

# Projekt «Klima und Lufthygiene der Region Biel» – ausbreitungsklimatologische Grundlagen

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Seit Ende 1980 läuft das interdisziplinäre Forschungsprogramm «Klima und Lufthygiene der Region Biel». Auf Anregung von Regional- und Stadtplanung, Lufthygienefachstellen und Kinderärzten wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 14 (Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz) der Versuch unternommen, die Wirkungskette «Emission – Ausbreitung/Umwandlung – Folgewirkungen» am Beispiel der Stadt am Jurasüdfuß zu studieren. Die Resultate sollen bis Ende 1988 in Buchform vorliegen. Sie liefern Entscheidungsgrundlagen für Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in den Bereichen Verkehrs- und Energieplanung. In dieser Zeitschrift wurde bereits früher über Konzept und beteiligte Forschergruppen informiert (WANNER et al., 1982). Deshalb soll im vorliegenden Artikel das Schwergewicht auf den Resultaten der Untersuchungen zum Ausbreitungsklima liegen (unter besonderer Berücksichtigung des lokalen Windfeldes).

## 2. Wind- und Temperaturmessungen

Die Jurasüdfußlage bedingt, daß das Bieler Lokalklima sowohl durch die Verhältnisse des Mittellandes als auch durch jene des Juras bestimmt wird. Das klimatologische Meßnetz des Geographischen Instituts der Universität Bern (GIUB) war deshalb auf zwei Profillinien angeordnet. Die eine verlief parallel zum Jurahang auf der Achse Bielersee – Bözingenmoos. Die andere war als Höhenprofil ausgelegt und verband die Senken des Seelandes mit der Hanglage von Leubringen. Erfast wurden mit WOELFLE-Windschreibern Windrichtung und -geschwindigkeit in einer Höhe von leider nur 3 m über Grund. In englischen Wetterhütten erfolgte die Aufzeichnung von Lufttemperatur und -feuchte mit HAENNI-Thermohygrographen. Als Ergänzung zum festen Stationsnetz, das nur während 17 Monaten (November 1980 bis März 1982) und nach dem ersten Winter in reduzierter Form betreut wurde, fanden mehrere Meßkampagnen statt (RICKLI und WANNER, 1983). Sie dienten der dreidimensionalen Erfassung des Wind- und Temperaturfeldes über der Stadt. Ihre Ergebnisse fanden unter anderem Ver-

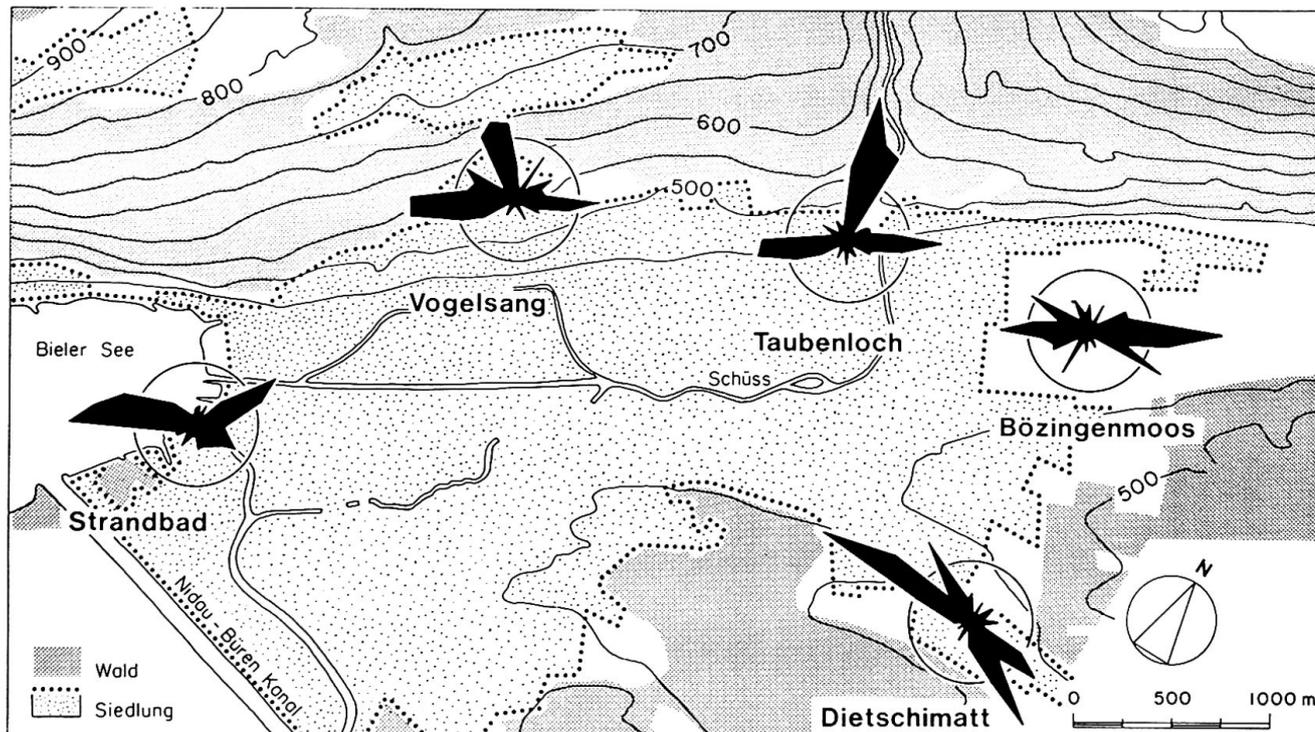
wendung in der Kalibrierung der physikalischen Modelle im Maßstab 1 : 25 000 und 1 : 2000 der EPF-Lausanne (HERTIG et al., 1984). Abgesehen von technischen Ausfällen liegen die Daten in Form von Stundenwerten vor. Beim Wind handelt es sich um Mittelwerte, bei Temperatur und Feuchte um Momentanwerte. Nachfolgend wird die Verteilung der Windrichtungen besprochen.

