

# Die Windverhältnisse im Aare und Gürbetal bei konvektiven Hoch- und Flachdruckwetterlagen

Autor(en): **Berlincourt, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **38 (1981)**

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-318468>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Pierre Berlincourt<sup>1</sup>

## Die Windverhältnisse im Aare- und Gürbetal bei konvektiven Hoch- und Flachdruckwetterlagen

### *1. Einleitung*

Die vorliegende Arbeit ist als Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern (GIUB) unter der Leitung von Prof. B. Messerli und Dr. H. Wanner entstanden.

An dieser Stelle möchten wir uns bei der bernischen Kantonspolizei (Meldezentrale der Verkehrsabteilung), dem Personal des Flughafens Belpmoos, den Gemeinden Niederwichtrach und Wattenwil, der ARA-Mittelgürbetal, den Herren Dr. Nagel und Häusi vom Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen, Herrn Dr. Mäder und Herrn Dr. Dössegger von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) in Zürich sowie Herrn Dr. Niklaus in Thun und den Herren Schenkel und Augstburger in Hostetten/Belpberg für die Hilfe bedanken. Die Arbeiten von MÄDER (1968), MESSERLI (1973) und MAURER (1976) haben gezeigt, dass Aaretal und Gürbetal zwischen Bern und Thun für die Durchlüftung der Region Bern von grosser Bedeutung sind. Deshalb schien es uns sinnvoll, die Windverhältnisse in diesem Gebiet näher zu untersuchen. Dabei begrenzt sich unsere Arbeit auf die Windverhältnisse in Bodennähe.

### *2. Problemstellung und Zielsetzung*

#### *2.1 Windverhältnisse bei verschiedenen Wetterlagen*

Die Windverhältnisse in einer gegebenen Region sind je nach Wetterlage eher durch das grossräumige Strömungsfeld geprägt (Gradientwinde, z. B. Bise) oder dann durch lokale Einflüsse wie Topographie, Bodenbeschaffenheit usw. bestimmt (z. B. Berg- und Talwinde). Betrachtet man die Wetterlagenklassifikation von SCHÜEPP (1968), deren Zusammenhänge mit dem Wetter in der Region Bern von WANNER und KUNZ (1977) untersucht wurde, so dominieren erwartungsgemäss die Gradientwinde bei den vier advektiven Wetterlagengruppen, während die drei konvektiven Wetterlagengruppen durch gut entwickelte Lokalwindssysteme gekennzeichnet sind. Deshalb beschränkt sich unsere Arbeit auf die konvektiven Hochdruck- und Flachdruckwetterlagen, die

1 Adresse des Verfassers: P. Berlincourt, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

selber in je fünf Wetterlagen unterteilt werden, d. h. windschwach oder Höhenströmung N, E, S oder W (Tab. 1).

Tabelle 1: Verzeichnis der berücksichtigten Wetterlagen (Definition nach WANNER 1979: 121)

Wetterlagen	Zeitraum 1975–78		Total	Jahresdurchschnitt		
	Herbst + Winter Tage	Frühling + Sommer Tage	1975–78 Tage	1975–78 Tage	1958–77 Tage	
Hochdrucklagen	Windschwach +H <sub>O</sub>	48	31	79	19,75	16,95
	Höhenstrom West +H <sub>W</sub>	26	12	38	9,50	8,80
	Höhenstrom Nord +H <sub>N</sub>	49	23	72	18,00	13,70
	Höhenstrom Ost +H <sub>E</sub>	30	9	39	9,75	8,45
	Höhenstrom Süd +H <sub>S</sub>	20	10	30	7,50	6,40
Total: Hochdrucklagen +H	173	85	258	64,50	54,30	
Flachdrucklagen	Windschwach ·F <sub>O</sub>	21	60	81	20,25	25,40
	Höhenstrom West ·F <sub>W</sub>	29	75	104	26,00	23,15
	Höhenstrom Nord ·F <sub>N</sub>	30	61	91	22,75	18,85
	Höhenstrom Ost ·F <sub>E</sub>	9	38	47	11,75	6,95
	Höhenstrom Süd ·F <sub>S</sub>	28	64	92	23,0	18,85
Total: Flachdrucklagen ·F	117	298	415	103,75	93,20	
Total: +H und ·F	290	383	673	168,25	147,50	

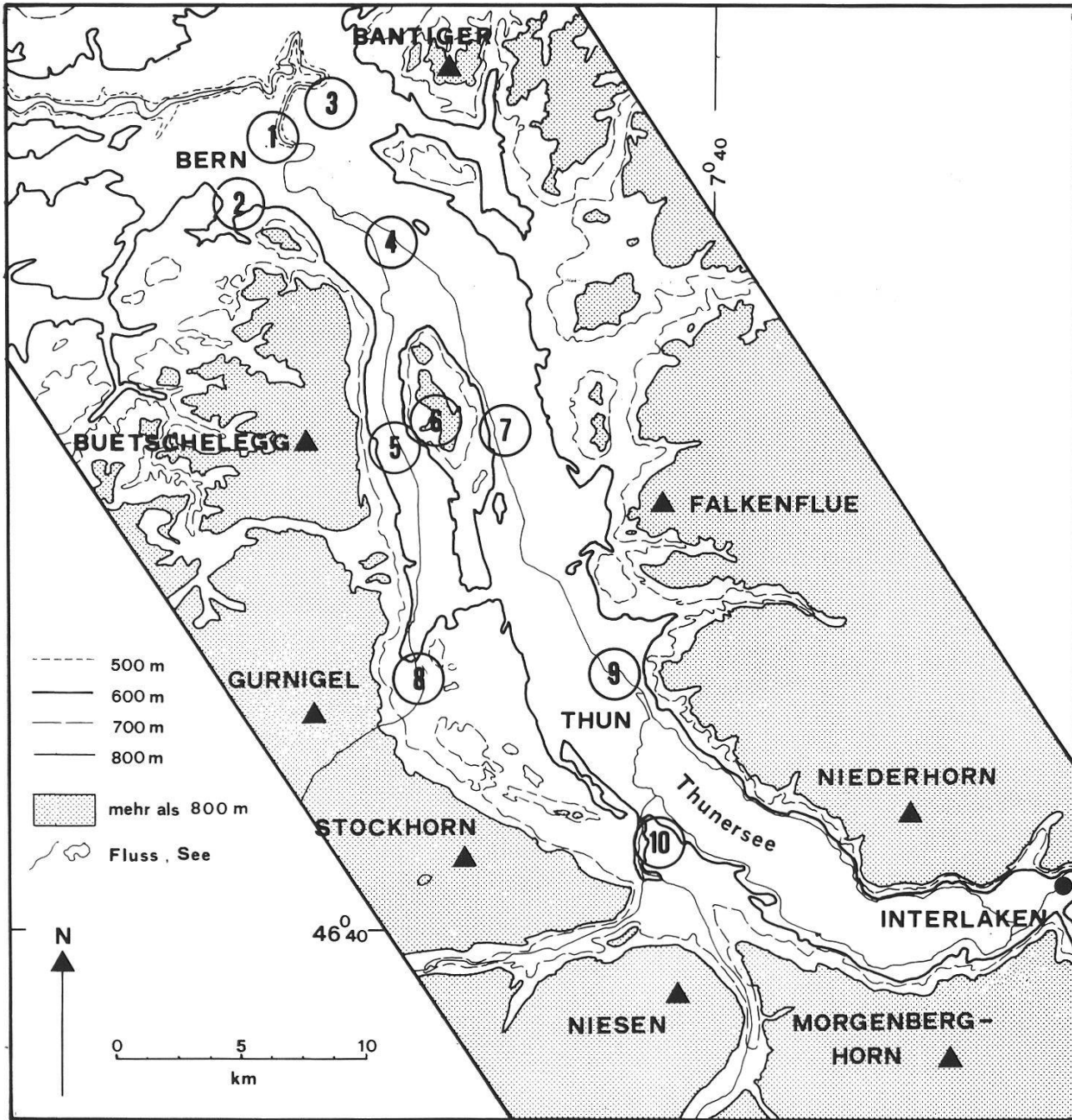
## 2.2 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum umfasst das Aaretal und das Gürbetal zwischen Bern und Spiez. Grob betrachtet sind es zwei NNW-SSE-orientierte Täler, deren Talsohle tiefer als 600 m ü. M. liegt und die von 800 bis 1000 m ü. M. hohen Hügeln umgeben sind. Südlich von Thun nimmt die Bergkulisse an Höhe stark zu (Stockhorn, Niesen, Morgenberghorn, usw.). Die topographische Gliederung ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

## 2.3 Arbeitshypothesen und allgemeine Zielsetzung

Unserer Arbeit liegen folgende Hypothesen zugrunde:

- Bei konvektiven Hoch- und Flachdruckwetterlagen kommen die Lokalwindssysteme deutlich zum Ausdruck.



