©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at Tagesperiodische Hang- und Talwindsysteme in Dornbirn

von Klaus Feßler

Zum Autor

Geboren 1951, Studium der Geographie und Germanistik in Innsbruck, seit 1978 Lehrer am Bundesgymnasium Dornbirn, 1995 Dissertation über das Stadt- u. Geländeklima von Dornbirn am Geograph. Institut der Univ. Innsbruck, Verfasser mehrerer klimatologischer Aufsätze.

VORARLBERGER NATURSCHAU SEITE 265-281 Dornbirn 1997

Abstract

In the lower Rhine Valley a daily periodic wind system is produced during anticyclonic weather. Statistics show dominant North - South wind directions, corresponding to the direction of the valley. These slight wind movements are influenced and modified by slope winds and air movements from the side valleys.

These topographically induced air movements were verified and quantified in a series of data recorded along the Dornbirn River and at a separate private weather station on a mountain slope. The air quality in the nearby town of Dornbirn benefits considerably from the ventilating effects of these Alpine winds.

Kurzfassung

Im unteren Alpenrheintal bildet sich bei antizyklonalen Wetterlagen ein tagesperiodisches Berg - Tal - Windsystem aus, das sich statistisch in der Häufigkeit der Hauptwindrichtungen N und S, entsprechend der Richtung des Haupttales, niederschlägt. Diese schwache Windbewegung im Haupttal wird allerdings durch Hangwinde und Bergwinde aus den Seitentälern beeinflusst und überlagert. Diese durch das Gelände hervorgerufenen Strömungsverhältnisse und Kaltluftabflüsse können durch Meßreihen entlang der Dornbirner Ache und durch eine private Hangstation nachgewiesen und ansatzweise quantifiziert werden. Ihre lufthygienische Rolle für die Ventilation des Stadtgebietes ist dabei möglicherweise beträchtlich.



1. Einleitung

Das Rheintal gehört zu den schwachwindigen Regionen. Der 10-jährige Durchschnitt der Windgeschwindigkeit am Flugplatz Hohenems beträgt ca. 2,1 m/sec, der Durchschnitt einer 4-jährigen Registrierung (1985 - 1989) an der Abwasserreinigungsanlage ARA Dornbirn liegt bei 1,6 m/s, wobei die Tagesmittelwerte zwischen 1,1 m/s und 3,1 m/s streuen (MASCHER / WERNER, 1990 b).

Generell bewirkt die Windarmut und häufige Windstille besonders im Winterhalbjahr eine ungünstige Situation aus lufthygienischer Sicht, zumal besonders in dieser Zeit Boden- oder Hochnebeldecken durch Inversionen häufig auftreten und auch kaum vertikaler Luftaustausch stattfindet. Den größten Teil des Jahres hindurch entstehen jedoch bei ruhigen Wetterlagen typische schwache Luftbewegungen in Form von Ausgleichsströmungen, die besser unter den Begriffen "Bergwinde - Talwinde" oder "Hangauf- und -abwinde" bekannt sind. Ziel dieser Untersuchung war es, diesen Strömungen auf die Spur zu kommen, um bessere Kenntnisse über die Ausbreitungsbedingungen zu erlangen.

2. Theoretische Ansätze und Forschungsstand bei lokalen Ausgleichsströmungen

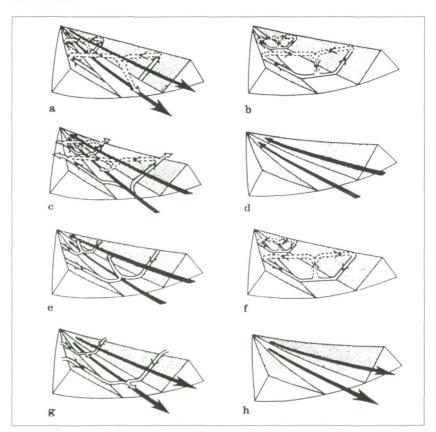
2.1 Berg- und Talwinde

Die modellhafte Entstehung von Berg- und Talwindsystemen haben bereits DEFANT (1949), FREYTAG (1992) und WAGNER (1973, 1994) ausführlich beschrieben.

Abb. 1: Schema des gekoppelten Hangund Berg-Tal-Windsystems nach LILJEQUIST und CEHAK (1984) a) Sonnenaufgang: Einsetzen der Hangaufwinde bei vorläufig noch anhaltendem und talsauswärts fließendem Bergwind b) Vormittag: Hangaufwindzirkulation. Erlöschen des Bergwindes c) Mittag: Hangaufwind und einsetzender Talwind d) später Nachmittag: Talwind, Erlöschen des Hangaufwindes e) Abend: Einsetzen des Hangabwindes bei noch anhaltendem Talwind f) Nachtbeginn: Hangabwindzirkulation bei erloschenem Talwind g) Mitternacht: Hangabwind und Bergwind h) vor Sonnenaufgang: Bergwind bei

erloschenem Hang-

abwind



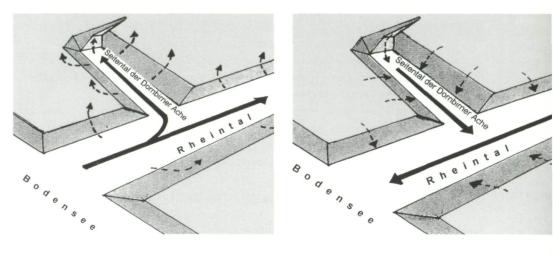
Nächtliche Abkühlung der Erdoberfläche aufgrund negativer Strahlungsbilanz bewirkt auch eine Abkühlung der darüberliegenden Luft. Die Folge ist eine hangabwärts und anschließend auch talauswärts gerichtete Fließbewegung der abgekühlten Luft ("Bergwind") bis in die Morgenstunden. Wenn sich nach Sonnenaufgang infolge der steiler einfallenden Sonnenstrahlen und des kürzeren

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Weges durch die Atmosphäre am Gebirgshang eine Temperaturerhöhung und damit ein Druckunterschied einstellt, entsteht umgekehrt eine aufwärts gerichtete Fließbewegung und damit der "Hangaufwind" bzw. in seinem Sog der "Talwind". Hangab- und Hangaufwinde stellen die Primärzirkulation dar, sekundär damit verknüpft sind die Tal- und Bergwinde.

