

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 33 (1992)
Heft: 2

Artikel: Die Windfelder des MISTRAL-Projektes : Aspekte ihrer Anwendung für Fragestellungen der Lufthygiene
Autor: Moser, Hans-Rudolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088747>

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: 15.04.2026

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

Die Windfelder des MISTRAL-Projektes

Aspekte ihrer Anwendung für Fragestellungen der Lufthygiene

Hans-Rudolf Moser

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes MISTRAL wird ein Katalog der Windfelder in der Region Basel erstellt und daraus ein regionalspezifisches Ausbreitungsmodell abgeleitet. Beide können für eine Reihe von Anwendungen eingesetzt werden. Als Beispiele aus lufthygienischer Sicht werden hier beschrieben: die Herkunft hoher Immissionen an einzelnen Standorten, die Verteilung der Abgasfahne der Stadt Basel und eine Durchlüftungskarte als Beurteilungsinstrument im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen.

1 Wie sich die Schadstoffe in der Luft ausbreiten

Bei den klassischen Naturwissenschaften, wie beispielsweise der Chemie, wird ein Prozess unter Laborverhältnissen untersucht. Seine Bedingungen sind genau definiert und alle Einflussfaktoren, welche das Versuchsergebnis beeinflussen könnten, werden soweit als möglich ausgeschaltet. Der Versuch findet im Reagenzglas statt und wird vom Forscher als Aussenstehendem beobachtet. Bei lufthygienischen oder meteorologischen Fragestellungen herrschen aber keine Laborbedingungen. Die Atmosphäre als Ganzes ist das Reagenzglas und die Einflussfaktoren lassen sich nicht einzeln eliminieren. Wir selber befinden uns auch im Reagenzglas und erleben den Versuch hautnah mit.

Die Atmosphäre ist also ein gewaltiger chemischer Reaktor, an dessen Boden wir leben. Aus den Kaminen der Häuser und Fabriken, aus Autoauspuffen und aus diffusen Quellen werden dauernd Luftfremdstoffe ausgestossen. In der Region Basel waren dies für das Bezugsjahr 1986 rund 5'600 Tonnen Schwefeldioxid, 10'600 Tonnen Stickoxide und 25'300 Tonnen flüchtige organische Stoffe (*Moser* 1988, 86; *Moser* 1991, 79; *LRP* 1990, A 27). Dabei sind die Quellen nicht gleichmässig über das gesamte Kantonsgebiet verteilt, sondern die grössten Mengen werden in der Agglomeration und entlang der National- und Hauptstrassen freigesetzt. Dieser Vorgang wird als Emission bezeichnet. In der Atmosphäre wirken die Luftfremdstoffe auf den Menschen, die Tiere, die Vegetation und den Boden ein. Dies wird als Immission bezeichnet.

Sobald die Luftfremdstoffe sich in der Atmosphäre befinden, werden sie durch den Wind verfrachtet und verdünnt. Sie können auch einer chemischen Umwandlung unterliegen. Aus den ursprünglichen Stoffen, den sogenannten Primärstoffen, entstehen neue chemische Verbindungen, die Sekundärstoffe. Am bekanntesten ist die Bildung von Ozon unter starker Sonneneinstrahlung aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Stoffen. Zudem werden Luftfremdstoffe durch Deposition an der Erdoberfläche und der Vegetation wieder aus der Atmosphäre entfernt. All diese Prozesse werden unter dem Begriff der Transmission zusammengefasst. Diese Vorgänge sind ausführlich bei *Moser* (1985, 213-222) dargestellt.

Die Abgase des Strassenverkehrs, von Einzelquellen, der Abgasfahne der ganzen Stadt Basel beeinflussen ihr Umland. Je nach Windrichtung und -stärke sind sie in dem einen oder andern Gebiet mehr oder weniger stark als Immission spürbar. Die Frage, *wohin* die Abgasfahne der Stadt Basel verfrachtet wird, kann also nur beantwortet werden, wenn das zugrunde liegende Windfeld als Transportinstrument bekannt ist. Auch die Frage, *woher* die Luftfremdstoffe kommen, die in irgendeinem Gebiet als Immission gemessen werden, setzt die Kenntnis des zugrunde liegenden Windfeldes voraus.

