



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Autobahntemperaturen

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Verfasserin:	Johanna Nikitsch
Matrikelnummer:	8671366
Studienrichtung:	A 415 Meteorologie
Betreuer:	O.Univ.Prof. Dr. Reinhold Steinacker
Wien, am:	21. September 2009

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Verhalten der Lufttemperatur über Autobahnen. Da Wetterverhältnisse im Straßenverkehr eine essenzielle Rolle haben, spielt neben Niederschlagsereignissen, Sturm oder Nebel, oft unterschätzt, auch die Temperatur eine wichtige Rolle. Nur wenige Grad Unterschied können zu Extremsituationen wie Straßenglätte, gefrierendem Nebel oder sogar gefrierendem Niederschlag führen. Bei der Untersuchung der Lufttemperatur über der Autobahn, welche an den Autobahnen Österreichs von Sensorwetterstationen der Asfinag gemessen wird, sind mehrere Dinge zu beachten bzw. stellen sich verschiedene Fragen. Verhält sich die Temperatur über der Autobahn anders als andernorts, das heißt: Existiert ein Mikroklima über der Autobahn? Gibt es, bzw. wie groß sind die Unterschiede im Verhalten der Temperatur je nach geographischer Lage der Autobahn? Dass dem so ist und sich die Temperatur je nach orographischer Begebenheiten unterschiedlich verhält, ist bekannt. Interessant ist nun, etwaige Regelmäßigkeiten im Verhalten der Lufttemperatur für verschiedene Wetterlagen und unter verschiedenen orographischen Bedingungen herauszufinden. In dieser Arbeit wurden Temperaturdaten von Sensorwetterstationen, Synops und VERA-TNT in Wien, Innsbruck und am Brenner statistisch ausgewertet und analysiert. Die Berechnungen ergaben erwartungsgemäß starke Unterschiede des Verhaltens der Temperatur je nach Jahreszeit und Wetterlage sowie Standort der Wetterstation bzw. je nach Gitterpunkt der Temperaturdaten. Einige Regelmäßigkeiten konnten dabei herausgearbeitet werden. Es wurde außerdem erkannt, dass die VERA-TNT (Vienna Enhanced Resolution Analysis - Temperatur der Niederungen und Täler) Temperaturen gute Vergleichswerte sind, wenn bei der Arbeit mit diesen Daten Minimumtopografie und Fehlerkorrektur beachtet werden.

Abstract

Weather phenomena are looming large in road traffic. Besides precipitation, wind-storm or fog, temperature is a very important, but an often underestimated issue. Even the offset-temperature of a few degrees can cause extreme conditions like slippery road surface, freezing fog or even freezing rain. Therefore accurate weather forecasts are indispensable for occupational groups who work at highways. When analysing air temperature above highways – which is measured with “Sensorwetterstationen” at some highways in Austria – several important things have to be kept in mind: Are there any specialities with temperature above highways, which means is there a microclimate of highways? Are there any differences in temperature according to the geographical position of highways, and if so, how big are those differences? It is a matter of fact, that temperature is highly depending on orography. Finding out possible regularities for different weather conditions and orography was therefore of great interest. In this paper, temperature data from sensors, synops and VERA-TNT from Vienna, Innsbruck and Brenner was evaluated statistically. As expected temperature differs depending on season and weather conditions as well as position of the weather station. Furthermore, in many cases the measurement data of the sensors are higher than the measurement data of the synops. When working with VERA-TNT data one should be aware of minimum topography and error correction.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Statistische Grundlagen	3
2.1	Statistische Maßzahlen	3
2.2	Zeitreihenanalyse	4
2.2.1	Autokorrelation	6
3	Stationen	7
3.1	Wien	7
3.2	Innsbruck	8
3.3	Brenner	8
4	Temperaturdaten	9
4.1	Sensor	9
4.1.1	Aufstellrichtlinien	9
4.2	Synop und Tawes	14
4.3	VERA	15
4.3.1	VERA Temperatur der Niederungen und Täler	16
5	Fallstudien	20
5.1	Strahlungstage	21
5.1.1	7.–14. Mai 2008	21
5.1.2	26.–31. Mai 2008	32
5.1.3	8.–14. Februar 2008	41
5.2	Niederschlagstage	50
5.2.1	Mai 2008	50
5.2.2	April 2008	62
5.3	Jänner	72
6	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	100
6.1	Strahlungstage	100
6.1.1	Wien	100
6.1.2	Innsbruck	101

