurden. Sie können damit nicht in die laufenden Betrachtungen einbezogen werden. Was aber auffällt, ist, dass eine lineare Regression der während der vier als advektiv ungestört betrachteten Perioden von 1982 (Per 1 bis Per 4) gewonnenen Daten eine hervorragende Korrelation von 0,93 ergibt. Ein solcher Zusammenhang ist aber typisch für smogphotochemisch bedingte Verhältnisse. Daraus schliessen wir, dass die Luft der PBL in unse-

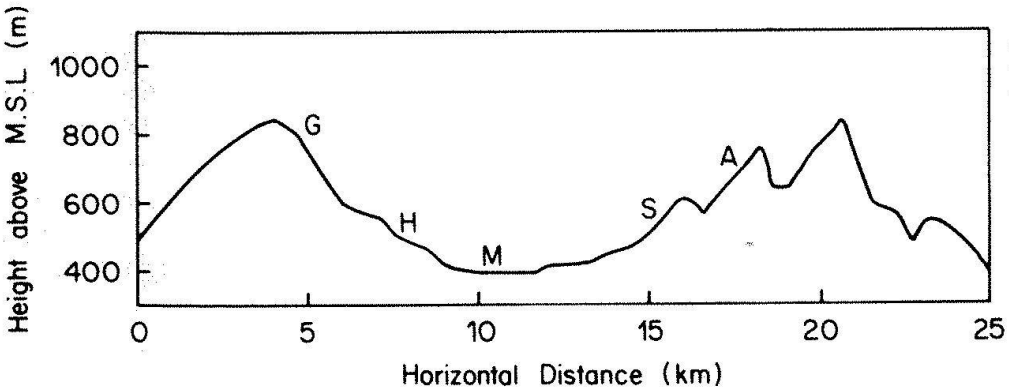

Abb. 2. Querschnitt durch das Reusstal auf der Höhe von Merenschwand mit eingezeichneten Positionen der Messstellen. (G: Grod, H: Herdmatten, M: Merenschwand, S: Schüren und A: Aeugst)

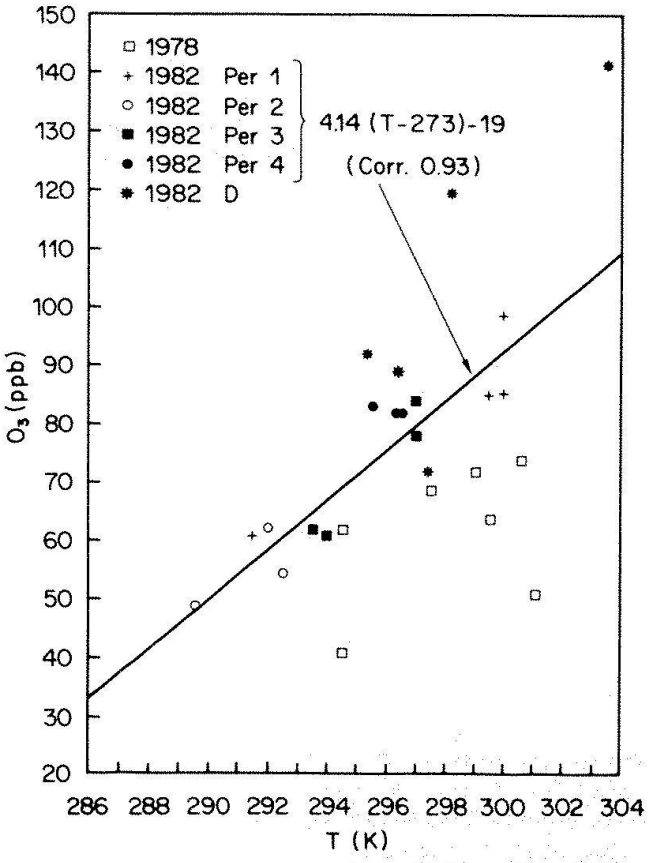

Abb. 3. Beobachtete maximale Ozonmischungsverhältnisse, abgetragen gegen die entsprechenden Maximaltemperaturen, in Merenschwand für 1978 und 1982. (Erläuterungen sh. Text.)

rem Messgebiet wesentlich durch anthropogene Beeinflussung geprägt ist. Im Unterschied zu den ungestörten Tagen von 1982 zeigen die 1978 gemessenen Daten keine wesentliche Temperaturabhängigkeit (Abb. 3). Falls Tage mit ähnlichen Maximaltemperaturen zum Vergleich herangezogen werden, ersieht man auch, dass 1982 wesentlich höhere Ozonkonzentrationen beobachtet wurden als 1978.