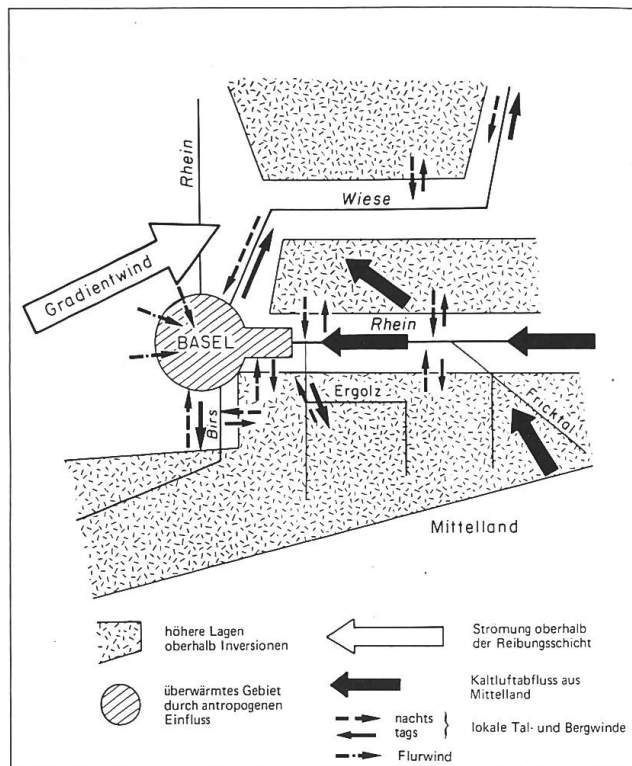
Luftfremdstoffe können wegen ihrer langen Lebensdauer sehr weit transportiert werden. Sie kennen weder Kantons- noch Landesgrenzen. Zur Abschätzung des Erfolgs von Massnahmen ist es deshalb wichtig, den Anteil des Imports und Exports von Luftfremdstoffen zu kennen. Dies trifft natürlich auch auf die Region Basel wegen ihrer Grenzlage zu Deutschland und Frankreich zu. Import und Export von Luftfremdstoffen setzen wieder den Wind als Transportmechanismus voraus und sind damit immer an ein Strömungsfeld gekoppelt. Dieses muss bekannt sein, um die je nach Wetterlagen unterschiedlichen Import- und Exportanteile quantifizieren zu können.

Die Windverhältnisse in der Region Basel werden beeinflusst durch die Grosswetterlage, d.h. den Gradientwind, regionale Ausgleichsströmungen und lokale Windsysteme durch das Relief und, thermisch bedingt, auch durch die Stadt selbst. Abb. 1 zeigt die Struktur der Region und die theoretisch zu erwartenden Windsysteme. In dieser durch markante Reliefunterschiede geprägten Landschaft der Region Basel werden auch entsprechend komplexe Windfelder auftreten, sowohl bezogen auf die räumliche Dimension (horizontal, vertikal unterschiedliche Windsysteme), als auch in der zeitlichen Dimension (Tages- und Jahresgang).

Aus der Region Basel existieren eine Reihe von Arbeiten, welche sich mit Aspekten des regionalen und lokalen Windsystems befassen. Erwähnt seien *Bider* (1966), *Dütsch* (1985), *Schüepp* (1971, 1982) und *Kamber* (1987). Indessen fehlt eine zeitlich wie räumliche Gesamtschau der Windsituation in der Region.

Abb. 1 Schema der Windsysteme in der Region Basel.

Es gibt Windsysteme auf verschiedenen räumlichen Hierarchiestufen. Der Gradientwind wird durch die Druckverteilung über Europa bestimmt und entspricht der kontinentweiten Windströmung. Regionale Winde sind eine Folge von weiträumigen, orographisch bedingten Ausgleichsströmungen. Lokale Winde sind kleinräumig und auf Relief- und thermische Effekte zurückzuführen.