6.1.3	Brenner	103
6.2	Niederschlagstage	105
6.2.1	Wien	105
6.2.2	Innsbruck	105
6.2.3	Brenner	106
6.3	Jänner	107
6.3.1	Wien	107
6.3.2	Innsbruck	108
6.3.3	Brenner	109
6.4	Schlussfolgerungen	111
Literaturverweis		112
Abbildungsverzeichnis		114
Tabellenverzeichnis		118

1 Einleitung

Die Wetterverhältnisse spielen im Straßenverkehr eine nicht zu unterschätzende Rolle. Neben Niederschlagsereignissen, Sturm oder Nebel spielt auch die Temperatur eine wichtige Rolle. Nur wenige Grad Unterschied können zu Extremsituationen wie Straßenglätte, gefrierendem Nebel oder sogar gefrierendem Niederschlag führen. Laut National Academy of Sciences führt schlechtes Wetter neben einer Verringerung der Kapazität der Straßen und längeren Reisezeiten auch zu teils schweren Unfällen (National Academy of Sciences, 2004). Punktgenaue Wetterprognosen sind daher für Straßenräumdienste, Autobahnmeistereien und ähnliche Berufsgruppen unverzichtbar. Für MeteorologInnen, die genau in diesem Bereich arbeiten, ist dieses Thema von besonderem Interesse, da man im Routinedienst regelmäßig mit der Schwierigkeit, exakte Temperaturprognosen zu liefern, konfrontiert wird und außerdem durch das Feedback der Kunden auch immer wieder an die Relevanz der Temperaturprognose erinnert wird. Besonders heikel ist die Situation bei Temperaturen knapp um den Gefrierpunkt. Hier ist eine exakte Prognose besonders wichtig. Sobald die Temperatur unter Null Grad fällt, kann etwa Nebel zu gefrierendem Nebel oder kann Regen zu gefrierendem Regen, einer der gefährlichsten Wettererscheinungen für den Straßenverkehr überhaupt, werden. Laut “where the weather meets the road” einem Forschungsbericht der National Academy of Sciences sollten existierende Beobachtungssysteme verbessert werden und außerdem Standards für die Beobachtungen geschaffen werden (National Academy of Sciences, 2004). Diese Standards wurden für die Strassenwetterstationen in Österreich mit dem in Kapitel 4.1. beschriebenen PlaNT Dokument geschaffen, allerdings gibt es kaum Untersuchungen der tatsächlichen Ergebnisse dieses Beobachtungssystems. Bei der Untersuchung der Lufttemperatur über der Autobahn sind mehrere Dinge zu beachten bzw. stellen sich verschiedene Fragen. Verhält sich die Temperatur über der Autobahn anders als andernorts, das heißt: Existiert ein Mikroklima über der Autobahn? Gibt es bzw. wie groß sind die Unterschiede im Verhalten der Temperatur je nach geographischer Lage der Autobahn? Dass dem so ist und sich die Temperatur je nach orographischer Begebenheiten

unterschiedlich verhält ist bekannt. Interessant wäre nun, etwaige Regelmäßigkeiten im Verhalten der Lufttemperatur für verschiedene Wetterlagen und unter verschiedenen orographischen Bedingungen herauszufinden.