Diesen Vorstellungen zufolge müßte sich das bodennahe Windsystem im Rheintal in vereinfachter Form etwa wie in *Abb. 2* darstellen lassen.

Abb. 2: Schematische Darstellung der Bergund Talwindsysteme im unteren Rheintal während des Tages (Talwind und Hangaufwind links) und während der Nacht (Bergwind rechts)



Nach WAGNER (1973) sind die Berg- und Talwinde allerdings mit Hangwindsystemen verknüpft und daher insgesamt von sehr kompliziertem räumlichen Aufbau.

Untersuchungen aus den letzten zwanzig Jahren über die regionalen Besonderheiten von Berg- und Talwinden im deutschsprachigen Raum hat WAGNER (1994) übersichtlich zusammengestellt. Aus den Arbeiten über die Bergwinde im Höllental, Pfinztal, Münstertal, Queichtal, Neckartal oder Beierbachtal (alle BRD) mit einer Reichweite von 1 bis 8 km kann vor allem die stärkere Ausprägung des Bergwindes gegenüber dem Talwind abgeleitet werden.

Seit Einführung elektronischer Rechenanlagen gibt es verstärkte internationale Bemühungen, um die dynamischen und thermischen Vorgänge in Gebirgstälern und im Alpenvorland experimentell und mit numerischen Modellen zu erfassen. Im alpinen Raum sind dabei vor allem die aufwendigen Projekte HAWEI (Hangwindexperiment Innsbruck im Jahre 1978), DISKUS (Dischmatal Klimauntersuchungen im Jahre 1980) und MERKUR (Mesoskaliges Experiment im Raum Kufstein - Rosenheim 1982) zu nennen. (BREHM, 1986) Diese Untersuchungen lieferten neue Erkenntnisse über den Wärmetransport im Gebirge. Die "Energiekaskade" erfolgt dabei von der kleinräumigen Skala zu der jeweils nächstgrößeren, d.h.:

- vom Hangwindsystem durch Kompensationsströmung in das Seitentalsystem (Ausgleich der Hangaufwinde durch Absinkvorgänge über dem Talboden)
- vom Seitentalsystem durch Kompensationsströmung in das Haupttalsystem (Ausgleich der Talwinde in Seitentälern durch Absinkvorgänge ins Haupttal)

• vom Haupttalsystem durch Kompensationsströmung in das alpine Vorland (Ausgleich durch großräumiges Absinken über dem Alpenvorland)

Die Auswertungen der Windregistrierungen im Rahmen des Innsbrucker Hangwindexperiments zeigen, dass die Hangwindschicht im Mittel etwa 100 m beträgt und dass mit Windgeschwindigkeiten zwischen 1 - 3 m/s gerechnet werden kann. Regelhaft und durch zahlreiche lokale Messungen belegt ist auch die Tatsache, daß der Hangaufwind mit 1 - 2 m/s schwächer entwickelt ist als der abwärts fließende Hangwind mit 2 - 3 m/s. Das Maximum der Windgeschwindigkeit lag im Falle Innsbruck bei 15 m Höhe über dem Boden. Regelhaft ist ebenso die zeitliche Versetzung des Wechsels von Hangauf- und Hangabwind mit dem lokalen Sonnenauf- und Untergang. Das Einsetzen der Aufwinde erfolgt etwa 20 min nach Sonnenaufgang, während die Hangabwinde bereits eine Stunde vor Sonnenuntergang beginnen.

Das Schema der Hangwinde in Verknüpfung mit dem Berg- und Talwindsystem dürfte jedoch für das Tal der Dornbirner Ache nur modifiziert anwendbar sein, da dieses Tal sehr eng ist und die seitlichen Flanken sehr steil und dicht bewaldet sind. Im hinteren Teil knickt dieses Tal nach Süden ab und mündet in die Rappenlochschlucht, Alplochschlucht und Schaufelschlucht des Ebnitertales. Es ist also auf der gesamten Länge des Achlaufes mit einer starken Kanalisierung zu rechnen, sodaß die seitliche Verknüpfung keinesfalls gleichmäßig und modellhaft erfolgen dürfte. Die durchgängige Bestockung mit Wald verhindert allerdings Kaltluftabflüsse nicht.

2.2 Die Rolle des Waldes

Bei Hochdruckwetterlagen kommt es mit nächtlicher Ausstrahlung und Abkühlung der Luftschicht am Hang zu Druck- bzw. Dichteunterschieden, welche zu einer abwärtsgerichteten Fließbewegung führen. Ein Wald behindert durch Reibung zwar diese Kaltluftabflüsse, unterbindet sie jedoch nicht. Die Kaltluft streicht paketweise im Kronenraum der Bäume, nicht im Stammbereich abwärts. Der Wald kann sogar als Produzent der Kaltluft angesehen werden (LIPINSKI 1995).

Auf der Talsohle treffen nun die von den beiden Talseiten abgesunkenen Kaltluftpakete aufeinander und drehen talauswärts ab, weil auch die Luft über der Talsohle kälter geworden ist als die tiefer liegende. Die Hangwinde vereinigen sich also mit dem Talauswind, dem sekundären Zirkulationssystem.

2.3 Das Einzugsgebiet: Hangabwind oder Bergwind?

KUTTLER (1985) unterscheidet je nach ihrer Größenordnung bei den Kaltluftabflüssen nach Hangab- oder Bergwinden. Bei einem Einzugsgebiet von einigen km² Fläche, einer Breite von einigen 100 Metern, einer Mächtigkeit von etwa 50 Metern und einer Windgeschwindigkeit von 2 m/s müßte man demnach von "Hangabwinden" sprechen. Nach einem Diagramm von G.WERNER (1979) läge das Einzugsgebiet eines Bergwindes bei mindestens 30 km² und die Untergrenze eines relevanten Massenstroms von Bergwinden bei 10.000 m³ / Sekunde.