Diese Feststellungen lassen den Schluss zu, dass die Immissionssituation im Reusstal sich in den drei zwischen 1978 und 1982 vergangenen Jahren stark in Richtung ausgeprägter smogphotochemischer Beeinflussung entwickelt hat. Es stellt sich nun natürlich die Frage, ob das Auftreten der oben diskutierten Smogerscheinungen noch mit anderen Beobachtungen im Reusstal belegt werden kann. Unsere Beobachtungen mittels der Freiballonaufstiege geben dazu wichtige Anhaltspunkte: So wurden sehr oft Profile gemessen, die innerhalb der einige hundert Meter dicken Grenzschicht stark erhöhte Ozonkonzentrationen gegenüber den Verhältnissen in der freien Troposphäre zeigen. Als Beispiel dazu sei der Aufstieg vom 10. 9. 1982 angeführt (Abb. 4). Die Existenz solcher Schichten ist aber ein sehr deutlicher Hinweis für das Auftreten smogbedingter Prozesse. Damit ergibt sich die Folgerung, dass die im folgenden zu diskutierenden Ozontagesgänge wesentlich durch die homogene Chemie beeinflusst sind.

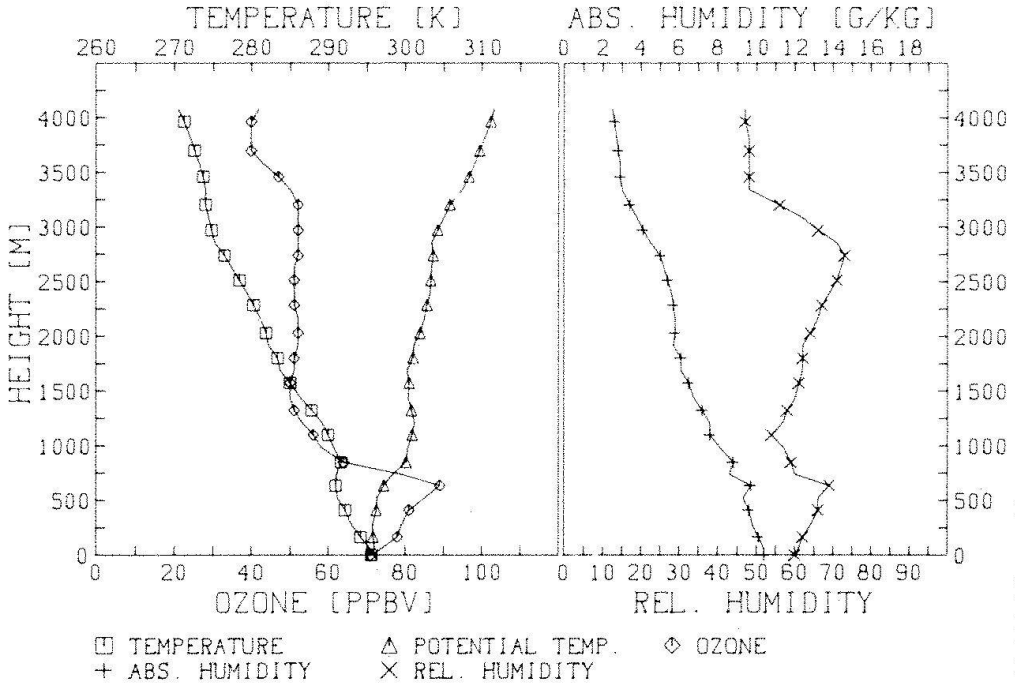

Abb. 4. Daten des Freiballonaufstiegs vom 10.9. 1982 um 17.00 Uhr. Startort: Merenschwand. (Höhen in Meter über lokalem Grund; relative Luftfeuchtigkeit in %.)