Ziel dieser Arbeit ist es Antworten auf obige Fragen zu finden. Zu diesem Zweck wurden Temperaturdaten von Sensorwetterstationen, Synops und VERA-TNT (VERA Temperaturen der Niederungen und Täler) statistisch ausgewertet und analysiert. Um auch die Unterschiede je nach Topographie untersuchen zu können, wurde mit Daten aus dem Flachland (Wien), aus einem Tal (Innsbruck) und von einem Berg (Brenner) gearbeitet.

2 Statistische Grundlagen

2.1 Statistische Maßzahlen

Zur Beschreibung von Stichproben gibt es charakteristische Maßzahlen. Neben Mittelungsmaßen (Maßzahlen in Orientierung an mittleren Werten) und Variationsmaßen (Maßzahlen zur Kennzeichnung der Datenvariationen), mit denen in dieser Arbeit hauptsächlich gearbeitet wird, gibt es auch Quantile (Maßzahlen zur Kennzeichnung der Häufigkeitsanteile) sowie weitere Maßzahlen, welche für die Daten dieser Arbeit nicht errechnet werden (Schönwiese, 2006). Das bekannteste Mittelungsmaß ist der arithmetische Mittelwert (erstes statistisches Moment)

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum a_i = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n) \quad (1)$$

mit $a_i, i = 1, \dots, n$, wobei es sich bei n um den Stichprobenumfang handelt (Schönwiese, 2006). Die quadratischen Abweichungen der Einzelwerte a_i sind vom arithmetischen Mittelwert $\bar{a}$ minimal, was ihn empfindlich gegenüber Ausreißern macht. Weniger empfindlich gegenüber Ausreißern ist der Median oder auch Zentralwert, ein weiteres wichtiges Mittelungsmaß. Um den Median zu berechnen, müssen die Daten zuerst der Größe nach geordnet werden, wobei a_1 den niedrigsten und a_n den höchsten Wert hat. Damit gilt für einen ungeraden Stichprobenumfang

$$Med = a_{(\frac{n+1}{2})} \quad (2)$$

Im Falle eines geraden Stichprobenumfangs muss der Median über

$$Med \approx \frac{(a_{\frac{n}{2}-1} + a_{\frac{n}{2}+1})}{2} \quad (3)$$

geschätzt werden (Schönwiese, 2006). Der Median teilt die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion in zwei gleich große Hälften. Wird nun eine Verteilung nicht in zwei, sondern in drei, vier oder mehrere gleich große Abschnitte geteilt, spricht man von den weiter oben erwähnten Quantilen, Maßzahlen

zur Kennzeichnung der Häufigkeitsanteile. Das einfachste Variationsmaß, das nur vom Maximum und Minimum einer Stichprobe abhängt, ist die Schwankungsbreite (auch Wertebereich genannt), die definiert wird über

$$b = a_{max} - a_{min} \quad (4)$$

(Schönwiese, 2006). Ein weiteres Maß für die Streuung ist die Standardabweichung. Ihre Definition lautet (Schönwiese, 2006):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum a_i'^2} \quad (5)$$

mit $a' = a - \bar{a}$. Die quadratischen Abweichungen vom arithmetischen Mittelwert wird also als Variationsmaß verwendet. Die Varianz, das zweite zentrale statistische Moment, berechnet sich über das Quadrat der Standardabweichung, definiert durch (Schönwiese, 2006)

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum a_i'^2 \quad (6)$$

2.2 Zeitreihenanalyse

Ein Datenkollektiv oder eine Stichprobe $SP = \{a_i\}$ vom Umfang n , deren numerische Werte sich der Reihe nach auf diskrete Zeiten t_i beziehen, wird als Zeitreihe bezeichnet. Werden, wie in dieser Arbeit, konstante Zeitschritte $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ verwendet, spricht man von äquidistanten Zeitreihen (Schönwiese, 2006).

