

# Ausgewählte Aspekte des Stadt- und Geländeklimas von Feldkirch (Vorarlberg)

von Peter Drexel

**VORARLBERGER  
NATURSCHAU  
7  
SEITE 67–108  
Dornbirn 1999**

## Zum Autor

Geboren 1971, Geographiestudium an der Universität Graz. Mitarbeit bei mehreren Projekten in den Bereichen Hydrologie und GIS an der Universität Graz. 1997–98 Diplomarbeit zum Stadt- und Geländeklima in Feldkirch.

## Inhalt

<i>Kurzfassung</i>	68
<i>1. Thematische und regionale Abgrenzung</i>	68
1.1. Problemstellung	68
1.2. Grundlegende Definitionen	69
1.3. Das Untersuchungsgebiet	70
1.4. Verwendete Methoden	71
1.5. Das Meßstellennetz	71
<i>2. Ausgewählte Aspekte des Stadtklimas von Feldkirch</i>	71
2.1. Die Städtische Wärmeinsel	73
2.1.1. Stärke der Überwärmung	73
2.1.2. Entstehung einer Städtischen Wärmeinsel	74
2.1.3. Die flächenhafte Erfassung der Lufttemperatur	75
2.1.4. Die Städtische Wärmeinsel bei gradientschwachen Strahlungswetterlagen	77
2.1.5. Die Städtische Wärmeinsel bei Vorderseitenlagen	80
2.1.6. Die Städtische Wärmeinsel bei Rückseitenlagen	82
2.1.7. Die mittlere nächtliche Temperaturverteilung	84
2.2. Der Einfluß der Horizontüberhöhung auf die theoretisch mögliche Sonnenscheindauer im Untersuchungsgebiet	87
2.2.1. Die Morgensituation	87
2.2.2. Die Mittagssituation	88
2.2.3. Die Abendsituation	90
2.2.4. Flächen mit ganztägiger Beschattung am 21. Dezember	92
<i>3. Aspekte der Klimaeignung des Untersuchungsgebiets</i>	93
3.1. Aktuelle Nutzung	94
3.2. Die Klimatope und deren Nutzungspotentiale im Einzelnen	94
3.3. Konfliktpotentiale	105
<i>4. Abbildungsverzeichnis</i>	105
<i>5. Tabellenverzeichnis</i>	106
<i>6. Abkürzungsverzeichnis</i>	106
<i>7. Literaturverzeichnis</i>	107



## **Kurzfassung**

Das Untersuchungsgebiet liegt in 450 m bis 800 m Seehöhe an der Einmündung des Walgautal in das Vorarlberger Rheintal. Es umfaßt den städtischen Siedlungsraum von Feldkirch (1997: 29.170 Einwohner) und die angrenzenden Hügellagen.

Die morphologischen Besonderheiten und die Art der städtischen Verbauung verursachen im Untersuchungsgebiet interessante Modifizierungen des Regionalclimas, besonders hinsichtlich der Lufttemperatur, was dem Autor Anlaß zu dieser Untersuchung war.

Anhand von mehreren, in den Jahren 1997 und 1998 durchgeführten Meßfahrten werden in dieser Arbeit die Struktur und die Stärke der städtischen Wärmeinsel im Winterhalbjahr für den Siedlungsraum Feldkirch ermittelt. Die erhobenen Daten werden mit Hilfe eines Digitalen Geländemodells (DTM) bewertet und anschließend auf das gesamte Untersuchungsgebiet umgelegt.

Die im Untersuchungsgebiet aufgrund der zahlreichen nahen Geländeerhebungen besonders im Winterhalbjahr lokal sehr stark variablen Besonnungsverhältnisse werden mit Hilfe eines Digitalen Geländemodells für die vier Haupttermine 21. März, 21. Juni, 23. September und 21. Dezember nachmodelliert und mit den realen Situationen verglichen.

In einem abschließenden Hauptkapitel, das der Beurteilung der klimatischen Nutzungspotentiale des Untersuchungsgebietes gewidmet ist, wird der gesamte untersuchte Raum nach den drei Hauptnutzungstypen Wohnen, Industrie/Gewerbe und Erholung/Landwirtschaft beurteilt.

Nach einer kurzen Erläuterung der tatsächlichen aktuellen Nutzung erfolgt eine Gliederung des Untersuchungsgebietes in 18 Klimatope, deren besondere klimatologische Eigenschaften einzeln dargestellt werden. Als Kriterien für die Klimatopunterscheidung dienen dabei die nächtliche Lufttemperatur, die nächtliche Durchlüftungssituation und die Besonnungssituation. Die besprochenen Klimatope werden zusammenfassend in einer Karte dargestellt.

## **1. Thematische und regionale Abgrenzung**

### **1.1. Problemstellung**

Der einzelne Mensch für sich vermag das Klima nur unwesentlich zu verändern. Vielmehr ist er den Einflüssen der Witterung und des Wetters ausgeliefert, sie zwingen ihm Art und Intensität der Nutzung seines Lebensraums auf.

Versammeln sich die Menschen hingegen in hoher Dichte, so werden sie zu einem mitbestimmenden Faktor für das Klima. Sie nehmen durch ihre bloße Existenz oder durch ihr Handeln direkten und indirekten Einfluß auf die einzelnen Klimatelemente, beeinflussen Gleichgewichte und verschieben Nutzungsgrenzen.

Entgegen der allgemeinen Meinung, daß Klimaveränderungen (welcher Art auch immer) prinzipiell negativ seien (Stichwort global warming – global warning), kann festgestellt werden, daß der anthropogene Einfluß auf das Klima im Stadtbereich neben den bekannten negativen Auswirkungen wie etwa ver-

minderte Luftgüte, Dunst, Abgase etc. auch positive Effekte wie geringerer Heizenergiebedarf oder verringerte Frostgefährdung hat (siehe dazu auch *Tabelle 1*).

In der vorliegenden Arbeit werden einige anwendungsorientierte Aspekte des Stadt- und Geländeklimas des Raumes Feldkirch in Vorarlberg aufgearbeitet. Sie richtet sich besonders an Stadt- und Raumplaner, die in ihrer täglichen Arbeit mit klimatologischen Fragestellungen zu tun haben, aber auch an die Einwohner von Feldkirch, die an einer Positionierung ihres eigenen Hausstandortes im Klimakomplex Stadt interessiert sind.

## 1.2. Grundlegende Definitionen

Am Beginn dieses Abschnitts soll zunächst der Begriff des „Klimas“ kurz erläutert werden.

Bei Hippokrates (460–375 v. Chr.) steht das Wort Klima für die Zusammenfassung jener Erscheinungen, welche auf die Neigung (den Einfallswinkel) der Sonnenstrahlen (auf die Erdoberfläche) zurückzuführen sind (HEYER 1993).

Bereits 1883 verwendet Julius von Hann eine doppelte Definition für den Begriff des Klimas: *„Unter Klima verstehen wir die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, welche den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erdoberfläche charakterisieren. Das Klima ist aber auch die Gesamtheit der Witterungen eines längeren oder kürzeren Zeitabschnittes, wie sie durchschnittlich zu dieser Zeit des Jahres einzutreten pflegen.“* (nach FLIRI, SCHÜEPP 1984).

W. Köppen definiert 1923 das Klima als *„...den mittleren Zustand und gewöhnlichen Verlauf der Witterung an einem gegebenen Orte. Die Witterung ändert sich, das Klima bleibt.“* (nach HEYER 1993).

V. Conrad erweitert 1936 die Definition von W. Köppen um den Zeitfaktor und erstellt eine bis heute gültige Klimadefinition: *„Unter Klima verstehen wir den mittleren Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Erdort, bezogen auf eine bestimmte Zeitepoche, mit Rücksicht auf die mittleren und extremen Veränderungen, denen die zeitlich und örtlich definierten atmosphärischen Zustände unterworfen sind.“* (nach HEYER 1993).

Der in der Definition von V. Conrad auftauchende Begriff der „Witterung“ beschreibt den mittleren oder vorherrschenden allgemeinen Charakter des Wetterablaufs in einem bestimmten Zeitraum. Der „Wetterablauf“ ist dabei der zeitliche Verlauf des „Wetters“, welches wiederum den augenblicklichen Zustand der Atmosphäre, ausgedrückt in den meteorologischen Elementen, beschreibt (HEYER 1993).

Die Definition der klimatischen Begriffe „Stadtklima“ und „Geländeklima“ erfolgt in der Literatur ebenfalls sehr uneinheitlich (LANDSBERG 1981, KRATZER 1956, LAZAR 1991 u.a.). Gemeinsam ist den verschiedenen Begriffsbestimmungen jedoch eine einheitliche Größenangabe. Als horizontale Erstreckung werden Werte von maximal einigen Zehnerkilometern angegeben, für die vertikale Ausdehnung finden sich Werte bis zu einigen 100 Metern.

Die angegebenen Größenordnungen stufen beide Klimare in den mesoklimatischen Maßstab mit ihren in sich geschlossenen, sich von ihrer Umgebung deutlich unterscheidenden Räumen ein.

Die WMO (World Meteorological Organization, in LANDSBERG 1981) definiert das Stadtklima als das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima.

Das Geländeklima hingegen befaßt sich (im Gegensatz zum Stadtklima) mit dem Einfluß der natürlichen Oberflächenformen (Täler, Mulden, Hügel, Gipfel etc.) auf das Klima (HEYER 1993).

### 1.3. Das Untersuchungsgebiet

Diese Arbeit beschäftigt sich mit Aspekten des Klimas der Stadt Feldkirch im Vorarlberger Rheintal. Das Untersuchungsgebiet ist Siedlungsraum für 29.170 Menschen (Stadt Feldkirch 1997), die zum größten Teil am Talboden und in einigen Bergweilern an den Hangzonen leben.

In *Abb. 1* ist das 12 x 10 km große Arbeitsgebiet für die geländeklimatischen Untersuchungen (BMN-Koordinaten  $x_{min}/y_{min} = 88.000/228.000$  und  $x_{max}/y_{max} = 100.000/238.000$ ) dargestellt.

**Abb. 1:** Das Untersuchungsgebiet Feldkirch (ÖK 1:50.000 Blätter 110, 111, 140, 141)



#### 1.4. Verwendete Methoden

Zur flächenhaften Erfassung der klimatischen Situation des Untersuchungsgebietes kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Als Grundlage der Untersuchungen und zur Ermittlung der mittleren klimatischen Situation wurden zunächst bestehende Datenreihen vorhandener Meßstationen ausgewertet. Zur Verdichtung der Information wurden dann zwei zusätzliche Thermohydrographen am Ardetzenberg und in Feldkirch-Levis errichtet und für den Untersuchungszeitraum betrieben.

Da jedoch auch ein erweitertes meteorologisches Meßstellennetz (vgl. *Kapitel 1.5.*) nicht dicht genug ist, um die Besonderheiten des Klimas in städtischen Siedlungsräumen zu dokumentieren, kamen zusätzlich flächendeckende Meßmethoden, wie etwa Temperaturprofile, Temperaturmeßfahrten (vgl. *Kapitel 2.1.3.*) und Witterungsbeobachtungen zum Einsatz.

Parallel zu den beschriebenen Messungen wurde auf Basis der topographischen Karten des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen ein digitales Geländemodell erstellt und in die Untersuchungen mit einbezogen.

#### 1.5. Das Meßstellennetz

Die Aussagen dieser Arbeit stützen sich im Untersuchungsgebiet auf Daten der Meßstationen Feldkirch-Landeskatastrophenzentrum (FkLKZ, 440 m Sh., Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), Feldkirch-Levis (FkL, 450 m Sh.) und Feldkirch-Ardetzenberg (FkA, 570 m Sh., siehe auch *Abb. 4*). Die Station der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien) ist als automatische Wetterstation ausgeführt, die beiden anderen, vom Autor selbst errichteten Wetterhütten sind mit Thermohydrographen und Extremwertthermometern ausgestattet.

Ebenfalls in dieser Arbeit verwendet werden Daten der Station Feldkirch-Gisingen der ZAMG.

## 2. Ausgewählte Aspekte des Stadtklimas von Feldkirch

Wie bereits im *Kapitel 1.1.* festgestellt, unterscheidet sich das Klima einer Stadt (unter „Stadt“ ist in diesem Zusammenhang nicht eine politische Verwaltungseinheit, sondern ein Siedlungsraum mit einer gewissen geographischen Ausdehnung zu verstehen) mehr oder weniger von jenem des unbeeinflussten Umlandes. Der Erforschung dieser Unterschiede widmet sich die Stadtklimatologie, die in ihren Ansätzen Methoden der Makro- und der Mikroklimatologie vereint.

In der Literatur finden sich zahlreiche Arbeiten, die sich mit dem Klima des städtischen Raums beschäftigen. Neben der grundlegenden Arbeit von LANDSBERG (1981) „The urban climate“ sind für Deutschland besonders die Analysen von NÜBLER (1979) über Freiburg i. Breisgau und JACOBEIT (1986) über Augsburg zu erwähnen.

Für Österreich ist zunächst die sehr umfangreiche Arbeit von AUER, BÖHM & MOHNL aus dem Jahr 1989 über die Stadt Wien zu nennen. Obwohl sich die Autoren in ihrer Arbeit praktisch ausschließlich auf Daten der Klimastationen des

Großraums Wien stützen, d.h. eigentlich im makroklimatischen Maßstab arbeiten, stellt diese Arbeit die wohl umfassendste anwendungsorientierte Klimatographie einer Stadt im deutschsprachigen Raum dar.

In der Arbeit von LAZAR (1991) über das Stadtklima von Graz kommen im Gegensatz zur Klimaanalyse von Wien auch klassische Methoden der Stadtklimatologie, wie etwa Thermalscannerbefliegungen oder Temperaturmeßfahrten zur Anwendung. Weiters finden in der Arbeit von LAZAR auch Aspekte der Luftgüte und der Schadstoffverfrachtung breiten Raum.

In Vorarlberg ist besonders die Arbeit von FESSLER (1995) über Dornbirn zu nennen. Es handelt sich dabei um eine klassische stadtklimatologische Arbeit mit den Schwerpunkten Städtische Wärmeinsel und Niederschlagsverteilung am Ostrand des Rheintals. Darüber hinaus finden auch Aspekte der Luftgüte und, besonders interessant, der Besonnung Berücksichtigung.

In *Tabelle 1* sind die wichtigsten Stadtklimaeffekte zusammengefaßt. Angaben über die Stärke der Veränderungen bei den einzelnen Klimaelementen variieren in der Literatur (SCHÖNWIESE 1994, FESSLER 1995 etc.) sehr stark, die gegebenen Zahlen können daher nur als Richtwerte verstanden werden.

**Tabelle 1: Einige wichtige Stadtklimaeffekte (nach SCHÖNWIESE 1994, FESSLER 1995)**

		Relativ zum Umland
<b>Strahlung:</b>		
Sonnenstrahlung	weniger	-15 % bis -20 %
UV-Strahlung (Winter)	deutlich weniger	-30 %
UV-Strahlung (Sommer)	weniger	-5 %
Sonnenscheindauer	weniger	-5 % bis -15 %
<b>Lufttemperatur:</b>		
Jahresmittel	höher	+0,5 K bis +1,5 K
an Strahlungstagen	deutlich höher	+2.0 K bis +6.0 K
Minimum-Temperaturen	deutlich höher	+1.0 K bis +2,0 K
<b>Luftfeuchte:</b>		
Relativ	geringer	-2 % bis -10 %
Absolut	geringer – gleich	
<b>Nebel:</b>		
	weniger – mehr	
<b>Wolken-Bedeckung:</b>		
	mehr	
<b>Niederschlag:</b>		
Jahresniederschlag	weniger – mehr	-5 % bis +10 %
Schneedeckendauer	kürzer	-5 %
<b>Wind:</b>		
mittlere Windgeschwindigkeit	geringer	-20 % bis -30 %
Windstillen	häufiger	+5 % bis +20 %
Böigkeit	stärker	
<b>Luftbelastung:</b>		
Gasförmige Verunreinigungen	deutlich mehr	5 bis 20-fach
Kondensationskerne	deutlich mehr	10-fach
Pollen	weniger	

## 2.1. Die Städtische Wärmeinsel

Die örtliche Veränderung der Lufttemperatur, d.h. die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel, ist das dominierende Element der Stadtklimatologie. Die Modifikation der Temperatur wird daher häufig zur räumlichen Abgrenzung des Stadtklimaeffektes verwendet, obwohl sie eigentlich, genauso wie die Veränderungen bei anderen Klimatelementen, nur eine Auswirkung des örtlich veränderten Strahlungshaushaltes in einer Stadt ist.