## 3. Auswertung der Winddaten

Wegen der geringen Mastlänge wurde an den einzelnen Meßstellen stets das Windfeld der untersten Bodenschicht erfaßt (WANNER, 1986), das dominant durch Relief und Temperaturschichtung beeinflusst wird. Wegen der überwiegenden Wirkung der Schubspannung und den in der Prandtl-Schicht quasikonstanten turbulenten Flüssen von Impuls, Wärme und Feuchte wird davon ausgegangen, daß die Verteilung der Windrichtungen nicht signifikant verschieden ist von derjenigen in 10 m über Grund. Hingegen sind die mittleren Windgeschwindigkeiten kleiner als jene in 10 m Höhe. Figur 1 zeigt Topographie, Siedlungsfläche, Waldfläche und Windmeßstellen zusammen mit der mittleren Windrichtungsverteilung während des Winterhalbjahres 1980/81. Obschon die topographischen Verhältnisse auf den ersten Blick einfach erscheinen, beeinflussen sie in dominanter Weise das Ausbreitungsklima von Biel. Um möglichst viele Einzelheiten zu erkennen, wurden die Richtungsverteilungen in Form von Stundenwindrosen analysiert, die hier jedoch aus Platzgründen nicht aufgeführt sind. Sie zeigen, daß das Strömungsfeld in der Region Biel zeitlich in ein Tages- und Nachtwindfeld unterteilt werden muß und die Meßstellen in Hangstationen (*Vogelsang, Taubenloch*) und Talstationen (*Strandbad, Bözingenmoos, Dietschimatt*) zu gliedern sind.

---

Ralph Rickli, dipl. Geogr.; Heinz Wanner, PD Dr.;  
Gruppe für angewandte Klimatologie, Geograph. Institut der  
Universität Bern, Hallerstraße 12, 3012 Bern



Figur 1 Topographische Lage der Stadt Biel und Standorte der 5 Windmeßstellen. Verteilung der Windrichtungen im Winterhalbjahr 1980/81. Die Kreise bezeichnen die 5% -Richtungsanteile.

Zuerst soll die Windverteilung bei *Vogelsang* und *Taubenloch* besprochen werden. Beide Stationen zeigen während der Nacht einen ausgesprochen hohen Anteil von Winden aus Richtung NW bis NNW. Von Ausnahmen abgesehen handelt es sich dabei um nächtliche Hangabwinde und um den Kaltluftabfluß aus dem St. Immortal. Letzterer dauert am Morgen häufig ein bis zwei Stunden länger an als die Hangabwinde, was sich durch das größere Einzugsgebiet der Kaltluft erklären läßt. Dieses ist zudem verantwortlich dafür, daß sich der «Taubenlöchler» auch dann bis zum Boden durchzusetzen vermag, wenn bei *Vogelsang* die Hangabwinde bereits unterbunden und durch die Strömung im Mittelland abgelöst wurden. Der größere Anteil an nächtlichen SW- und NE-Winden bei *Vogelsang* zeugt von diesem Sachverhalt. Winde aus dem Sektor SE treten bevorzugt zwischen 9 und 12 Uhr auf. Außerhalb dieser Zeit sind sie äußerst selten, was ein starkes Indiz dafür ist, daß es sich bei *Vogelsang* um Hangaufwinde, bei *Taubenloch* um Talwinde handelt, die in Bodennähe sehr schwach sind. Bei *Taubenloch* schwanken die Windgeschwindigkeiten zwischen 0,8 und 1,5 m/s. Am Hang liegen sie generell unter 1 m/s. Da im Winterhalbjahr häufig Hochnebel das Mittelland bedeckt, liegt der Anteil von Hangaufwinden unter dem Talwindanteil am Taubenlochausgang. Im Gegensatz zum Mittelland ist die Nebelhäufigkeit im St. Immortal kleiner (WANNER und