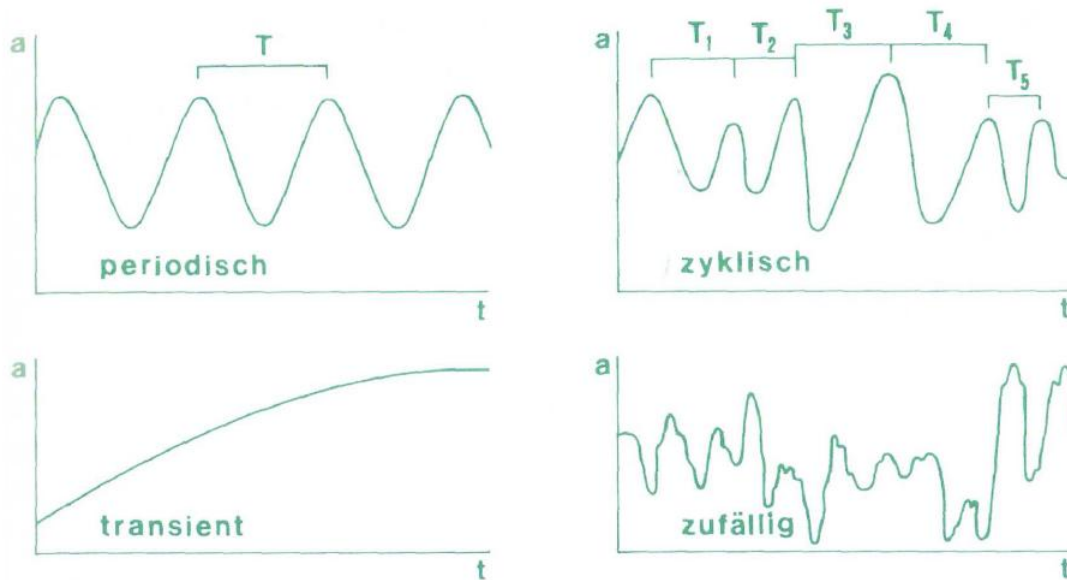


Abbildung 1: Zeitreihencharakteristika (Schönwiese, 2006: 221)

Nach der Definition von Schönwiese gibt es folgende Zeitreihencharakteristika:

- periodisch $a_i(t_i) = a_i(t_i + T)$
- zyklisch $a_i(t_i) \approx a_i(t_i + \bar{T})$
- transient $a_{i+1}(t_{i+1}) > \text{oder} < a_i(t_i) \text{ oder}$
- stochastisch

Als periodisch wird eine Zeitreihe bezeichnet, bei der sowohl die Perioden als auch die Amplitude konstant bleiben, (siehe Abbildung 1). Zyklische Variationsanteile einer Zeitreihe weisen in unregelmäßigen Zeitabständen relative Maxima und Minima auf. Zeitreihen meteorologischer Parameter, wie zum Beispiel Jahres- oder Tagesgänge, sind, obwohl sie periodischen Variationen oft sehr ähnlich sehen, meist zyklische Variationen. Es existieren auch nicht-zyklische Variationen, wie zum Beispiel Trends. Eine Zeitreihe ohne relative Maxima und Minima wird als transient bezeichnet und eine Zeitreihe, deren Maxima und Minima in völlig zufälligen Zeitabständen auftreten,

als stochastisch (Schönwiese, 2006). In dieser Arbeit treten, da es sich um stündliche Temperaturdaten handelt, in erster Linie zyklische Zeitreihen auf.