Nach LANDSBERG (1981) versteht man unter „Wärmeinsel“ im regional- oder lokalklimatologischen Maßstab ein Gebiet mit erhöhten Temperaturen im Vergleich zur Umgebung. Die Stärke dieser „Überwärmung“ ist abhängig von der Art, Größe und Lage der Siedlung.

Ein komplexer Siedlungsraum, wie ihn etwa auch das Untersuchungsgebiet Feldkirch darstellt, entwickelt in der Regel mehrere Wärmekerne, was zur Entstehung eines regelrechten „Wärmeinselarchipels“ führt. Die in diese Wärmeinsellandschaft eingelagerten Kältezonen werden dann als „Kälteinseln“ (frost pockets, Frostlöcher, nach VDI 1988) bezeichnet.

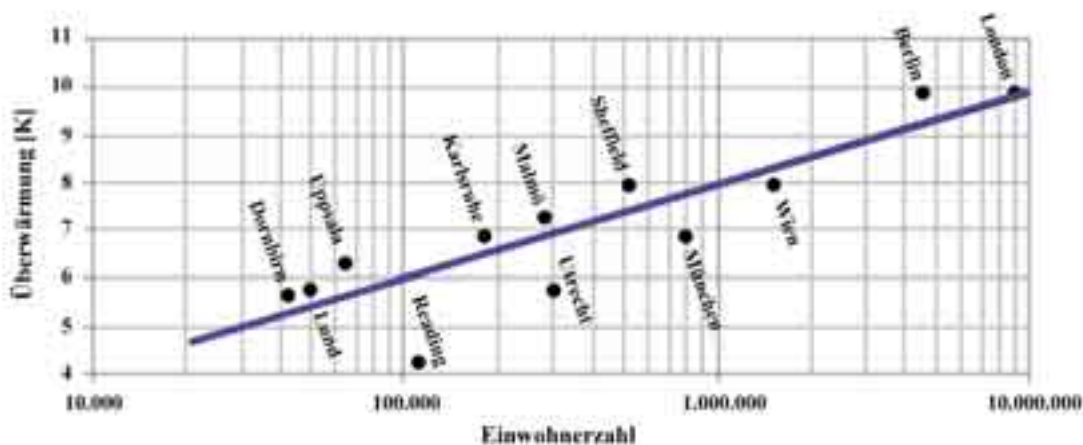
### 2.1.1. Stärke der Überwärmung

Die Überwärmung des städtischen Raumes ist ein ganzjähriges Phänomen, ihre Stärke ist jedoch abhängig von der Siedlungsgröße, der Topographie, der Wetterlage, der Tages- und der Jahreszeit. Sie ist besonders groß in gradientschwachen Strahlungsnächten im Winter und klein an bewölkten, windigen Tagen.

Im Jahresmittel werden Werte von etwa +0,5 bis +1,5 K (SCHÖNWIESE 1994) erreicht, was in 40–50° N einer Breitenverschiebung von 35' bis 1°35' (65 bis 190 km) nach Süden entspricht.

Häufiger als die Jahresmittel der Überwärmung werden in der Literatur Extremwerte bei gradientschwachen Strahlungswetterlagen in der Nacht angegeben, wie sie in *Abb. 2* dargestellt sind. Diese liegen bei Städten bis 100.000 Einwohner bei etwa 4 bis 7 K, von 100.000 bis 1.000.000 Einwohner bei 5 bis 8 K und über 1.000.000 Einwohner bei 7 bis über 10 K.

**Abb. 2: Maximale nächtliche Überwärmung einiger Städte (SCHÖNWIESE 1994, FESSLER 1995, ergänzt)**

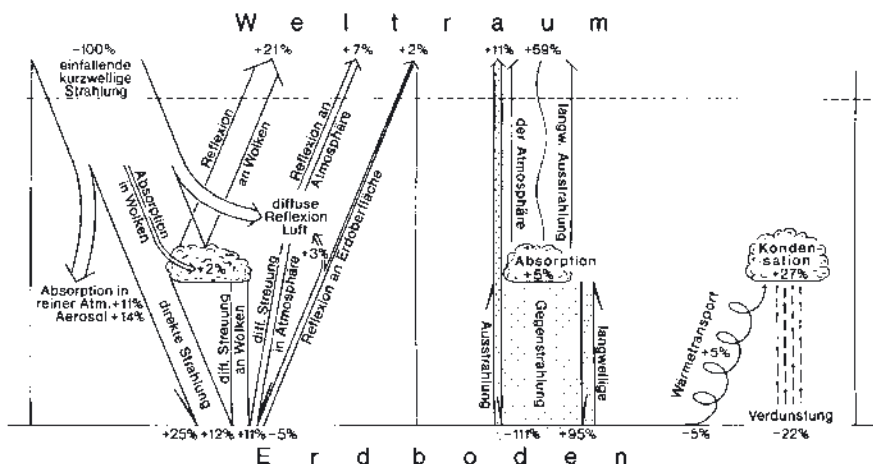


### 2.1.2. Entstehung einer städtischen Wärmeinsel

Wichtigste Voraussetzung für die Entstehung einer Wärmeinsel ist ein örtlich veränderter Energieumsatz an der Erdoberfläche. Dieser Energieumsatz (Abb. 3) wird in der Strahlungsbilanzgleichung zusammengefaßt, deren Parameter anthropogen veränderbar sind.

So führt die größere Anzahl an Kondensationskernen in der städtischen Luft zur Entstehung einer Dunstglocke, welche eine Erhöhung der Gegenstrahlung **G** bewirkt. Gleichzeitig erhöht sich zwar auch die Ausstrahlung **A**, da durch die erhöhte Gegenstrahlung **G** die Oberflächentemperaturen steigen, trotzdem ergibt die Summe dieser beiden Parameter eine verringerte effektive Ausstrahlung **Ae**.

Abb. 3: Strahlungsbilanz Erde und Atmosphäre (WEISCHET 1991)



Strahlungsbilanzgleichung für die Erdoberfläche:  $S = I + D - R_k - A + G - R_l$

kurzwellig:

I: direkte Himmelsstrahlung

D: diffuse Himmelsstrahlung

R<sub>k</sub>: Reflexion der kurzwelligen Strahlung an der Erdoberfläche

langwellig:

A: Ausstrahlung von der Erdoberfläche

G: Gegenstrahlung

R<sub>l</sub>: Reflexion der langwelligen Strahlung an der Erdoberfläche

Effektive Ausstrahlung:  $A_e = -A + G$

Durch die Siedlungstätigkeit des Menschen wird auch die Albedo, d.h. das Reflexionsvermögen der Erdoberfläche für kurzwellige Strahlung verringert, was zu einer Reduktion der kurzwelligen Reflexionen (R<sub>k</sub>) und somit zu einer Erhöhung der Energieabsorption an der Erdoberfläche führt.

In *Tabelle 2* sind die durchschnittlichen Albedowerte für einige Oberflächen zusammengefaßt. Der Unterschied zwischen den einzelnen Albedowerten der Erdoberfläche wird besonders dramatisch, wenn das Umland einer Stadt noch schneebedeckt ist, die Stadt selber hingegen bereits schneefrei ist. Dies ist gar



nicht so untypisch, da in Städten aufgrund eines weiteren Stadtklimaeffektes (siehe *Tabelle 1*) insgesamt weniger Schnee fällt.

Im Zusammenhang mit dem Strahlungshaushalt sind noch Reflexionen an Baukörpern zu nennen, welche ebenfalls zu einer Verringerung der Ausstrahlung im städtischen Raum beitragen.

Die tageszeitliche Wärmespeicherung im städtischen Baukörper bewirkt zusätzlich eine Verschiebung des Wärmemaximums in den späten Nachmittag.

Oberfläche	Albedo [%]
System Erde-Atmosphäre	31
Erdoberfläche	15
Neuschnee	75–95
Grasland, landwirtschaftliche Kulturen	15–30
Nadelwald	5–12
Laub- und Mischwald gemäßigter Breiten	10–20
Wasser bei hochstehender Sonne	5–10
Wasser bei tiefstehender Sonne	50–80
Betondecke	17–27
Asphaltstraße, Bitumenflachdächer	5–10
Gartenstadt	15
dicht verbaute Stadtkerne	12–13

**Tabelle 2: Durchschnittliche Albedowerte für verschiedene terrestrische Oberflächen (LANDSBERG 1981, SCHÖNWIESE 1994, WEISCHET 1991)**

Ein zweites entscheidendes Kriterium für die Entstehung einer Wärmeinsel ist der stark veränderte Wasserhaushalt im städtischen Raum. Das Fehlen von größeren Verdunstungsflächen, der hohe Anteil an versiegelten Arealen, die allgemeine Vegetationsarmut und der sofortige Abfluß des Niederschlagswassers durch die Kanalisation verhindern einen Energieabfluß in Form von Verdunstungswärme.

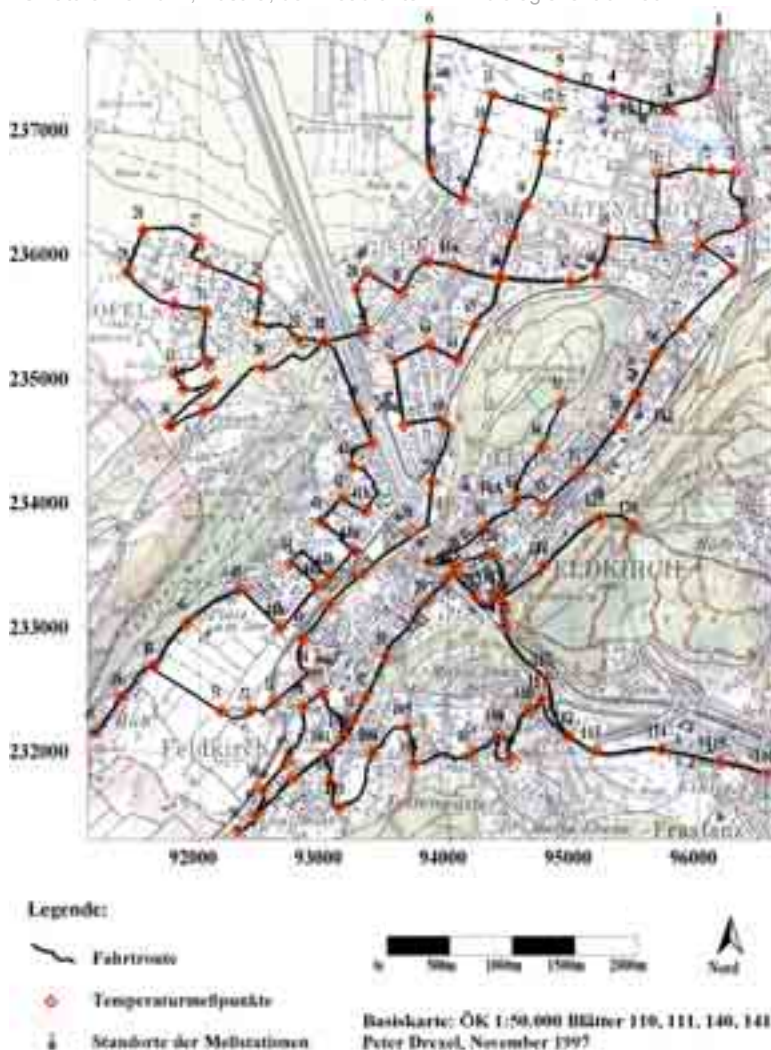
Ebenfalls von großer Bedeutung ist die anthropogene Energieabgabe durch Verkehr, Heizung und Wirtschaftstätigkeit des Menschen. Diese kann, wie OKE & HANNELL (in FESSLER 1995) für Hamilton (Kanada) berechnet haben, durchaus die Größenordnung der solaren Energiezufuhr erreichen.

### 2.1.3. Die flächenhafte Erfassung der Lufttemperatur

Wie schon in *Kapitel 1.4.* festgestellt, ist ein normales meteorologisches Stationsnetz zur Beschreibung der räumlichen Verteilung der Lufttemperatur in komplexen klimatischen Räumen nicht ausreichend. Es müssen zusätzlich mobile Meßmethoden eingesetzt werden, damit ein flächenhaftes Bild der Wärmeinsel entstehen kann.

Bei dieser Arbeit wurden zur flächenhaften Erfassung der Lufttemperatur Meßfahrten mit einem PKW durchgeführt, an dem ein elektronisches Thermometer vom Typ Testo 110 der Firma Testoterm GmbH angebracht wurde. Dabei wurde die in *Abb. 4* dargestellte Route abgefahren, an den einzelnen Meßpunkten die Temperaturwerte abgelesen und mit Hilfe eines Diktiergerätes dokumentiert.

Abb. 4: Fahrtroute der Temperaturmeßfahrten und Stationsstandorte



Nach der Meßfahrt wurden die Temperaturwerte in eine Temperaturmeßpunktliste (DREXEL 1998) übertragen und nachbearbeitet. Dabei wird zunächst der Zeiteffekt, das heißt die generelle Veränderung der Lufttemperatur mit der Zeit, korrigiert. Diese Korrektur ist notwendig, da die Befahrung der Route beinahe zwei Stunden dauert und die generelle Veränderung der Temperatur in dieser Zeit das Ergebnis verfälschen würde. Anschließend werden noch unlogische und offensichtlich falsche Werte (etwa wegen erzwungener Stoppes an Kreuzungen) korrigiert.

Zur Umsetzung der Meßergebnisse in Isothermenkarten werden die einzelnen Meßpunkte zunächst in BMN-Koordinaten verortet. Anschließend wird eine flächendeckende Interpolation der Temperaturwerte mit Hilfe eines räumlichen Kriging-Verfahrens durchgeführt und die so erhaltene Rohkarte mit Hilfe der Stationsdaten und des Digitalen Geländemodells korrigiert.

Danach wird der Randeffekt, d.h. die fehlerhafte Interpolation zu den Randpunkten der Karte hin, korrigiert.

Abschließend erfolgt eine manuelle Nachbearbeitung der Isothermenkarte auf Basis von eigenen Beobachtungen und von Karten der Siedlungsstruktur, der Waldverteilung, des Gewässernetzes und der Morphologie des Untersuchungsgebietes.

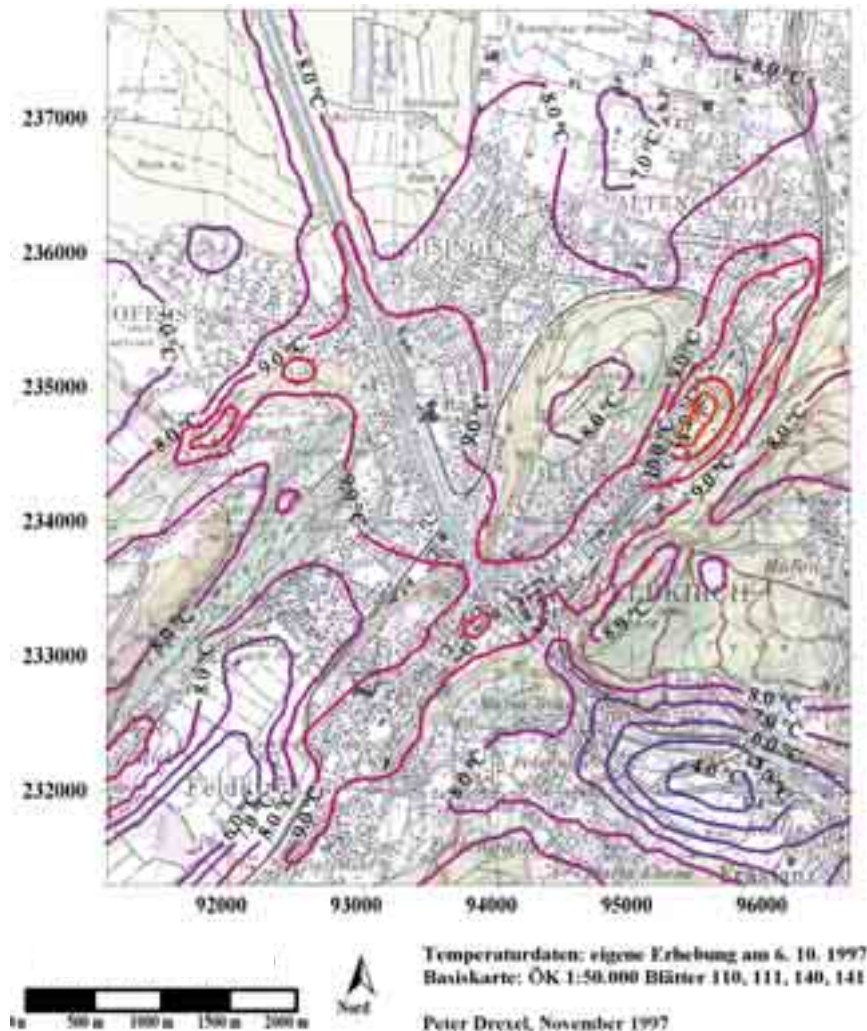


Abb. 5: Städtische Wärmeinsel bei gradientschwachen Strahlungswetterlagen

**2.1.4. Die Städtische Wärmeinsel bei gradientschwachen Strahlungswetterlagen**  
Wie bereits in Kapitel 2.1.1. erwähnt, erreicht die Überwärmung in antizyklonalen, gradientschwachen Strahlungsnächten ihr Maximum. Ein ausgeprägtes Hoch über Mitteleuropa mit vollkommener Wolkenfreiheit des gesamten Rheintals ließ am 6. Oktober 1997 um 05<sup>05</sup> Uhr die in Abb. 5 dargestellte Temperaturverteilung im Stadtgebiet von Feldkirch entstehen. Die Meßfahrt wurde von 3<sup>30</sup> Uhr bis 05<sup>05</sup> Uhr durchgeführt und die Temperaturwerte auf das Ende der Meßfahrt umgerechnet.