2 Was liefert das Projekt MISTRAL?

MISTRAL (Modell für Immissions-Schutz bei TRansport und Ausbreitung von Luftfremdstoffen) hat zum Ziel, die Windverhältnisse in der Region Basel räumlich und zeitlich mit grosser Auflösung zu untersuchen und diese Daten in einem für die Region geeigneten Ausbreitungsmodell zur Verfügung zu stellen. Dazu sind die folgenden Schritte notwendig:

- Während eines Jahres werden die Windverhältnisse in der Region Basel mit rund 50 Windmessern erfasst. Daraus ergibt sich eine Datenbank der Windverhältnisse eines Jahres.
- Mit einem geeigneten Algorithmus werden die punktuellen Daten zu flächenhaften Windströmungen umgerechnet. Es ergeben sich Karten der regionalen Strömungsverhältnisse.
- Die Windfelder werden nach tages- und jahreszeitlichen Häufigkeiten analysiert. Es ergibt sich ein Katalog der tages- und jahreszeitlich typischen und häufigen Strömungsfelder der Region Basel.
- Durch Verknüpfen der Windfelder mit einem Programm für Transport und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen entsteht ein regionalspezifisches Ausbreitungsmodell. Dieses dient als Instrument zur Simulation von lufthygienischen Episoden sowie von emissionsseitigen Szenarien.

3 Beispiele lufthygienischer Fragestellungen

Die Resultate des Projektes MISTRAL (Katalog der Windfelder, Ausbreitungsmodell) bieten sich für vielfältige Fragestellungen auch ausserhalb des Bereichs der Lufthygiene an. Auf diese kann hier nicht weiter eingegangen werden. Im folgenden werden ausgewählte Beispiele aus der aktuellen Arbeit des Lufthygieneamtes angeführt.

3.1 Beispiel Weil: Woher kommen die hohen Ozonwerte?

Die Station "Weil" befindet sich in Deutschland, am südlichen Stadtrand von Weil. Sie liegt ca. 2 - 3 Kilometer nordöstlich der Stadt Basel. Betrieben wird sie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz (Karlsruhe) durch die UMEG. Die Station weist im Sommer sehr hohe Ozonkonzentrationen auf. Spitzenwerte übersteigen dabei oft $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es würde naheliegen, die Nähe der Station zur Stadt Basel für diese hohe Ozonbelastung verantwortlich zu machen.

Die Windrose der Ozonkonzentrationen in Abb. 2 (aus *Lufthygieneamt 1991*) zeigt, dass der Sachverhalt nicht so einfach ist. Die Windrose zeigt zunächst, dass die Winde vor allem aus den Sektoren Nordwest oder Ost wehen. Aus Richtung Südwest von der

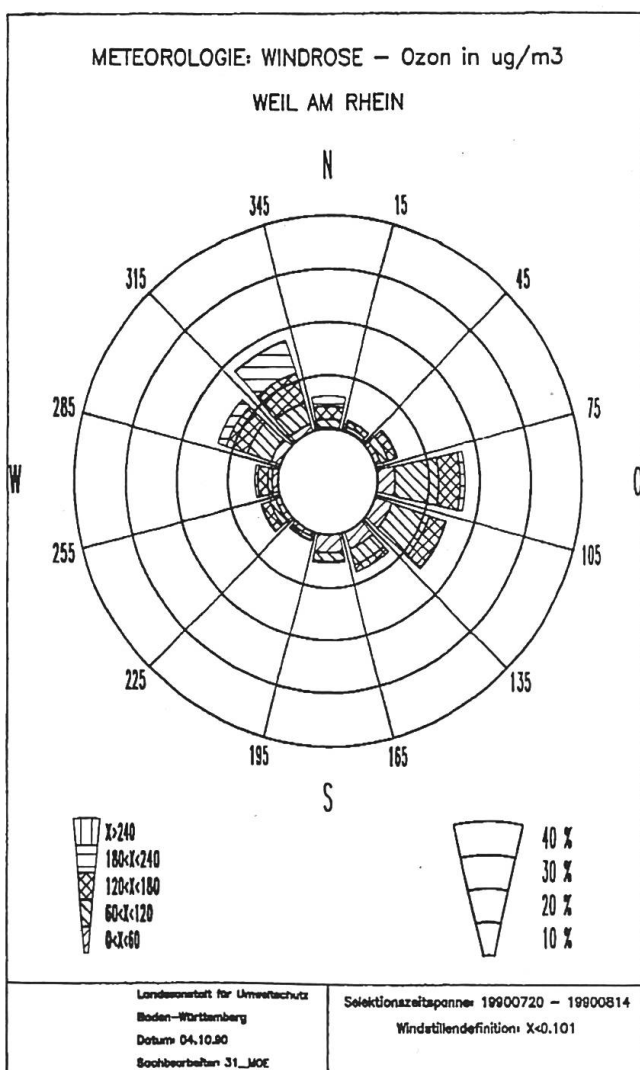


Abb. 2
Ozon-Windrose der Station Weil vom 20.7.- 14.8.1990.
Die Graphik zeigt, dass Winde mit Häufigkeit von mehr als 10 Prozent nur aus Richtung Westnordwest/Nordnordwest oder Ost/Ostsüdost kommen. Winde aus Richtung der Stadt Basel (Südwest) sind mit weniger als 5 Prozent eher selten. Hohe Ozonkonzentrationen (mehr als $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kommen beinahe ausschliesslich bei Winden aus Richtung Nordwest vor, niedrigere Konzentrationen (60 bis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sind hingegen häufiger bei Ostwinden.