- |                                      |                              |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1. Bern SMA (alt, Betreuung GIUB)    | 6. Hostetten/Belpberg (GIUB) |
| 2. Bern ANETZ (SMA)                  | 7. Wichtrach (GIUB)          |
| 3. Bern Schermenweg (Kantonspolizei) | 8. Wattenwil (GIUB)          |
| 4. Belpmoos (Flughafen)              | 9. Thun (Dr. Niklaus)        |
| 5. ARA-Mittelgürbetal (GIUB)         | 10. Gesigen (Kantonspolizei) |

Abb. 1: Karte des Untersuchungsgebietes mit dem Messnetz

- Diese Lokalwindssysteme können jedoch durch die vorhandenen Höhenwinde wenigstens zum Teil modifiziert werden.

Dementsprechend sind die Ziele der Untersuchung folgendermassen festzuhalten:

- Charakterisierung des regionalen Windsystems (bzw. der Windsysteme).
- Untersuchung der Beziehungen zwischen Bodenströmung und Richtung der Höhenwinde (500 mb-Niveau).
- Abgrenzung von typischen Strömungsmustern und ihrer Reihenfolge.
- Praktische Aussagen im Hinblick auf die Ventilation des Stadtgebietes und die lufthygienischen Verhältnisse.

### 3. Messnetz "Aaretal"

Abbildung 1 zeigt die Standorte der zehn eingesetzten Windmesser (vier davon werden vom Geographischen Institut betreut). Als Basis des Messnetzes dienen ein Profil entlang der Talachsen, ein West-Ost-Profil auf der Höhe des Belpberges und ein SW-NE-Profil durch die Agglomeration Bern. Durch diese Stationsdichte konnten die Nachteile aufgewogen werden, die durch verschiedene Messgeräte und Messperioden (Abb. 2) sowie durch die Pannenanfälligkeit der vom Geographischen Institut eingesetzten Windmesser hervorgerufen wurden.

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
1. Bern SMA	▶					◀▶	▶
2. Bern ANETZ						▶	▶
3. Bern Schermenweg	▶						▶
4. Belpmoos			▶				▶
** Jaberg					▶		▶
9. Thun					▶	◀▶	▶
10. Gesigen	▶						▶
7. Wichtrach						▶	▶
6. Hostetten/Belpberg						▶◀▶	▶
5. ARA-Mittelgürbetal						▶	▶
8. Wattenwil						▶	▶

\*\* Wegen ungenauer Datierung der Windstreifen wurde die Station Jaberg nicht ausgewertet (die Datierung ist ab August 1980 korrekt).

Abb. 2: Messperioden der Windmesser

#### 4. Statistische Auswertung für vier Stationen (Zeitraum 1975 bis 1978)

Die Untersuchung bezieht sich auf die Stationen Bern SMA (Schweiz. Meteorologische Anstalt), Belpmoos, Bern Schermenweg und Gesigen. Bei den zwei erstgenannten Stationen liegen Stundenmittelwerte vor, bei den letzteren nur Terminbeobachtungen alle drei Stunden (Beginn um 03.00 Uhr). Die daraus resultierenden Unterschiede in der Häufigkeit von Windstillen wurden bei der Auswertung berücksichtigt (detaillierte Besprechung in der unveröffentlichten Fassung, Geographisches Institut Bern).

##### 4.1 Das Kollektiv der Wetterlagen

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die absolute Häufigkeit der untersuchten Wetterlagen für den Zeitraum 1975 bis 1978. Die definitionsmässig häufigeren Flachdruckwetterlagen (WANNER 1979) registrierten wir vor allem im Sommer, während die Hochdrucklagen im Winterhalbjahr häufiger waren. Die Wetterlagen  $+H_w$ ,  $+H_e$ ,  $+H_s$  und  $\cdot F_e$  traten wesentlich seltener auf als die übrigen sechs Lagen. Da die Kollektive relativ klein sind, wurde keine Unterscheidung nach Jahreszeiten vorgenommen.

##### 4.2 Die Windrosen an den vier Stationen

Für jede Station sind die Windrosen für 03.00 Uhr und 15.00 Uhr dargestellt worden. Die Beobachtungen mit Windstille oder mit uneinheitlichen Windrichtungen wurden vor der Berechnung eliminiert. Weiter sind die Windrosen nach einer in der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt benützten Methode geglättet worden.

###### *Bern SMA (Abb. 3a)*

Nachts tritt der Bergwind aus SE (Aaretalwind, MESSERLI 1973, MAURER 1976: 59) bei den untersuchten Wetterlagen mit 45 % weit häufiger auf als im Durchschnitt aller Wetterlagen, wo dieser Anteil auf 27 % zurückgeht (MAURER 1976: 82). Zwei andere Herkunftsrichtungen zeichnen sich ebenfalls durch grössere Häufigkeiten aus: Der Sektor NNE mit der Öffnung nach Zollikofen hin und der Sektor WSW mit einem lokalen Wind aus dem Wangental.

Tagsüber dominiert der Talwind aus Richtung Zollikofen. Die Winde aus dem Sektor WNW bilden eine für die untersuchten Wetterlagen eher sekundäre Talwindrichtung (WANNER und KUNZ 1977: 60–76).

###### *Bern Schermenweg (Abb. 3b)*

Diese Station im NE der Stadt zeigt tagsüber ein Vorherrschen von Talwinden aus NNW (aus Zollikofen) und nächtliche Bergwinde aus einem breiten Sektor von E bis