Das absolute Maximum der Lufttemperatur liegt mit 12,7°C im Stadtteil Levis (Bereich der Kreuzung Reichsstraße x Raiffeisenstraße, Meßpunkt 79).

Hauptgrund für die sehr starke Überwärmung dürfte der geringe Luftaustausch in diesem vom Ardetzenberg im Nordwesten und vom Känzele-Tilliswald (Amberg) im Südosten beinahe perfekt abgeschirmten Stadtteil sein. Windbeobachtungen an mehreren Standorten in Levis ergaben eine nur sehr schwache Strömung aus südwestlicher Richtung, nordöstlich der Amberggasse dominierten überhaupt Calmen. Die Wärmeinsel entsteht daher im Wesentlichen in situ in der relativ dicht verbauten Talebene, die sehr schwache südwestliche Strömung bewirkt nur eine sehr geringe Verlagerung des Maximums in Richtung Nordosten. Die vertikale Temperaturänderung zwischen Levis und Ardetzenberg bzw. Känzele-Tilliswald erreicht maximal 4,5 K auf 150 m, die Schichtung ist in diesem Bereich mit -3 K/100 m stark labil.

Ganz anders ist die Situation im Bereich des eigentlichen Stadtzentrums, der Neustadt. Trotz der guten Abschirmung durch die Hügelzüge, der sehr dichten Verbauung und der stark befahrenen Verkehrswege ist dieses Gebiet spürbar kälter als der Stadtteil Levis. Alle Meßpunkte im Bereich Hirschgraben ergaben Werte um 9,5°C, nach Süden in Richtung Felsenau sinken die Temperaturen dann weiter bis auf unter 8°C (Meßpunkt 118) vor der Illbrücke. Der Grund für diese relative Kälte ist der Talauwind des Walgau, der in seiner untersten Zone kalte Luft aus dem Frastanzer Ried mit relativ hoher Geschwindigkeit (bis über 5 m/s) durch die obere Illschlucht in die eigentliche Innenstadt führt. Über der Innenstadt teilt sich diese Strömung in drei Arme. Ein mächtiger Arm zieht in westlicher Richtung über Tisis und den Blasenberg, ein Arm streicht durch die untere Illschlucht nach Norden und ein schwacher Arm strömt in Richtung Levis, wo er die erwähnte, nur sehr schwache südwestliche Strömung verursacht.

Das Frastanzer Ried im untersten Walgau bildet bei Strahlungswetterlagen die kälteste Zone des Untersuchungsgebiets. Das absolute Minimum im Kaltluftsee liegt dabei mit nur knapp über 3°C beim Meßpunkt 114 im Zentrum des Rieds. Die Kaltluft entsteht hier einerseits in situ durch die sehr starke nächtliche Ausstrahlung am Talboden, und andererseits durch den Zufluß kalter Luftpakete von den umliegenden Hängen. Sie wird dann, wie zuvor besprochen, ständig in Richtung Neustadt abgeführt.

Auf einer Länge von knapp 2 km von der Innenstadt Feldkirchs bis ins Zentrum des Frastanzer Rieds ändert sich die Lufttemperatur um mehr als 6,5 K, was einen horizontalen Temperaturgradienten von 0,3 K/100 m ergibt.

Die Temperaturänderung vom Frastanzer Ried auf die Letze beträgt +4 K. Dies ergibt einen vertikalen Temperaturgradienten von +5 K/100 m, was einer ausgesprochen starken Inversion mit stark stabiler Schichtung entspricht.

Die Letze, Maria Grün und Maria Ebene liegen im Einflußbereich des Walgauauswindes. Dieser führt in dieser Höhe vergleichsweise warme Luft (alle Meßpunkte um 8°C) heran, was diesen Gebieten trotz ihrer Höhe eine relative Temperaturgunst verschafft.

Feldkirch Tisis, am westlichen Fuß der Letze gelegen, ist ebenfalls, wenn auch nur noch indirekt, vom Walgauauswind beeinflusst. Nach dem Überströmen der Letze sinkt ein Teil der Luft durch die Senke Richtung Gallmist ab und kühlt diesen Raum etwas ab (am 6. Oktober um etwa 0,5 K auf 8,5°C).

Abgesehen von dieser lokalen Abkühlung werden im besiedelten Gebiet von der Grenze bis zur Ill Werte über 9°C, im Bereich des Altersheims an der Schillerstraße (Meßpunkt 90) sogar über 10°C erreicht. Hier ist also ein schwaches Nebenmaximum entwickelt, welches durch die kühlende Wirkung des Walgauauswindes in der Neustadt vom Hauptmaximum in Levis getrennt wird.

Im Oberried zwischen Tisis, Hub und Tosters entsteht in Strahlungs Nächten ein mächtiger Kaltluftsee, der die umliegenden Siedlungsräume beeinflusst. Die Minima liegen hier mit etwa 6°C (Meßpunkt 59 5,9°C) jedoch 2 K über dem absoluten Minimum des Untersuchungsgebiets, was vermutlich auf ein teilweises Abfließen der Kaltluft in Richtung Südwesten und die Nähe zu größeren Stadtteilen zurückzuführen ist.

Hub entwickelt zusammen mit Mauren eine eigene Wärmeinsel (maximal etwa 9,1°C an den Meßpunkten 49 und 51) am Fuß des Schellenbergs. Diese ist zwar nicht so mächtig wie die Wärmeinsel in Levis, aufgrund der Nähe zum Kaltluftsee im Oberried ergeben sich hier jedoch sehr starke horizontale Temperaturgradienten von 3 K auf 500 m bzw. 0,6 K/100 m.

Die Lufttemperatur im Stadtteil Tosters ist ebenfalls vom Kaltluftsee des Oberrieds beeinflusst. Im Südwesten reicht die 7°C Isotherme beinahe bis ins Siedlungsgebiet, das hier zu den kältesten bewohnten Gebieten Feldkirchs gehört. Richtung Nordosten nimmt die Temperatur kontinuierlich bis auf über 9°C (Meßpunkt 41: 9,7°C) zu.

Die relative Kälte von Tosters ist einerseits in der Nähe zum Oberried (Flurwinde) begründet, andererseits entsteht hier die Kaltluft aufgrund der relativ dünnen Besiedlung auch in situ.

Ähnlich wie in Tosters sind die Lufttemperaturen auch in Nofels sehr stark von benachbarten Riedflächen beeinflusst. Auch hier reicht die 7°C-Isotherme sehr nahe an das Siedlungsgebiet, in einem kleinen, sehr dünn besiedelten Bereich in Norden sinkt die Lufttemperatur sogar bis auf 6,5°C (Meßpunkt 12). Zum Meßtermin am 6. Oktober 1997 liegen die Lufttemperaturen praktisch im ganzen Stadtteil unter 8°C, einzig an der im Oktober noch relativ warmen Ill und um die Kirche werden Werte um 9°C erreicht.

Der Weiler Fresch, in ca. 620 m Höhe am Nordwestabhang des Schellenbergs gelegen, erfährt durch den relativ warmen Rheintalauswind eine eindeutige Temperaturgunst gegenüber der Ebene von Nofels. Mit Temperaturen bis 11°C (Meßpunkte 36 und 38) ist diese Zone gut 3 K wärmer als der 180 m tiefer gelegene Rheintalboden, was einen vertikalen Temperaturgradienten von +1,67 K/100 m, also eine deutlich inverse Schichtung ergibt.

In Schellenberg (westlich des Untersuchungsgebiets in Liechtenstein) dürfte die Situation ähnlich wie im Weiler Fresch sein, aufgrund der nächtlichen Sperre der Grenze war eine Überprüfung jedoch nicht möglich.

Der Weiler Bangs nordwestlich des Untersuchungsgebiets entwickelt eine eigene schwache Wärmeinsel mit maximal 2,1 K Überwärmung.

In Gisingen erreicht die Lufttemperatur großflächig nur 8 bis 9°C. Einzig an der Ill und um die größeren Industriebetriebe im Westen werden Temperaturwerte über 9°C (Maximum bei Meßpunkt 62 mit 10,0°C) erreicht.



Die 8°C-Isotherme ist im Norden weit in das praktisch noch unverbaute Gebiet „Beim Viehgatter“ vorgeschoben. Diese Warmluftzunge entsteht durch den stetigen Abtransport erwärmter Luft aus dem Stadtteil Gisingen in Richtung Nordosten, wo sich eine relative Temperaturgunst von etwa 2 K gegenüber der benachbarten Zone „Jux“ ausbildet. Die relativ niedrigen Lufttemperaturen in Gisingen selbst können ebenfalls durch diese Strömung erklärt werden.

Die Lufttemperaturen in Altenstadt lehnen sich an jene der benachbarten Gebiete an. Im Südosten schiebt sich das Hauptmaximum von Levis weit nach Altenstadt hinein. Etwa bis zur Nafla werden Temperaturen über 9°C erreicht, nach Nordwesten Richtung „Jux“ hin sinken sie dann aber bis auf unter 7°C ab.

#### 2.1.5. Die Städtische Wärmeinsel bei Vorderseitenlagen

Im Gegensatz zu südalpinen Räumen, wo Vorderseitenlagen häufig starke Niederschläge verursachen, äußern sich diese im Untersuchungsgebiet meist in Form von ausgesprochen trockenen, warmen Föhnlagern mit starken südlichen bzw. südwestlichen Winden.

Am 19. Dezember 1997 um 3<sup>55</sup> Uhr ließ ein Tiefdruckgebiet (Vroni, westlich von Irland) im Westen zusammen mit einem weit nach Norden vorgeschobenen Hochdruckkeil im Osten das in *Abb. 6* dargestellte Temperaturbild bei wolkenlosem Himmel entstehen. Abgesehen von den für den Monat Dezember ausgesprochen hohen absoluten Temperaturen (mit Föhnunterstützung nächtliche „Minima“ über 16°C!), zeigt die Karte eine typische relative Temperaturverteilung für Vorderseitenwetterlagen mit relativ starker, bis auf den Boden durchgreifender Strömung aus südwestlicher Richtung.

Ähnlich wie bei gradientschwachen Strahlungslagen liegt auch bei Vorderseitenlagen das absolute Minimum der Lufttemperatur im Bereich des Frastanzer Rieds (Meßpunkt 113 Autobahnanschluß Frastanz) mit 11,5°C. Praktisch im gesamten Ried liegen die Temperaturen unter 13°C, was den Schluß nahelegt, daß eine autochthone Kaltluftproduktion durchaus stattfindet. Die Kaltluft wird aber laufend von dem die Letze überströmenden und immer wieder bis zum Grund der Riedfläche durchgreifenden, böigen Südwestwind ausgeräumt. Dies bestätigt auch eine halbstündige Temperaturbeobachtung am 19. 12. 1997 von 4<sup>00</sup> bis 4<sup>30</sup> Uhr 50 m südlich des Meßpunktes 114, wo die Temperaturwerte um bis zu 1,6 K von 11,1°C bis 12,7°C schwankten.

Um das Frastanzer Ried ist in einer Höhe von etwa 50 m über dem Talboden eine warme Hangzone entwickelt. Die Temperaturen liegen hier etwa 1,5 K über jenen des Talbodens und etwa 0,5 K über den Werten der 50 m höher gelegenen Letze.

Auf der Letze liegen die Temperaturen im Bereich von 12,4°C (Meßpunkt 106) bis 14,0°C (Meßpunkt 105). Auffallend sind hier vor allem die sehr großen Temperaturunterschiede je nach Windexponiertheit. Der Wind weht beständig aus südwestlicher Richtung mit ca. 5 m/s in Richtung Frastanzer Ried.

Im Oberried zwischen Tisis, Hub und Tosters ist wie im Frastanzer Ried ein Kaltluftsee entwickelt, der aber ebenfalls vom zeitweise durchgreifenden Südwestwind abgeschwächt wird.

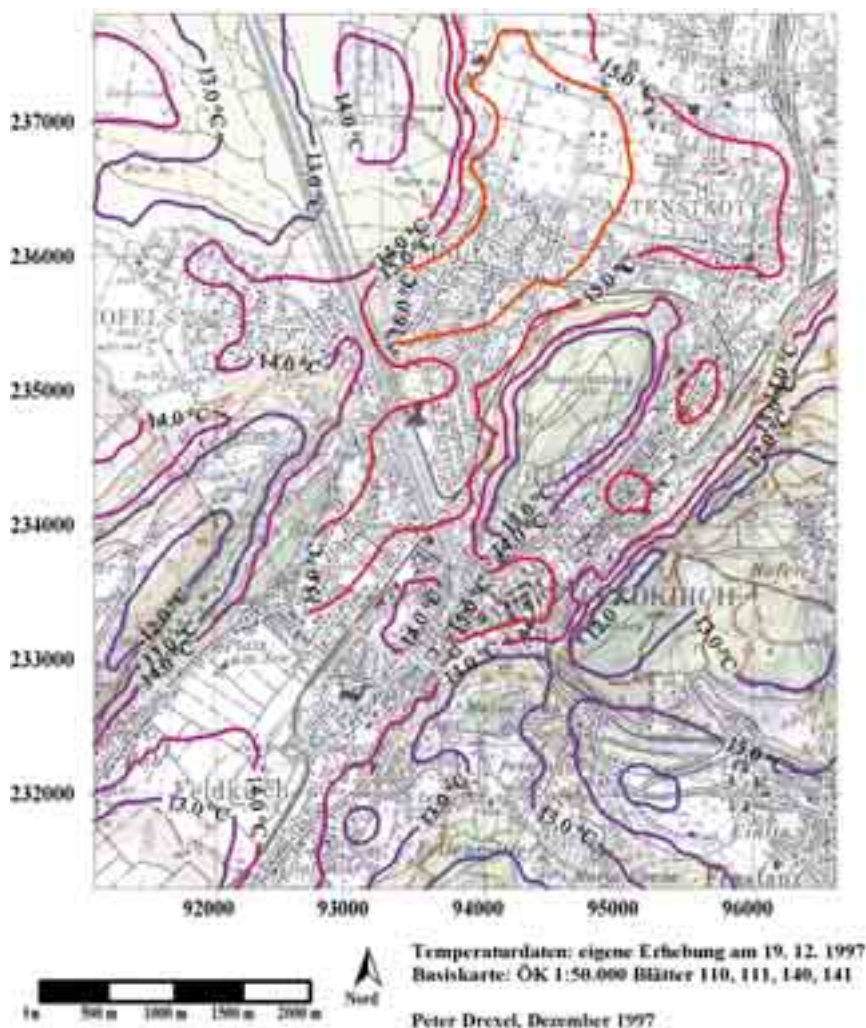


Abb. 6: Städtische Wärmeinsel bei Vorderseitenlagen

Der Südwestwind ist es auch, der praktisch die gesamte Wärmeinsel im Stadtgebiet nach Norden bzw. Nordosten verschiebt. So ist die Überwärmung über Tisis und Gallmist kaum mehr meßbar, über Tosters ist sie weit in Richtung Ill verschoben. Sie erreicht bei der Kirche Werte um 15,5°C, westlich davon wird die 15°C-Isotherme kaum mehr überschritten.

Am Schellenberg werden in den Gipfelzonen 12°C unterschritten und am Nordfuß 14°C erreicht. Dies ergibt bei einem Höhenunterschied von 230 m einen vertikalen Temperaturgradienten von etwa -0,9 K/100 m, was einer schwachlabilen Schichtung, wie sie bei der praktisch vollständigen Durchmischung auch zu erwarten ist, entspricht.