Stadt Basel her, kommt der Wind hingegen ausgesprochen selten. Hohe Ozonkonzentrationen treten bei beiden Hauptwindrichtungen auf, die Höchstwerte sogar bevorzugt bei Windrichtung Nordwest. Der Nordwestwind entspricht dabei einer Strömung parallel zur Achse des Oberrheingrabens von Nord nach Süd, die östlichen Winde können als (nächtliche) Talabwinde aus dem Wiesental interpretiert werden. Konsequenterweise würde dies nahelegen, dass die nordwestlichen Winde vor allem tagsüber auftreten, was auch die erhöhten Ozonkonzentrationen erklären würde.

Damit stellt sich aber die Frage, woher die Vorläufersubstanzen (Stickoxide und flüchtige organische Stoffe) kommen, die an der Station "Weil" zu solch hohen Ozonkonzentrationen führen, wobei generell zu beobachten ist, dass Stationen nördlich von Basel oft sehr hohe Ozonkonzentrationen aufweisen. Bildet sich dieses Ozon nun aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Stoffen, die nördlich von Basel im Oberrheingraben (Agglomerationen Freiburg bis Frankfurt) emittiert worden sind, oder stammen diese Vorläufersubstanzen doch aus der Agglomeration Basel selber? Denkbar wäre dies, da besonders im Sommer in der Region Basel oft eine Art Pumpenmechanismus beobachtet wird: Nachts strömt die Luft aus dem Hochrheintal in den Oberrheingraben, tagsüber kehrt sich diese Strömung um und die verschmutzte Luft fließt wieder aus dem Oberrheingraben in Richtung Hochrheintal und Jura. Die Luft wird also wie in einer gigantischen Pumpe zwischen Oberrheingraben und Hochrheintal/Jura über der Stadt Basel hin und her geschoben.

Die Frage, ob es sich um importierte Luft oder um die eigene Dreckluft handelt, kann nicht aus der Windrose einer einzigen Station beantwortet werden. Dazu muss das Windfeld der Region als Ganzes betrachtet und mit einem Ausbreitungsmodell verknüpft werden, wie es eben MISTRAL liefern wird. Für diese Art von Fragestellungen muss die detaillierte Kenntnis des horizontalen Windfeldes vorliegen.

3.2 Beispiel Jurahöhenstation: Wohin geht die Abgasfahne der Agglomeration Basel?

Abbildungen 3a und b zeigen den Temperatur- und Stickstoffdioxidvergleich zwischen einer Jurahöhenstation (Humbel ob Waldenburg, ca. 915 mNN) und der Agglomeration Basel (Allschwil, resp. Basel St.Johann-Platz). Es handelt sich um Tagesmittelwerte vom 20. November bis 19. Dezember 1991. Wenn die Temperaturen an der Jurahöhenstation höher sind als in der Stadt, so besteht eine starke Inversion bei rund 700 mNN, die den vertikalen Austausch stark behindert. Die emittierten Schadgase bleiben wie in einem grossen See liegen und die Jurahöhenstation befindet sich oberhalb dieses Sees in einer unbelasteten Luftmasse.

Dieser Effekt zeigt sich deutlich in Abbildung 3b, welche vergleichend die Stickstoffdioxid-Konzentrationen zeigt. Besteht eine starke, tiefliegende Inversion, wie beispielsweise vom 26. bis 30. November oder vom 13. bis 16. Dezember, sinken die Stickstoffdioxidkonzentrationen an der Jurahöhenstation gegen Null ab, während sie in der Stadt steigende Tendenz aufweisen. Befindet sich die Station "Humbel" unterhalb der Inversion, erkennbar an den tieferen Temperaturen, so zeigt auch die Station im Jura relativ hohe Stickstoffdioxidkonzentrationen.