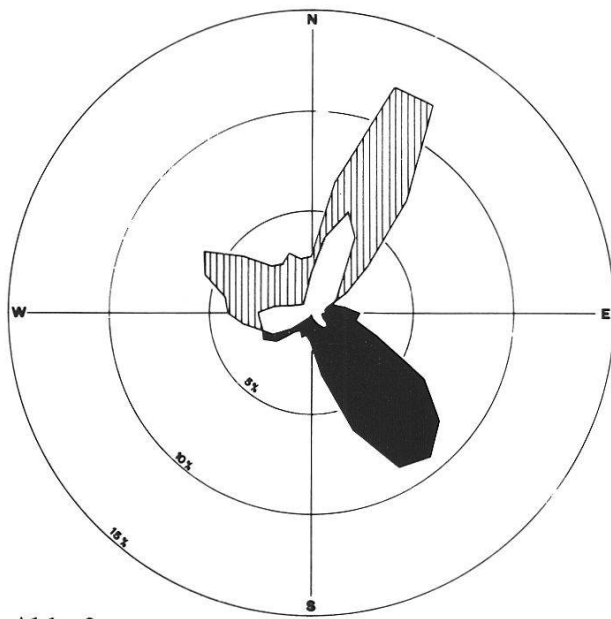


Abb. 3a  
Bern SMA

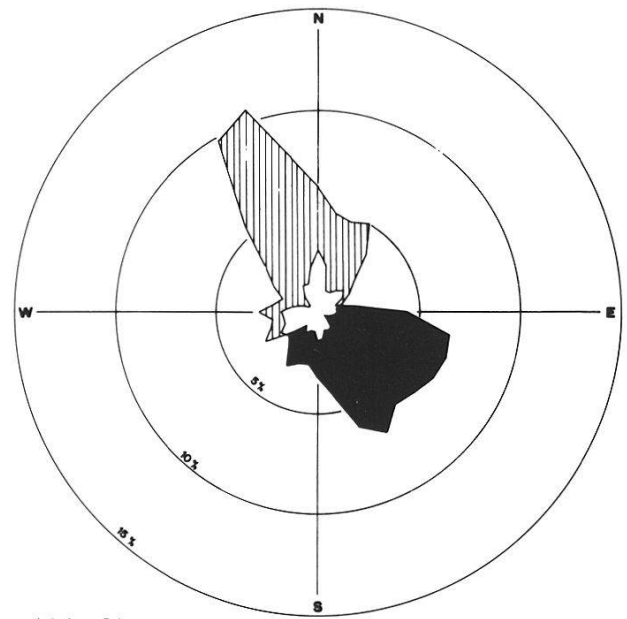


Abb. 3b  
Bern Schermenweg

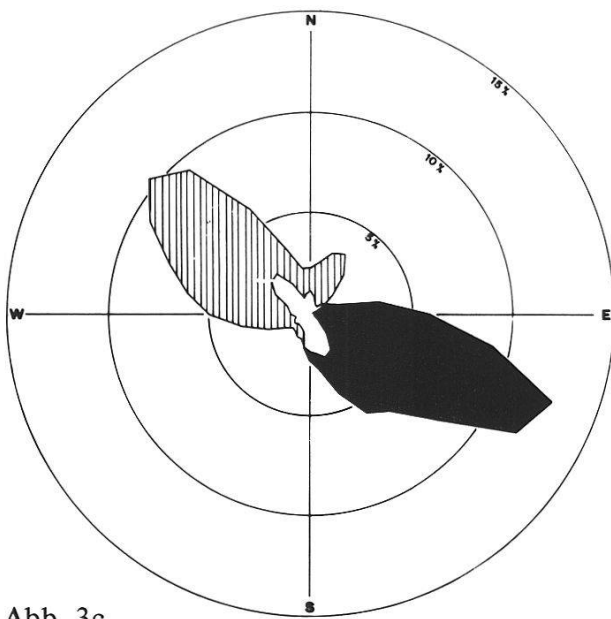


Abb. 3c  
Belpmoos

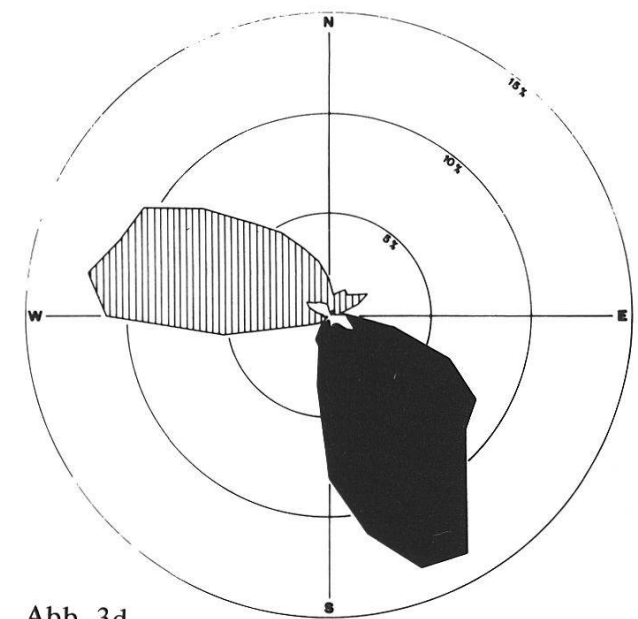


Abb. 3d  
Gesigen

Hoch- und Flachdruckwetterlagen, Zeitraum 1975–78.



Windrose für 03.00 Uhr  
Windrose für 15.00 Uhr  
Gemeinsamer Anteil

Abb. 3: Windrosen für vier Stationen

SSE (Aaretal, Worblental). Die Winde aus WSW sind schwach vertreten. Dieser Unterschied zu der benachbarten Station Bern SMA zeigt den starken Einfluss des kleinräumigen Reliefs auf die Windverhältnisse.

#### *Belpmoos (Abb. 3c)*

Die Winde sind allgemein deutlich kanalisiert. Die nächtlichen Bergwinde stammen vorwiegend aus dem Aaretal und seltener aus dem Gürbetal. Tagsüber dominieren Talwinde in der Talachse. Weitere Untersuchungen zeigten, dass der NE-Windanteil mit bestimmten Wetterlagen verknüpft ist (siehe Kapitel 5.2).

#### *Gesigen (Abb. 3d)*

Nachts trifft man in 90 % der Beobachtungen Bergwinde an, vorwiegend aus dem Haupttal (Thuner-/Brienzersee) und dem Kandertal. Tagsüber dominieren Talwinde aus W bis NNW. Diese Ablenkung der Richtungen gegenüber der Talachse scheint durch die Stockhornkette geprägt zu sein (Winde parallel zu ihrer NE-Flanke).

### *4.3 Tagesgang der Windrichtungen bei den zehn Hoch- und Flachdruckwetterlagen*

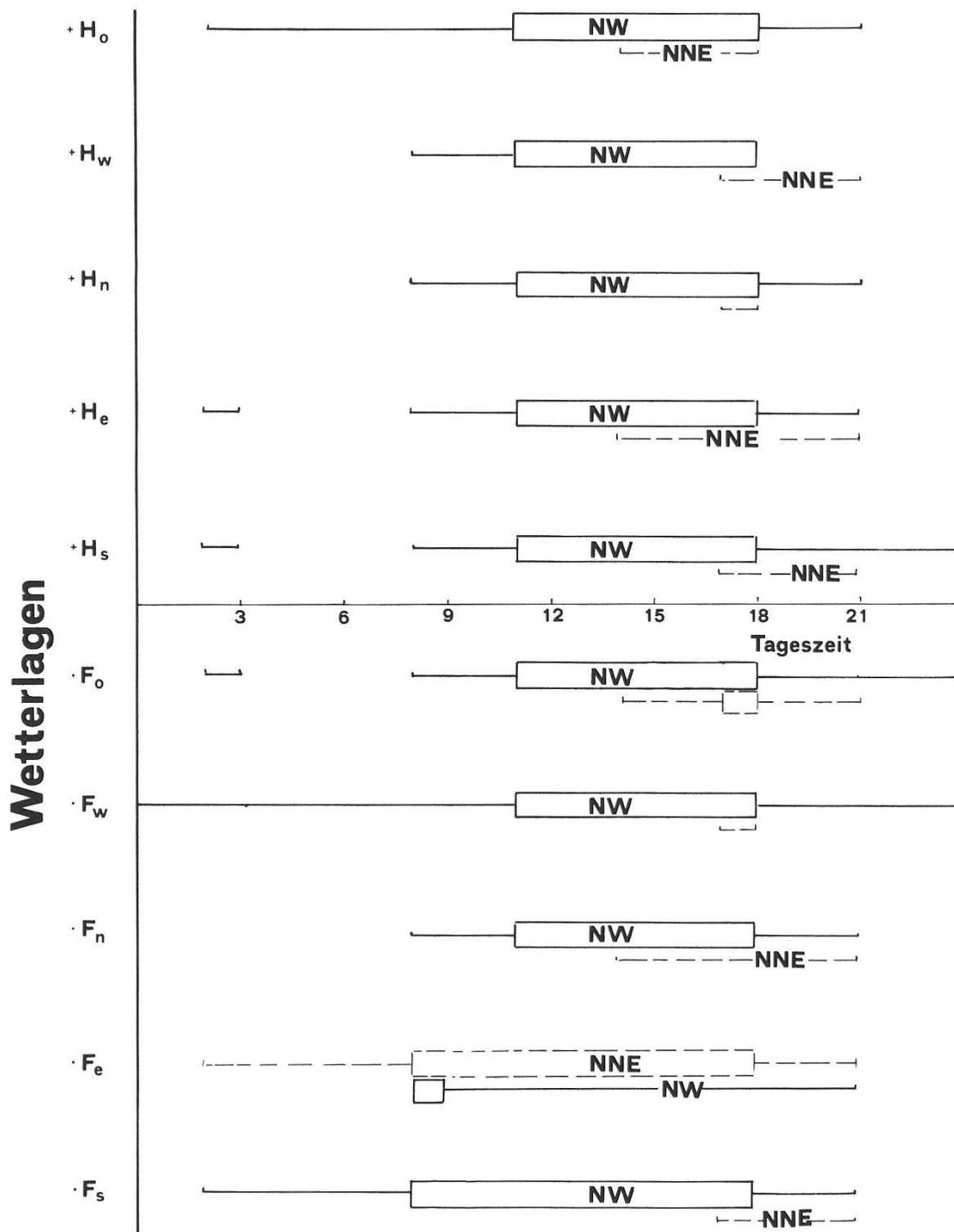
#### *Methode und Definition*

Zuerst wurden für die vier Stationen und die zehn untersuchten Wetterlagen je die Windrosen für alle drei Stunden berechnet, was den Tagesgang der Windrichtungen gut veranschaulicht. Wir haben versucht, diesen Tagesgang anhand der Dauer des Talwindes zu charakterisieren. Als Talwinde sind hier alle Talaufwärtsströmungen zu verstehen (ohne Berücksichtigung der Genese der entsprechenden Winde). Die im Kapitel 4.2 beschriebenen Talwinde (Haupt-Talwindrichtung und sekundäre Talwindrichtungen) wurden für einen bestimmten Termin als *vorherrschend* definiert, wenn sie häufiger als andere Richtungen waren, und als *vorhanden*, falls sie noch mehr als 10 % der Windrichtungen ausmachten. Auf diese Weise konnte für die vier Stationen und die zehn untersuchten Wetterlagen die Dauer des *vorherrschenden* und des *vorhandenen Talwindes* untersucht werden.