Ähnlich wie in Tosters ist die Situation in Nofels. Auch hier ist die Wärmeinsel einige 100 m nach Osten verschoben und in ihrer Stärke deutlich abgeschwächt. Die 15°C-Isotherme wird erst östlich der Ill im Stadtteil Gisingen überschritten.

In Gisingen liegt mit 16,9°C (Meßpunkt 19) auch das absolute Maximum der Lufttemperatur. Besonders interessant ist, daß der Südwestwind hier aufgrund der Lage des Stadtteils im Lee des Schellenbergs weithin nicht spürbar ist, es daher auch kaum zu einer Verlagerung oder Abschwächung der Wärmeinsel kommt. Einzig im Süden von Gisingen, etwa zwischen Eisenbahn und FM-Hämmerle, fehlt dieser Schutz, was sich sofort im Isothermenbild widerspiegelt.

Mit zunehmender Entfernung vom Schellenberg reduziert sich dessen Abschirmwirkung, und so ist im Bereich Jux-Brederser Wiesen auch die südwestliche Strömung wieder deutlich spürbar. Die 16°C-Isotherme ist hier wieder weit nach Norden in unverbautes Gebiet verschoben.

Das Gebiet von der Neustadt bis nach Levis ist ebenfalls relativ gut gegen die Südwestwinde abgeschirmt. So können sich hier drei lokale Maxima in den Bereichen Neustadt (16,0°C, Meßpunkt 96), Bahnhof (15,2°C, Meßpunkt 83) und bei der Jugendherberge (15,2°C, Meßpunkt 79) mit jeweils über 15°C entwickeln.

Am Thermohydrographen FkL in Levis wurden um 4<sup>00</sup> Uhr 16,0°C aufgezeichnet, am Ardetzenberg (FkA) 13,9 °C. Dies ergibt einen vertikalen Temperaturgradienten von -2,1 K/ 120 m bzw. -1,75 K/100 m.

#### *2.1.6. Die Städtische Wärmeinsel bei Rückseitenlagen*

In nordalpinen Staulagen sind Tiefdruck-Rückseitenlagen mit nordwestlicher bzw. nördlicher Strömung klassische Niederschlagsbringer. Häufige, oft relativ starke Winde zusammen mit den Niederschlägen führen zu einer sehr guten Durchmischung bzw. auch zur Auflösung der Grundsicht und zum praktischen Verschwinden des Wärmeinseleffektes.

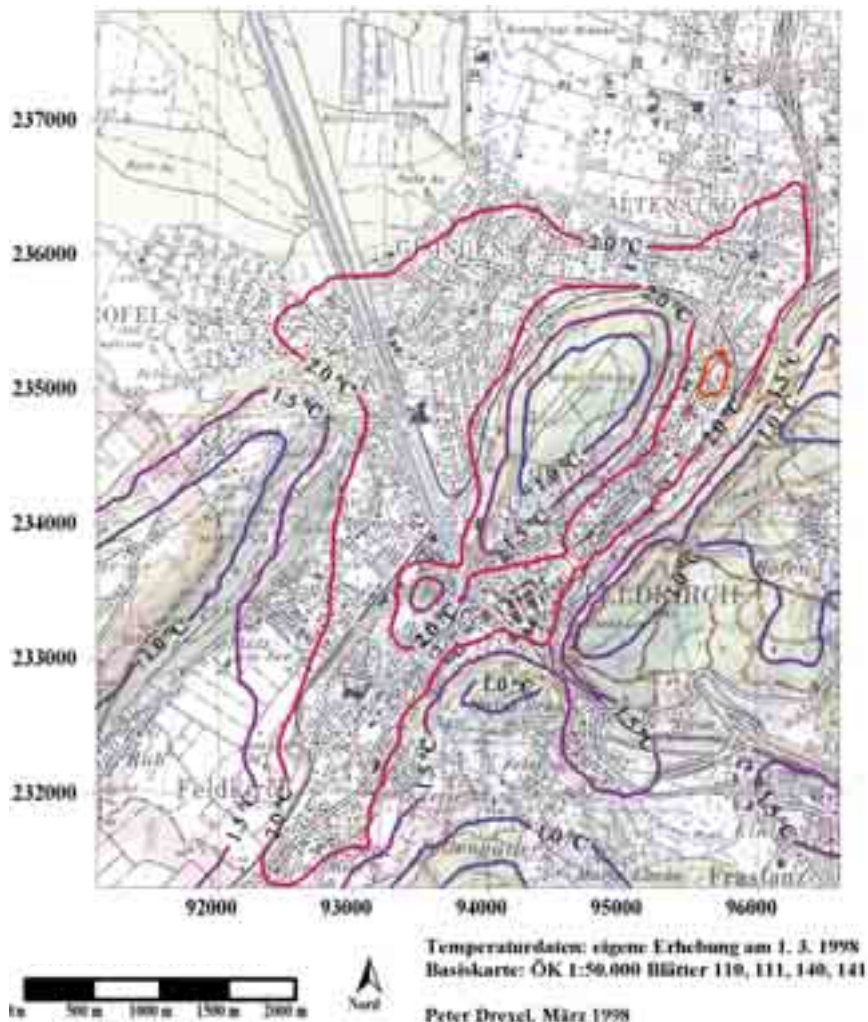
Eine solche Situation mit praktisch kaum mehr meßbarer Wärmeinsel ist in *Abb. 7* dargestellt. Sie zeigt die Temperaturverteilung bei der Meßfahrt 6 am 1. März 1998 von 4<sup>00</sup> Uhr bis 5<sup>10</sup> Uhr korrigiert auf 5<sup>10</sup> Uhr. Leichte Niederschläge bzw. Spritzwasser von der nassen Fahrbahn erschwerten die Messung durch ständige Benetzung des Temperaturfühlers, welcher darum während der Fahrt des öfteren abgetrocknet werden mußte.

Im Isothermenbild spiegelt sich bei Rückseitenlagen im Wesentlichen die Topographie wieder. Die kältesten Zonen sind gleichzeitig auch die höchsten Erhebungen, die wärmsten Gebiete liegen alle am Talboden. Abweichungen des Temperaturbildes vom Höhenlinienbild finden sich lediglich in jenen Gebieten, welche durch die Erhebungen gegen den Nordwestwind abgeschirmt sind.

So liegt die wärmste Zone bei Rückseitenlagen wieder in Levis. Die natürlich bei jeder Witterung abgegebene Abwärme der Baukörper kann hier aufgrund der deutlich reduzierten Windgeschwindigkeit im Schutz des Ardetzenbergs auch bei Rückseitenlagen eine schwache Wärmeinsel (2,6°C bzw. +0,8 K bezogen auf FkLKZ) aufbauen.



Abb. 7: Städtische Wärmeinsel bei Rückseitenwetterlagen



Ebenfalls begünstigt ist der Weiler Frastanz-Felsenau im unteren Walgau. Der Nordwestwind führt im Stadtgebiet erwärmte Luft durch die Obere Illschlucht in den unteren Walgau, wo sie dann bei deutlich reduzierter Windgeschwindigkeit zunächst die Siedlung Felsenau (2,3°C bzw. +0,5 K) begünstigt und dann im Frastanzer Ried stagniert und langsam abkühlt (Temperatur hier etwa 0,5 K unter dem Durchschnitt).

In Gisingen, Altenstadt, Tosters, Tisis und der Neustadt beträgt die Überwärmung gegenüber der Referenzstation FkLKZ nur mehr etwa 0,4 K.

In den nördlichen und westlichen Randzonen des Siedlungsgebietes (Nofels, nördliche Teile von Gisingen und Altenstadt) verschwindet die Überwärmung dann zur Gänze.

Von Gisingen auf den Ardetzenberg und von Nofels nach Fresch ergeben sich vertikale Temperaturgradienten von 0,9 bzw. 0,5 K pro 100 m.

In den Weilern Hub und Letze ist gegenüber dem Umland keine Überwärmung meßbar. Hier transportiert der Wind die abgegebene Wärme sofort wieder ab.

### 2.1.7. Die mittlere nächtliche Temperaturverteilung

In Abb. 8 ist die mittlere relative nächtliche Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet, bezogen auf die Station Feldkirch-Landeskatastrophenzentrum (FKLKZ, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), dargestellt.

Die Karte stellt ein gewichtetes Mittel aller Temperaturmeßfahrten von Oktober 1997 bis März 1998 dar. Dabei wurden die drei Termine mit Strahlungswetterlagen mit 50%, die zwei Termine mit Vorderseitenlagen mit 25% und der Termin mit Rückseitenlage ebenfalls mit 25% bewertet.

Das absolute Maximum der relativen nächtlichen Überwärmung liegt mit +1,3 K im Stadtteil Levis (Meßpunkt 79 – Kreuzung Reichsstraße und Raiffeisenstraße). Hier liegt in einem relativ großen Areal von ca. 700 x 250 m die mittlere nächtliche Minimumtemperatur mindestens 1,0 K über dem Wert der Referenzstation. Levis profitiert praktisch bei jeder Wetterlage von seiner abgeschirmten Position zwischen Amberg und Ardetzenberg. Die relativ große Horizontüberhöhung, welche auf den ersten Blick als Nachteil erscheint, hat auf die nächtliche Temperatursituation einen positiven Einfluß. Sie bewirkt durch die Reflexion eines Teils der langwelligen Ausstrahlung eine Reduktion der effektiven Ausstrahlung. Tagsüber wird dieser Effekt vor allem im Winter jedoch durch die deutlich reduzierte Sonnenscheindauer wieder aufgehoben.

Ein Indiz dafür, daß die relative Wärme von Levis nicht allein auf Stadtklimaeffekte zurückzuführen ist, ist die Tatsache, daß hiervor der dichteren städtischen Verbauung an den Abhängen des Ardetzenbergs Weinbau (ZELLER 1983) betrieben wurde, was sich noch heute in einigen Straßen- und Flurbezeichnungen (Rebbergasse, Winzerweg etc.) widerspiegelt.

Die nach Levis im Mittel zweithöchsten Nachttemperaturen herrschen im Stadtteil Gisingen, und zwar im Bereich L60–Nofler Straße und Hauptstraße. Als Maximum wird in diesem Kern der Wärmeinsel ein Wert von +1,1 K beim Meßpunkt 18 (Kreuzung Nofler Straße x Sägerstraße) erreicht, mehr als 1,0 K relative Überwärmung können in einem Gebiet von 1000 x 200 m gemessen werden. Gisingen profitiert vor allem bei Vorderseiten- bzw. Föhnlagen, da durch die relativ offene Lage am Rheintalboden ein Durchgreifen der warmen Luft bis zum Talboden kaum behindert wird.

In Strahlungsnächten bildet die relativ großflächige, wenn auch eher dünne Verbauung eine mäßig starke Wärmeinsel aus, welche durch die Abwärme aus Gewerbe- und Industriebetrieben (vor allem FM-Hämmerle und Vorarlbergmilch) verstärkt wird.

Das absolute Minimum der relativen nächtlichen Temperatur liegt mit -3,1 K wie zu erwarten im Frastanzer Ried beim Meßpunkt 113 (B190-Autobahnan-schluß Feldkirch-Frastanz). Die Windarmut (Ausnahme: nächtlicher Talauswind bei Strahlungsnächten), bedingt durch die gute Abschirmung nach Süd, West und Nord, zusammen mit der starken nächtlichen Ausstrahlung des großen, unverbauten Feuchtgebietes führt zu einer relativen Temperaturungunst von -4,4 K gegenüber dem wärmsten Gebiet in Levis.

Ausgehend von diesem Kältepol schiebt sich besonders in Strahlungsnächten eine Kaltluftzunge durch die Obere Illschlucht bis in die Neustadt, wo sie zu einer deutlichen Abkühlung führt.

Die relative Kälte des Frastanzer Rieds macht dieses Teilstück der B190 und den Autobahnanschluß Feldkirch-Frastanz zu stark glatteisgefährdeten Straßenabschnitten mit erhöhtem Streumittelbedarf. Besonders auf den zahlreichen Brücken kann es schon sehr früh im Herbst bzw. noch sehr spät im Frühjahr zu Glatteisbildung kommen.

Vom Riedboden in 465 m Sh. nach Maria Ebene in 575 m Sh. erhöht sich die mittlere nächtliche Temperatur um +3,5 K bzw. +3,2 K pro 100 m Höhenunterschied, was einer ausgesprochen starken Inversion entspricht.

Der nach dem Frastanzer Ried zweikälteste Raum im Untersuchungsgebiet ist das Oberried. Hier liegen die durchschnittlichen nächtlichen Temperaturen zwischen 0,5 K und 1,5 K unter dem Mittelwert der Station FkLKZ.

Da das Oberried aber weder Siedlungs- noch Verkehrsraum ist, hat die relative Temperaturungunst in der Praxis nur untergeordnete Bedeutung. Einzige einige landwirtschaftliche Betriebe (unter anderem eine Hühnerfarm an der Dorfstraße zwischen Meßpunkt 50 und 51 und ein Reiterhof 200 m südöstlich vom Meßpunkt 46 am Straßbergweg, vgl. *Abb. 17*) haben ihren Standort am eigentlichen Riedboden.

Der nächtliche Rheintalauswind bzw. die südwestlichen Flurwinde verfrachten die kalte Luft weit in das Siedlungsgebiet von Tosters hinein, wo sie sich aufgrund der dünnen Verbauung und der damit verbundenen geringen Energieabgabe nur langsam erwärmen kann. Erst etwa ab der Rhetikusstraße überschreitet der Mittelwert der nächtlichen Temperatur den Wert des Bezugsniveaus.

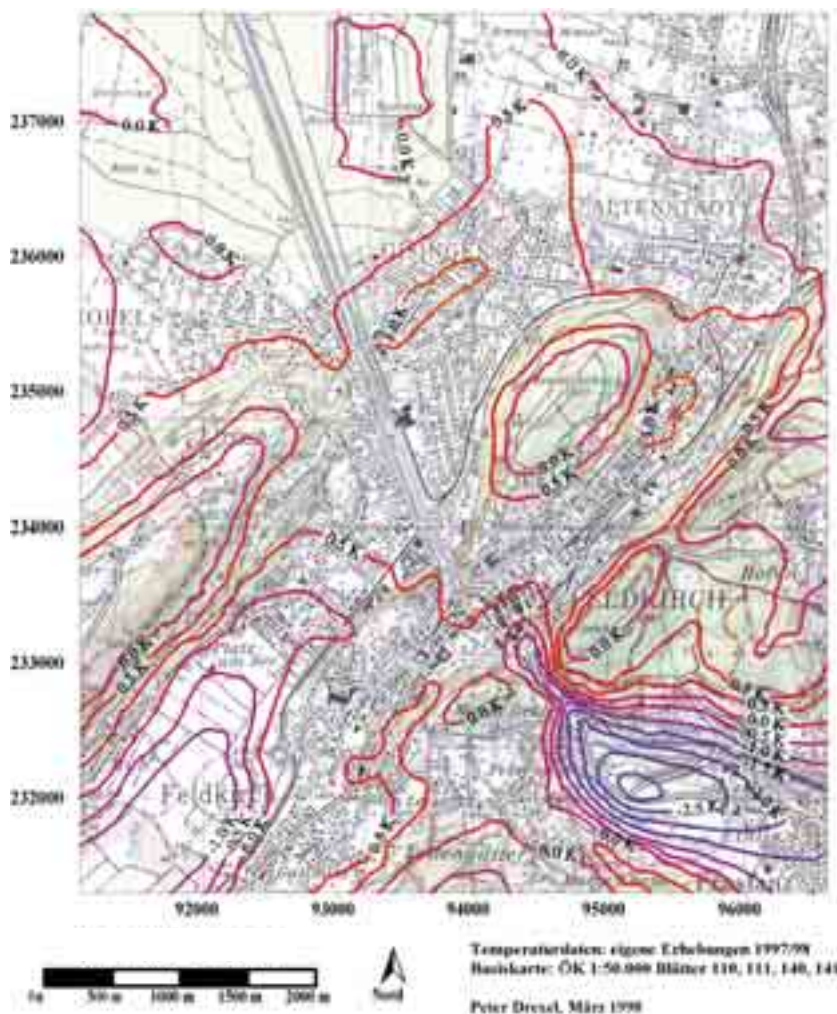
In einem Niveau von etwa 500 bis 600 m Sh. ist im Mittel eine relativ warme Hangzone ausgebildet. Sie erreicht ihr Temperaturmaximum von etwa +0,8 bis +1 K in einer Höhe von ca. 520 m und ist besonders bei Strahlungswetterlagen ausgebildet, wo sie über der relativ kalten Talbodenzone im Einflußbereich des relativ warmen Rheintalwindsystems liegt.