H K Kaltluftpaket
R Reibungskomponente
H Fließrichtung der Kaltluft

Abb. 3: Kaltluftproduktion am bewaldeten Hang. (Aus: LIPINSKI, 1995)

Mit ca. 52 km² Einzugsgebiet bis zum Stadtgebiet liegt also das Kaltluftabfluss-System der Dornbirner Ache eindeutig in der Größenordnung des "Bergwindes". Hingegen wird man bei den Nebentälchen von Steinebach und Haselstauder Bach von "Hangabwinden" sprechen müssen.

topographische Hohlform

Diese theoretischen Erkenntnisse aus der Literatur sollen nun anhand konkreter Registrierungen und Messungen im Bereich eines Hanges und eines Seitentales in Dornbirn exemplarisch untersucht werden.

3. Hauptwindrichtungen und mittlere Windgeschwindigkeit im Raum Dornbirn

Entgegen der allgemein verbreiteten Auffassung von der Vorherrschaft der Westrichtung muß nicht nur entlang der Hauptachse des Rheintales, sondern auch im Raum Dornbirn, am Ostrand des Haupttales, von der größten Häufigkeit an Winden aus Nord und Süd ausgegangen werden. Generell geben im Alpenraum die Richtungen der Täler die Hauptwindrichtungen vor. Darauf hat schon H. v. FICKER (1909) hingewiesen.

Dies belegen auch Auswertungen vorhandener Windmessdaten im unteren Rheintal, die auf mehrjährigen Registrierungen beruhen (Siehe *Abb. 4*). Eine Serie stammt von der Autobahn A 14 im Raum "Gsieg" in Dornbirn (1985-1987), welche von MASCHER / WERNER (1990 a) ausgewertet wurde.

Einen umfangreichen Datensatz des Jahres 1994 von der Abwasserreinigungsanlage (ARA) im Foracheck in Dornbirn, einer Station der ZAMG, hat R.WERNER (1996) bearbeitet. Die Windrichtungshäufigkeiten eines Jahres wurden dort nach

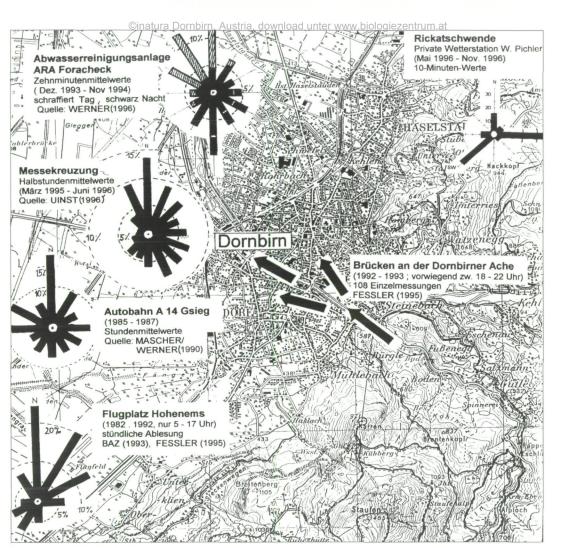


Abb. 4: Prozentuelle Häufigkeit vorherrschender Windrichtun-

gen im Raum Dornbirn

Tag (6 - 18 Uhr) und Nacht (18 bis 6 Uhr) unterschieden. Der schwarze Anteil zeigt die nächtliche Zunahme des Sektors Südost (75 Grad - 135 Grad), also den vermuteten Bergwind aus südlichen und südöstlichen Richtungen. Am Tag hingegen (schraffierte Balken) weht der Wind aus N und NW talaufwärts bzw. in Richtung der Hänge und Seitentäler.

Die dominierende N - S - Richtung belegen auch die Registrierungen in Lustenau (MASCHER/ WERNER, 1990 a)

Deutlich bestätigt auch die statistische Auswertung der 11-jährigen Windbeobachtung (1982-92) am Flugplatz Hohenems durch FESSLER (1995) die Vorherrschaft der nördlichen und nordöstlichen Richtungen (zusammen 66,3 % aller Richtungen). Da die Winde mit nördlichen Komponenten etwa 2 / 3 aller Richtungen in der Häufigkeit ausmachen und der Zeit von März bis Oktober zuzuordnen sind, gleichzeitig diese Richtungen aber nur die geringe Stärke bis 2,6 m/s erreichen, muss es sich um den Typus der Ausgleichswinde, also um das tagesperiodische Windsystem im Rheintal handeln. Gegen die Siedlungen an den Rheintalrändern hin werden die Windrichtungen allerdings uneinheitlicher, weil auch die Seitentäler und -tälchen mit ihren Systemen eine Rolle zu spielen beginnen. Das rheintalparallele tagesperiodische Windsystem wird nämlich durch lokale tagesperiodische Windsysteme in den Seitentälern und durch seitlich zufließende Hangwinde verzahnt und überlagert.

Hinweise dafür geben bereits die Windrosen der genannten Stationen. Das Vorarlberger Umweltinstitut hat von März 1995 bis Juni 1996 die Halbstundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit und der -richtung an der Dornbirner Messekreuzung aufgezeichnet (UINST.,1996). Das Ergebnis überrascht nicht: Auch hier dominieren nördliche Richtungskomponenten, doch spielen östliche Richtungen eine stärkere Rolle als bei anderen Windrosen am Stadtrand. Mit ziemlicher Sicherheit ist auch das ein Indiz für den Einfluss des nächtlichen Bergwindes aus dem Seitental der Dornbirner Ache.