KUNZ, 1983). Demzufolge steigt die Anzahl Tage mit Thermik und Ausbildung eines Talwindsystems an. Verschiedentlich wurde beobachtet, daß an der Mündung von Gebirgstälern in das Vorland der nächtliche Kaltluftabfluß stärker ausgebildet ist als der Sog des Talwindes während des Tages (PAMPERIN und STILKE, 1985). Gleiches scheint sich auch am Taubenlochausgang abzuspielen. Während bei Schönwetterlagen im St. Immortal tagsüber ein deutlicher Talwind weht, herrscht auf Dachniveau über Bözingen fast ausschließlich die Strömung des Mittellandes vor (Südwest- und Nordostwinde). Zwischen 17 und 18 Uhr setzt anschließend mit großer Regelmäßigkeit der Kaltluftabfluß durch das Taubenloch ein. Das Relief bedingt zudem eine starke Kanalisierung dieses Nachtwindes. Im Gegensatz zu den Meßstellen am Hang weisen die Talstationen einen deutlich höheren Anteil an Calmen auf. Bei den vorliegenden Auswertungen bedeutet dies absolute Windstille. Am ausgeprägtesten ist ihr Anteil im Bözingenmoos, wo zwischen Mitternacht und den frühen Morgenstunden durchschnittlich an jedem 5. Tag Windstille herrscht. Dies hängt mit der Bildung von seichten, aber kräftigen Bodeninversionen zusammen, die ein Stagnieren der bodennahen Luft bewirken. Weiter fällt auf, daß im Bözingenmoos während der Nacht häufig eine Nordostströmung auftritt. Zum Teil wird sie durch die überregional auftretende Bise angeregt. Teils dürfte es

sich aber um eine regionale bis lokale Strömung handeln, deren Antrieb noch nicht endgültig geklärt ist. Vermutlich setzt die Nordostströmung in vielen Fällen dann ein, wenn die bodennahe Kaltluft wegen ihrer vertikalen Erstreckung instabil wird (ab ca. 70 m Mächtigkeit) und surgeartig gegen die Stadt ausbricht. Ob sie dabei bis zur Champagne am Ostrand des Zentrums oder noch weiter vorstoßen kann, hängt von der Temperaturdifferenz zum Taubenlochwind und von dessen Austrittsgeschwindigkeit ab. Ist die Kaltluft aus dem St. Immertal wärmer als jene im Bözingenmoos, so wird sie abgehoben. Entsprechendes wurde während der Meßkampagne im Dezember 1982 beobachtet. Ist der «Taubenlöchler» jedoch kälter, so wird die Nordostströmung gestaut und bei ausreichender Mächtigkeit nach Süden in die Dietschimatt umgelenkt. Die Nordostströmung kann aber auch durch Hangabwinde ausgelöst werden. Zeitweise ist deren kinetische Energie genügend groß, um die bodennahe Luft verdrängen zu können. Der Bütenberg verhindert aber, daß diese Luft ins Seeland ausweichen kann, so daß einzig ein laterales Ausfließen übrigbleibt. Dieses ist folglich häufig an die Kombination von größerer vertikaler Erstreckung der Kaltluft und dem Vorhandensein von Hangabwinden gebunden.

Im Gegensatz zu der Nordostströmung sind im *Bözingenmoos* nächtliche Südwestwinde immer an einen großräumigen Druckgradienten gebunden. Tagsüber herrschen von einigen Ausnahmen abgesehen die selben Windverhältnisse vor wie über dem westlichen Stadtteil und am Jurahang. Die Ausnahmen werden wieder durch das Vorhandensein einer relativ seichten, aber sehr viskosen Kaltluftschicht im *Bözingenmoos* bestimmt, welche trotz Westwinden gegen die Stadt vorzudringen vermag. Am Südwestende der Stadt (Station *Strandbad*) tritt nachts ähnlich wie im *Bözingenmoos* häufig Windstille auf. Im Gegensatz zu den besprochenen Stationen zeigt *Strandbad* nebst den Südwest- und Nordostwinden auch Strömungen aus Richtung Südost. Bei ihnen handelt es sich oft um Bise, die um die Molassehügel im Südosten der Stadt gelenkt wird. Die Strömung kann aber auch durch das Eindringen bodennaher Kaltluft aus dem Seeland zustande kommen. Tagsüber dominieren bei *Strandbad* Südwestwinde, die ohne nennenswerte Bodenreibung über die offene Seefläche auf die Stadt treffen.