2.2.1 Autokorrelation

Die Autokorrelation ist eine oft angewandte Möglichkeit, den Zusammenhang von Daten zu prüfen und zu beschreiben. Dabei wird das Datenkollektiv mit sich selbst korreliert, allerdings werden die beiden Zeitreihen Schritt für Schritt gegeneinander zeitlich verschoben. Durch die Zeitverschiebung τ (auch *timelag* genannt) wird die Zeitreihe natürlich sukzessive verkürzt. Die maximale Zeitverschiebung M bei Stichproben ≥ 100 sollte nicht größer als $\frac{n}{2}$ sein. Der Autokorrelationskoeffizient ist definiert:

$$r_A = \sum_{i=1}^{n-\tau} a'_i a'_{i+\tau} / \sqrt{\sum_{i=1+\tau}^n a_i'^2 \sum_{i=1}^{n-\tau} a_i'^2} = \sum_{i=1}^{n-\tau} a'_i a'_{i+\tau} / (n-1-\tau) s_1 s_2 \quad (7)$$

mit $\tau = 0, 1, \dots, M < n$; $-1 \leq r_A \leq +1$. Über die Autokorrelationskoeffizienten r_A , deren Werte sich zwischen -1 und $+1$ bewegen, bekommt man die Autokorrelationsfunktion $r_A(\tau)$. r_A nimmt Werte um Null an, wenn die Daten unabhängig sind, wobei die Korrelation abnehmen sollte, je größer die Zeitverschiebung τ ist. Bei abhängigen Zeitreihen, wie es bei Tagesgängen der Temperatur der Fall ist, schwankt r_A zwischen positiven und negativen Werten. Das für Prognosen interessante Persistenzintervall definiert Schönwiese: $r_A(\tau) > 0$ bzw. $M_{\rho A}(\tau) > 0$ für $\tau \geq 0$. In diesem Zeitintervall sind die Daten so voneinander abhängig, dass sie nicht signifikant von den vorangehenden abweichen, sie haben also eine Art Gedächtnis (Schönwiese, 2006). Wie später noch in den Fallstudien beschrieben, wird dieses Phänomen oft bei stabilen Hochdruckwetterlagen beobachtet.

3 Stationen

Bei der Wahl der Stationen musste neben der Topographie, die Verfügbarkeit der Temperaturdaten beachtet werden. Nachdem die in dieser Arbeit behandelten Sensordaten der Asfinag erst seit wenigen Jahren vorhanden sind und dies nur an ausgewählten Autobahnabschnitten, ist die Anzahl möglicher Stationen stark eingeschränkt. Dazu kommt die Notwendigkeit eines anderen, möglichst nahe gelegenen repräsentativen Temperaturmesswertes. Die dritten Vergleichsdaten, die VERA-TNT-Daten, werden über ein regelmäßiges Gitter auf ganz Österreich interpoliert und stellen daher in diesem Zusammenhang kein Problem dar. Abgesehen von der Datenverfügbarkeit wurde darauf geachtet, Daten jeweils von Standorten im Flachland, auf einem Berg und aus einem Tal zu verwenden. Die geographische Lage der Standorte ist auf der Karte in Abbildung 2 zu sehen



Abbildung 2: Standorte der Stationen auf einer Karte von Google Maps (Quelle: <http://maps.google.at/maps>)

3.1 Wien

Als Station im Flachland wurde der Autobahnabschnitt bei km 15,226 an der S1 ausgewählt. Dieser liegt in unmittelbarer Nähe zum Flughafen Wien-

Schwechat, wo stündlich Synops abgesetzt werden, also sehr verlässliche Vergleichsdaten existieren. Der Flughafen liegt etwa 20 km südöstlich des Wiener Stadtzentrums bei Schwechat in Niederösterreich auf einer Seehöhe von knapp 200 m NN (Normalnull) (Quelle: <http://www.austrianmap.at>).

3.2 Innsbruck

Für die Talstationsdaten wurde mit Autobahnabschnitten im Inntal Stationen eines recht breiten Tals ausgewählt. Die A12 im Inntal war mit der A13 im Wipptal die erste, und einige Zeit auch die einzige Autobahn im Alpenbereich deren Daten der Sensorwetterstationen übermittelt wurden, wodurch die Auswahl für Stationen in Tälern nicht sehr groß war. In dieser Arbeit wurden zwei Autobahnabschnitte ausgewertet, nämlich an der A12 km 77,6 und km 83,9. Diese Abschnitte liegen nicht nur zufällig in unmittelbarer Nähe zum Flughafen Innsbruck Kranebitten. Der Flughafen liegt etwa 4 km westlich der Innsbrucker Stadtmitte auf einer Seehöhe von ziemlich genau 580 m NN (Quelle: <http://www.austrianmap.at>) und liefert, wie schon oben am Beispiel von Wien-Schwechat beschrieben, verlässliche Vergleichsdaten, durch stündlich abgesetzte Synops.