4. Analyse der Hangwinde im Bereich Rickatschwende

Die elektronische Registrierung der privaten DAVIS-Anlage von Herrn Wolfgang PICHLER in der Ferienhaussiedlung Rickatschwende (850 m Seehöhe) eröffnet die Möglichkeit, einzelne Tagesgänge in Bezug auf Windrichtung und Windgeschwindigkeit darzustellen und zu interpretieren. Auch lässt sich das Zusammenspiel mit Registrierungen im Talraum (Abwasserreinigungsanlage ARA) überprüfen.

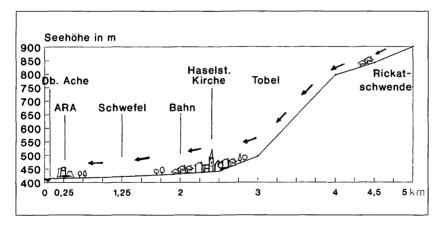


Abb. 5: Hangwind -Profil Dornbirner Ache - Rickatschwende (WNW -ESE)

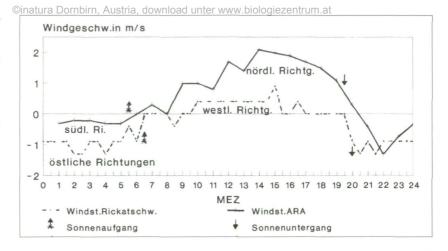
Zur detaillierten Untersuchung werden zwei typische Tage unterschiedlicher Jahreszeiten herausgegriffen und Hangstation mit Talstation verglichen:

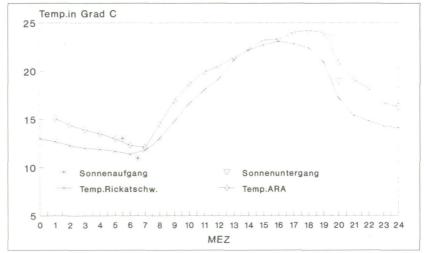
4.1 Der Tagesgang an einem Sommertag (19. August 1996)

Ausgewählt wurde dieser Tag wegen der Wetterlage, welche eine ausreichende Erwärmung der Hänge und damit die Ausbildung einer Hangwindzirkulation ermöglicht. Ein kräftiges Hoch verursacht an diesem Tag sommerlich - warmes Schönwetter mit einzelnen Quellwolken im Gebirge. Die Tagestemperaturen erreichen fast 25 °C.

Abb. 6a: Hang- und Talwinde am 19. August 1996. Private Station Pichler Rickatschwende und ARA Dornbirn -Foracheck (Station der ZAMG). Die hangaufwärts gerichteten bzw. talaufwärts gerichteten Strömungen werden in diesem Diagramm positiv, die hangabwärts bzw. talabwärts gerichteten negativ skaliert

Abb. 6b: Temperaturverlauf am 19. August 1996. Private Station Pichler Rickatschwende und ARA Dornbirn -Foracheck (Station der ZAMG





Während auf der Rickatschwende in der Nacht eindeutig östliche Richtungen den Hangabwind mit Geschwindigkeiten um ca. 0,5 m/s bestimmen, erlöschen bei Sonnenaufgang mit dem Temperaturminimum diese Strömungen. Die Tageserwärmung, die ab etwa 7.30 Uhr (12,3 °C) einsetzt, induziert vormittags ab etwa 10 Uhr (16,6 °C) den Hangaufwind aus westlichen Richtungen, kommt jedoch am Nachmittag um 16 Uhr mit dem Temperaturmaximum bereits zum Erliegen, bis dann um etwa 20 Uhr wieder der Hangabwind einsetzt.

Im Rheintal an der Kläranlage ARA weht gegen Morgen der abklingende Bergwind aus südlicher Richtung zum Bodensee hin. Bereits ab 7 Uhr beginnt die Tageserwärmung, und um etwa 9 Uhr setzt ein Wind aus NW (Talwind) vom See her ein, der nachmittags aus N kommend über 2 m/s erreicht und um 20 Uhr erlischt. Dem verspäteten Temperaturmaximum im Tal um etwa 19 Uhr entspricht auch das längere Anhalten talaufwärts gerichteter Winde. Erst ab 21 Uhr setzen dann talauswärts gerichtete Winde aus südlichen Richtungen ein. Zwar finden wir um 22 - 23 Uhr auch eine östliche Komponente vor, im Großen und Ganzen kann aber das Rheintalwindsystem als nahezu unbeeinflusst von den schwachen Hangwinden dieses Sommertages angesehen werden.

4.2 Der Tagesgang an einem Wintertag (24. November 1996)

Anders ist die Situation an einem Wintertag. Als Beispiel wird der 24. November 1996 herangezogen. Ein Italientief hat am Tag zuvor aus SW im Bergland Schneefälle gebracht. Diese lassen nun am 24. 11. nach, der Himmel klart nachmittags auf und die Sonne kommt durch.

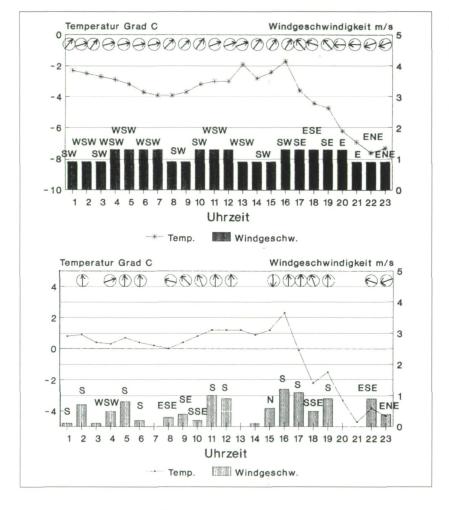


Abb. 7 : Vergleich der Tagesgänge bei Windrichtung und geschwindigkeit an den Stationen ARA/ Foracheck (oben) und Pichler/ Rickatschwende (unten)

Während vormittags im Rheintal eine schwachwindige Südströmung herrscht, weht in der Höhe ein schwacher Wind (um 1 m/s) aus westlicher Richtung zum Berghang, so, wie es die Meteorologen für diesen Tag prophezeit haben.