#### *Richtung der Talwinde*

Im allgemeinen entsprechen die Talwinde bei den untersuchten Wetterlagen jenen Haupt-Talwindrichtungen, die wir in Kapitel 4.2 besprochen haben, d. h. NNE in Bern SMA, NNW in Bern Schermenweg, NW im Belpmoos und WNW in Gesigen. Ausnahmen bilden die Wetterlagen mit westlicher Höhenströmung ( $+H_w$ ,  $\cdot F_w$ ), die mit überwiegenden Bodenwinden aus WNW in Bern SMA verbunden sind und die Flachdrucklagen mit östlicher Höhenströmung ( $\cdot F_e$ ), die in Bern Schermenweg und im Belpmoos (Abb. 4) Tageswinde aus NE bzw. NNE erzeugen. Bei diesen Wetterlagen ist also der Einfluss der Höhenströmung auf die Bodenströmung stark genug, um eine





- NW Vorherrschen der Haupt-Talwindrichtung NW
- NNE Vorherrschen der sekundären Tageswindrichtung NNE
- |— Vorhandensein der Haupt-Talwindrichtung NW (mind. 10 % aller Richtungen)
- - -| - - - Vorhandensein der sekundären Tageswindrichtung NNE (mind. 10 % aller Richtungen)
- F<sub>e</sub> Wetterlage

Abb. 4: Verhalten der Talwinde im Belpmoos

Modifikation der Talwindrichtungen zu bewirken. Die bei Flachdrucklagen mit östlicher Höhenströmung auftretende Verwandtschaft zwischen NE-Winden in Bern Schermenweg und NNE-Winden im Belpmoos (Abb. 4) ist auch bei den übrigen Wetterlagen vorhanden. Das Auftreten dieser Windrichtungen beschränkt sich dann aber auf den späten Nachmittag und den frühen Abend. Dagegen sind NE-Winde in Gesigen eindeutig morgendliche Erscheinungen, die durch einen thermischen Austausch zwischen See und Land verursacht werden (See-Land-Winde).

#### *Dauer des vorherrschenden Talwindes*

An den zwei *Berner Stationen* dominieren die Talwinde von 11.00 bis 21.00 Uhr. Bei Flachdruckwetterlagen mit östlicher Höhenströmung ( $\cdot F_e$ ) setzen die Talwinde bereits zwischen 08.00 und 09.00 Uhr ein und dominieren bis Mitternacht, was auf eine Ankurbelung der Talwinde durch die Gradientwinde hindeutet.

Das Vorherrschen der Talwinde ist im *Belpmoos* (Abb. 4) auf die Zeit zwischen 11.00 und 18.00 Uhr begrenzt, mit Ausnahme der Wetterlagen  $\cdot F_e$  und  $\cdot F_s$ . Bei  $\cdot F_e$  erkennt man die gleiche Tendenz wie an den Berner Stationen. Die Dominanz der Talwinde bei südlichen Höhenströmungen (entgegengesetzte Richtung) kann dahingehend interpretiert werden, dass entweder in der Höhe eine gewisse Kompensationsströmung stattfindet oder Boden- und Höhenströmung weitgehend entkoppelt sind.

In *Gesigen* sind die Talwinde nur kurze Zeit dominierend. Bei den eher winterlichen Hochdrucklagen durchschnittlich von 12.00 bis 18.00 Uhr und bei den vorwiegend sommerlichen Flachdrucklagen meistens von 09.00 bis 18.00 Uhr.

Allgemein nimmt also die Dauer des dominierenden Talwindes von Bern gegen die Alpen zu deutlich ab. Das Verhalten der Talwinde im Belpmoos (Abb. 4) kann in seinen Grundzügen als repräsentativ für die mittleren Verhältnisse im gesamten Untersuchungsraum gelten.

#### *Dauer des vorhandenen Talwindes*

An den zwei *Berner Stationen* treten die Haupt-Talwinde aus Zollikofen meistens auch in der Nacht mit einer Häufigkeit von mehr als 10 % (Definition des vorhandenen Talwindes siehe oben) auf. Dagegen sind die sekundären Tageswindrichtungen aus WNW in Bern SMA besser entwickelt als die entsprechenden Westwinde in Bern Schermenweg. Bei Wetterlagen mit Höhenströmung aus Süden treten diese zwei Windrichtungen allgemein häufiger auf.

Im *Belpmoos* sind Talwinde meistens nur während des Tages vorhanden (von 08.00 bis 21.00 Uhr). Bei den Lagen  $+H_o$  und  $\cdot F_o$  (windschwach),  $\cdot F_e$ ,  $+H_s$  und  $\cdot F_s$  sind sie auch in der Nacht möglich (Abb. 4).

In *Gesigen* trifft man keine Talwindformen vor 09.00 Uhr, und bei vier von zehn Wetterlagen auch nicht mehr nach 18.00 Uhr. Dies zeigt, dass der Wechsel von Berg- zu Talwind und umgekehrt im Süden der Untersuchungsregion rascher und eindeutiger vor sich geht. Bei Höhenströmungen aus Westen sind Talwindströmungen noch öfters bis Mitternacht spürbar. Die Stockhornkette, die allgemein eine Ablenkung der

Talwindrichtungen auf WNW verursacht (Kapitel 4.2), begünstigt möglicherweise diese Strömung.

Zusammenfassend ist der Tagesgang der Windrichtungen wie folgt zu charakterisieren:

- Die Dauer des *dominierenden Talwindes* nimmt von Bern gegen die Alpen zu deutlich ab.
- Entsprechend beschränkt sich die Dauer des *vorhandenen Talwindes* im Süden des Untersuchungsraumes auf den Tag; in Bern dagegen sind Strömungen aus der Talwindrichtung auch nachts keine Seltenheit.
- Der Einfluss der Höhenströmung auf das Berg- und Talwindensystem ist bei bestimmten Wetterlagen deutlich erkennbar:
  - Bei Flachdrucklagen mit östlicher Höhenströmung in der nördlichen Hälfte der Region.
  - Bei westlicher Höhenströmung im nördlichen Stadtgebiet von Bern.
- Viele kleinräumige, topographisch-thermisch bedingte Lokalwinde komplizieren das Strömungsbild (Abendwinde im Belpmoos usw.).

#### 4.4 Mittlere Windgeschwindigkeiten

Die Hochdruck- und Flachdruckwetterlagen sind allgemein durch schwache mittlere Windgeschwindigkeiten charakterisiert. Alle Stationen zeigen einen Tagesgang der Windgeschwindigkeiten, wobei die zwischen Minimum und Maximum liegende Differenz stets gering bleibt:

	minimale Differenz	maximale Differenz
Bern SMA	0,6 m/s	1,8 m/s
Bern Schermenweg	0,7 m/s	1,4 m/s
Belpmoos	1,3 m/s	2,7 m/s
Gesigen	0,5 m/s	1,5 m/s

Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten in Bern SMA und im Belpmoos (Abb. 5) zeigt im Durchschnitt um 1 m/s schwächere Winde im Stadtzentrum als am Flugplatz. Die schon von MAURER (1976) erwähnte negative Wirkung der städtischen Bebauung auf die Ventilation (Abbremsung durch erhöhte Reibung) ist hier deutlich feststellbar. Allgemein sind die Windgeschwindigkeiten bei Hochdrucklagen schwächer als bei Flachdrucklagen. Abbildung 5 zeigt auch interessante Unterschiede zwischen den einzelnen Wetterlagen:

- Bei Flachdrucklagen mit östlicher Höhenströmung ( $\cdot F_e$ ) sind die Windgeschwindigkeiten deutlich erhöht. Bei dieser Lage bewirkt also die Höhenströmung eine Richtungsänderung (Kapitel 4.3) und eine Beschleunigung der Winde (besonders Tageswinde).