Die topographische Lage der Station *Dietschimatt* liegt quer zur allgemeinen Streichrichtung des Mittellandes. Es erstaunt deshalb nicht, daß sich die Richtungsverteilung der Bodenwinde von derjenigen der bisher besprochenen Stationen deutlich unterscheidet. Die Winde werden auf einer West-Ost-Achse kanalisiert. Trotzdem läßt sich auch an dieser Station ein Tagesgang der Strömung beobachten. Ab 17 Uhr zeigt *Dietschimatt* in ihrer Windrose so-

wohl einen West- als auch einen Nordwestast. Der Nordwestast verschwindet tagsüber vollends, und es ist deshalb naheliegend, diese Strömung als Fortsetzung des Taubenlochausflusses zu interpretieren. Bezeichnend ist, daß die Nordwestströmung ihre deutlichste Ausprägung in der ersten und anfangs der zweiten Nachthälfte zeigt. In der selben Zeit übersteigt die Calmenhäufigkeit von *Strandbad* und *Bözingenmoos* jene in der Dietschimatt. Der Anteil an Calmen ist dort deshalb so klein ausgefallen, weil durch die ausreichende mechanische Turbulenz genügend Bewegungsenergie bis ins Bodenniveau übertragen wird. Die Strömung kommt somit nicht vollends zum Erliegen. In der zweiten Nachthälfte verstärkt sich der Südostast parallel zum Abflauen der Nordwestströmung. Durchschnittlich an jedem 2. Tag beginnt ab 5 Uhr morgens das Einströmen von Luft aus dem Seeland durch die Senke der Dietschimatt. Im Verlauf des Morgens gewinnt diese Strömung zusehends an Bedeutung, bis gegen 13 Uhr im Mittel eine ausgeglichene Verteilung zwischen Ost- und Westwinden eintritt. Zwei Gründe sind für diese Richtungsverteilung verantwortlich: Zum einen baut sich bei wolkenarmem Himmel über den Aareniederungen eine seichte Kaltluftschicht auf, die in der zweiten Nachthälfte surgeartig gegen den Jurasüdfuß und das nördliche Stadtgebiet strömt, ähnlich, wie dies auch im *Bözingenmoos* geschieht. Zum andern wird im Verlauf des Morgens die Bodeninversion abgebaut, und die Bise im Mittelland strömt aus Osten über die Dietschimatt gegen die Stadt. Der Inversionsabbau wird durch die mechanische Turbulenz der Bise beschleunigt und kann bereits vor Sonnenaufgang einsetzen. Beide Effekte zusammen ergeben den ausgeprägten Südostast der Windrose der *Dietschimatt*.

#### 4. Kriterien zur Ausscheidung von Strömungslagen für die Region Biel

Die Wind- und Temperaturmessungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, typische Strömungsmuster zu erkennen und den Tagesgang von Windfeld und Temperaturschichtung zu klassieren. Zeitrafferfilme, die vom Gebäude der Sportschule Magglingen aus aufgenommen wurden, zeigen bei wind-schwachen Wetterlagen häufig einen Wechsel zwischen Nacht- und Tagesströmung im Mittelland. Gleiche Windwechsel sind auch am Jurasüdfuß lokal zu beobachten. Zum Studium dieser Windwechsel bieten sich die beiden Stationen *Vogelsang* und *Taubenloch* an. Die Winddrehungen sind hier am deutlichsten ausgebildet, und es gilt folglich, eine Methode zu finden, um den jeweiligen Umschlagspunkt möglichst definieren zu können.

Als zweckmäßig und sinnvoll hat sich ein empirisch-statistischer Ansatz erwiesen, bei dem für jeden Mo-

nat die mittlere stündliche Häufigkeit von Hang- und Taubenlochwindereignissen berechnet wird. Dazu werden bei *Vogelsang* nur Winde aus Richtung 300 bis 340 Grad, bei *Taubenloch* solche aus Richtung 320 bis 360 Grad in die Untersuchung miteinbezogen. Tagsüber wird das Mittel deutlich unter, während der Nacht überschritten. Als Grenze zwischen Tag und Nacht gilt jene Stunde, bei der das Über- respektive Unterschreiten des Mittelwerts beobachtet wird. Im Sommer sind diese Wechsel erwartungsgemäß deutlicher ausgebildet als im Winter. Es erstaunt deshalb nicht, daß zwei gleiche Wintermonate (z. B. Januar 1981 und Januar 1982) aufgrund von Variationen der Wetterlagen unterschiedliche Grenzen zeigen. Bei einer mehrjährigen Meßreihe könnten diese Schwankungen statistisch bearbeitet werden. Bei einer kurzen Meßreihe, wie sie in Biel vorliegt, wird die Grenze durch den Vergleich mit den vorangehenden und nachfolgenden Monaten (Dezember 1980, 1981 und Februar 1981, 1982) bestimmt. Dieser Ansatz ermöglicht eine monatsbezogene Dreiteilung des Tages in die Zeitabschnitte «Morgen» (= 2. Nachthälfte), «Tag» und «Abend» (= 1. Nachthälfte). Die Verteilung trägt zudem den saisonalen und lokalen Besonderheiten Rechnung.