Nach dem Aufklaren und nur geringer Erwärmung auf etwa +2° C im Tal setzt mit dem Sonnenuntergang um ca. 16.30 Uhr ein rasches Sinken der Temperatur ein. Bereits 10 Minuten später setzt an der Rickatschwende am Berghang der Kaltluftabfluss mit östlichen Richtungen ein. 40 Minuten später lassen sich auch an der ARA die vorher fehlenden östlichen Komponenten beim Wind feststellen, ein Hinweis darauf, dass die vom Berghang abfließende Kaltluft im Tal angekommen sein könnte. Der tatsächliche Nachweis der Identität eines Luftpakets ließe sich allerdings nur mit Hilfe von Tracern führen.

Das Bindeglied zwischen Hang und Niederungszone stellen Messungen am Hangfuß dar. Leider gibt es solche nicht für den 24.11.1996. Am 7. November 1992 wurden von mir bei Hochdruckeinfluss und schwacher Schneebedeckung im Gebirge zwischen 17.10 Uhr und 18 Uhr mehrere Messungen der Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Hangfuß vorgenommen, um die dort vermuteten Kaltluftabflüsse aufzuspüren. Im Gebiet "Schmalenegg" und "Fischbach" konnten schwache Strömungen um 0,3 - 0,5 m/s aus Richtung SE (also vom Berghang her) festgestellt werden, während an der Kläranlage ARA gleichzeitig ebenfalls Windé aus dieser Richtung (SE) mit 1 m/s registriert wurden.

4.3 Diskussion der Ergebnisse:

Die statistische Auswertung von Winddaten des Sommers 1994 (WERNER,1996) besagt, daß der Sektor 90 Grad (Ost) bis 150 Grad (Südost) während der Nacht am Stadtrand von Dornbirn der Häufigkeit um bis zu 93 % ansteigt. Das bedeutet, dass sehr wohl auch im Sommer mit den nächtlichen Hangwinden und ihrer Fortsetzung quer durch die Stadt gerechnet werden kann, auch wenn dies am 19. August 1996 nicht der Fall war. Mit fortschreitender Nacht wird an der ARA der Einfluss östlicher Windrichtungen (auf Kosten der N-S-Richtungen) stärker.

Die genauere Durchsicht weiterer Tagesgänge deutet auf ein kompliziertes Zusammenspiel der Strömungen in Berg und Tal hin. Manches spricht dafür, dass die östlichen Hangwindeinflüsse vor allem dann in den Talniederungszonen feststellbar sind, wenn der Bergwind im Rheintal nicht oder nur schwach entwickelt ist.

5. Das Talwindsystem der Dornbirner Ache

5.1 "Der Achmühler"

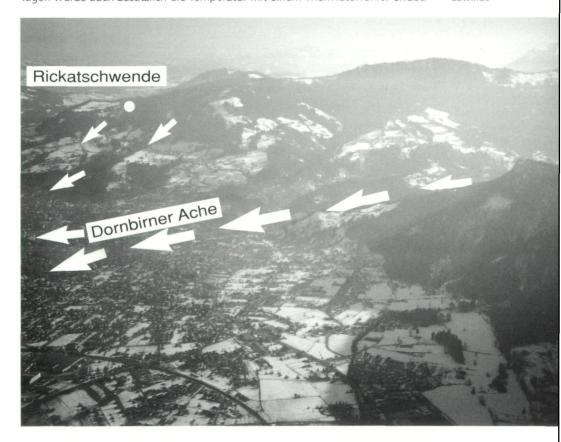
Dort, wo die Dornbirner Ache das eng eingekerbte Tal verläßt und in die Rheintalebene austritt, in unmittelbarer Nähe des städtischen Bauhofes, wird alljährlich am Sonntag nach Aschermittwoch (Februar/März) nach einem alten Volksbrauch ein 10 - 12 m hoher und aus Holzbalken aufgeschlichtetes Feuer ("Funken") abgebrannt, bei dem zahlreiche Zuschauer Zeugen eines nächtlichen Schauspieles werden, das auch mikroklimatisch interessant ist: Wird nämlich um ca. 20 Uhr das große Feuer entzündet, fährt meist ein recht heftiger und kalter Wind in die Flammen und trägt die Glutfetzen weit nach Westen dem Flußlauf der Dornbirner Ache entlang. Der Bergwind bläst im Februar bei halbwegs störungsfreiem Wetter mit großer Zuverlässigkeit, sodaß das Feuer auf der Luvseite sehr nahe an die Straße gebaut werden kann. Windrichtung und -stärke sind dort ein fix einkalkulierter Faktor. Nach der Bezeichnung des Stadtviertels nennen die Bewohner diesen abendlichen Wind seit langem den "Achmühler". Dieser nächtliche Bergwind und die tagesperiodische Zirkulation ist bei Hochdruckwetter während des gesamten Jahres an der Ache feststellbar, jedoch in unterschiedlicher Intensität und Ausprägung.

5.2 Die Beobachtungen und die Messmethodik

Ziel der einjährigen Meßreihe 1992/93 war es vor allem, die Luftbewegungen entlang des Flusses im Siedlungsraum zu erfassen und zu quantifizieren. Die Areale beidseitig des Flußlaufes der Dornbirner Ache sind teilweise stark verbaut und modifizieren daher die Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten am Boden, sodaß mit bodennahen Messungen kein zuverlässiges Bild des Windsystems zu bekommen wäre. Am Fluß selbst eignen sich aber die Brücken und Stege für regelmäßige Messungen.