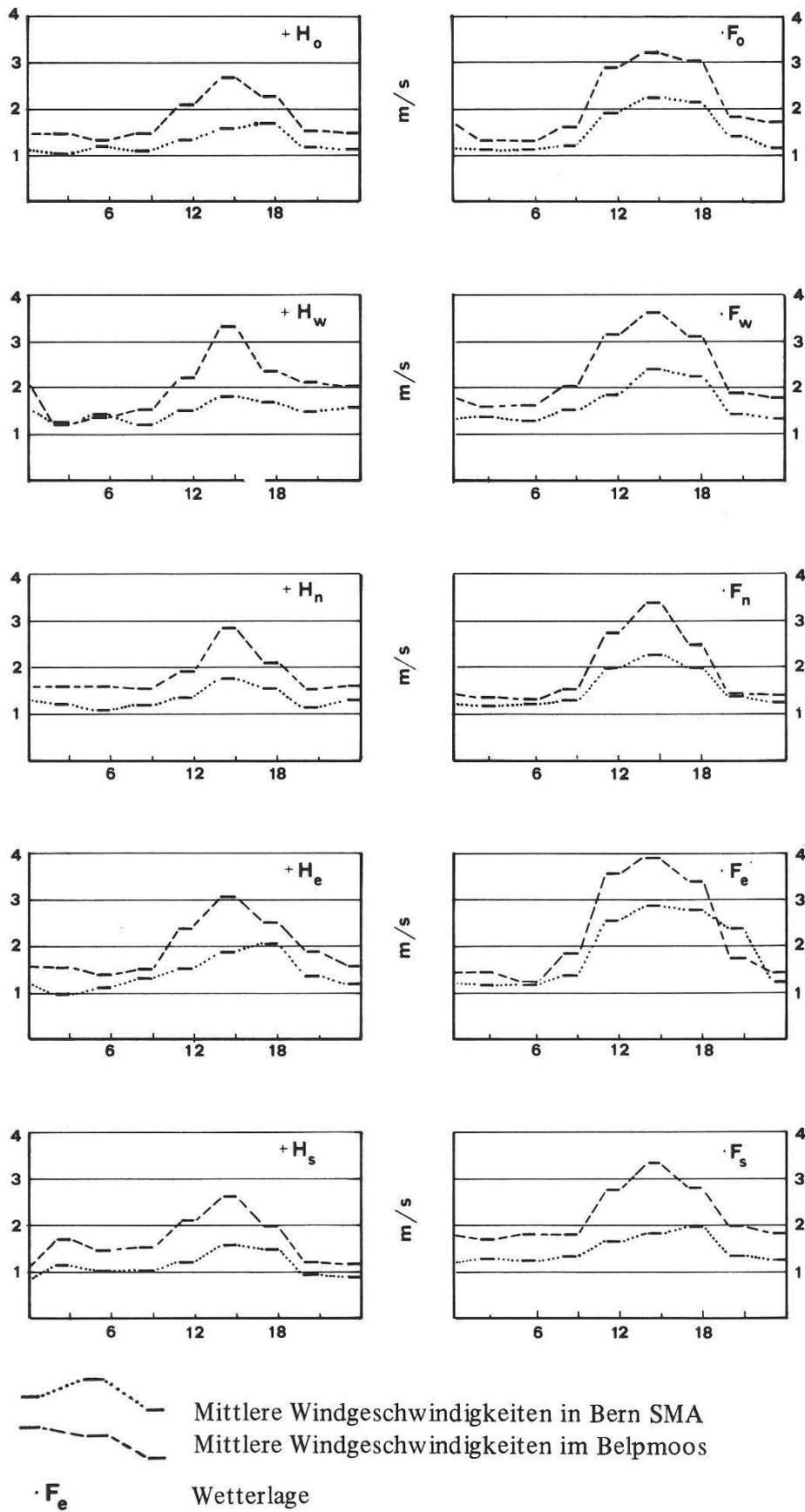


Abb. 5: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeiten in Bern SMA und im Belpmoos

- Bei Höhenwinden aus Süden ( $+H_s$ ,  $\cdot F_s$ ) sind die Tageswinde schwächer, deutlich stärker sind dagegen die Nachtwinde. Somit werden die nächtlichen Bergwinde durch Höhenströmung begünstigt.
- Bei Hochdrucklagen mit westlichen Höhenwinden ( $+H_w$ ) liegen die abendlichen Windstärken noch bis Mitternacht höher als gewöhnlich.

## 5. Fallstudien

Um die statistischen Ergebnisse von Kapitel 4 anhand der Daten aller Messstationen zu überprüfen, wurde eine neuartige, von den einzelnen Beobachtungen ausgehende synoptisch-räumliche Analyse des Windfeldes vorgenommen.

### 5.1 Vorgehen

Die Daten aller verfügbaren Windmesser des Messnetzes Aaretal wurden für 26 ausgewählte Tage (12 im Herbst, 7 im Winter, 7 im Frühling) dargestellt. Die Ergebnisse von Ballonversuchen, Rauchkaminbeobachtungen und Zeitrafferfilmen wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Wahl der untersuchten Tage wurde nach dem Wetterlagenkalender und dem vorhandenen Datenmaterial getroffen.

Im ersten Schritt wurden die Windrichtungen für jede Stunde auf einer Karte synoptisch dargestellt. Dieses Kartenmaterial erlaubte uns dann, Perioden mit gleichem Strömungsmuster zu unterscheiden. Für jede dieser Perioden wurde eine Strömungskarte gezeichnet. Aus dem rein visuellen Vergleich der 258 so entstandenen Strömungskarten konnten 12 verschiedene Strömungstypen abgeleitet werden. Schliesslich wurde die tageszeitliche Abfolge dieser Strömungstypen untersucht.

### 5.2 Typische Strömungsmuster

Die 12 Strömungstypen können der Tabelle 2 entnommen werden. Fünf Strömungsbilder weisen einen allgemeinen Bergwindcharakter auf, während drei durch das Vorherrschen von Talwinden gekennzeichnet sind. Weiter lassen sich West- und Ostwindinflüsse feststellen. Schliesslich trifft man noch einen uneinheitlichen Strömungstyp mit eher lokalen Windverhältnissen. Bei vorherrschenden Talwinden ist die Strömung einheitlicher ausgebildet als bei den variationsreicheren Bergwindformen, was sich auch in der absoluten Häufigkeit der Strömungstypen widerspiegelt. Die Höhenstation Hostetten/Belpberg weist meistens ähnliche Windrichtungen auf wie die benachbarten Talstationen, sie ist besonders gut mit der Station ARA-Mittelgürbetal vergleichbar, da sie eher auf der Gürbetalseite liegt (s. Abb. 1). Die Talströmung scheint also bis auf

Tabelle 2: Übersicht über die 12 Strömungstypen der Untersuchungsregion Aaretal und Gürbetal

Allgemeine Tendenz	Typ Nr.	Haupttypen Häufigkeit > 24 Std.	Typ Nr.	Sekundäre Typen Häufigkeit < 24 Std.	Häufigkeit (Stunden)
Bergwindströmungen	1	Bergwind in der gesamten Region			59
	2	Bergwind mit Ausnahme der Region Thun			64
			3	Bergwind mit Ausnahme der Region Bern	18
			4	Bergwind mit Ostströmung im Norden der Region	13
			5	Bergwinde mit lokal auftretenden Westwinden	11
Talwindströmungen	6	Talwind in der gesamten Region			102
	7	Talwind, mit Ausnahme des hinteren Gürbetals			48
	8	Talwind, mit Bergwind im Gürbetal			38
undeutliche Strömungen	9	Sehr lokale Berg- und Talwindtendenzen			53
Westströmungen	10	Einfluss von Westwinden			33
Ostströmungen			11	Ostströmung mit Talwindcharakter	18
	12	verschiedene Ostströmungen			31
nicht klassifizierbare Strömungsformen					25
Anzahl Stunden, für welche Strömungskarten gezeichnet sind					510
Für die Fallstudien berücksichtigte Stunden					589

mindestens 800 m ü. M. wirksam zu sein. Drei besonders interessante Strömungstypen sind im folgenden eingehender beschrieben.

*Typ Nr. 2: Vorherrschen der Bergwinde, mit Ausnahme der Region Thun (Abb. 6)*

Während in den übrigen Regionen Bergwinde auftreten, herrschen in Thun Winde vor, deren Erscheinungsform dem Talwind ähnlich ist.