Die warme Hangzone ist an allen Erhebungen im Untersuchungsgebiet meßbar, sie tritt am Ardetzenberg und am Amberg aufgrund der wärmeren Talbodenzone jedoch nicht so deutlich in Erscheinung. Besonders stark ist der Temperaturunterschied Talboden – warme Hangzone, wie erwähnt, um das Frastanzer Ried.

In weiten Teilen des Stadtgebiets von Feldkirch liegen die nächtlichen Minimumtemperaturen um 0,5 bis 1,0 K über jener der Referenzstation. Praktisch ganz Gisingen und Levis, große Flächen von Tosters und der Neustadt und kleinere Gebiete in Tisis-Gallmist und Nofels erfahren diese relative Temperaturungunst.

Ebenfalls in dieser Zone liegen die Meßstationen FkL in Levis und FkA am Ardetzenberg. Die am Ardetzenberg in den Wintermonaten 1997/98 gemessene Mitteltemperatur (über den ganzen Tag) liegt mit +2,7°C (gerundet) nur 0,1 K unter dem Wert der Station Levis mit +2,7°C (gerundet, siehe auch *Kapitel 2.2.*). Für den Beobachtungszeitraum Dezember 1997 bis Februar 1998 liegt die mittlere 5<sup>00</sup>-Uhr-Temperatur aufgrund des untypischen Witterungsverlaufs mit 1,4°C sogar 0,4 K über dem Wert von Levis (1,0°C).

Abb. 8: Mittlere relative nächtliche Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet



Immer noch knapp über dem Bezugswert liegen die Temperaturen in den Siedlungsräumen Nofels (im Mittel +0,3 K), südliches Altenstadt (+0,1 K bis +0,5 K), Letze/Maria Grün (+0,1 K), Tisis/Gallmist (+0,3 K bis +0,5 K) und im nordöstlichen Tosters.

Im Siedlungsgebiet beschränken sich unterdurchschnittliche nächtliche Minimummittel auf das südwestliche Tosters (etwa ab dem Alberweg, -0,4 K bis 0 K), das nördliche Nofels (etwa zwischen Florastraße und Linaweg, -0,2 K), das nördliche und östliche Altenstadt und auf Teile von Rankweil-Brederis (-0,3 K bis 0,0 K) und Frastanz (-2,5 K am Ortsrand zum Frastanzer Ried hin, bis zum Ortszentrum auf -1,5 K zunehmend).

## 2.2. Der Einfluß der Horizontüberhöhung auf die theoretisch mögliche Sonnenscheindauer im Untersuchungsgebiet

Durch die topographische Lage von Feldkirch mit der starken Horizontüberhöhung vor allem in südöstlicher Richtung kommt es örtlich zu einer starken Reduktion der theoretisch möglichen Sonnenscheindauer. Neben einer deutlichen Verringerung der Einstrahlung entsteht so eine ausgeprägte Zonierung des Untersuchungsgebiets bezüglich der Sonnenstunden, der Lufttemperaturen, der Schneedeckendauer, der Strömungssituation, usw.

Die lokal sehr starken Abschattungen haben daneben aber auch Auswirkungen auf die Psyche des Menschen. Die unmittelbare Nähe der schattenwerfenden Erhebungen und die „Aussicht“ auf „in der Sonne“ liegende Wohngebiete (etwa am Ardetzenberg oder am Blasenberg) führen häufig zu winterlichen „Depressionen“.

Abb. 9 zeigt als Beispiel für die Abschattungsproblematik eine Aufnahme von Levis und den Ardetzenberg (14. Februar 1998, 8<sup>30</sup> Uhr). Eine Stunde nach dem astronomischen Sonnenaufgang (7<sup>28</sup> Uhr) liegt der Talboden von Levis noch immer vollständig im Schatten, einzig die obersten Häuser an der Berggasse erhalten bereits direkte Sonne. Im Vordergrund bezeugt der noch vorhandene Restschnee die generelle Sonnenarmut dieses Gebietes im Winter.

In diesem Kapitel wird anhand von Berechnungen auf Basis des Digitalen Geländemodells von Feldkirch die Situation für die drei Termine 10<sup>00</sup> Uhr MEZ, 12<sup>20</sup> Uhr MEZ (entspricht 12<sup>00</sup> Uhr Ortszeit und somit dem Höchststand der Sonne) und 16<sup>00</sup> Uhr MEZ jeweils für die Daten 21. Dezember, 21. März (entspricht etwa dem 23. September) und 21. Juni dargestellt.

Die Ermittlung der jeweiligen Schattengrenzen erfolgt dabei durch eine Projektion der scheinbaren Sonnenbahnen auf das Höhenmodell des Untersuchungsgebietes. Für diese Arbeit wurde dazu das Programmpaket Arc-Info für Unix verwendet, alle Berechnungen basieren dabei im Wesentlichen auf dem Modul HILLSHADE.

Am kürzesten Tag des Jahres (21. Dezember) beträgt die scheinbare Sonnenbahn bei einer Tageslänge von 8 Stunden 26 Minuten nur 108° von Südost nach Südwest. Die maximale scheinbare Höhe von 19° erreicht die Sonne dabei um ca. 12<sup>20</sup> Uhr MEZ (entspricht 12<sup>00</sup> Uhr Ortszeit).

An den Daten der Tag-Nacht-Gleiche (21. März und 23. September) ist eine scheinbare Sonnenbahn von 180° bei einer maximalen scheinbaren Sonnenhöhe von 43° zu beobachten.

Am längsten Tag des Jahres (21. Juni) liegen zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang 15 Stunden 59 Minuten. Die scheinbare Sonnenbahn erreicht dabei eine Länge von 252° von Nordost bis Nordwest und eine maximale Höhe von 66°.

### 2.2.1. Die Morgensituation (10<sup>00</sup> Uhr MEZ)

Besonders im Winter kommt es im Untersuchungsgebiet aufgrund der teilweise sehr großen Horizontüberhöhung im Südosten örtlich zu einer starken Reduktion der Sonnenstunden durch den verzögerten Sonnenaufgang.



In *Abb. 10* sind die Schattengebiete für 10<sup>00</sup> Uhr MEZ jeweils für die vier Meßdaten eingetragen. Besonders auffallend sind dabei die sehr großen Schattenflächen für den 21. Dezember, die auch noch beinahe 2 Stunden nach dem astronomischen Sonnenaufgang (8<sup>06</sup> Uhr MEZ) praktisch ganz Tisis, Hub und den Talboden von Levis umfassen. Zumindest teilweise im Schatten liegen zu diesem Zeitpunkt noch die Neustadt, wo die Sonne durch die Felsenau nur einen schmalen Sektor bestrahlen kann, die Letze, Tosters und Gisingen. Relativ wenig betroffen von den Abschattungen sind Nofels (nur die südlichen Siedlungsgebiete) und Altstadt (nur im Südosten).

**Abb. 9: Blick von der Gölfiser Straße nach Westen über Levis zum Ardetzenberg (14. 2. 98, 8<sup>10</sup> Uhr)**



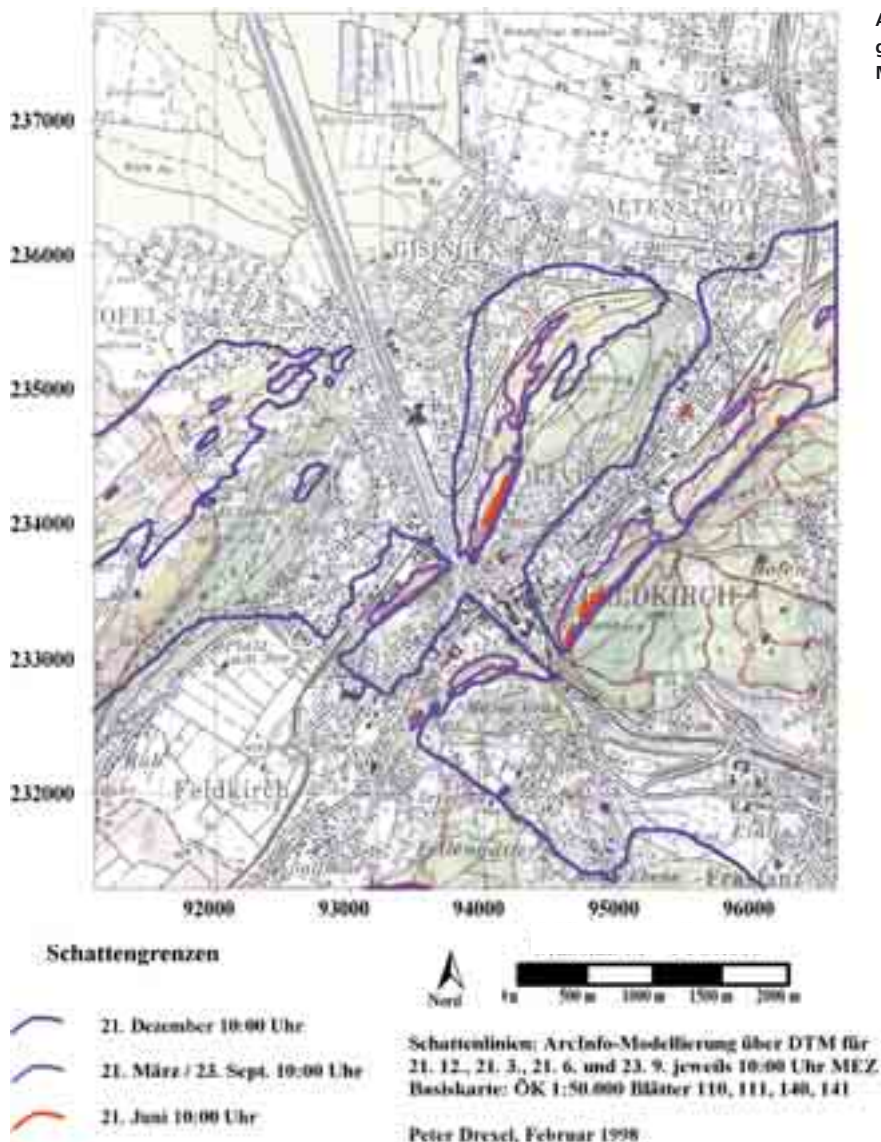
Bereits deutlich günstiger ist die Situation zu den Daten der Tag-Nacht-Gleiche (21. März und 23. September). Etwas mehr als 3½ Stunden nach dem astronomischen Sonnenaufgang liegen nur mehr sehr kleine und praktisch unbewohnte Gebiete an den Nordwestabhängen des Ardetzenbergs, des Ambergs, des Känzeles, des Alt Steinles, des Stadtschroffens und des Blasenbergs im Schatten.

Am längsten Tag des Jahres schließlich liegen zum Morgentermin mehr als 5½ Stunden nach dem astronomischen Sonnenaufgang nur mehr kleine Waldgebiete am Ardetzenberg, am Amberg und am Känzele im Schatten.

### *2.2.2. Die Mittagssituation (12<sup>20</sup> Uhr MEZ, 12<sup>00</sup> Uhr OZ)*

Ein deutlich günstigeres Bild ergibt sich für den Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes um 12<sup>20</sup> Uhr MEZ (12<sup>00</sup> Uhr Ortszeit, *Abb. 11*). Am 21. Dezember sind

Abb. 10: Schatten-  
grenzen um 10<sup>00</sup> Uhr  
MEZ



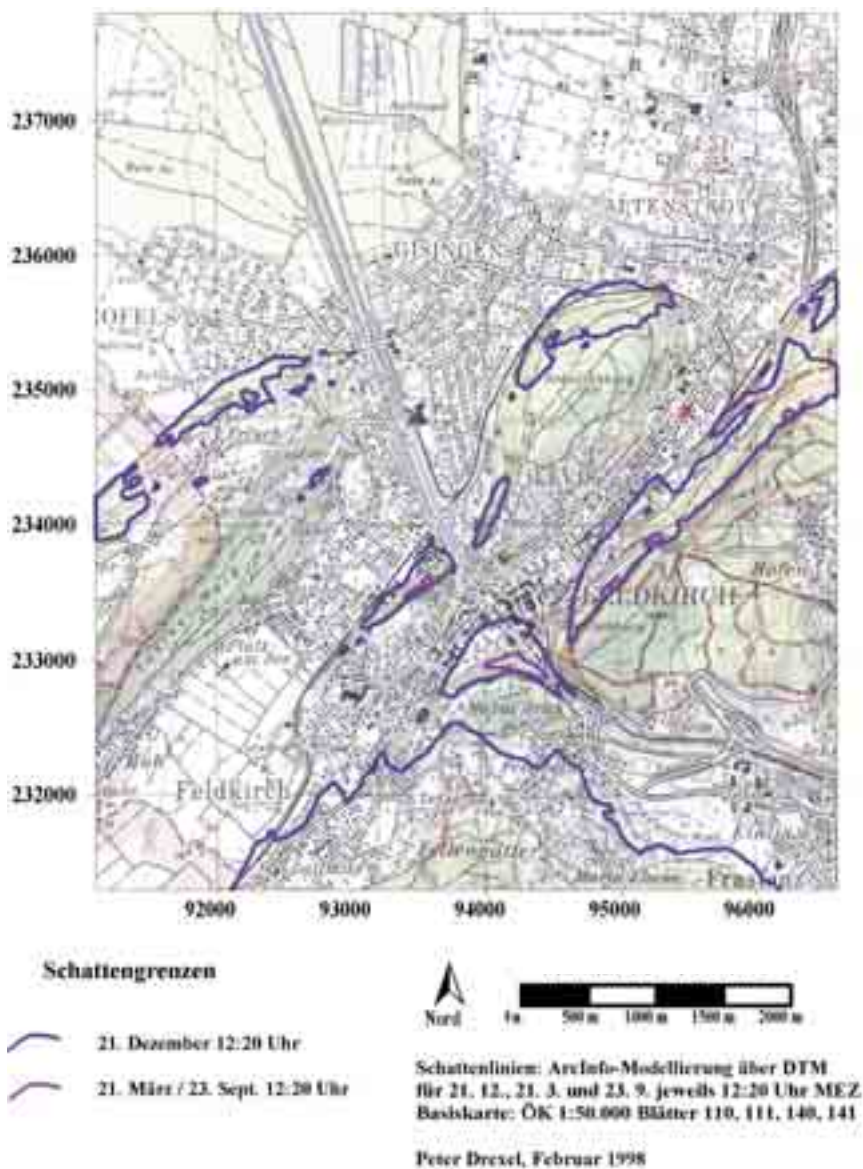
am Talboden nur mehr relativ kleine Flächen in Levis (um den Bahnhof), Tosters (Gewerbegebiet zwischen Eisenbahn und Blasenbergr) und der Innenstadt (Ganahl-Areal) betroffen.

Immer noch sehr groß sind hingegen die Schattenflächen des Vorderalpe-Drei Schwestern-Zuges auf der Letze, in Maria Ebene und in Tisis-Gallmist.

Bereits am 21. März (bzw. noch am 23. September) beschränken sich die Schattengebiete mit Ausnahme eines kleinen Gebietes unterhalb des Stadtschroffens auf unbewohnte Waldgebiete. Auch die im Winter stark benachteiligten Gebiete Gallmist und Letze liegen nun in der Sonne.

Zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende wird zur Mittagszeit (12<sup>00</sup> Uhr OZ bzw. 13<sup>00</sup> Uhr MESZ) bei einer Sonnenhöhe von 66° das gesamte Untersuchungsgebiet besonnt.

Abb. 11: Schattengrenzen um 12<sup>00</sup> Uhr MEZ



### 2.2.3. Die Abendsituation (16<sup>00</sup> Uhr MEZ)

Abb. 12 zeigt die Schattengrenzen um 16<sup>00</sup> Uhr MEZ. Die Sonne scheint zu diesem Zeitpunkt aus südwestlicher (21. Dezember) bis westlicher (21. Juni) Richtung, im Schatten liegen nun vor allem die nordöstlichen bzw. östlichen Abhänge und die vorgelagerten Siedlungen.

Extrem groß sind die Schattenflächen eine halbe Stunde vor dem astronomischen Sonnenuntergang am 21. Dezember. Betroffen sind nun vor allem die Stadtteile Gisingen und Altstadt, die im Schatten des Schellenbergs bzw. des Ardetzenbergs liegen, und der untere Walgau mit Frastanz und dem Frastanzer Ried (im Schatten des Vorderälpele-Drei Schwestern-Zugs). Ebenfalls teilweise im Schatten liegen die Neustadt, Tosters, Hub und die Kirche in Nofels sowie einige



Weiler am Schellenberg (z.B. St. Corneli). Durch ihre Offenheit nach Südwesten begünstigt sind nun die Stadtteile Tisis und Levis. In einem großen Areal am südöstlichen Ardetzenberg geht gerade die Sonne unter.