Auch am 8. Dezember sind die Stickstoffdioxidwerte an der Jurahöhenstation relativ gering. Grund dafür ist nicht nur die relativ schwache Inversion (Temperaturen an beiden Station sind praktisch gleich), sondern es kommt dazu, dass in der Höhe ein deutlich anderes Windregime herrscht als in den Tälern. Abb. 4 zeigt, dass auf 400 mNN

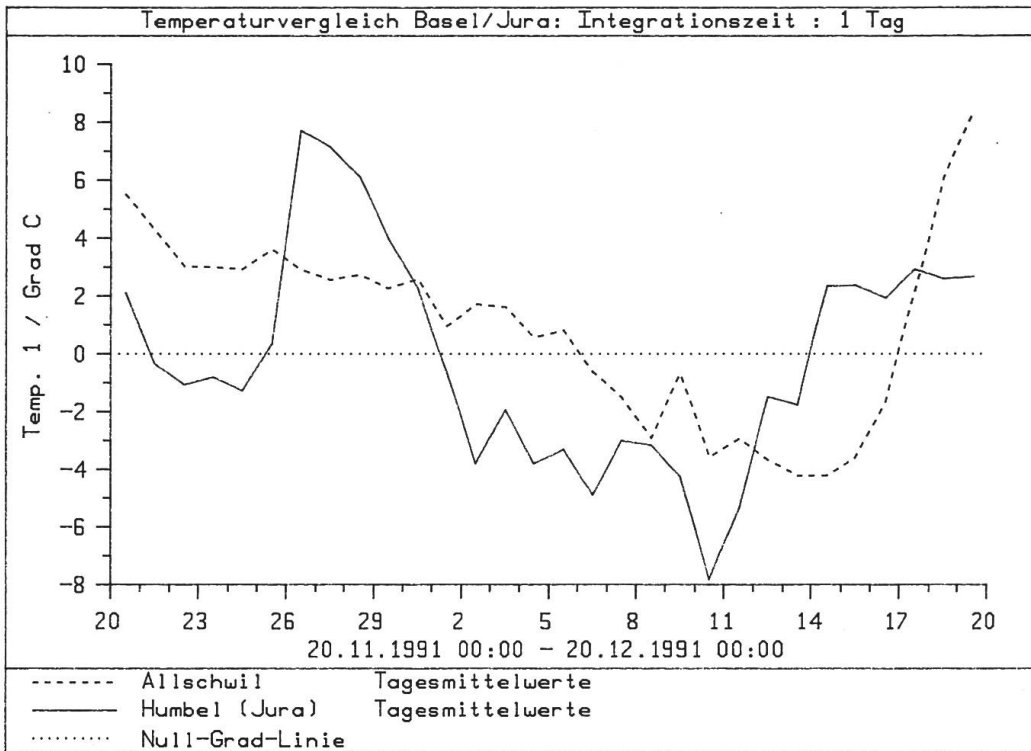


Abb. 3a Verlauf der Temperaturen an der Jurahöhenstation Humbel (915 mNN) und an der Station Allschwil (280 mNN) vom 20. November bis 20. Dezember 1991.