Während eines Sommertags im August 1992 erfolgte eine erste Orientierung durch Beobachtung von Wollfäden, die an einer Schnur quer über den Fluß gespannt hingen. Von September 1992 bis September 1993 wurden dann monatlich ein bis zwei Meßreihen an jeweils 4 bis 5 Brücken durchgeführt. Diese Brücken liegen maximal etwa 1, 6 km auseinander. Die Windgeschwindigkeit wurde mit einem Handwindmesser der Marke "Anemo" der Fa. Deuta erfaßt. Dieses Gerät besitzt einen dreiarmigen Schalenstern und erlaubt die Ablesung in 4 Skalen nach Meter/Sekunde, nach Knoten, Beaufort und km/h. Um auch die Windrichtung erfassen zu können, befestigte ich am Handgriff an einer Schraube einen etwa 50 cm langen Mohair - Wollfaden, der bei jeder Messung abgewickelt wurde und nach Bussolen-Orientierung die Festlegung der Windrichtung ermöglichte. An jedem Punkt erfolgte eine etwa fünfminütige Messung. An manchen Tagen wurde auch zusätzlich die Temperatur mit einem Thermistorfühler erfaßt.

Abb. 8: Wirkung des Bergwindes aus dem Seitental der Dornbirner Ache. Im Hintergrund die oben beschriebene Wetterstation Rickatschwende und die angedeuteten Hangabwinde



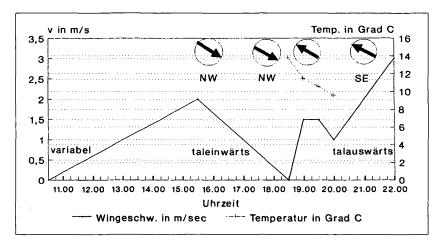
5.3 Die Ergebnisse der einjährigen Messreihe

5.3.1 Ein typischer Tagesgang im April 1993

An der Achmühler Brücke, am Talausgang der Ache, wo sie das Rheintal und das städtische Siedlungsgebiet erreicht, herrschten am Karfreitag, dem 9. 4. 1993 am späten Vormittag bei klarem sonnigem Hochdruckwetter (Zwischenhoch) nur schwache und variable Luftbewegungen (*Abb. 9*).

Erst im Laufe des Nachmittags kam ein leichter Zug taleinwärts (NW) auf und erreichte um 15 Uhr 2 m / s, um dann bis 18 Uhr wieder abzuflauen. Mit leichter Eintrübung vom Westen her, einem um eine Stunde verfrühten "Sonnenuntergang", schlägt zwischen etwa 18.30 Uhr und 19.00 Uhr bei sinkender Temperatur der Talwind in den Bergwind um. Dieser weht bereits um 19.00 Uhr mit 1,5 m/s talauswärts, verstärkt sich nachts auf etwa 3 m/s und wird dann gegen Morgen hin wieder schwächer.

Abb. 9: Tagesgang des Talwindsystems an der Dornbirner Ache (Achmühler Brücke) am 9. April 1993



Im Sommer kann der achabwärts wehende Bergwind fallweise böig werden. Besonders in der Nacht weht er oft schub- oder stoßweise. Im Winter setzt der flussabwärts gerichtete Bergwind entsprechend dem früheren Sonnenuntergang bereits um 16.30 Uhr (Winterzeit) ein, wenn die schneebedeckten Hänge der Firstgruppe in den Schatten geraten und die durch starke Ausstrahlung verursachte Kaltluft früher abzufließen beginnt.

5.3.2 Die mittleren Windgeschwindigkeiten

Der charakteristische, talauswärts ziehende, abendliche Bergwind weht mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 2,1 m/s im Jahr. Auffallend ist die Tatsache, daß die höchsten Geschwindigkeiten nicht unmittelbar am Talausgang auftreten, sondern weiter flußabwärts an der Sägerbrücke und am Nummernsteg. Dort wurden im März um etwa 19 Uhr auch schon bis zu 6 m/s gemessen. In den Monaten Juni und Juli sind Geschwindigkeiten um 4 m/s häufig feststellbar. Im Durchschnitt des ganzen Jahres jedoch läßt die Intensität des Bergwindes mit weiterer Entfernung vom Bergrand nach. Die weiter westlich liegenden Achbrücken weisen nur noch 1,4 und 1,7 m/s Windgeschwindigkeit auf.

Der talaufwärts wehende Wind im Sog der Erwärmung der Berghänge am Tage ist jedenfalls viel schwächer und beträgt durchschnittlich 0,5 - 1,3 m / s. Im Winter fehlt dieser Wind infolge fehlender oder zu schwacher Einstrahlung manchmal völlig.

Von ähnlichen Erkenntnissen berichtet LAZAR (1989) im Falle des Murtalaufwindes. Auch er weist auf die Dominanz des dortigen Talabwindes hin.

Messstelle Mittl. Windgeschw. V max Mittl. Windgeschw. des Bergwindes des Talwindes (Talaufwind) Berg-(Talabwind) in m / s wind in m / s Sommer- | Winter-Sommer- | Winter-Jahr Jahr halbjahr halbjahr halbjahr halbjahr Achmühler 2.9 2.7 2.8 4.0 1.5 1.0 1.2 Brücke Sägerbrücke 2,9 2,1 2,5 4,5 1,5 8,0 1,3 Nummern-3,5 2,3 2,9 4,0 0,6 0,7 steg Egetensteg _ _ 1,7 5,0 _ _ Schmelzhüt-1,4 3,5 terbrücke

Tab. 1: Ergebnisse der einjährigen Messreihe Mittlere und maximale Windgeschwindigkeiten von Berg- und Talwind entlang der Dornbirner Ache in m/s

5.3.3 Die Mächtigkeit des Strömungskörpers

Erste Versuche mit Helium - gefüllten Ballonen von 50 - 80 cm Durchmesser, die gewichtsmäßig auf einen Schwebezustand austariert worden waren, waren nicht sehr erfolgreich, sodass vorläufig keine treffenden Aussagen möglich sind.