3.3 Brenner

Für die Bergstationsdaten wurden die Autobahnabschnitte km 32,8, km 33,25 und km 33,27 an der A13 ausgewählt. Diese Autobahnabschnitte an der Brenner-Autobahn sind zur Zeit die einzige Möglichkeit für hochgelegene Sensorwetterstationen, da es abgesehen davon, dass nur wenige Teilstücke der Autobahnen über Berge führen, momentan keine anderen hoch gelegenen Sensorwetterstationen gibt. Der höchste Punkt der A13 liegt auf etwa 1350 m NN (Quelle: <http://www.austrianmap.at>). Als Vergleichswert werden hier Messwerte einer Tawes Station (teilautomatische Wetterstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)) herangezogen, welche sich nahe genug an den Autobahnabschnitten befindet, um als repräsentativ zu gelten.

	<i>Synop/Tawes</i>	<i>VERA</i>	<i>SWA</i>
<i>Wien-Schwechat</i>	200 m	150 m	ca. 170 m
<i>Innsbruck</i>	580 m	555 m	ca. 560 m
<i>Brenner</i>	1450 m	1105 m	ca. 1350 m

Tabelle 1: Höhenangaben der Synopstationen, VERA-Gitterpunkte und Strassenwetterabschnitte für Wien-Schwechat, Innsbruck und den Brenner

4 Temperaturdaten

In dieser Arbeit wurden drei verschiedene Temperaturdaten statistisch ausgewertet und miteinander verglichen. Es handelt sich dabei um zwei Temperaturmesswerte und einen errechneten Temperaturwert, und zwar: die Temperatur- und Niederschlagswerte von Synop- und Tawesstationen, VERA-TNT-Daten und die Temperaturmesswerte der Sensoren. Die VERA-Daten werden stündlich berechnet und die Synopmessungen stündlich abgesetzt, daher mussten hier nur die Synopcodes entschlüsselt werden. Die Sensorwetterstationen messen minütlich, verwendet wurden aber nur die Messwerte zu jeder vollen Stunde. Bei Datenausfällen wurde nicht interpoliert, sondern ohne diese Werte gearbeitet.

4.1 Sensor

Die Sensoren sind Wetterstationen, die von der Asfinag entlang der österreichischen Autobahnen aufgestellt wurden und werden. Ein Dokument namens PlaNT (Planungshandbuch Nachrichtentechnik der Asfinag), das in Zusammenarbeit mit Meteorologen erstellt wurde, dient *der Standardisierung wesentlicher Aspekte der Planung, der Ausführung sowie der Instandhaltung von Straßenwetterstationen* (im Weiteren Sensoren genannt) (ASFINAG, 2005).

4.1.1 Aufstellrichtlinien

Eine Straßenwetterstation (SWS) stellt eine technische Einrichtung dar, welche der Erfassung atmosphärischer und fahrbahnbezogener Wetter- und

Umfelddaten an einem Ort des Straßenverlaufs dient und diese Daten an ein Erfassungs- und Prognosesystem mit einer entsprechenden Bedien- und Visualisierungseinrichtung weiterleitet (ASFINAG, 2005). In PlaNT werden verschiedenste Punkte sowohl technisch als auch rechtlich genauer beleuchtet. Für diese Arbeit sind allerdings vor allem die Aussagen über das richtige Aufstellen der Wetterstationen, im Speziellen über die Messungen der Lufttemperatur, interessant.