Zu den Daten des Frühlings- und des Herbstbeginns sieht die Situation bedeutend günstiger aus. Mehr als 2½ Stunden vor dem astronomischen Sonnenuntergang um 18<sup>35</sup> Uhr MEZ liegt der größte Teil Feldkirchs noch in der Sonne. Einzig an den nordöstlichen Abhängen des Ardetzenbergs, des Schellenbergs und des Blasenbergs liegen einige Häuser bereits in Schatten. Ebenfalls im Schatten liegen die Obere und die Untere Illschlucht.

Zur Sommersonnenwende liegt um 16<sup>00</sup> Uhr MEZ noch das gesamte Siedlungsgebiet in der Sonne. Die Sonnenhöhe beträgt fast 4½ Stunden vor dem astronomischen Sonnenuntergang noch 41°.

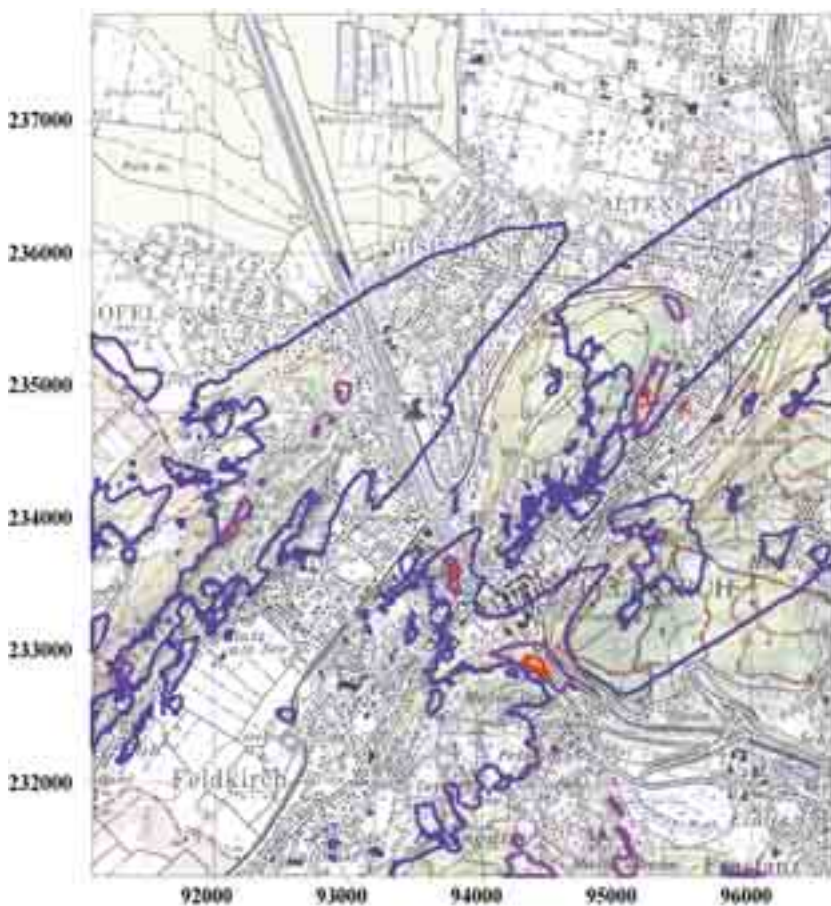


Abb. 12: Schatten-  
grenzen 16<sup>00</sup> Uhr MEZ

- Schattengrenzen**
-  21. Dezember 16:00 Uhr
  -  21. März / 23. Sept. 16:00 Uhr
  -  21. Juni 16:00 Uhr



Schattenlinien: ArcInfo-Modellierung über DTM für  
21. 12., 21. 3., 21. 6. und 23. 9. jeweils 16:00 Uhr MEZ.  
Basiskarte: ÖK 1:50.000 Blätter 110, 111, 140, 141

Peter Drexel, Februar 1998

#### 2.2.4. Flächen mit ganztägiger Beschattung am 21. Dezember

In *Abb. 13* blau dargestellt sind jene Gebiete, die am kürzesten Tag des Jahres keine bzw. weniger als eine Stunde direkte Sonneneinstrahlung erhalten. Die Berechnungen erfolgten dabei auf Basis der in *Tabelle 3* zusammengefaßten Stundenterminwerte der Sonnenhöhe und des Azimuts.

Die Zonen mit weniger als einer Stunde direkter Sonneneinstrahlung am 21. Dezember sind trotz der teilweise sehr starken Horizontüberhöhung relativ klein und beschränken sich größtenteils auf unbewohnte Gebiete. Einzig am Fuß des Stadtschroffens (Musikschule), in Altstadt (Nordseite des Ardetzenbergs) und oberhalb von Maria Ebene sind einige ganzjährig genutzte Gebäude davon betroffen.

In *Abb. 13* grün eingetragen sind jene Flächen, die am 21. Dezember bis mindestens 12<sup>00</sup> Uhr MEZ dauernd im Schatten liegen. Im Siedlungsgebiet sind dies vor allem Gebiete in den Stadtteilen Tisis-Gallmist, Letze und Frastanz-Fellengatter, die großflächig im Schatten des Vorderälpeles liegen. Weiters betroffen sind kleine Areale in Levis (vor allem um den Bahnhof, Schatten des Ambergs), Gisingen (Ardetzenberg), Nofels (am Fuß des Schellenbergs) und Tosters (Gewerbegebiet zwischen Eisenbahn und Kapfweg).

Rot eingetragen sind in *Abb. 13* jene Flächen, die am 21. Dezember ab 13<sup>00</sup> Uhr MEZ permanent im Schatten liegen. Auch hier ist es vor allem das Vorderälpele, das mit seiner hohen Reliefenergie (über 900 m) große Flächen abschattet. Besonders betroffen sind nun die Siedlungsgebiete Frastanz-Felsenau und Frastanz-Maria Ebene, welche ab 13<sup>00</sup> Uhr MEZ praktisch vollständig im Schatten liegen. Ebenfalls im Schatten liegen am Nachmittag das Ganahl-Areal und das Landeskonservatorium an der Oberen Illschlucht (Schatten des Stadtschroffens). Ansonsten sind die Räume mit Nachmittagsschatten nur sehr klein und auf unbesiedelte Gebiete an den Nord- bzw. Nordwestabhängen des Ardetzenbergs, des Ambergs, des Känzeles, des Blasenbergs und des Schellenbergs beschränkt.

**Tabelle 3: Azimut und Sonnenhöhe zu Stundenterminen am 21.12.**

<b>Uhrzeit (MEZ)</b>	<b>9<sup>00</sup></b>	<b>10<sup>00</sup></b>	<b>11<sup>00</sup></b>	<b>12<sup>00</sup></b>	<b>13<sup>00</sup></b>	<b>14<sup>00</sup></b>	<b>15<sup>00</sup></b>	<b>16<sup>00</sup></b>
<b>Azimut</b>	135°	148°	161°	175°	190°	204°	217°	229°
<b>Sonnenhöhe</b>	6°	12°	17°	19°	18°	15°	10°	3°

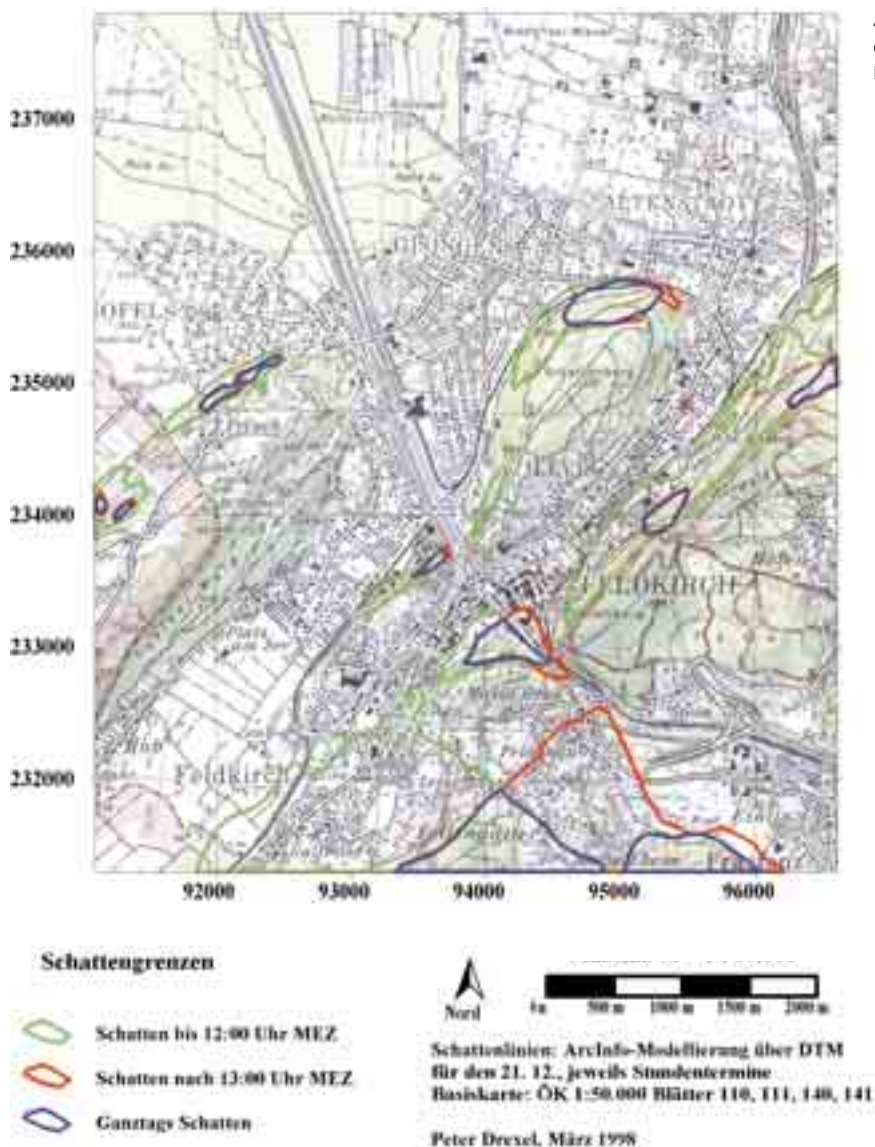


Abb. 13: Schattengrenzen am 21. Dezember

### 3. Aspekte der Klimateignung des Untersuchungsgebiets

In diesem abschließenden Kapitel wird die in den vorhergehenden Abschnitten besprochene klimatische Situation des Untersuchungsgebiets in eine mehrschichtige Karte der Klimateignung (Abb. 18) umgesetzt.

Hauptkriterien bei der Unterscheidung der einzelnen Klimatope sind die nächtlichen Lufttemperaturen (Abb. 8), die bodennahe Strömungssituation (DREXEL 1998), die Exposition und die Abschattung (Kapitel 2.2.). Die so entstehenden 18 Klimatope sind dabei natürlich nicht als abgeschlossene Areale zu verstehen, vielmehr nehmen sie an ihren Grenzen mehr und mehr die Eigenschaften der jeweiligen Nachbarklimatope an.

### 3.1. Aktuelle Nutzung

Die tatsächliche aktuelle Nutzung zeigt über den gesamten Siedlungsraum von Feldkirch ein vergleichsweise heterogenes Bild. Besonders auffallend ist dabei die relativ deutliche Trennung der Wohngebiete von den Gewerbe- und Industriegebieten, die besonders in den letzten 20 Jahren (Firmenschließungen bzw. Auslagerungen an die Peripherie) stattgefunden hat.

Sehr dicht verbaut sind im Untersuchungsgebiet vor allem die Stadtteile zwischen Ardetzenberg, Amberg, Stadtschroffen und Blasenberg. Hier ist in größeren Gebieten die Bebauung praktisch vollständig erfolgt, eine weitere Verdichtung würde zu einer deutlichen Verschlechterung der Wohnqualität führen. Dies gilt in besonderem Maße für die Neustadt und die angrenzenden Gebiete (siehe *Abb. 15*), welche bereits jetzt unter Grünflächenmangel zu leiden haben.

Deutlich weniger kritisch ist die Siedlungsdichte in den Stadtteilen Altstadt und Tisis. Hier erreicht die Besiedlungsdichte in weiten Arealen (etwa zwischen Dorfstraße und Wolf-Huber-Straße in Tisis oder an der Herrenhofgasse in Altstadt) einen günstigen Wert, die Verbauung nach dem Gartenstadtprinzip führt zu einem sehr angenehmen, großzügigen Wohnklima.

Ganz ähnlich ist die Situation auch in den Stadtteilen Gisingen (siehe *Abb. 14*), Tosters und Nofels. Das Siedlungsbild wird hier von Einfamilienhäusern auf bis zu 1000 m<sup>2</sup> großen Grundstücken dominiert. Dazwischen liegen häufig noch recht große unverbaute Areale, die zum größten Teil als Grünland oder Ackerland landwirtschaftlich genutzt werden.

Im Norden von Gisingen an der Paspelsstraße, an der Runastraße und am Leusbündtweg ist es in den letzten Jahren zu einer verstärkten Ansiedlung von Industrie- und Gewerbebetrieben gekommen. Weitere Gewerbegebiete finden sich im Untersuchungsgebiet an der Königshofstraße in Altstadt, an der Hämmerlestraße in Gisingen und an der Eisenbahn in Tosters.

Die Siedlungen an den süd- bzw. westorientierten Hängen des Ardetzenbergs, des Blasenbergs und des Schellenbergs haben praktisch ausschließlich Wohnfunktion.

Die Letzte und die zur Gemeinde Frastanz zählenden Ortsteile Maria Grün, Felsenau und Maria Ebene zeigen in den letzten Jahren ebenfalls eine beschleunigte Entwicklung. Trotzdem besitzen sie noch immer in weiten Teilen den Charakter von kleinen Weilern, die sehr viel Lebensqualität bieten.

Die inzwischen größtenteils meliorierten Flächen des Oberrieds (siehe *Abb. 17*), des Stadtrieds (bei Nofels) und der Parzellen „Beim Viehgatter“ und „Jux“ (im Norden von Altstadt) bilden zusammen mit den waldfreien Hanglagen am Schellenberg und oberhalb des Frastanzer Rieds die Kerngebiete der Landwirtschaft im Untersuchungsgebiet.

### 3.2. Die Klimatope und deren Nutzungspotentiale im Einzelnen

In *Abb. 18* sind die 18 unterschiedenen Klimatope des Untersuchungsgebiets in ihrer räumlichen Ausdehnung dargestellt. Die Gliederung und Unterscheidung der einzelnen Klimatope erfolgt dabei, wie bereits erwähnt, nach den Kriterien nächtliche Lufttemperatur, Durchlüftung, Exposition und Abschattung. Die Qua-

lität der Daten ist bei der nächtlichen Lufttemperatur, der Abschattung und der Exposition sehr hoch, die Beurteilung der Durchlüftungssituation und der Nebelhäufigkeit stützt sich vor allem auf Beobachtungen und Befragungen von Oktober 1997 bis März 1998 (DREXEL 1998).

In *Tabelle 4* sind die einzelnen Klimatope, die im Folgenden erläutert werden, mit ihren markantesten Eigenschaften zusammengefaßt.

### **Wohngebiete:**

WWIG	Vorranggebiet Wohnen I (Wärmeinsel, gute Durchlüftung, nachts Rheintalwind)
WWIC	Vorranggebiet Wohnen II (Wärmeinsel, weniger günstige Durchlüftung, Calmen)
WWI	Vorranggebiet Wohnen III (Wärmeinsel, gute Durchlüftung, nachts Rheintal-/ Walgauauswind, kälter)
WHI	Vorranggebiet Wohnen IV (südexponierte Hanglage, erhöhte Immissionen)
WHG	Vorranggebiet Wohnen V (südost- bis südwestexponierte Hanglagen mit geringer Nebelhäufigkeit)
WHGS	Vorranggebiet Wohnen VI (geringe Nebelhäufigkeit, im Winter wenig Sonnenstunden)
WDK	Vorranggebiet Wohnen VII (gute Durchlüftung, starke, kalte nächtliche Strömung)
WFK	Vorranggebiet Wohnen VIII (gute Durchlüftung, nachts kalte Flur-/Seitentalwinde, nach Südwesten Nebelzunahme)

### **Industrie/Gewerbegebiete**

IB	Vorranggebiet Industrie I (Bestand, teilweise Anrainerbeeinträchtigung durch Emissionen)
IG	Vorranggebiet Industrie II (gute Durchlüftung, im Lee der Stadt)
INES	Vorranggebiet Industrie III (Niedrigemissionsindustrie, wenig Sonnenstunden)

### **Mischgebiete Wohnen/Gewerbe**

M	Mischgebiet I (klassisches Mischgebiet, geringe lufthygienische Belastung)
MS	Mischgebiet II (Niedrigemissionsindustrie, im Winter wenig Sonnenstunden)

### **Erholung/Freihaltung**

EW	Erholung I (Waldgebiete am Talboden)
EH	Erholung II (Hügelzüge in Siedlungsnähe)
EHS	Erholung III (nord/westexponierte Hanglagen, im Winter wenig Sonnenstunden)
EHF	Erholung IV (überwiegend waldfreie Hanglagen am/im Siedlungsraum, Frischluftschneisen)
ET	Erholung V (Riedflächen mit starker nächtlicher Kaltluftproduktion)

**Tabelle 4: Die Klimatope des Untersuchungsgebiets im Überblick**

Am Beginn der Erläuterung der einzelnen Klimatope werden die Vorranggebiete für das Wohnen beschrieben, sie sind alle durch ein „W“ am Kürzelanfang gekennzeichnet.