Seit kurzem existiert durch die Erneuerung der Seilbahn auf den Karren eine Windmessanlage auf dem Tragseil etwa 100 m über dem Hang, also über der bodennahen Reibungsschicht. Die Daten werden zur Talstation übertragen. Eine erste Prüfung zeigt, dass auch abseits der Hänge über dem Tal abends ein Talauswind feststellbar ist. Allerdings muss die Messeinrichtung erst noch überprüft werden, bevor die Daten verwendet werden können.

Das wahre vertikale Ausmaß des Strömungskörpers kann vermutlich nur durch spezielle Messungen, etwa mit Hilfe von Fesselballonaufstiegen, nachgewiesen werden. Aufgrund von Forschungen in anderen Tälern erfassen die Talwindsysteme nicht nur die bodennahe Schicht, sondern den ganzen Talquerschnitt (WAGNER, 1973). Im Falle der Dornbirner Ache würde dies für den Bereich um das Waldbad Enz etwa eine Mächtigkeit zwischen 60 m und 150 m bedeuten.

5.3.4 Die horizontale Ausdehnung des Strömungsfeldes

Die Messungen in den Straßenzügen beidseitig des Flussufers hinter den Dämmen ergaben ein starkes Absinken der Windgeschwindigkeiten, was allerdings zum Teil durch die Verbauung und die Bremsung am Boden bedingt ist. Dies erkennt man besonders im Sommer, wenn man auf den höheren Baumwipfeln

die Bewegung und das Rauschen der Zweige feststellt, obwohl der Bodenwind kaum oder nur schwach vorhanden ist. Selbst wenn man sich aber um möglichst freie Standorte mit 5 m über Grund bemüht, stellt man fest, daß der Achwind nach etwa 250 Metern beidseitig des Flusses nicht mehr wirkt. Es zeigt sich, daß selbst bei starkem Talauswind von 5 - 6 m/s auf den Brücken am Flußbett schon nach etwa 250 Metern linksufrig und rechtsufrig Calmen anzutreffen sind. Dies deutet auf eine starke Kanalisierung im Stadtgebiet hin (vgl. *Abb. 10*).

Abb. 10 : Strömungsfeld des Bergwindes an der Dornbirner Ache Juli / August 1993 zwischen 21 und 23 Uhr bei Hochdruckwetterlage



Der Eisenbahndamm eignet sich besonders gut für Messungen, weil der Bahndamm teilweise bis zu 5 m über dem Gelände emporragt. Nach Süden hin in den Bereich Schoren - Beckenhag - Härte konnte die - wenn auch schwache - Wirkung nachgewiesen werden, etwa im Bereich der ÖBB-Bahnhaltestellen. Im Winter ist dieser "Schlauch" entlang der Ache noch schmaler und stärker an das Flußbett gebunden. Der Bahndamm mit den neuen Lärmschutzwänden bildet jedoch eine Art Staumauer gegen die abfließende Kaltluft. Möglicherweise wird sich in Strahlungsnächten davor ein Kaltluftsee aufstauen.

6. Diskussion - Praktische Schlussfolgerungen

6.1 Berücksichtigung bei Planungsprozessen

Zwar kann im Winter der kalte und böige Bergwind für Spaziergänger an der Ache manchmal eine unangenehme Beeinträchtigung hervorrufen, andererseits muss die Ventilationsschneise der Dornbirner Ache als nützlich bewertet werden und sollte deshalb als bedeutender städtischer Grünzug von allzu massiven und zu hohen Baukörpern (Querriegelwirkung) möglichst verschont werden. Durch

hohe und querstehende Baukörper wird das Strömungsfeld des Kaltluftabflusses verändert, die Windgeschwindigkeit wird herabgesetzt. Dies behindert eine nächtliche Durchlüftung. Das städtische Krankenhaus stellt den wohl größten Baukörper in dieser Schneise dar. Auch auf der Nordseite der Dornbirner Ache stehen seit Beginn der Industrialisierung Betriebsgebäude in dieser Strömungsrinne, weitere Baukörper und betriebliche Expansionen sind absehbar. Der nächtliche Talabwind durchlüftet Teile des Stadtgebietes, jedoch könnten auch Emissionen aus den Betrieben an der Ache dadurch in die Stadt transportiert werden.

Daß der Wind mit seiner Abkühlungsgröße besonders im Winter eine für Spaziergänger an der Ache aber auch unangenehme, weil kältebringende Eigenschaft, aufweist, soll nicht verschwiegen werden. Diesem Umstand ist aber durch entsprechenenden Wärmeschutz Rechnung zu tragen.

Das Talwindsystem der Dornbirner Ache mit seiner vertikalen Erstreckung im Bereich von 100 - 500 m sollte Flugbewegungen in angemessener Höhe über dem Stadtgebiet nicht beeinflussen. Eine Gefährdung des Landean- und -abfluges durch den Rettungshubschrauber auf dem Dach des Pflegeheims an der Lustenauerstraße, das sich im Bereich des Achwindsystems befindet, ist zwar bei böigen Verhältnissen nicht völlig auszuschließen, doch ist die Windgeschwindigkeit auf maximal 5 - 6 m/s beschränkt und einigermaßen berechenbar. Dem Piloten dient der dort aufgestellte Windsack als Orientierungsmittel. Schwierigkeiten bei Start und Landung hat es laut Auskunft der Piloten bisher auch nicht gegeben.