Nachdem ein Ansatz gefunden ist, die Beobachtungstage in Abhängigkeit von der Jahreszeit zu unterteilen, gilt es nun, jedem Abschnitt eine mittlere Windrichtung zuzuordnen. Die Berechnung erfolgt vektoriell und wird nur dann ausgeführt, wenn im entsprechenden Tagesabschnitt der Calmenanteil unter 50% liegt. Sonst wird die Richtung 37 (Calmen) vermerkt. Falls im Verlauf eines Tages fehlende Werte auftreten, wird der ganze Tag gestrichen. Damit Tage mit ähnlichen Strömungsrichtungen und -mustern miteinander verglichen werden können, müssen die berechneten Windrichtungen nochmals zusammengefaßt werden. Um die Zahl der möglichen Kombinationen möglichst klein zu halten, werden die mittleren Windrichtungen lediglich 5 Sektoren zugeordnet (vgl. Tabelle 1). Somit kann der Tagesgang der Strömung pro Tag und Station mit drei Ziffern codiert werden. Wehen beispielsweise bei *Vogelsang* in der Nacht Hangabwinde (Sektor 4) und tagsüber Südwestwinde (Sektor 3), so erhält der entsprechende Tag die Strömungszahl 434. Die angewandte Methode erlaubt es, bei *Vogelsang* 84% der Beobachtungszeit mit 11 Strömungskombinationen zu beschreiben. Am Taubenlochausgang reichen 14 typische Tagesgänge für die Beschreibung von 87% der Beobachtungszeit. Weil im *Bözingenmoos* der hohe Anteil an Schwachwinden eine Vielzahl von Richtungsänderungen erlaubt, liegen die Prozentwerte tiefer. 11 Tagesgänge beschreiben nur 61% der Beobachtungszeit. Während des einzigen Sommerhalbjahres mit kontinuierlicher Datenerhebung stehen die Werte in einem ähnlichen Verhältnis zueinander wie in den beiden

Winterhalbjahren. Die Auswertung bestätigt, dass sich *Vogelsang* gut für die Beschreibung des Windfeldes über dem westlichen Stadtteil eignet.

Tabelle 1 Einteilung der Windrichtungssektoren

Sektor	Windrichtung	Bezeichnung
1	01–09	Nordost (Bise)
2	10–18	Südost
3	19–27	Südwest/West
4	28–36	Nordwest/Nord (Bergwinde, Taubenlochwind)
5	37	Calmen

### 5. Ausgewählte Strömungs-Schichtungslagen in der Region Biel

Der nächste Schritt besteht darin, die Beschreibung des Boden-Windfeldes auf die Fläche auszudehnen und die Temperaturschichtung zu berücksichtigen. Erneut eignen sich dazu besonders die Stationen *Vogelsang* und *Taubenloch*. Erstere, weil sie 100 m über der Stadt liegt und weniger durch bodennahe Inversionen beeinflusst wird als beispielsweise *Bözingenmoos*, die zweite wegen ihres Standorts auf Dachhöhe am Taubenlochausgang. Ein Vergleich der beiden Stationen zeigte, daß die mittlere Verteilung der Tageswindrichtung nahezu gleich ist. Ziel ist es, unter Einbezug der Temperaturschichtung typische Tagesgänge des Bodenwindfeldes zu definieren, die unter anderem auch in Ausbreitungsmodellen eingesetzt werden können. FILLIGER hat in Form einer Fallstudie das Bodenwindfeld des 10. Dezembers 1980 in vier Zeitschnitten für die Ausbreitungsrechnung angewandt (FILLIGER 1986: 104). Im folgenden werden die Strömungskombinationen von *Vogelsang* und *Taubenloch* stets gemeinsam verwendet und mit dem Tagesgang des Gradienten der potentiellen Temperatur ( $d\Theta/100\text{ m}$ ) verbunden. Daraus leiten sich vier Hauptgruppen von Strömungs-Schichtungslagen ab:

Schichtungstyp 1: Die Temperaturschichtung bleibt den ganzen Tag über mehr oder weniger konstant und nimmt maximale Werte an, die einer isothermen Schichtung entsprechen.

Schichtungstyp 2: Die Schichtung ist im Verlauf der zweiten Nachthälfte und während des Tages höchstens isotherm, nimmt aber in der darauffolgenden ersten Nachthälfte stark positive Werte an.