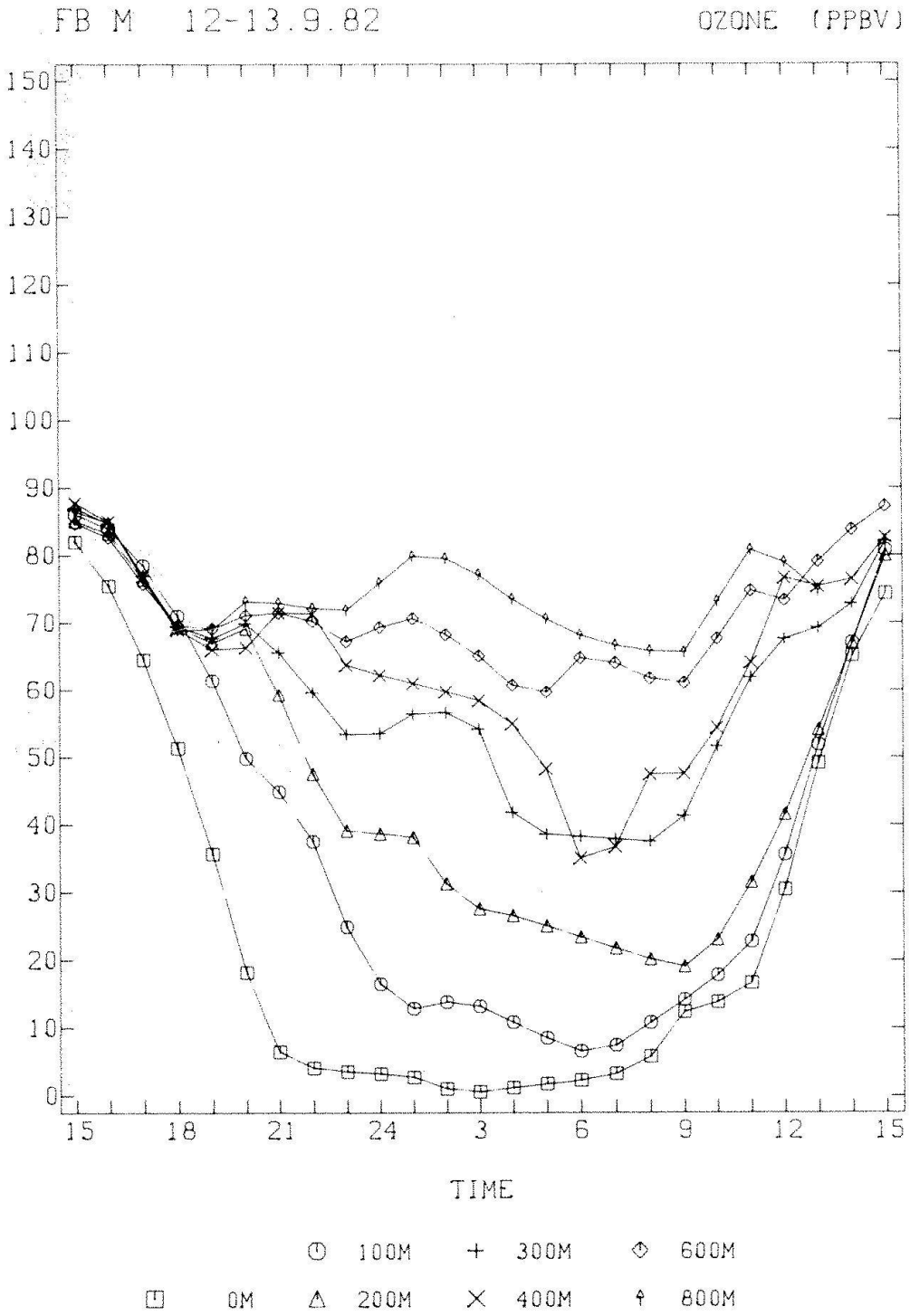

Abb. 5. Ozontagesgänge am 12./13.9.1982 in verschiedenen Höhen über Merenschwand. (Fesselballondaten; Höhen in Meter über lokalem Grund.)

Ozonzerstörung

Betrachtet man an einem für unsere Messungen typischen Tag die Ozontagesgänge auf verschiedenen Höhen über dem Fesselballonstandort Merenschwand, so ist kein wesentlich von den über horizontal homogenem Gelände beschriebenen Verhältnissen abweichendes Verhalten feststellbar (Abb. 5). Eine statistische Analyse der Daten ergibt, dass homogene chemische Reaktionen für einen mittleren Anteil von 19 % (Extremwerte 4 %, 54 %) an den in den untersten 400 m der PBL beobachteten Ozonverlustraten verantwortlich sind, wobei der Effekt überwiegend der Reaktion zwischen Stickstoffmonoxid und Ozon zuzuschreiben ist. Trägt man nun die Ozonverlustraten nach Abzug des Anteils der homogenen Chemie gegen die mittlere Ozonkonzentration im entsprechen-