**WWIG:** In *Abb. 18 (S. 104)* rot dargestellt, stellt dieses Klimatop die günstigste Siedlungsfläche am Rheintalboden dar.

Bei im Mittel relativ starker nächtlicher Überwärmung (+1,0 K bezogen auf FkLKZ) ist trotz der Abschirmung durch den Schellenberg nach Südwesten in den meisten Nächten eine bis zum Talboden durchgreifende Strömung spürbar. Durch die vergleichsweise großen Entfernungen zum Ardetzenberg und zum Schellenberg kommt es auch im Dezember und Januar nur zu relativ geringen Abschattungen.

**WWIC:** Das rot/gelb schraffierte Gebiet zwischen Ardetzenberg und Amberg stellt ebenfalls einen bevorzugten Siedlungsraum des Talbodens dar.

Die nächtliche Überwärmung erreicht hier mit über 1,1 K das absolute Maximum des gesamten Untersuchungsgebiets. Die Abschattung ist abgesehen von der Frühmorgen-Situation des Hochwinters (Amberg) ebenfalls nur gering.

Ein Problem kann in diesem Klimatop die oft nur sehr schwach entwickelte Durchlüftung darstellen. Insbesondere der nächtliche Rheintalauswind kann hier nur selten bis zum Untergrund durchgreifen, häufig stagniert die Luft zwischen Ardetzenberg und Amberg die ganze Nacht. Günstig auf die Durchlüftung wirkt sich in Strahlungsnächten der über eine Einsattelung am Amberg („Gasserplatz“, Höhenkote 563 m) einströmende Talauswind des Walgau aus.

**WWI:** Die in der Klimatopkarte in gelb dargestellten Flächen schließen in ihren Eigenschaften an die vorher beschriebenen Zonen WWIG und WWIC an.

Die Verbauung ist hier weniger dicht als in den beiden Kernzonen der Wärmeinsel, was zu einer reduzierten nächtlichen Überwärmung von +0,5 K bis +1,0 K führt.

Die Durchlüftungssituation ist im allgemeinen als günstig zu beurteilen, besonders in den südwestlichen Randgebieten und in der Neustadt strömt reichlich Frischluft (Flurwinde bzw. Walgauauswind) zu.





**Abb. 14:** Lockere, gartenstadtartige Besiedlung im Stadtteil Gisingen (April 1998)



**Abb. 15:** Neustadt von Feldkirch mit alochthonem Nebel aus dem unteren Walgau (Stadtschroffen, 3. 11. 1997 7<sup>00</sup> Uhr)

- WHI: Diese in *Abb. 18* in gelb/schwarzer, von links unten nach rechts oben verlaufender Schraffur dargestellten Gebiete umfassen die südostexponierten Abhänge des Ardetzenbergs und des Blasenbergs beiderseits der Unteren Illschlucht. Sie bilden aufgrund ihrer Orientierung zur Sonne und der speziellen Aussichtslage über der Neustadt schon seit langem ein besonders attraktives Wohngebiet, was durch zahlreiche, oft sehr großzügige Bauten unterschiedlicher Epochen bestätigt wird. Trotzdem darf hier nicht unerwähnt bleiben, daß besonders die Häuser am südwestlichen Ende des Ardetzenbergs (um die Weinberggasse) in den Nacht- und Morgenstunden erhöhten Immissionen ausgesetzt sind. Der nächtliche Walgauauswind verfrachtet die Emissionen der Neustadt laufend nach Nordwesten, wo sie dann am Ardetzenberg anprallen und teilweise abgelagert werden. Eine solche Situation ist in *Abb. 15* dargestellt. Ebenfalls durch den nächtlichen Walgauauswind kommt es zu Nebelverfrachtungen aus dem Frastanzer Ried bis zum Ardetzenberg bzw. Blasenberg.
- WHG: Die aus klimatologischer Sicht im Winter in Summe günstigsten Siedlungsflächen bilden die schräg grün/gelb schraffierten südost- bis südwestexponierten Hanglagen am Schellenberg, Ardetzenberg und Blasenberg. Durch ihre Lage über der Talsohle erfahren diese Gebiete eine deutlich reduzierte Frostgefährdung (oft ehemalige Weinbaugebiete, besonders am Ardetzenberg). Ebenfalls reduziert ist in diesem Klimatop die Nebelhäufigkeit, was in besonderem Maße für die höhergelegenen Weiler am Schellenberg („Auf der Egg“, „St. Corneli“ etc.) gilt. Durch die Exposition zur Sonne hin kommt es zu einer deutlich früheren Schneeschmelze (siehe auch *Abb. 9*) und örtlich zu einer deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode. In den Sommermonaten sind in diesem Klimatop mit Ausnahme der Weiler „Auf der Egg“ und „Schüttenacker“ Abschattungen der Abendsonne durch die Reliefüberhöhung nach Westen hin zu beobachten.
- WHGS: Eine Modifikation des WHG-Klimatops stellen die in einer horizontalen, gelb/grünen Schraffur dargestellten Gebiete auf dem Schellenberg (Ober- und Unterfresch in Österreich und Hinterschellenberg in Liechtenstein) und am Amberg dar. Hier verspätet sich der Sonnenaufgang im Winter bedingt durch die Reliefüberhöhung nach Südosten hin um bis zu zwei Stunden, der Zeitpunkt des Sonnenuntergangs wird dafür nur von den Schweizer Bergen (bzw. vom Ardetzenberg) im Westen begrenzt.



WFK: Dieses violett eingetragene Klimatop stellt eine Übergangszone von den unverbauten Riedflächen des Talbodens zum Klimatop WWI dar. Die Abweichungen der Nachttemperaturen bezogen auf die Station FkLKZ liegen hier im Bereich von  $-0,5\text{ K}$  bis  $+0,5\text{ K}$ , vor allem an den Südwesträndern der Klimatope sorgen kalte Flurwinde häufig für starke Abkühlung.

Die Durchlüftungssituation ist im allgemeinen vergleichsweise günstig. Dies gilt in besonderem Maße für den Stadtteil Nofels, wo die Strömung des nächtlichen Rheintalwindes die Flurwinde in ihrer Wirkung noch verstärkt.

Im Tisis und Tosters ist die Durchlüftungssituation zusätzlich durch den Walgauauswind beeinflusst. Dieser über- bzw. durchfließt aus Südosten kommend die Letze und die Obere Illschlucht und biegt dann zum Teil in Richtung Westen um. Es kommt hier also zu einer Windscherung des aus Osten strömenden Walgauauswindes und der darunterliegenden südwestlichen Flurwinde.

Zu den Riedflächen im Südwesten hin kann eine Zunahme der Nebelhäufigkeit beobachtet werden.

WDK: Dieses Klimatop (schräg rot/blau schraffiert) stellt den schmalen Übergangsaum zwischen dem kalten ET-Klimatop des Frastanzer Rieds und dem warmen WWI-Klimatop der Neustadt dar.

Das auffallendste Klimaelement in dieser Zone ist der starke, aus Südosten durch die Obere Illschlucht strömende nächtliche Walgauauswind, der kalte, jedoch im Regelfall nur gering belastete Luft aus dem Frastanzer Ried in die dicht besiedelte Neustadt transportiert. Die  $0\text{ K}$ -Isotherme der nächtlichen Mitteltemperatur reicht dabei im Mittel bis zur Rosengasse, die  $-0,5\text{ K}$ -Isotherme immerhin noch bis zum Illpark.

Die drei folgenden Klimatope stellen Vorzugsflächen für Industrie- und Gewerbenutzung dar, sie sind durch ein „I“ am Kürzelanfang gekennzeichnet.

IB: Die gelb/schwarz von recht unten nach links oben schraffierten Gebiete stellen eigentlich kein einheitliches Klimatop dar, trotzdem sollen sie an dieser Stelle zusammengefaßt kurz besprochen werden. Es handelt sich dabei um bestehende Industrie- und Gewerbegebiete, die ihre nähere Umgebung durch Emission von Luftschadstoffen mehr oder weniger stark belasten.

In einem besonders sensiblen Umfeld stehen die Industrie- und Gewerbebetriebe im Gebiet um den Bahnhof in Levis. Hier muß aufgrund der schwachen Durchlüftung in besonderem Maße auf emissionsreduzierende Maßnahmen Wert gelegt werden. Eine Erhöhung der Abgasfahnen durch größere Kaminbauten ist in diesem Gebiet nicht zielführend, da diese bei Höhen von unter  $100\text{ m}$  die umgebende Kulisse nicht überragen würden und daher nur zu punktuell erhöhten Immission an den Hanglagen führen würden.

Ebenfalls besonders sensibel sind das Gewerbegebiet an der Eisenbahn in Tosters und die Standorte der Firmen FM-Hämmerle und Vorarlbergmilch, da hier abgegebene Emissionen von den nächtlichen Flurwinden bzw. vom Rheintalauswind in die benachbarten Siedlungsgebiete Tosters und Gisingen verfrachtet werden.

Im kleinen Gewerbegebiet am Nordwestrand von Nofels muß bei der Ansiedlung von emittierenden Betrieben aufgrund der dominanten nächtlichen Westwinde (Flurwinde) ebenfalls mit einer Minderung der Luftgüte im Siedlungsgebiet gerechnet werden.

IG: Diese blau/schwarz schraffiert eingetragenen Gebiete im Norden der Stadt stellen für die Gewerbe- und Industrienutzung das günstigste Klimatop dar. Aufgrund der guten Verkehrserschließung und des reichlichen Flächenangebots sind hier die Bedingungen zur Ansiedlung von Betrieben auch aus wirtschaftlicher Sicht besonders günstig.

Die mittleren nächtlichen Lufttemperaturen liegen in der Größenordnung der Werte der Referenzstation.

Aufgrund der noch sehr dünnen Verbauung nördlich der Rüttenen- und der Naflastraße sind noch keine echten Flurwinde aus nördlicher Richtung in die Stadt entwickelt. Relativ häufig ist dagegen ein durchgreifender nächtlicher Rheintalauswind zu beobachten, der die Emissionen der angesiedelten Betriebe nach Norden in unverbautes Gebiet verlagert.

Aufgrund der Nähe zu größeren unverbauten Riedflächen ist in diesem Klimatop mit einer erhöhten Nebelwahrscheinlichkeit zu rechnen, die jedoch nicht über jener von Nofels oder Tosters liegt.

INES: In diesem in der *Abb. 18* in violett/schwarzer horizontaler Schraffur eingetragenen Klimatop sind jene Gebiete im Siedlungsraum Feldkirch zusammengefaßt, welche unter deutlicher winterlicher Abschattung durch die Hügelzüge zu leiden haben und daher als bevorzugte Wohnflächen nicht geeignet sind (siehe *Abb. 16*).

In ihrer nächtlichen Lufttemperatur lehnen sich diese Gebiete an jene ihrer Nachbargebiete am Talboden an, in den Vormittagsstunden speziell des Winterhalbjahres sind sie jedoch deutlich kälter als diese.

Im INES-Klimatop sind bereits heute zahlreiche Industrie- und Gewerbebetriebe (besonders am Fuß des Blasenbergs und des Ambergs) angesiedelt. Hier muß jedoch aufgrund ihrer Lage im Siedlungsgebiet besonders auf niedrige Emissionswerte geachtet werden.



**Abb. 16:** Große schattige Freifläche zwischen Eisenbahn und Ardetzenberg in Gisingen als Beispiel für das INES-Klimatop (Anfang April 1998, 10<sup>00</sup> Uhr)



**Abb. 17:** Der Reiterhof Rhetaca im Oberried zw. Hub und Tisis (ET-Klimatop, 7. 2. 1998, 10<sup>30</sup> Uhr, von Hub Richtung Osten)

Die nächsten zwei Klimatope sind Mischgebiete mit Wohn- und Gewerbenutzung. Eine gemischte Nutzung stellt aus stadtplanerischer Sicht an und für sich ein Optimum dar, Voraussetzung für ein harmonisches Miteinander ist jedoch die Emissionsarmut der angesiedelten Betriebe.

M: In der Klimatopkarte mit vertikaler gelb/blauer Schraffur eingetragen sind die Gebiete mit günstigen Rahmenbedingungen für eine gemischte Nutzung.

Aus thermischer Sicht sind diese Gebiete aufgrund ihrer Lage und der geringen Besiedelungsdichte im Mittel etwas benachteiligt (Ausnahme:

Siedlungen an der Rüttenenstraße, Temperaturgunst von etwa +0,6 K gegenüber FKLKZ).

Die Durchlüftungssituation ist in diesem Klimatop dafür als günstig zu bezeichnen. In Frastanz greift der Walgauauswind häufig bis zum Untergrund durch, bevor er über dem Frastanzer Ried etwas abhebt. Im Rheintal sind die Gebiete mit gemischter Nutzung etwas weiter von den abschirmenden Hügelzügen entfernt und liegen ebenfalls in Zonen mit durchgreifendem Talauswind.

- MS: Dieses in horizontaler rot/blauer Schraffur dargestellte Klimatop am Nordwestfuß des Vorderälpeles deckt sich in seinen Eigenschaften weitgehend mit dem M-Klimatop. Der einzige Unterschied ist die reliefbedingte Reduktion der Sonnenstunden besonders im Winterhalbjahr. Die Sonne geht hier in Januar großflächig erst nach Mittag auf, trotzdem hat dieses Gebiet aufgrund der etwas erhöhten Lage über dem Rheintal auch als Wohngebiet seine Qualitäten. Bei Gewerbenutzung muß ähnlich wie in den INES-Gebieten auf Emissionsarmut der Betriebe geachtet werden.

Die abschließenden sechs Klimatope stellen Erholungsflächen, Flächen mit ausschließlich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung bzw. Freihalteflächen dar. Sie sollten in jedem Fall auch in Zukunft von jeder Besiedlung freigehalten werden, da sie das Klima im Stadtgebiet stabilisieren und ausgleichen.

- EW: Dieses in einem hellen Grünton dargestellte Klimatop umfaßt das große Waldgebiet an der unteren Ill. Es präsentiert sich in seinen Randgebieten als Fichten-Buchen-Mischwald und weiter stromabwärts an der Ill als geschützter Sekundärauwald (Naturschutzgebiet Bangs-Matschels). Aus klimatologischer Sicht ist dieses große zusammenhängende Waldgebiet besonders für die angrenzenden Siedlungsgebiete von Bedeutung. Die nächtlichen Minimum-Temperaturen liegen im Mittel bis 0,5 K über dem Referenzwert. Das Waldgebiet tritt in Nofels also als wärmerer Faktor auf. Die Tagestemperaturen werden in einem ca. 50 m breiten Streifen um das Waldgebiet etwas abgesenkt. Wiederholte Meßfahrten an der Hauptstraße und am Oberriegelweg ergaben um die Mittagszeit eine mittlere Abnahme der Temperatur von der Ketschelenstraße bis zum Waldrand von 2,5 K, wobei die mittlere Abnahme von der Austraße bis zum Waldrand noch 1,8 K betrug.

- EH: Das größte weitgehend homogene Klimatop des Untersuchungsgebiets bilden die überwiegend bewaldeten (Fichten-Buchen-Mischwald) Hügelzüge, welche in *Abb. 18* dunkelgrün markiert sind. Sie sind der attraktivste Naherholungsraum des Untersuchungsgebiets und durch zahlreiche Forststraßen und Wanderwege erschlossen. Die nächtlichen Lufttemperaturen liegen in diesem Klimatop, abgesehen von den obersten Rücken, über jenen der Referenzstation. Beson-

ders in einer mittleren Zone ca. 50 bis 100 m über dem Talboden werden mittlere Werte um +0,7 K erreicht, es ist hier also eine warme Hangzone über dem kalten Talboden entwickelt.