Schichtungstyp 3: Die Schichtung ist in der zweiten Nachthälfte sehr stabil und nimmt im Verlauf des Tages Werte von weniger als +1.2 K an. Diese Schranke wird in der darauffolgenden ersten Nachthälfte nicht überschritten.

Schichtungstyp 4: Die Schichtung zeigt einen ausgeprägten Tagesgang, in dessen Verlauf erst über Mittag und am Nachmittag Isothermie oder neutrale Schichtung erreicht werden.

Da die Schichtung aus den Stationen *Vogelsang* und *Bözingenmoos* gerechnet wird, kann sie den tatsächlichen Verlauf der vertikalen Temperaturverteilung nie exakt wiedergeben. Immerhin zeigt sie aber einen generellen Trend an. Weiter darf man unter der Annahme einer starken Erwärmung der Stadt gegenüber dem Umland davon ausgehen, daß im Winter auch tagsüber eine nahezu neutrale Schichtung erreicht wird.

Die beschriebenen Strömungs-Schichtungslagen basieren auf einem Datenkollektiv von 17 Monaten. In ihm sind zwei Winterhalbjahre und ein Sommerhalbjahr enthalten. Diese äußerst kurze Zeit der Datenerfassung bewirkt eine ungleiche Gewichtung von Winter- und Sommersituationen und verteilt auf die einzelnen Strömungs-Schichtungslagen eine geringere Anzahl von Beobachtungstagen. Dadurch fehlt den meisten Lagen ein ausreichend großes Tageskollektiv für statistisch vollständig gesicherte Aussagen.

Bei größeren Datenkollektiven dürften sich die Mittelwerte von Temperaturschichtung und Windgeschwindigkeit gegenüber den dargestellten Resultaten leicht verändern. Da ein Großteil der Windgeschwindigkeiten zwischen 1 und 3 m/s liegt, ist die Schwankungsbreite jedoch klein. Auch im Bereich der Schwachwinde mit Geschwindigkeiten von weniger als 1 m/s sind keine großen Änderungen zu erwarten. Schwankungen beim mittleren Temperaturgradienten dürften im Bereich von  $\pm 0.5$  K liegen. Es ist deshalb anzunehmen, daß der Trend im Tagesgang des Gradienten gleich bleibt. Gleich bleiben wird auch der Mittelwert der Windrichtung, weil sein Betrag dominant durch das Relief bestimmt wird. Somit ist es trotz Vorbehalten zulässig, Strömungs-Schichtungsmuster zu rechnen. Bei einem anderen Vorgehen müssen Windrichtung und -geschwindigkeit zwischen den festen Meßstellen interpoliert werden. Diese Resultate wären ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet. Die Geländeklimatologie stellt damit Grundlagen bereit, die es erlauben, mit aufwendigen Ausbreitungsmodellen episodenhaft Immissionskonzentrationen zu rechnen. Die beschriebenen Strömungs-Schichtungslagen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Darin wird der Tempe-

raturgradient zwischen *Vogelsang* und *Bözingenmoos* durch den Gradienten der potentiellen Temperatur ausgedrückt ( $d\Theta/100$  m).

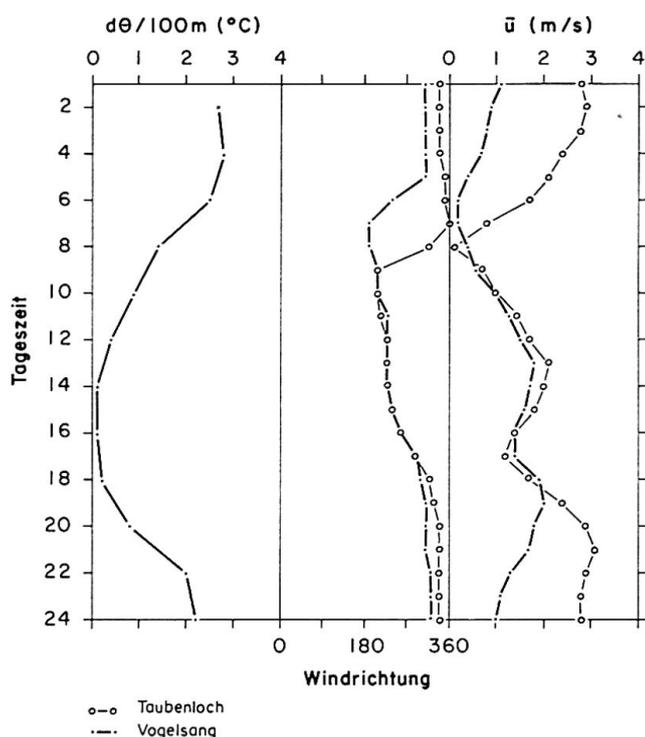
Tabelle 2 Häufigste Strömungs-Schichtungslagen in der Region Biel.