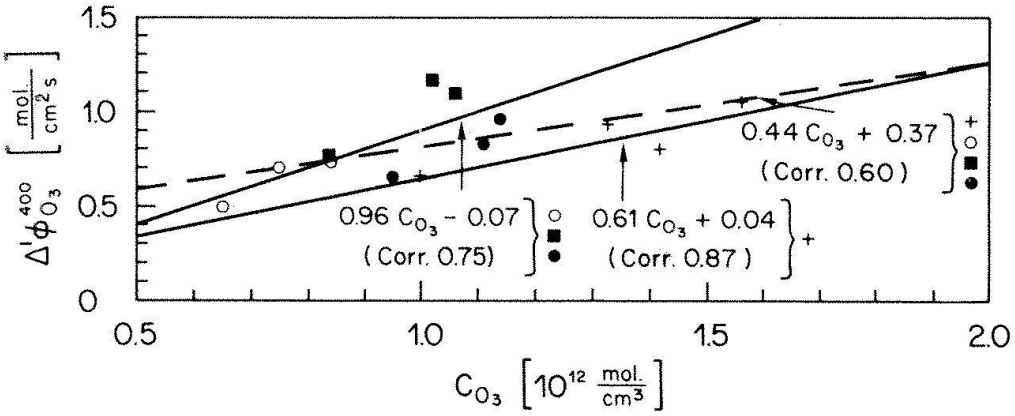

Abb. 6. Ozonzerstörungsrate (x 10^{-12}) im Zeitraum von 18 bis 06 Uhr in der Schicht 0–400 m nach Abzug des Anteils der homogenen Chemie, abgetragen gegen die mittlere nächtliche Ozonkonzentration in derselben Schicht.

den Volumen auf, so ergibt sich eine Aufspaltung der Tage in zwei Klassen: Für Periode 1 hängen die Verlustraten viel weniger stark von der vorherrschenden Ozonkonzentration ab als für die Perioden 2 bis 4 (Abb. 6). Es ist wesentlich festzuhalten, dass die Periode 1 Tage im Zeitraum vom 25. 5. bis 3. 6. 1982 enthält und die Perioden 2 bis 4 solche zwischen dem 21. 8. und 14. 9. 1982 umfassen. Dies bedeutet, dass die Tage der Periode 1 als Sommertage und diejenigen der Periode 2 bis 4 als Herbsttage angesprochen werden müssen. Verantwortlich für die bezüglich der Effekte der homogenen Chemie korrigierten Ozonverlustraten muss somit ein Prozess sein, der wesentlich nur von der Ozonkonzentration abhängt und dessen Effektivität von jahreszeitlich variierenden Charakteristiken (Vegetationszustand, Feuchteverhältnisse usw.) stark beeinflusst wird. Diese Aussage legt den Schluss nahe, dass die trockene Deposition von Ozon am Erdboden eine wesentliche Rolle gespielt haben muss. Allerdings hängt die Effektivität der trockenen Deposition von den in Bodennähe vorhandenen Ozonkonzentrationen ab, und diese waren insbesondere im Herbst sehr tief. Dabei müssten unrealistisch hohe Ozondepositionsraten angenommem werden, um die Ozonverluste erklären zu können. Zudem ist bei der beobachteten äusserst stabilen Schichtung der nächtlichen Grenzschicht der turbulente Transport sehr ineffektiv, so dass der Ozonabbau sich nicht in höhere Schichten fortpflanzen könnte. Es kann an dieser Stelle geschlossen werden, dass unter solchen Umständen über ebenem Gelände die trockene Deposition keinen wesentlichen Einfluss auf den Ozontagesgang mehr nehmen würde. Für die Verhältnisse über hügeligem Gelände muss allerdings diese Folgerung nicht unbedingt übernommen werden. So sind z. B. noch andere Prozesse ausser turbulentem Austausch denkbar, die zu Vertikaltransport Anlass geben. Die im folgenden zu diskutierende These ist, dass die beobachteten Ozontagesgänge unter dem Einfluss eines lokalen Windsystems, wie es in einer stark vereinfachten Schemazeichnung in Abb. 7 dargestellt ist, zustande gekommen sind. Dabei wird durch die Hangabwinde während der ganzen Nacht relativ ozonreiche Luft aus grösseren Höhen herangeführt. Für diese Luftmassen ist die Ozonzerstörung am Boden, im Gegensatz zu stagnierenden Luftmassen über ebenem Gelände, sehr effektiv. Zudem erfolgt während des Transports ein wesentlicher Ozonabbau infolge der homogenen chemischen Reaktion zwischen dem emittierten Stickstoffmonoxid und Ozon.