Straßenwetterabschnitt Die Sensoren werden an sogenannten Straßenwetterabschnitten aufgestellt. *Unter Straßenwetterabschnitt wird ein Streckenabschnitt mit einer Länge zwischen 2 und 15 km verstanden, an dem, insbesondere in der kalten Jahreszeit, weitgehend homogene klimatische Bedingungen herrschen. Die Straßenwetterabschnitte werden gemäß einer standardisierten klimatologischen und topografischen Klassifizierung ermittelt (ASFINAG, 2005).*

Die klimatologische Klassifizierung erfolgte in Zusammenarbeit mit einem Meteorologen und mit offiziellen Klimadaten der Jahre 1971–2000 der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). *Sie ist für alle betroffenen Streckenbereiche durchzuführen und muss nachvollziehbar die Beobachtungen und Protokolle des Strecken-/Winterdiensts der örtlich zuständigen Autobahn-/Straßenmeisterei berücksichtigen. Ziel der klimatologischen, mikroskaligen Klassifizierung ist es, das gegenständliche Streckennetz für die Prognose in Abschnitte mit annähernd vergleichbaren klimatologischen Eigenschaften einzuteilen und somit die Verortung der atmosphärischen Sensorik (Lufttemperatur, -feuchte, Niederschlagsart, optional Luftdruck und Wind) möglichst optimal an die regionalen bzw. lokalen Gegebenheiten anzupassen (ASFINAG, 2005).*

Zur topografischen Kategorisierung werden Besonderheiten im gegenständlichen Streckenabschnitt erfasst, wobei die Erfahrungen des Strecken-, oder Winterdiensts der örtlich zuständigen Autobahn- bzw. Straßenmeistereien in nachvollziehbarer Form berücksichtigt werden. Außerdem wird das Verfahren der Straßenthermografie, die so genannten „Thermal Fingerprint“ (TFP)–Messungen angewendet. Die TFP - Messung ist eine Messung der Fahrbahn-

oberflächentemperatur auf dem gesamten zu planenden Streckenabschnitt, auf die in diesem Kontext nicht weiter eingegangen werden muss.

Verortungskriterien *Für die richtige Positionierung der Straßenwetterstationen gibt es, bezogen auf die Ergebnisse der klimatologischen und topografischen Klassifizierung, Verortungskriterien. Wie eben schon beschrieben sind dabei auch Erfahrungswerte von Personen mit einschlägigem Arbeitsbereich von Bedeutung sowie, falls vorhanden, statistische Daten betreffend Unfallhäufigkeit bei Straßenglätte, Taumittelaufbringung usw. zu berücksichtigen. Zur endgültigen Festlegung der Standorte müssen, neben den oben beschriebenen Kriterien, die infrastrukturellen Gegebenheiten, wie Strom, Datenleitungen und ähnliches, berücksichtigt werden. Das eigentliche Verortungsverfahren umfasst folgende Regeln:*

- *Der SWS Standort soll, sowohl bei wolkenlosen als auch bei bewölkten Verhältnissen, an der kältesten Stelle sein. Dies sind üblicherweise exponierte Stellen des Straßennetzes mit, auf Grund von Abstrahlung und der Seehöhe oder topographiebedingter Ausbildung von Kaltluftseen, starker und schneller Abkühlung in der Nacht (ASFINAG, 2005).*

Der Abstand zwischen den Sensorwetterstationen sollte üblicherweise maximal 15 km betragen. Sind auf Grund der Länge oder auf Grund spezieller topografischer oder klimatologischer Besonderheiten neben den Extremstandorten weitere Standorte erforderlich, werden folgende Standorte bevorzugt ausgewählt:

- *Streckenabschnitte mit signifikant anderer Topografie betreffend Ein- bzw. Abstrahlung und Wärmespeicherung sowie z.B. Brücken, Einschnitte,...*
- *Streckenabschnitte mit signifikantem, mikroklimatischem Einfluss durch die Nähe von Gewässern (z.B. Ausbildung von gefrierendem Nebel)(ASFINAG, 2005).*