Schichtungstyp	Gruppennummer	Halbjahr	Strömungskombination	Anzahl Tage
1	1.1	Winter	333 / 333	26
	1.2	Winter	111 / 111	20
	1.3	Winter	333 / 433	11
2	2.1	Winter	334 / 334	15
	2.2	Winter	114 / 114	9
	2.3	Sommer	334 / 334	8
3	3.1	Winter	433 / 433	10
	3.2	Sommer	433 / 433	7
	3.3	Winter	333 / 334	7
4	4.1	Sommer	434 / 434	37
	4.2	Sommer	414 / 414	18
	4.3	Winter	334 / 434	16
	4.4	Winter	434 / 434	11
	4.5	Winter	111 / 414	7
	4.6	Sommer	114 / 114	6
	4.7	Winter	333 / 434	6
	4.8	Sommer	444 / 444	6

Als Beispiel einer Strömungs-Schichtungslage ist in Figur 2 die Lage 4.1 dargestellt. Sie ist die häufigste Lage überhaupt, die ausgeschieden werden konnte. Wie alle Lagen der Gruppe 4 zeigt sie einen ausgesprochenen Tagesgang der Temperaturschichtung (Nacht stabil, Tag labil bis indifferent). Direkt mit diesem Tagesgang verbunden ist die Ausbildung eines lokalen Windfeldes. Am Morgen klingen die Hangabwinde der Station *Vogelsang* gegen 5 Uhr stetig ab, während der «Taubenlöchler» bis gegen 7 Uhr andauert. Zur Zeit des Wechsels auf das Tageswindfeld herrscht im Raum Bözingen Windstille. Anschließend setzt Südwestwind ein mit einem Geschwindigkeitsmaximum zur Zeit der stärksten Erwärmung. Bereits um 17 Uhr erfolgt der Wechsel auf das Nachtwindfeld. Dabei ist interessant zu beobachten, daß die Windgeschwindigkeiten nicht auf die kleinen Werte vom Morgen zurückfallen und die Umstellung bei annähernd neutraler Schichtung erfolgt. FILLIGER und RICKLI (1986: 6) konnten am Beispiel von Messungen in Leißigen zeigen, daß Hangabwinde bereits bei einer positiven Strahlungsbilanz  $Q^*$  von  $150 \text{ W/m}^2$  auftreten. Das Geschwindigkeitsmaximum der Hangabwinde liegt zwischen 18 und 20 Uhr und damit 3 Stunden vor jenem des «Taubenlöchlers». Messungen im Sommer 1986 haben ergeben, daß in

Biel die Hangabwindschicht bis maximal 70 Meter mächtig sein kann.

Lage 4.1 zeigt beim Taubenlochwind zwei Geschwindigkeitsmaxima, eines vor und eines nach Mitternacht. Diese lassen sich häufig beobachten, können aber nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden. ATKINSON (1981: 247) weist auf ein Pulsieren von Kaltluftabflüssen hin. Wegen der adiabatischen Erwärmung verringert sich der Druckunterschied im Verlaufe der Nacht. Die fortschreitende Abkühlung überwiegt aber diesen Effekt, so daß es zu einem erneuten Anstieg der Windgeschwindigkeiten kommt. Es scheint, daß dies auch beim Taubenlochwind beobachtet werden kann.



Figur 2 Tagesgang der Strömungs-Schichtungslage 4.1 (Sommersituation, vgl. Tabelle 2). In der Spalte links ist der Temperaturgradient dargestellt. Die mittlere Spalte zeigt die Verteilung der Windrichtungen, und rechts außen ist der Gang der Windgeschwindigkeiten aufgeführt.

## 6. Zusammenfassung

Die topographische Lage Biels bedingt, daß das bodennahe Temperatur- und Strömungsfeld dominant durch kleinräumige Phänomene wie Hangabwinde und Bodeninversionen geprägt wird. Die regelmäßige Entkopplung des Windgeschehens in der bodennahen Grenzschicht von jenem über dem Mit-

telland verunmöglicht es, lokale Strömungslagen mit Hilfe der Winde im 850-hPa-Niveau (ca. 1500 m über Meer) oder in noch größerer Höhe zu definieren. Feldbeobachtungen, Zeitrafferfilme und Stationsauswertungen zeigen, daß im Raume Biel in den seltensten Fällen während 24 Stunden eine einheitliche Strömung vorherrscht. In der Regel ereignet sich mindestens ein Windwechsel pro Tag. Während Strahlungs Nächten und windschwachen Wetterlagen treten im Tagesverlauf immer wieder drei Abschnitte hervor, die es bei lokalen Strömungsuntersuchungen in Biel zu berücksichtigen gilt. Es sind dies die 2. Nachthälfte (Morgen), der Tag im Sinne des hellen Tagesabschnittes und die 1. Nachthälfte (Abend). Weil die Hangabwinde und der «Taubenlöchler» während des ganzen Jahres mit großer Regelmäßigkeit auftreten und zugleich den Zeitpunkt markieren, an dem die Temperaturen am Hang denjenigen der freien Atmosphäre gleichen, können ihr Ein- und Aussetzen zur Unterteilung des Zeitraumes zwischen 00 und 24 Uhr verwendet werden.