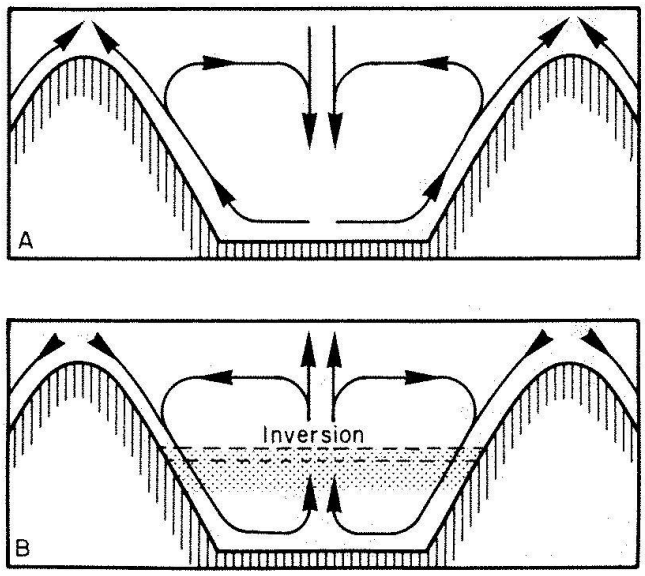

Abb. 7. Schematische Darstellung eines in hügeligem Gelände auftretenden Hangwindsystems (A: Tag, B: Nacht).

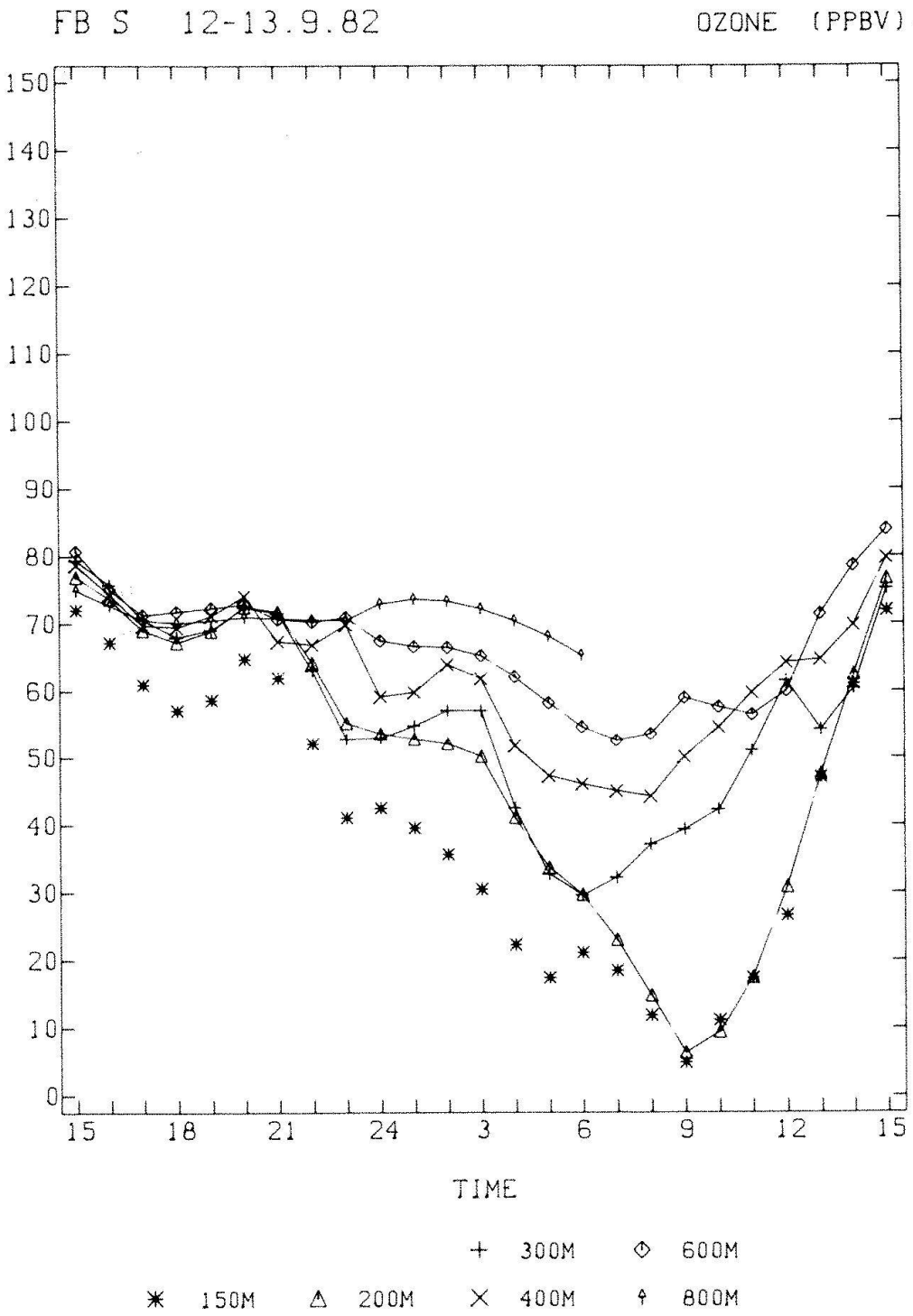

Abb. 8. Ozontagesgänge am 12./13.9.1982 in verschiedenen Höhen über Schüren. (Fesselballondaten; Höhen sind in Meter über Talgrund, wobei der lokale Grund bei einer Höhe von 150 m liegt.)