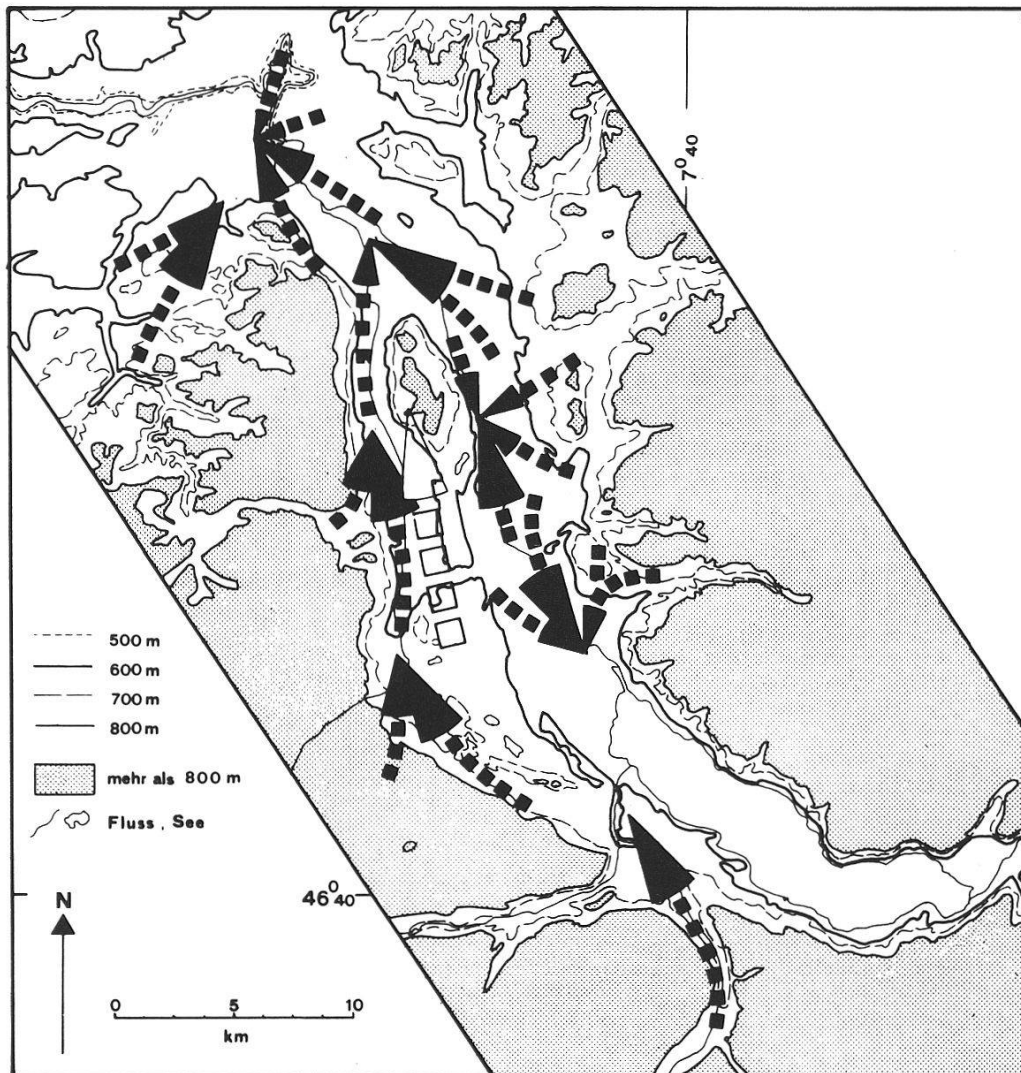
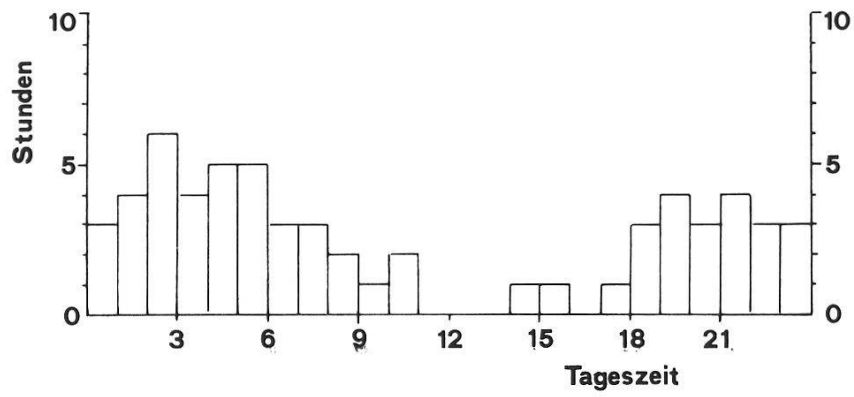
Diese Nordströmung deutet zusammen mit den Ostkomponenten in Wichtrach und Belpmoos auf einen gegen die Hauptströmung verlaufenden Bergwindeinfluss der östlich gelegenen Hügellgebiete des Buchholterberges und des westlichen Emmentals hin. Dieser Strömungstyp erscheint vor allem in der 2. Hälfte der Nacht, kann jedoch schon am Abend gut entwickelt sein.

*Typ Nr. 8: Talwind mit Bergwind im Gürbetal (Abb. 7)*

Im Aaretal bis zur Region Thun sowie in der Region Bern herrschen Talwinde vor, die bei Bern vorwiegend aus Westen stammen (normalerweise treten sonst NNE-Winde aus Richtung Zollikofen auf). Auf der Höhe von Spiez, im ganzen Gürbetal sowie am Belpberg treten Bergwinde auf. Dieses Strömungsbild scheint vorwiegend lokal thermisch bedingt zu sein. Die N bis NE exponierten Hänge des Morgenberghorns, des Niesens, der Stockhornkette und der Gantrischkette liegen besonders im Winter früh im Schatten, so dass sich Hangabwinde entwickeln, die tiefer im Gürbetal als Bergwinde auftreten. Die wenig besonnte steile Westflanke des Gürbetals spielt ebenfalls eine Rolle. Dieser Strömungstyp mit entgegengesetzten Windrichtungen in den Haupttälern tritt am frühen Morgen (06.00 bis 09.00 Uhr) und am Nachmittag (12.00 bis 16.00 Uhr) öfters auf. Er ist mit Typ Nr. 7, den Talwinden mit Ausnahme des südlichen Gürbetals verwandt (wahrscheinlich gleiche Genese).

*Typ Nr. 11: Ostströmung mit Talwindcharakter (Abb. 8)*

Dieser Strömungstyp ist öfters mit einer Ostströmung im 500 mb-Niveau verknüpft. Es herrschen überall Strömungen mit Talwindcharakter vor, jedoch ist ihre Richtung im Norden der Region eindeutig auf NNE verschoben. Die Windstärken sind ebenfalls höher als bei den üblichen Strömungstypen, und es scheint aus dieser Tatsache heraus klar, dass die Winde das hintere Gürbetal nicht nur durch die Talachse, sondern auch aus NNE über das Längenbühlplateau erreichen. Die sekundären Richtungen im Aaretal zeigen, dass echte Ostwinde aus den östlich gelegenen Tälern ebenfalls möglich sind, was man auch einigen LANDSAT-Satellitenbildern entnehmen kann. Diese Strömungsform wurde während nur 18 Stunden beobachtet, wovon zwölf auf eine Flachdrucklage mit östlicher Höhenströmung entfallen (20. Februar 1979). Die Ergebnisse vom Kapitel 4.3 werden hier also durch ein Beispiel bestätigt.



- Richtung der Winde an den Messstationen
- Richtung der Winde an der Höhenstation Hostetten/Belpberg
- Strömungslinien

Die Grösse der Richtungsdreiecke gibt die Häufigkeit der Windrichtungen approximativ an.

Abb. 6: Strömungstyp Nr. 2: Vorherrschen der Bergwinde mit Ausnahme der Region Thun



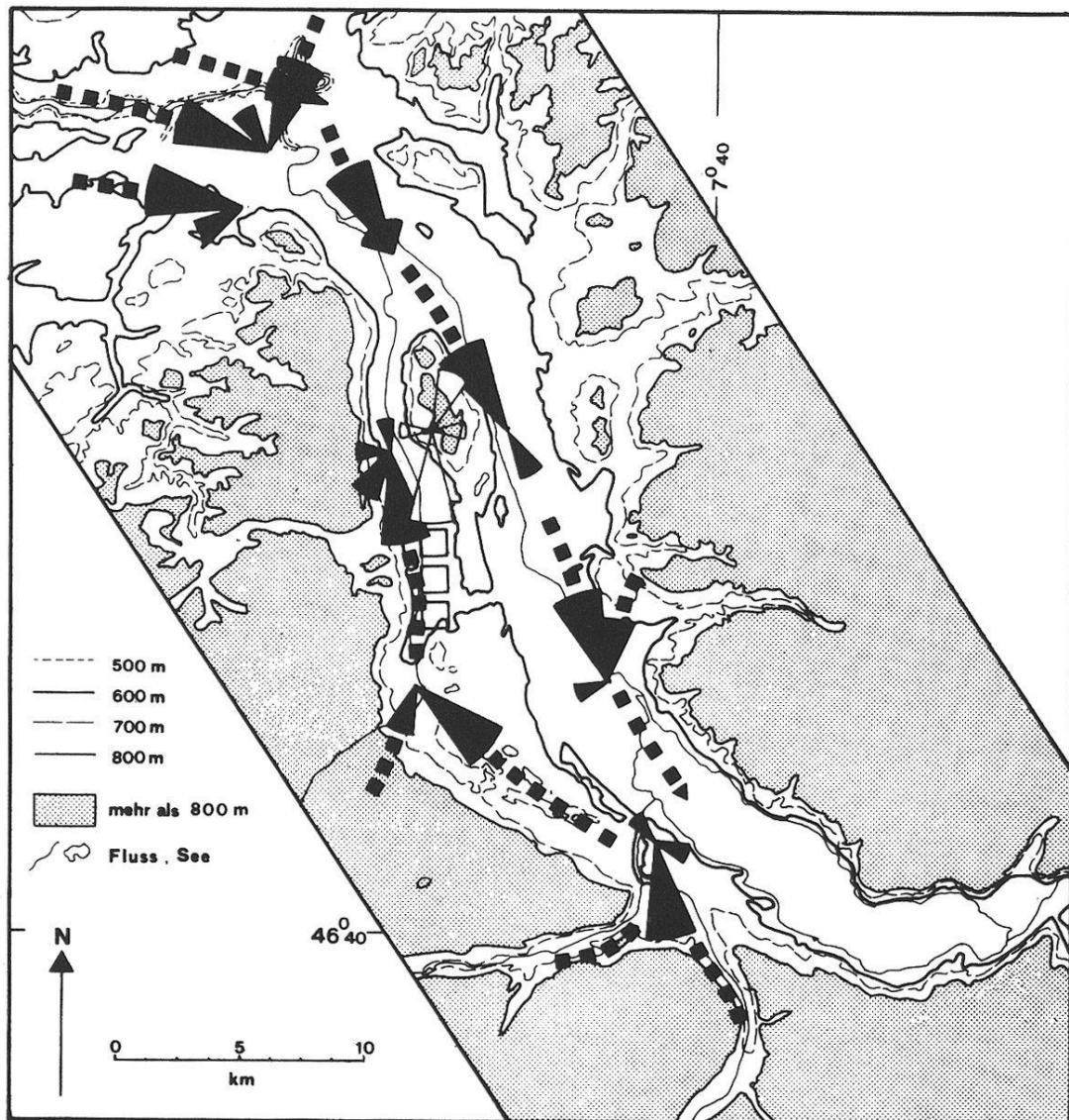
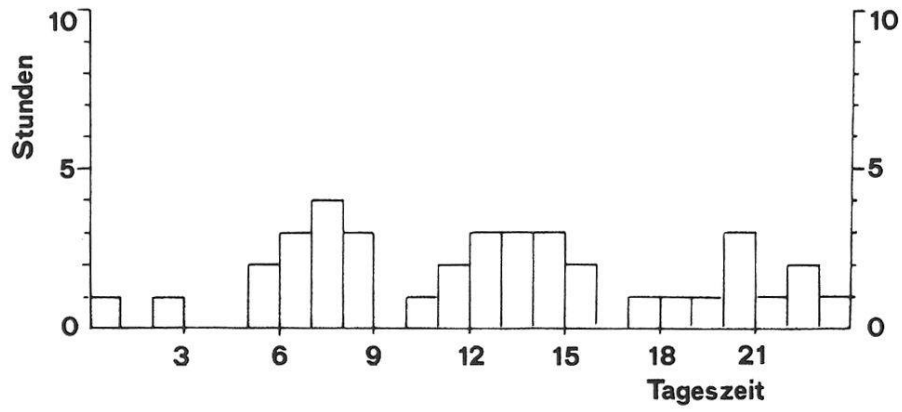