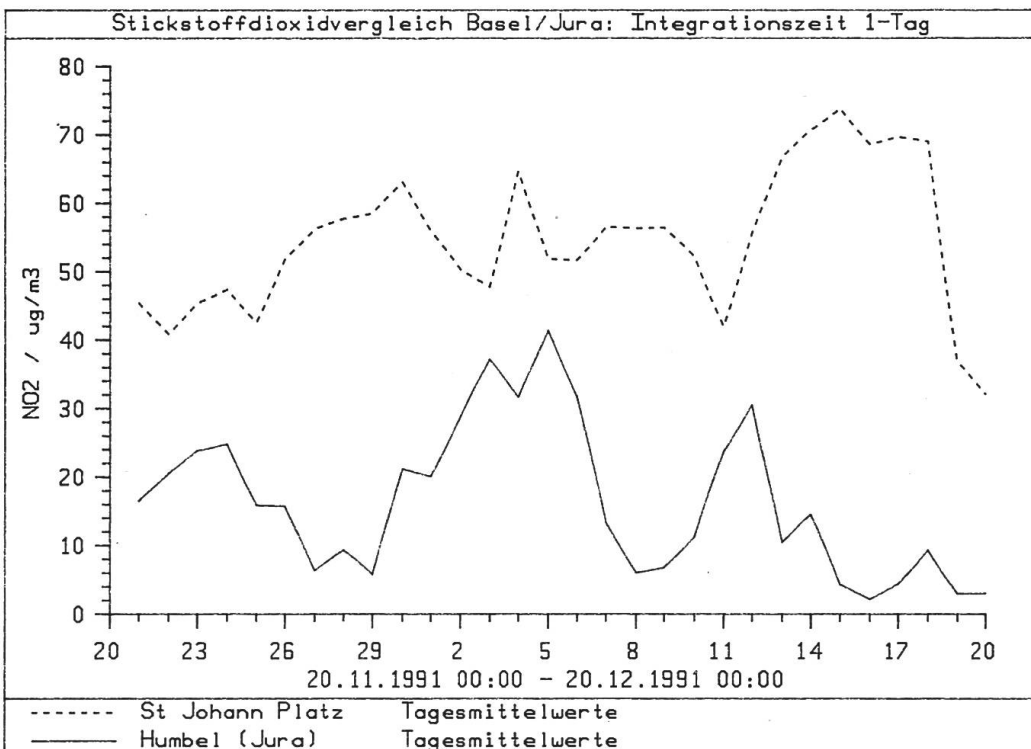


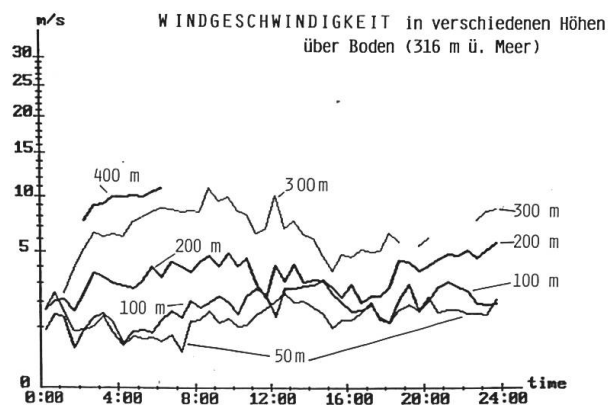
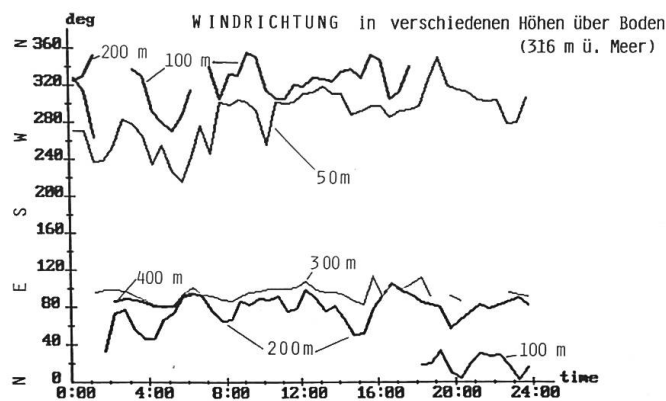
Abb. 3b Verlauf der Stickstoffdioxid-Konzentrationen an der Jurahöhenstation Humbel (915 mNN) und an der Station Basel, St.Johann-Platz (260 mNN) vom 20. November bis 20. Dezember 1991.

die Winde aus Richtung West bis Nordwest wehen, auf mehr als 500 mNN wehen die Winde konstant aus Richtung Ost bis Nordost: Es herrschen in den verschiedenen Höhenlagen zwei ganz verschiedene Windregime. Die hohen Windgeschwindigkeiten sind verantwortlich, dass auch in den Tallagen die Stickstoffdioxidkonzentrationen zurückgehen.

Um die Frage nach der Verteilung der Abgasfahne der Agglomeration Basel und insgesamt der Dynamik der Luftsituation in Basel-Stadt und Basel-Landschaft zu beantworten, genügt die Kenntnis des horizontalen Windfeldes alleine nicht mehr. Es muss auch die vertikale Komponente, d.h. die unterschiedlichen Windsysteme in Bodennähe und in der Höhe, bekannt sein und damit auch die Höhenlage der Mischungsschicht. Diese Entkoppelung von Boden- und Höhenwindsystem ist eine für die Region Basel typische Erscheinung.

Abb. 4 Windrichtungen und -geschwindigkeiten in verschiedenen Höhen über Boden am 8. Dezember 1991, Meteorologische Station Basel-Binningen (316 mNN).