Dadurch wird es möglich, pro Tagesabschnitt vektoriell eine mittlere Windgeschwindigkeit und -richtung zu errechnen und letztere einem Richtungsquadranten zuzuordnen. Das Aneinanderfügen der drei ermittelten Quadranten ergibt eine tägliche stationsbezogene Strömungszahl (vgl. Tabelle 2). Da Sondierdaten fehlen, wird die Vertikalstabilität der Grenzschicht approximativ aus dem Temperaturgradienten zwischen *Vogelsang* und *Bözingenmoos* bestimmt. Trends können eindeutig festgehalten werden, auch wenn im Einzelfall mit Sicherheit Abweichungen von den herrschenden Gradienten in der freien Atmosphäre auftreten. Ausgehend von den Strömungszahlen von *Vogelsang* und *Taubenloch* kann mit Hilfe des Tagesgangs des Temperaturgradienten eine Klassifikation von Strömungsschichtungslagen durchgeführt werden. Die beschriebene Methode erlaubt es, in Gebieten mit komplexer Topographie Signale des lokalen Windfeldes für die Charakterisierung wiederkehrender Strömungsschichtungslagen einzusetzen. Sie können in anspruchsvollen Ausbreitungsmodellen eingesetzt werden, mit deren Hilfe sowohl Tages- als auch Jahresgang von Immissionskonzentrationen möglichst wirklichkeitsnah abzuschätzen sind.

In vielen Gebieten ist heute umfassendes mittlere-wertsklimatologisches Datenmaterial vorhanden, das für Ausbreitungsrechnungen genutzt wird. Es eignet sich vielfach nur für die Berechnung von Monats- oder Jahresmittelwerten der Immissionskonzentrationen. Oft tritt jedoch der Fall ein, in dem weniger die Mittelwerte von Bedeutung sind als vielmehr kurzzeitig auftretende Immissionsspitzen. Um diese mit einem Ausbreitungsmodell realistisch simulieren zu können, sind zeitlich und räumlich hochaufgelöste Meteorodaten eine Grundvorausset-

zung. Mit ihnen gelingt es, die spezifischen örtlichen Turbulenzparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  zu bestimmen (z. B. mit Hilfe von Strahlungsbilanzen und Windrichtungsfluktuationen) und auch das lokale Wind- und Temperaturgeschehen zu typisieren, wie am Beispiel von Biel gezeigt wurde.

## Literatur

- ATKINSON, B. W. (1981): Meso-scale Atmospheric Circulations, Academic Press, London.
- FILLIGER, P. (1986): Die Ausbreitung von Luftschadstoffen – Modelle und ihre Anwendung in der Region Biel, Geographica Bernensia G 14, Bern.
- FILLIGER, P., und B. RICKLI (1986): N8, Umfahrung Leißigen, Abluftbauwerk: Gutachten zur Ausbreitungsklimatologie, Schlußbericht. Geographisches Institut der Universität Bern.
- HERTIG, J. A., P. LISKA und R. RICKLI (1984): Versuche auf dem Modell 1 : 25 000 zur Durchlüftungssituation in der Region Biel, IENER Bericht Nr. 521.104, Lausanne.
- PAMPERIN, H., und G. STILKE (1985): Nächtliche Grenzschicht und LLJ im Alpenvorland nahe dem Inntalausgang. In: Meteorol. Rdsch. 38, 145–156.
- RICKLI, R., und H. WANNER (1983): Feldexperimente im Raum Biel – Datenkatalog, Informationen und Beiträge zur Klimaforschung 19, Geographisches Institut der Univ. Bern.
- WANNER, H., P. BERLINCOURT und R. RICKLI (1982): Klima und Lufthygiene der Region Biel – Gedanken und erste Resultate einer interdisziplinären Stufe. In: Geogr. Helv. 37: 215–224.
- WANNER, H., und S. KUNZ (1983): Klimatologie der Nebel- und Kaltluftkörper im schweizerischen Mittelland mit Hilfe von Wettersatellitenbildern. In: Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B. 33: 31–56.
- WANNER, H. (1986): Die Grundstrukturen der städtischen Klimamodifikation und deren Bedeutung für die Raumplanung. In: Jahrb. der Geogr. Gesellschaft von Bern, Bd. 55/1983–1985, 67–84.