Damit erreicht sehr ozonarme Luft den Talboden, und die aus Kontinuitätsgründen auftretende, über dem Talgrund aufsteigende Strömung bewirkt so eine kontinuierliche zeitliche Abnahme des Ozongehalts in der PBL. Dabei tragen die homogenen chemischen Reaktionen ebenfalls noch weiter zum Ozonabbau bei, wobei der Beitrag aber beschränkt bleibt, da NO bereits relativ vollständig in NO_2 umgewandelt wurde. Für die Schichten im Bereich von 200 m über Talgrund ergeben Abschätzungen Werte für die Vertikalwindgeschwindigkeit in der Grössenordnung von 1 cm/s, was innerhalb der Modellvorstellungen vernünftig scheint.

Falls die eben entwickelten Vorstellungen richtig sind, sollten wir nun den Verlauf des Ozontagesganges an verschiedenen Messstandorten prognostizieren können. Am Talgrund, d.h. an der Station Merenschwand, müssen grosse Amplituden und sehr kleine nächtliche Ozonwerte auftreten. An den

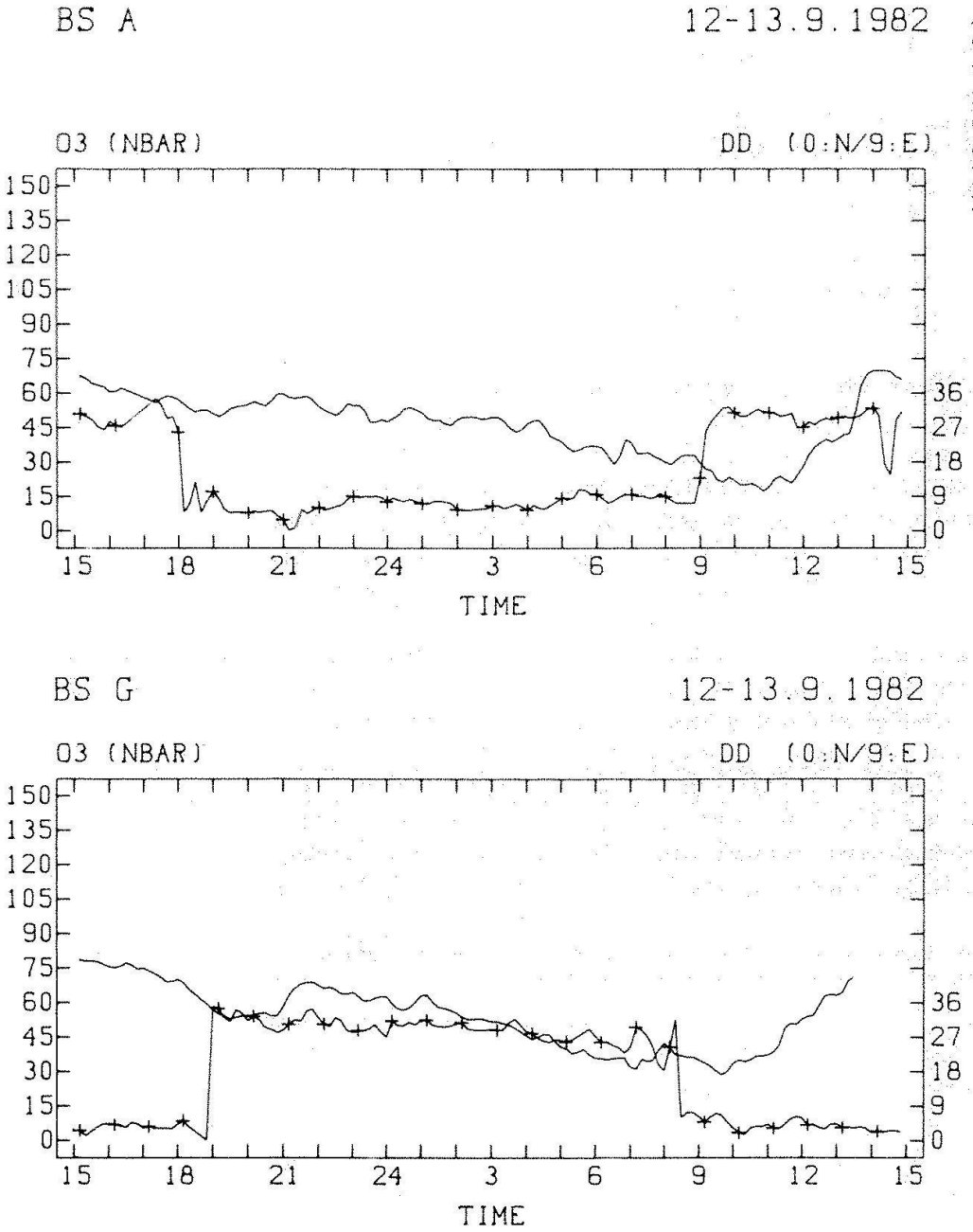

Abb. 9. Tagesgang des Ozons und der Windrichtung an den Bodenstationen Aeugst (A) und Grod (G) am 12./13.9. 1982. (Windrichtung: +; mit 0: Nord, 9: Ost, 18: Süd und 27: West.)

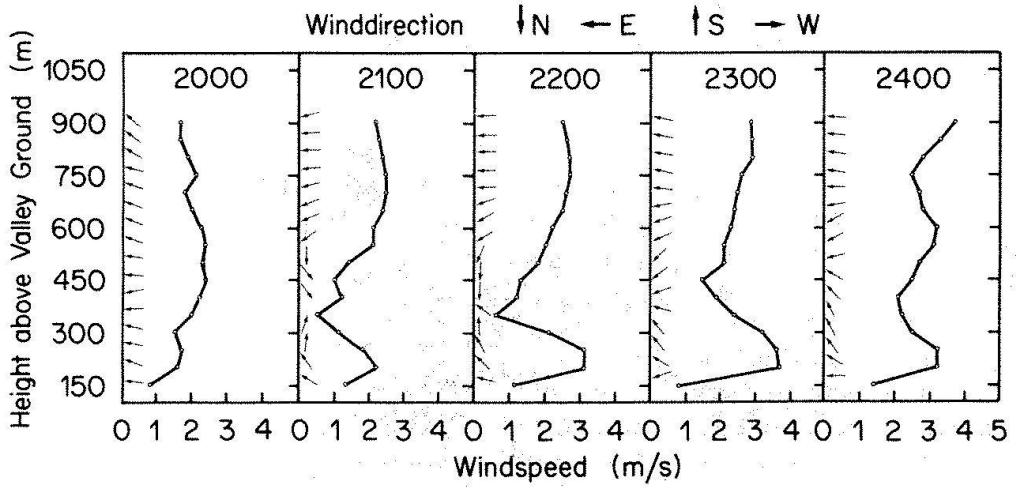

Abb. 10. Windprofile über der Station Schüren (S) zwischen 20 und 24 Uhr am 12.9.1982. (Fesselballondaten, Höhen sind in Meter über Talgrund, das Bodenniveau in Schüren liegt bei 150 m.)