Die Messungen erfolgten mit einem SODAR-Messgerät (Sound Detection And Ranging) zur Bestimmung von Windrichtung und -geschwindigkeit in Höhen über Boden von 50 bis 300 m, was Meereshöhen von ca. 370 bis 620 m entspricht. Auf der horizontalen Achse ist von links nach rechts die Zeit in Stunden aufgetragen, die vertikale Achse zeigt die Windrichtung von Nord über Ost, Süd, West zurück nach Nord oder die Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde. Man erkennt eine deutliche Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe und eine Trennung der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Höhe. Bis 100 m über Boden kommt der Wind den ganzen Tag über aus West bis Nord, oberhalb 100 m über Boden weht der Wind aus Osten.



Sensitron SODAR: Basel Date: 911288 Vert comp: OFF Mmod: 3

3.3 Planungsgrundlagen

Bei umfangreichen Bauprojekten muss von der Bauherrschaft ein sogenannter Umwelt-Verträglichkeits-Bericht (UVB) vorgelegt werden. Dieser soll Auskunft geben über alle umweltrelevanten Aspekte des Projektes. Neben den Anliegen des Natur- und Gewässerschutzes, der Lufthygiene und der Lärmbelastung zählt dazu auch die Änderung des Lokal- und Mikroklimas. Speziell interessiert die Veränderung der Durchlüftungssituation im Nahbereich des Bauwerkes sowie die Folgen für die Agglomeration als Ganzes. Hinweise dazu gibt *Plate (1974)*.

Die Grundlagen für eine regionale Durchlüftungskarte werden nun durch das Projekt MISTRAL geschaffen. Eine Durchlüftungskarte gibt Auskunft über lokale Windsysteme und weist durchlüftungsschwache Gebiete aus. Weil lokale Windsysteme die Lufterneuerung in der Region verbessern, dürfen Windschneisen nicht überbaut werden. Stark emissionsträchtige Anlagen an durchlüftungsschwachen Standorten beeinträchtigen die Luftqualität ihrer Umgebung stärker, als dies an gut durchlüfteten Standorten der Fall wäre. Eine Durchlüftungskarte ist also ein Arbeits- und Beurteilungsinstrument für planerische Entscheide. Sie erlaubt es, Beurteilungen aus lokalklimatischer Sicht auf eine vergleichende und quantifizierende Grundlage zu stellen.

Literatur

- Bider M. 1966. *Bericht über die Ergebnisse meteorologischer Untersuchungen 1964-1965 bei Basel, im Hinblick auf die Luftverunreinigung*. Abt. für Meteorologie, Basel, 14 S.
- Dütsch H.U. 1985. Large-Scale domination of a regional circulation during winter-time anticyclonic conditions. *Met. Rundschau* 38, 65-75.
- Kamber K. 1987. Lokalklimatische Untersuchungen im Hochrheintal vor Basel im Hinblick auf die Luftverschmutzung und damit zusammenhängende Raumordnungsprobleme. *Regio Basiliensis*, 28/1+2, 123-131.
- Lufthygieneamt beider Basel (LHA). *Ozon in der Region Basel*, Statusbericht 1990, Liestal 1991, 20 S.
- Luftreinhalteplan beider Basel (LRP) - Massnahmenplan nach Luftreinhalte-Verordnung (LRV) 1989-1994, vom Regierungsrat der Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt beschlossen am 20. Februar 1990, Liestal.
- Moser H.R. 1985. Beziehungen zwischen Klima und Lufthygiene. *Regio Basiliensis*, 26/3, 213-222.
- Moser H.R. 1988. Grundsätzliche Aspekte von Klima und Lufthygiene in der Region Basel. *Geogr. Helvetica*, 43/2, 83-91.
- Moser H.R. 1991. Auf dem Weg zu einer besseren Luft – Der Luftreinhalteplan beider Basel. *Regio Basiliensis*, 32/2, 73-84.
- Plate E.J. 1974. Der Wind als Faktor der Bauwerks- und Städteplanung. *Der Bauingenieur*, 49, 457-466.
- Schüepp W. 1971. Regionalplanung als meteorologisches Problem. *Regio Basiliensis*, 12/1, 189-201.
- Schüepp W. 1982. Untersuchungen über die Windverhältnisse in der Nordwestschweiz. *Geogr. Helvetica*, 37/4, 208-214.