6.2 Empfehlungen für die weitere Erforschung der Windverhältnisse

Gerade der städtische Raum Dornbirn mit vielen herbstlichen bzw. winterlichen Calmen und austauscharmen Wetterlagen ist in lufthygienischer Hinsicht problematisch. Jede natürliche Art von Durchlüftung sollte möglichst erhalten bleiben. Daher wären weitere grundlegende Kenntnisse der Strömungsverhältnisse wichtig. Zwar existiert seit 1992 eine kontinuierliche Windregistrierung an der Abwasserreinigungsanlage, jedoch erfaßt diese nur einen geringen Teil des Windfeldes über der Stadt. Das Strömungsfeld des Ach-Windsystems, aber auch das anderer Bäche sollte in seiner Ausdehnung mit einer Meßkampagne erfaßt werden. Dazu wäre beispielsweise eine - zugegeben teure - nächtliche Befliegung zur Herstellung von Thermalluftbildern geeignet, wie das im Rhein-Neckar-Gebiet von FEZER / SEITZ (1977) oder in Graz (LAZAR, 1994) angewandt wurde, um Lokalwinde und Kaltluftströme zu erfassen. Eine einfachere und kostengünstigere Möglichkeit wäre die Durchführung einer Messkampagne mit Pilot- oder Fesselballonen, wie das ebenfalls mehrmals im Raum Graz erfolgt ist (LAZAR 1982).

Neuere Arbeiten wie etwa jene von VOGT (1994) im Raum Tübingen ergänzen die empirischen Messungen des lokalen Windsystems mittels Vertikalsondierungen durch Modellrechnungen, um den Einfluß von geplanten Bauvorhaben auf die Kaltluftströmung vorherzusagen.

Langfristiges Ziel müßte es jedenfalls sein, die Strömungsverhältnisse im Stadtgebiet derart zu erfassen, daß Immissionsmodelle ermöglicht werden, welche die Folgen planerischer Maßnahmen abschätzbar machen.

7. Dank

Die vorliegende Arbeit basiert zum Teil auf einem Kapitel in meiner 1995 fertiggestellten Dissertation. Mein Dank gilt Herrn Wolfgang Pichler, der eine private Wetterstation in Dornbirn-Rickatschwende betreut und mir seine Daten großzügig zur Verfügung gestellt hat. Ganz besonderen Dank schulde ich aber vor allem Dr. Richard Werner, dem Meteorologen des Vorarlberger Umweltinstituts, der mir seit Jahren mit Rat und Tat zur Seite steht und bei der Beschaffung und Bearbeitung von Daten behilflich ist.

8. Literaturangaben

BREHM,M.(1986): Experimentelle und numerische Untersuchungen der Hangwindschicht und ihre Rolle bei der Erwärmung von Tälern. Münchener Univ.-Schr., Wiss. Mittlg. .54: 150 S.

DEFANT,F. (1949): Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. Arch.Meteor.Geophys.Bioklim.1949: 421 - 450

FESSLER,K. (1995): Untersuchungen zum Stadt- und Geländeklima von Dornbirn / Vorarlberg. Diss. Geogr.Inst. Univ. Innsbruck, 278 S.

FEZER,F. / SEITZ,R.(Hsg.) (1977): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. Heidelberger Geogr. Arb., H.47, Heidelberg, 243 S.

FICKER, H. v. (1909): Klimatographie von Tirol und Vorarlberg. Dir. d. k.k. ZA. f. Meteor. u. Geodyn., Wien 1909

FREYTAG,C. (1986): Atmosphärische Grenzschicht in großen Tälern bei Berg- u. Talwind. , zit.n. BREHM, M.(1986), S. 143

KUTTLER,W. (1985): Neuere Arbeiten zur angewandten Klimageographie in der BRD. In: Ber. z. dt. Landeskunde, 59, H.1: 59 - 84

LILJEQUIST, G.H. / CEHAK, K. (1984): Allg. Meteorologie, Braunschweig 1984, zit. nach SCHÖNWIESE, C.D. (1994): Klimatologie. UTB 1793, Stuttgart, 436 S.

LAZAR,R. / BUCHROITHNER,M. / KAUFMANN,V. (1994): Stadtklimaanalyse Graz. Magistrat Graz, Stadtplanungsamt, 163 S.

LAZAR,R. (1982): Stadtklimatische Besonderheiten von Graz. Tagungsband "10 Jahre Grazer Luft beobachtet". Magistrat Graz, 35 S.

LIPINSKI, K.(1995): Wind will wehen. Geländeklimatologische Phänomene. In: Praxis Geographie 2/ 1995, S. 39

MASCHER / WERNER,R. (1990 a): Messergebnisse über Windrichtungen in Vorarlberg 1985 bis 1989. Rohbericht Sept. 1990, Umweltschutzanstalt/ Bereich Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, 37 S.

MASCHER / WERNER,R. (1990 b): Windgeschwindigkeit im Rheintal und im Walgau in den Jahren 1985 - 1989. Rohbericht der Vorarlberger Umweltschutzanstalt/ Bereich Umweltinstitut, 28 S.

UINST. (1996): UMWELTINSTITUT d. LANDES VORARLBERG: Halbstundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit und Windrichtung von der Messekreuzung Dornbirn (14.3.95 - 25.6.96), bearbeitet von R. WERNER

VOGT, J. (1994): Lokale Windsysteme in der angewandten Klimatologie. Fallbeispiele aus dem Raum Tübingen. In: Geogr. Rdsch.46, H.6, S. 335 - 343

WAGNER,A. (1973): zit. n. MÖLLER,F.(1973):Einführung in die Meteorologie. Bd. 1, Physik der Atmosphäre, B.I. Hochschultaschenbücher, 276, Mannheim, S. 113 WAGNER, P. (1994): Das Bergwindsystem des Kinzigtales (Nordschwarzwald) und seine Darstellung im mesoskaligen Strömungsmodell MEMO. Freiburger Geogr. Hefte, 45: 3 - 10

WERNER,G.(1979): Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. In: Landschaft und Stadt, 11, H.1: 17-25

WERNER,R. (1996): Die nächtlichen Windrichtungshäufigkeiten im Jahr 1994 in Dornbirn (ARA). Kurzbericht 06/96, Abt. Luft, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg

Anschrift des Autors: Dr. Klaus Feßler Schmelzhütterstr. 21 A-6850 Dornbirn

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Vorarlberger Naturschau - Forschen und Entdecken

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Feßler Klaus

Artikel/Article: <u>Tagesperiodische Hang- und Talwindsysteme in Dornbirn.</u>

<u>265-281</u>