Abb. 7: Strömungstyp Nr. 8: Talwind mit Bergwind im Gürbetal  
 Legende: Siehe Abb. 6

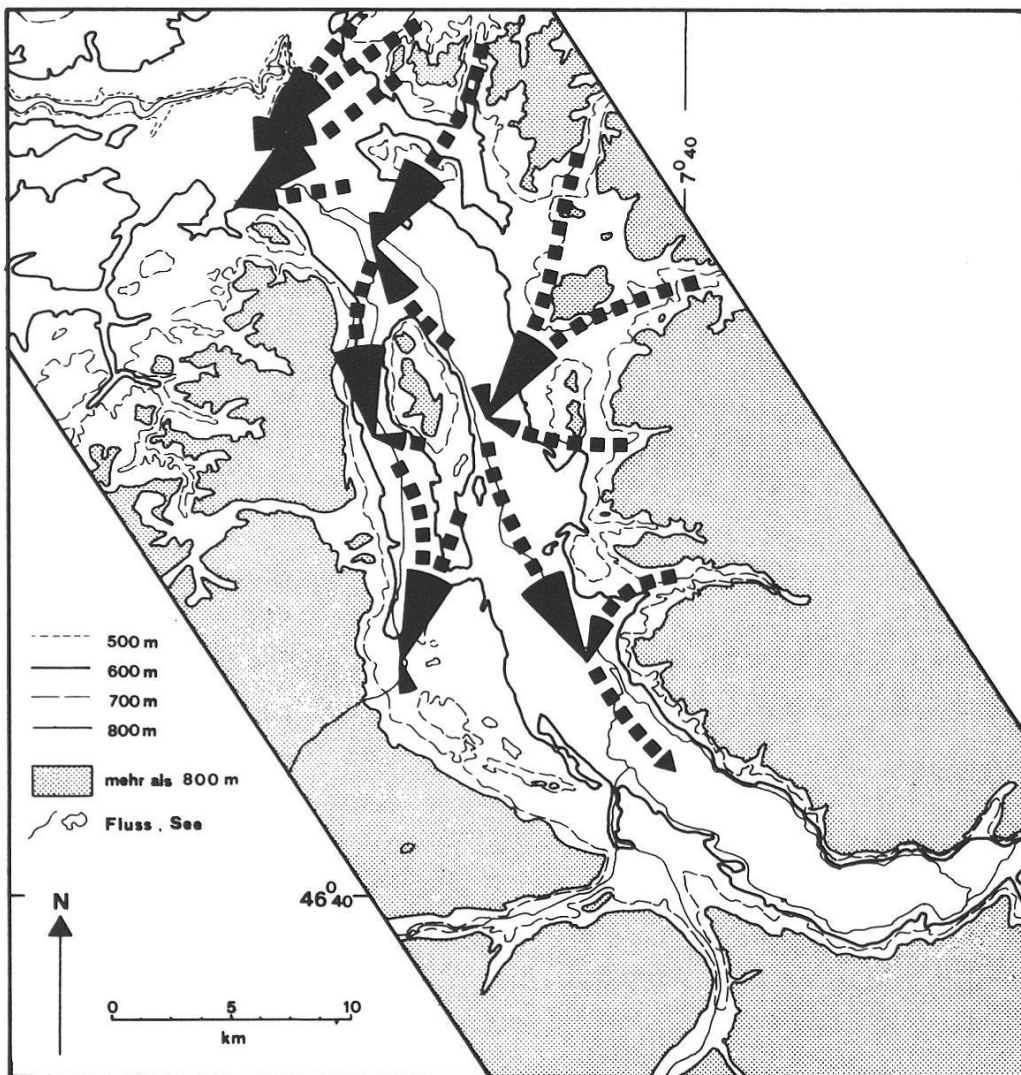
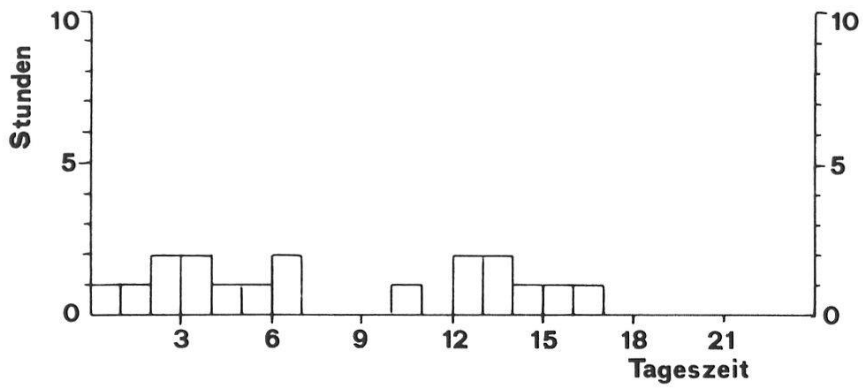


Abb. 8: Strömungstyp Nr. 11; Ostströmung mit Talwindcharakter  
 Legende: siehe Abb. 6

### 5.3 Tageszeitliche Reihenfolge der Strömungsmuster (Abb. 9)

Die absoluten Häufigkeiten der 12 Strömungstypen werden in Abbildung 9 zusammengetragen, so dass die tageszeitliche Reihenfolge ersichtlich wird. Allgemein können vier Tagesperioden erkannt werden:

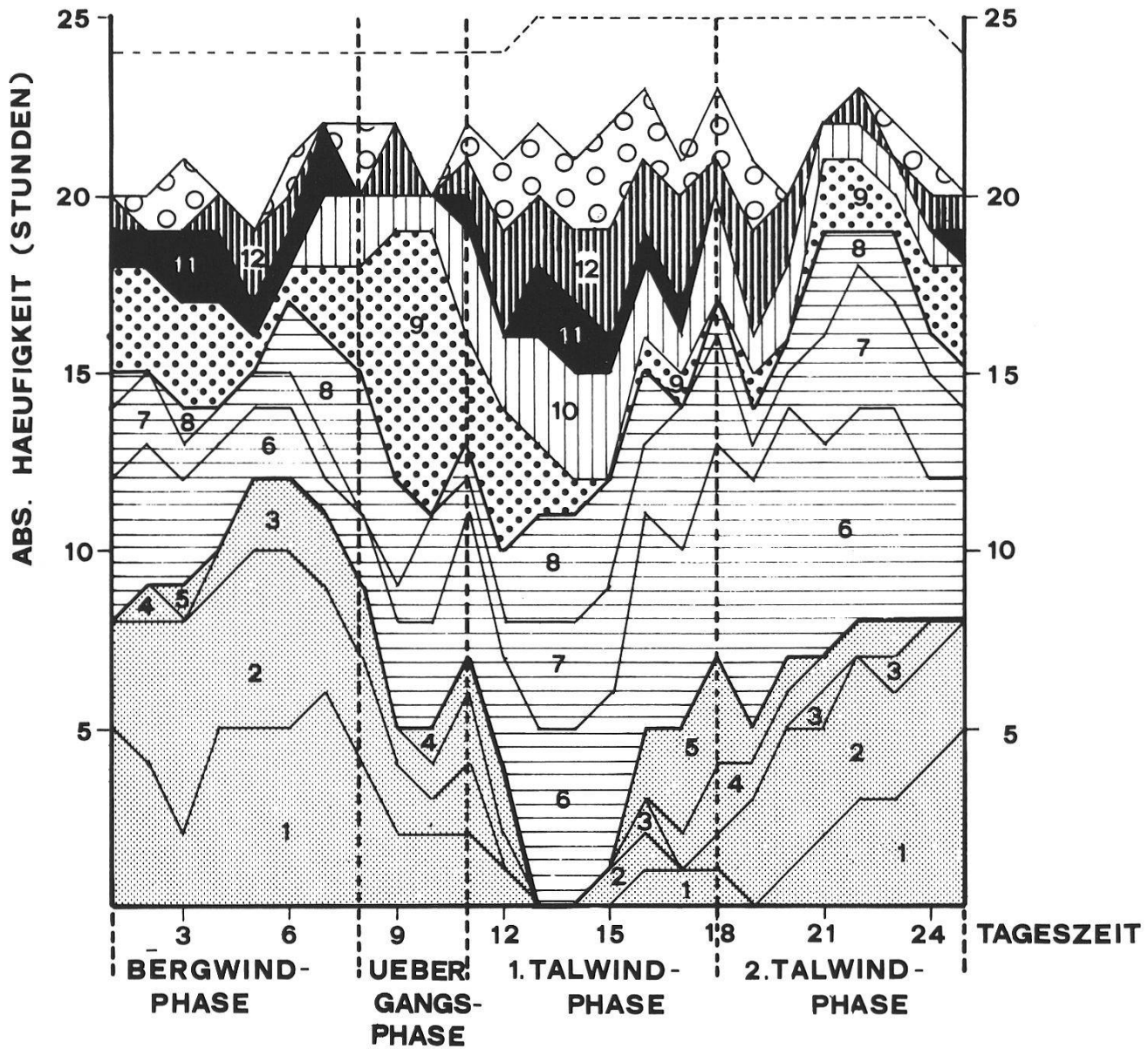
- Nach Mitternacht überwiegen die verschiedenen Bergwindformen. Talaufwärtsströmungen können ebenfalls noch auftreten, und komplexe Strömungsmuster mit sehr lokalen Berg- und Talwindkomponenten (Typ Nr. 9) sind nicht selten. Die Annahme von WANNER (1979: 162), dass der Bergwind sich erst in der zweiten Hälfte der Nacht voll entwickelt, wird hier bestätigt.
- Zwischen 08.00 und 11.00 Uhr stehen Berg- und Talwindtendenzen im Gleichgewicht. Die komplexen Strömungen des Typs Nr. 9 treten sehr häufig auf.
- Am Anfang der ersten Talwindperiode (11.00 bis 18.00 Uhr), brechen die Bergwinde rasch zusammen. Neben den Talwindformen erscheinen öfters Ost- und Westströmungen.
- Während der zweiten Talwindperiode (ab 18.00 Uhr) dominieren die Talwinde weiter, während die Bergwinde sich allmählich wieder entwickeln, jedoch zuerst nur im Gürbetal.

## 6. Synthese

### 6.1 Neue Erkenntnisse

Obschon die Windsysteme in unserem wohlgegliederten, aber relativ flacheren, Untersuchungsraum nicht so deutlich zum Vorschein kommen wie in kleineren Alpentälern (z. B. Dischmatal; URFER-HENNEBERGER 1970), lässt sich doch ein ausgeprägtes Berg- und Talwindsystem feststellen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass dies bei Hochdruck- und Flachdruckverhältnissen bemerkenswert stabil ist. Eine den ganzen Raum erfassende Modifikation tritt nämlich nur bei Flachdrucklagen mit östlicher Höhenströmung auf ( $\cdot F_e$ ), die durch andere Windrichtungen und höhere Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet sind. Die Windverhältnisse an der Station Hostetten/Belpberg zeigen zudem, dass die Talströmung auf 200 bis 300 m über der Talsohle meistens noch vorherrscht. Schliesslich ist das Gürbetal durch länger dauernde Bergwinde charakterisiert, die zum grossen Teil auf die Topographie (früher Schattenwurf und rasche Abkühlung der benachbarten Hangzonen), zurückzuführen sind.

Das allgemeine Berg- und Talwindsystem beschränkt sich nicht nur auf ein Fließen in den Haupttalachsen, sondern es wird durch verschiedene, meistens räumlich und zeitlich begrenzte Modifikationen kompliziert. Die wichtigste dieser Änderungen ist auf den Einfluss des westlichen Emmentals zurückzuführen, welches öfters Talaufwärtswinde in der Region Thun und gleichzeitig Ost- bis Südostwinde im Raum zwischen Wichtrach und Belpmoos sowie im Osten der Stadt Bern verursacht. Diese



Typ Nr.

1 - 5	
6 - 8	
9	
10	

Bergwindströmungen  
 Talwindströmungen  
 Lokale Berg- und Talwindtendenzen  
 Einfluss von Westwinden

Typ Nr.

11	
12	

Ostströmung mit Talwindcharakter  
 verschiedene Ostströmungen  
 nicht klassifizierbare Strömungsformen

Gesamtheit (Stunden) der Fallstudien

Siehe auch Tabelle 2.

Abb. 9: Tagesgang der Bodennahen Strömungstypen im Aaretal und im Gürbetal

Strömungen zeigen, dass ein Teil der frischen Luft, die Bern als Aaretalwind erreicht, nicht aus den Alpen stammt. Der Luftaustausch ist somit in diesem Fall kleinräumiger als bisher angenommen wurde, was für die Lufthygiene der Stadt Bern eher als negativ bewertet werden muss. Die lufthygienische Situation könnte sogar unmittelbar nach der morgendlichen Strassenverkehrsspitze dadurch kritisch werden, dass in diesen Morgen-Stunden oft uneinheitliche Strömungen mit sehr lokalen Berg- und Talwindkomponenten auftreten (Strömungstyp Nr. 9). Dieses Strömungsmuster zeigt aber auch, dass der Wechsel von Berg- und Talwind in etwa einem Drittel der Fälle gleichzeitig in der ganzen Region erfolgt.

## 6.2 Offene Fragen

Die vorliegende Arbeit konnte die allgemeinen Strömungsverhältnisse bei Hoch- und Flachdruckwetterlagen charakterisieren und einige lokale oder tageszeitliche Modifikationen andeuten. Die Windverhältnisse in Thun und am Fuss der Stockhornkette, sowie die Strömungen aus dem westlichen Emmental verlangen detaillierte Untersuchungen. Im weitern sollte die vorliegende Darstellung des Bodenwindfeldes durch vertikale Windprofile und Temperaturmessungen vervollständigt werden, damit wir zu genaueren Vorstellungen der dreidimensionalen Durchlüftung der Untersuchungsregion gelangen.

## 7. Literaturverzeichnis

- MÄDER, F., 1968: Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Witterungslagen. Veröffentlichung d. Schw. Met. Zentralanstalt, 42 S.
- MAURER, R., 1976: Das regionale Windgeschehen. Beitr. z. Klima der Region Bern, Nr. 2, 153 S.
- MESSERLI, P. und MAURER, R., 1973: Windverhältnisse im Raum Bern, Beiträge zum Klima des Raumes Bern, Jahrb. Geogr. Ges. Bern, Bd. 50/1970–1972: 54–59.
- SCHÜEPP, M., 1968: Kalender der Wetter- und Witterungslagen im zentralen Alpengebiet. Veröffentlichungen der Sz. Meteorol. Zentralanstalt, Heft 9, 42 S.
- URFER-HENNEBERGER, C., 1970: Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetterwindsystems in einem V-förmigen Alpental (Dischmatal bei Davos). Archiv f. Met., Geophysik u. Bioklimat., Serie B, 18: 21–42.
- WANNER, H. und KUNZ, S., 1977: Die Lokalwettertypen der Region Bern. Beitrag z. Klima der Region Bern, Nr. 10, 96 S.
- WANNER, H., 1979: Zur Bildung, Verteilung und Vorhersage winterlicher Nebel im Querschnitt Jura-Alpen, Geographica Bernensia, G7, 240 S.