Hangstationen, wie z. B. Schüren, sollten die nächtlichen Ozonwerte relativ hoch bleiben und erst am Morgen bei Umschlagen des Windsystems auf Hangaufwinde auf die tiefsten Werte absinken. Dies ist tatsächlich der Fall, wie Abb. 8 verdeutlicht.
Es fragt sich nun, ob das Auftreten eines Hangwindsystems, das bis jetzt nur aus dem Erscheinungsbild der Spurengase abgeleitet wurde, auch durch andere Beobachtungen verifiziert werden kann.
Die Existenz einer solchen lokalen Zirkulation kann indirekt aus den Windmessungen an den Hangstationen abgeleitet werden. Dabei zeigen die Bodenstationen in Aeugst (A) und Grod (G) sehr klare morgendliche und abendliche Wechsel zwischen hangaufwärts und hangabwärts gerichtetem Wind (Abb. 9). Geht man zu den Windmessungen am Fesselballon in Schüren über, so ergeben sich Windprofile, die mit ihrem Maximum in Bodennähe ebenfalls eindeutig auf ein lokales Windsystem hindeuten. Allerdings weicht der Windvektor sehr stark von der hangparallelen Richtung ab, was darauf hinweist, dass eine rein zweidimensionale Betrachtung in unseren Verhältnissen nicht ausreicht (Abb. 10).
Tatsächlich zeigt eine volle Diskussion der dreidimensionalen Effekte ein ungemein komplexes Bild des im Tal vorherrschenden Windsystems. Dabei ist eine starke Deformation des Hangwindsystems in Tallängsrichtung zu beobachten und, wie nicht anders zu erwarten war, treten Überlagerungserscheinungen mit anderen lokalen Windsystemen wie auch mit dem grösserräumigen Windfeld auf.
Es kann aber festgehalten werden, dass die anhand des zweidimensionalen Hangwindschemas gegebene Darstellung die Verhältnisse zwar stark vereinfacht, aber in den wesentlichen Zügen richtig wiedergibt.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Immissionssituation im Reusstal sich in den drei zwischen 1978 und 1982 vergangenen Jahren stark in Richtung ausgeprägter smogphotochemischer Beeinflussung entwikkelt hat. Aus der Existenz von Smogschichten kann geschlossen werden, dass eher regionale oder überregionale Vorgänge für diese erhöhte Belastung verantwortlich sind. Ein wesentlicher Teil des durch Smogprozesse erzeugten Ozons wird dabei nachts über hügeligem Gelände infolge der gegenüber flacher Topographie verstärkten trockenen Deposition aus der PBL entfernt. Dies führt zu einer gewissen Selbstreinigung der Atmosphäre, die nicht nur auf Ozon beschränkt sein muss, da auch andere Schadstoffe durch heterogene Prozesse am Erdboden zerstört werden können (z. B. Peroxiacetylnitrat, Schwefeldioxid usw.).
Allerdings hat dieser durch das lokale Windsystem hervorgerufene Selbstreinigungsmechanismus den Effekt, dass die Gebiete an den Hängen auch nachts eine relativ hohe Immissionsbelastung bezüglich Ozon aufweisen, was das Auftreten einer möglicherweise wesentlichen Erholungsphase für die Vegetation verhindert und damit biologische Implikationen haben könnte. Im Bereich des Talgrundes hingegen ist die Ozonbelastung nicht sehr ausgeprägt, doch tritt an die Stelle der Ozonimmissionen die Wirkung der durch lokale Transportprozesse herangeführten Stickoxide. Eine lufthygienische Bestandesaufnahme würde deshalb je nach Standort der Messstelle ein sehr unterschiedliches Bild ergeben, womit bei der Planung solcher Messkampagnen dem topographischen Aspekt besonders Rechnung zu tragen ist. Wie die zuletzt durchgeführten Betrachtungen zum Windsystem ergaben, kann man sich dabei nur bedingt auf die Ergebnisse von Windmessungen, die in der Nähe des Erdbodens durchgeführt wurden, abstützen.
Abschliessend kann gesagt werden, dass das Erscheinungsbild der chemischen Vorgänge in der PBL über hügeligem Gelände stark von den Verhältnissen über homogener Topographie abweicht. Es wird sich deshalb für die Schweiz mit ihrer stark gegliederten Topographie zunehmend als wichtig erweisen, weitere Anstrengungen zur Erforschung dieser Phänomene zu unternehmen, wobei allerdings das Instrumentarium, insbesondere im chemischen Bereich, dringend ergänzt werden sollte.

Verdankung

Der Autor dankt den Mitarbeitern der Abteilung Energie und Umwelt des Eidgenössi-

schen Institutes für Reaktorforschung, Würenlingen, für die Durchführung der Fesselballonsondierungen in Schüren sowie für die Aufarbeitung und grosszügige Überlassung des daraus resultierenden Beobachtungsmaterials. Herrn H.A. Gygax sei der Dank für seine Arbeit im Rahmen der Datenaufbereitung und für viele fruchtbare Diskussionen ausgesprochen.

Literatur

Butler, J.D. 1979: Air Pollution Chemistry, Academic Press London.

Galbally, I.E. 1968: Some Measurements of Ozone Variation and Destruction in the Atmospheric Surface Layer. Nature, 218, 456–457.

Galbally, I.E., Roy, C.R. 1980: Destruction of Ozone at the Earth's Surface. Quart. J.R. Met. Soc., 106, 599–620.

Hov, Ø. 1983: One-Dimensional Vertical Model for Ozone and other Gases in the Atmospheric Boundary Layer. Atm. Env., 17, 535–549.

Platt, U., Perner, D., Schröder, J., Kessler, C., Toennissen, A. 1981: The Diurnal Variation of NO_3. J. Geoph. Res., 86, 11965–11970.

Benedikt Broder
Kantonales Laboratorium
Lufthygiene
Frohbergstr. 3
9000 St. Gallen