Bei den häufigen Nebelobergrenzen um 600 m ragen die obersten Rücken knapp über die Nebeldecke hinaus und werden so zu beliebten „Fluchtpunkten“ aus den düsteren Talsohlen.

Klimatologisch wirksam sind die Hügelzüge vor allem aufgrund ihrer relativen Höhe. Sie verursachen im Winter großflächig Abschattungen am Talboden und schirmen die leeseitig (überwiegend nordöstlich) gelegenen Räume gegen den nächtlichen Rheintalauswind ab.

Ein besonders interessantes Mikroklima ist in diesem Klimatop oberhalb der Felswände des Ambergs (Känzele), des Stadtschroffens und des Schellenbergs entwickelt. Gefördert durch die edaphische Trockenheit der Standorte (Kalksubstrat) wachsen an den exponierten Kamm-lagen überwiegend Föhren.

EHS: Das Klimatop EHS, in *Abb. 18* horizontal grün/schwarz schraffiert dargestellt, umfaßt die Nordostabhänge der Hügelzüge. Im Vergleich zum EH-Klimatop leiden diese Flächen unter ihrer ungünstigen Exposition und damit unter relativer Sonnenarmut. Dies führt besonders im Winter zu großen Vereisungsproblemen auf den bestehenden Verkehrswegen (Göfiser Straße, Kapfweg), im Falle der Alten Freschnerstraße sogar zu einer regelrechten „Wintersperre“ der Straße.

EHF: Bei diesen in der Klimatopkarte horizontal grün/violett schraffierten Flächen handelt es sich um überwiegend waldfreie Hanglagen in unmittelbarer Siedlungsnähe, die eine wichtige Funktion als lokale Frischluftzubringer haben. Besonders die Zonen unterhalb des Stadtschroffens und des Paßüberganges an der Göfiser Straße sollten aus diesem Grund auch in Zukunft unverbaut und wenn möglich auch waldfrei gehalten werden.

ET: Das in der Klimatopkarte mit blauem Vollton eingetragene ET-Klimatop deckt die ebenen, weitgehend unverbauten Riedflächen ab. Die mittleren nächtlichen Lufttemperaturabweichungen bezogen auf FkLKZ erreichen hier Werte zwischen -3,1 K im Frastanzer Ried, -1,4 K im Oberried und -0,3 K in den anderen Riedflächen.

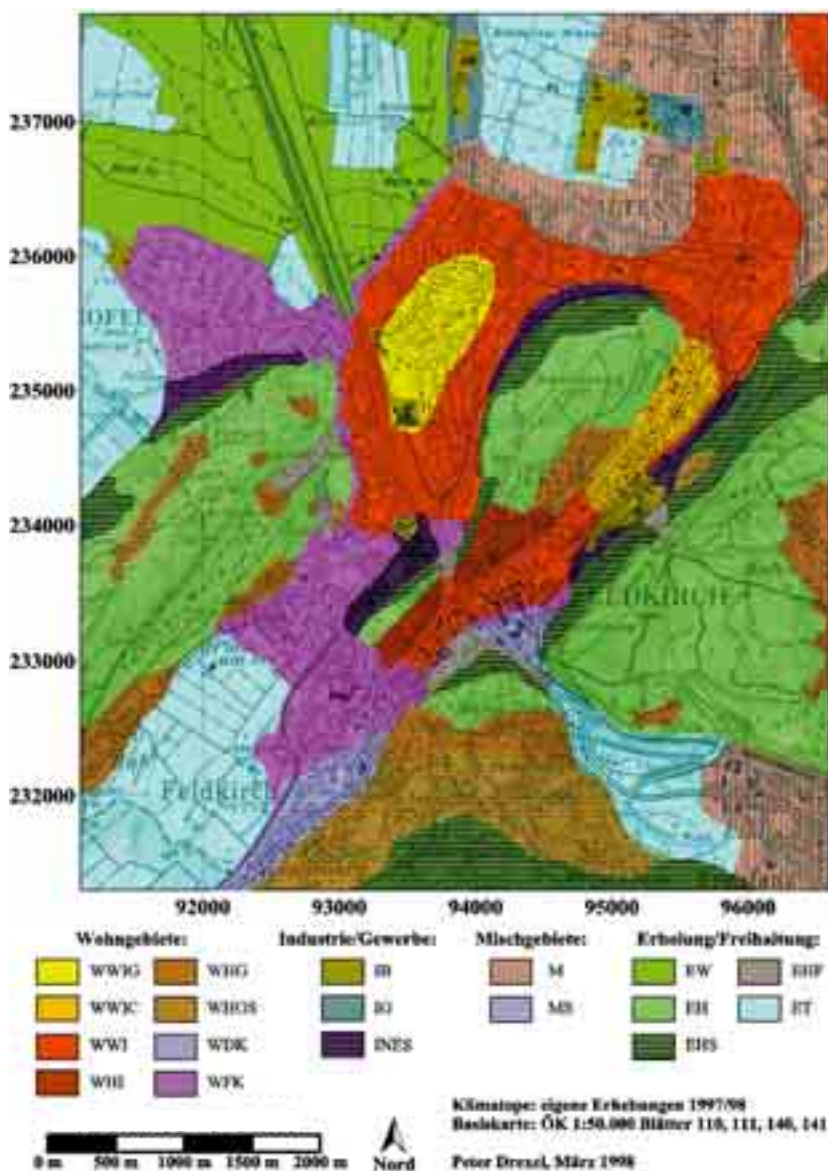
Das ET-Klimatop ist als Quellgebiet der Flurwinde von besonderer stadtklimatologischer Bedeutung. Durch die intensive nächtliche Ausstrahlung kühlen sich die Riedflächen sehr stark ab. Es entsteht ein starker Temperaturgegensatz verbunden mit einem lokalen Druckgefälle von den Riedflächen in die Stadtviertel hinein, welches dann durch die Flurwinde ausgeglichen wird.

Im Zusammenhang mit den Flurwinden ist auf die besondere lufthygienische Sensibilität der hier angesiedelten landwirtschaftlichen Betriebe (siehe *Abb. 17*) hinzuweisen. Bereits geringe Emissionen, z.B. aus

Schweinemast- oder Geflügelzuchtbetrieben, können von den dominanten nächtlichen Strömungen bei nur sehr schwacher Verdünnung bis weit in die Siedlungsräume hinein verfrachtet werden.

Durch die nächtliche Abkühlung bilden sich besonders im Herbst häufig Strahlungsnebel, welche dann von den Flur- bzw. Talauswinden ebenfalls in die Stadt hinein verlagert werden.

Abb. 18: Klimatopkarte des Untersuchungsgebiets





### 3.3. Konfliktpotentiale

Nutzungskonflikte bestehen im Untersuchungsgebiet derzeit vor allem in den relativ dicht verbauten älteren Stadtteilen von Feldkirch. Hier überlagern sich die heutigen Siedlungsgebiete mit jenen Gebieten, die in der Gründerzeit aufgrund ihrer damaligen Standortvorteile (an der Ill – Wasserkraft und Brauchwasser; in Waldnähe – Holz als Roh- und Brennstoff; in Gehdistanz zu den Arbeitervierteln; an der Eisenbahn) bevorzugte Industriestandorte (Mühlen, Textilindustrie, Metallverarbeitung) waren.

Nach der Auslagerung bzw. Stilllegung der Textilindustrie (z.B. Textilwerke Ganahl unterhalb der Oberen Illschlucht) finden sich die größten Konfliktpotentiale heute entlang der Eisenbahnlinien in Levis. Hier belegen der Bahnhof und das anschließende Gelände der ÖBB-Werkstätten und einige Gewerbebetriebe große Flächen des Talbodens. Schon relativ geringe Emissionen führen hier aufgrund der Windarmut zu Belastungen der Anrainer.

Immer wieder in den Schlagzeilen war in den letzten Jahren die Verbrennungsanlage für Spitalmüll beim Landeskrankenhaus Feldkirch in Tisis. Die veröffentlichten Emissionsdaten zeigen hier jedoch keine Grenzwertüberschreitungen.

Die Standorte der Spinnerei Feldkirch GmbH (FM-Hämmere) und der Vorarlberg-Milch an der Ill sind aus klimatologischer Sicht ebenfalls nicht optimal. Wenngleich die Schadstoffemissionen beider Betriebe inzwischen relativ gering sind, kommt es immer noch zu Geruchsbelästigungen der unmittelbaren Anrainer.

Im Gegensatz zu den abnehmenden Konfliktpotentialen Industrie/Gewerbe und Wohnen kommt es zwischen den Funktionen Wohnen und Erholung in den letzten Jahren zu immer stärkeren Spannungen. Besonders betroffen davon sind die günstigen Lagen der WHI- bzw. EH-Klimatope am Ardetzenberg und am Blasenberg, wo durch verstärkte Bautätigkeit der Erholungswert dieser besonders wichtigen zentralen Grünzonen deutlich reduziert wurde. Nicht nur der reale Flächenverbrauch, sondern auch die (häufig relativ unangepaßte) Architektur der Bauten stört hier den besonderen Reiz der Erholungslandschaften Städtischer Tierpark und Waldlehrpfad.

Aus stadtplanerischer Sicht muß auf eine weitere Entflechtung der einzelnen Nutzungsarten hingearbeitet werden. Dies gilt in besonderem Maße für den Stadtteil Levis, wo versucht werden sollte, die ansässigen Gewerbe- und Industriebetriebe zu einer Auslagerung an den Nordrand der Stadt zu bewegen.

## 4. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Das Untersuchungsgebiet Feldkirch (ÖK 1:50.000 Blätter 110, 111, 140,141)	70
Abb. 2:	maximale nächtliche Überwärmung einiger Städte (SCHÖNWIESE 1994, FESSLER 1995, ergänzt)	73
Abb. 3:	Strahlungsbilanz Erde und Atmosphäre	74
Abb. 4:	Route der Temperaturmeßfahrten und Stationsstandorte	76

Abb. 5:	Städtische Wärmeinsel bei gradientschwachen Strahlungswetterlagen	77
Abb. 6:	Städtische Wärmeinsel bei Vorderseitenlagen	81
Abb. 7:	Städtische Wärmeinsel bei Rückseitenwetterlagen	83
Abb. 8:	mittlere relative nächtliche Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet	86
Abb. 9:	Blick von der Göfiser Straße nach Westen über Levis zum Ardetzenberg (14. 2. 98, 8 <sup>10</sup> Uhr)	88
Abb. 10:	Schattengrenzen um 10 <sup>00</sup> Uhr MEZ	89
Abb. 11:	Schattengrenzen um 12 <sup>20</sup> Uhr MEZ	90
Abb. 12:	Schattengrenzen 16 <sup>00</sup> Uhr MEZ	91
Abb. 13:	Schattengrenzen am 21. Dezember	93
Abb. 14:	lockere, gartenstadtartige Besiedlung im Stadtteil Gisingen (April 1998)	97
Abb. 15:	Neustadt von Feldkirch mit alochthonem Nebel aus dem unteren Walgau (Stadtschroffen, 3. 11. 1997 7 <sup>00</sup> Uhr)	97
Abb. 16:	große schattige Freifläche zwischen Eisenbahn und Ardetzenberg in Gisingen als Beispiel für das INES-Klimatop (Anfang April 1998, 10 <sup>00</sup> Uhr)	101
Abb. 17:	der Reiterhof Rhetaca im Oberried zw. Hub und Tisis (ET-Klimatop, 7. 2. 1998, 10 <sup>30</sup> Uhr, von Hub Richtung Osten)	101
Abb. 18:	Klimatopkarte des Untersuchungsgebiets	104

## 5. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	einige wichtige Stadtklimaeffekte	72
Tabelle 2:	durchschnittliche Albedowerte für verschiedene terrestrische Oberflächen	75
Tabelle 3:	Azimut und Sonnenhöhe zu Stundenterminen am 21.12.	92
Tabelle 4:	Die Klimatope des Untersuchungsgebiets im Überblick	95

## 6. Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
°C	Grad Celsius
d	Tag
Fk	Feldkirch
FkA / FkL	Feldkirch-Ardetzenberg / Feldkirch-Levis
FkLKZ	Feldkirch-Landeskatastrophenzentrum
g	Gramm
geogr.	geographisch(e)
H	Hochdruck
h	Stunden
ha	Hektar
hPa	Hektopascal (=mbar)
Hrsg.	Herausgeber



K	Kelvin
max	mittleres Maximum
Max / MAX	Maximum / absolutes Maximum
MEZ	Mitteuropäische Zeit
MESZ	Mitteuropäische Sommerzeit
min	Minuten / mittleres Minimum
Min / MIN	Minimum / absolutes Minimum
N / NO /NW	Nord / Nordost / Nordwest
O	Ost
OZ	Ortszeit
S	Süd
s	Sekunde
Sh.	Seehöhe / Sonnenhöhe
SO / SW	Südost / Südwest
T	Tiefdruck
$T_M / T_m$	Tagesmittelwert der Temperatur
$T_{MN}$	Mittelwert der Nachttemperaturen (Stundenwerte von 18 <sup>00</sup> Uhr bis 5 <sup>00</sup> Uhr)
$T_{MT}$	Mittelwert der Tagtemperaturen (Stundenwerte von 6 <sup>00</sup> Uhr bis 17 <sup>00</sup> Uhr)
UV	Ultraviolett
vgl.	vergleiche
Vlbg/V	Vorarlberg
W	West
WMO	World Meteorological Organization
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien

## 7. Literaturverzeichnis

AUER, I., BÖHM, R. & MOHNL, H., 1989: Klima von Wien – Eine anwendungsorientierte Klimatographie. Magistrat der Stadt Wien, 270 S.

DREXEL, P., 1998: Untersuchungen zum Stadt- und Geländeklima von Feldkirch/Vorarlberg. Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz. 100 S.

FESSLER, K., 1995: Untersuchungen zum Stadt- und Geländeklima von Dornbirn/Vorarlberg. Dissertation an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 278 S.

FLIRI, F., SCHÜEPP M., 1984: Synoptische Klimatographie der Alpen zwischen Mont Blanc und Hohen Tauern (Schweiz – Tirol – Oberitalien) und Alpine Witterungslagen und europäische Luftdruckverteilung. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, Heft 29, Universitätsverlag Wagner. Innsbruck

HEYER, E., 1993: Witterung und Klima. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft. Stuttgart, Leipzig, 344 S.

JACOBEIT, J., 1986: Stadtklimatologie von Augsburg unter besonderer Berücksichtigung der lufthygienischen Situation sowie des Lärms. Augsburger Geographische Hefte, Heft Nr. 6, 171 S.

KRATZER, P. A., 1956: Das Stadtklima. Die Wissenschaft – Einzeldarstellungen 107

- aus der Naturwissenschaft und der Technik, Band 90, Friedr. Vieweg & Sohn. Braunschweig, 184 S.
- LANDSBERG, H. E., 1981: The urban climate. International geophysics series, v. 28, Academic Press Inc. New York, London, 275 pages
- LAZAR, R., 1991: Stadtklimaanalyse Graz und ihre Bedeutung für die Stadtplanung. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl Franzens Universität Graz, Band 30, S. 141–171
- LAZAR, R., 1997: Stadtklima und Luftreinhaltung in Österreich an Hand von Beispielen. VDI Band Stadtklima und Luftreinhaltung. In Druck
- NÜBLER, W., 1979: Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg i. Breisgau. Freiburger Geographische Hefte, Heft 16, 113 S.
- SCHÖNWIESE, C. D., 1994: Klimatologie. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 436 S.
- VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.), 1988: Stadtklima und Luftreinhaltung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 426 S.
- WEISCHET, W., 1991: Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Teubner Studienbücher Geographie. Stuttgart, 275 S.
- WERNER, R., 1995: Die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen im Nordteil des Vorarlberger Rheintales. Zur Verdünnung in der bodennahen Atmosphäre. Lebensraum Vorarlberg, Band 20, Bregenz, 20 S.
- ZAMG (Hrsg.), o. J.: Digital übermittelte Klimastationsdaten von Österreich der 3. CLINO 1961–90
- ZAMG (Hrsg.), 1984: Klimadaten von Österreich: Mittelwerte der Periode 1971 bis 1980 Teil I Vorarlberg, Teil II Tirol. Arbeiten aus der ZAMG Heft 61, Veröffentlichung Nr. 289, Wien
- ZAMG (Hrsg.), 1998: Digital übermittelte Stationsdaten der Klimastation Feldkirch-Landeskatastrophenzentrum für den Zeitraum Dezember 1997 bis Februar 1998
- ZELLER, I., 1983: Weinbau in Vorarlberg. Monographien der Rheticus-Gesellschaft Band 16, Feldkirch, 132 S.

*Anschrift des Autors:*

*Peter Drexel*

*Volkergasse 12*

*A-6850 Dornbirn*