Bei der Auswahl der Standorte für die Straßenwetterstationen nach eben beschriebenen Richtlinien messen die Wetterstationen unter ähnlichen Kriterien

und liefern miteinander vergleichbare Werte. Neben der eben beschriebenen Kriterien wurden in PLanT Richtlinien zur endgültigen Positionierung der Temperatursensoren definiert:

- *Vertikale Positionierung: 1,8–4 m über dem Boden*
- *Horizontale Positionierung: Seitlich am Fahrbahnrand maximal 10 m vor bis maximal 10 m nach der Positionierung der Fahrbahnsensoren (Messung der Fahrbahntemperatur)*
- *Mindestens 1,5 m rechts vom rechten Fahrbahnrand*
- *Mindestens 4,5 m rechts vom rechten Rand des ersten Fahrstreifens*

Weiters fordert PLanT, dass der *Einfluss der unmittelbaren Umgebung auf die Messung möglichst gering gehalten werden sollte. Ideal ist eine Messstelle über kurz geschnittenem Grasboden, was an Autobahnen nicht immer realisierbar ist. Außerdem sollte der Sensor gegen direkte Strahlung geschützt und gut belüftet sein. Ausreichend Abstand zu größeren Gegenständen, die den Luftraum einengen, ist einzuhalten sowie Schutz gegen Niederschlag oder Beschädigungen vorzusehen (ASFINAG, 2005). Nach der ordnungsgemäßen Aufstellung der Sensorwetterstationen ist auch die Wartung und Instandhaltung derselben zu beachten, um die Betriebstauglichkeit der Stationen sicherzustellen. Mindestens folgende Maßnahmen sind zu ergreifen:*

- *Laufende Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse durch das Bedienungspersonal*
- *Regelmäßige Sichtprüfung (mindestens alle 3 Monate)*
- *Regelmäßige Wartung (mindestens alle 6 Monate)*
- *Kalibrierung: 1 mal jährlich*
- *Freihalten von Gehölzen im Radius von mindestens 5 m um die atmosphärische Sensoren (Sensoren für Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Feuchte). Der Bewuchs im unmittelbaren Bereich der atmosphärischen Sensorik muss kurz gehalten werden.*

- *Dokumentation der Instandhaltungsarbeiten*
- *Begutachtung von Kalibrierungsarbeiten durch eine unabhängige Drittstelle*

Nach PlaNT sollten die Wetterstationen grundsätzlich 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche, betriebsbereit sein, wobei die Betriebsbereitschaft durch Wartungsmaßnahmen wie Reinigung und Kalibrierung sicherzustellen ist. Bei erforderlichen Baumaßnahmen oder Verkehrssicherungsmaßnahmen ist eine Verfügbarkeit von 98 % im Jahresdurchschnitt und eine maximale Entstörzeit von 12 h ist einzuhalten (ASFINAG, 2005).

Messung der Lufttemperatur Der wichtigste Punkt der Aufstellrichtlinien für diese Arbeit ist die Definition zur Messung der Lufttemperatur. In PlaNT wird der Begriff Lufttemperatur als *Temperatur der, weitestgehend ohne den Einfluss von Strahlung, umgebenden Luft, in Grad Celsius* definiert. An die Messung selbst werden folgende Anforderungen gestellt:

- Messbereich: -25°C bis 60°C
- Messwertauflösung: $0,1\text{K}$
- Messgenauigkeit:
 - $T < -10^{\circ}\text{C} : \pm 0,5\text{K}$
 - $-10^{\circ}\text{C} \leq T \leq +10^{\circ}\text{C} : \pm 0,2\text{K}$
 - $T > 10^{\circ}\text{C} : \pm 0,5\text{K}$

Die Lufttemperatur erfolgt als IST-Wert aus einer Messperiode < 60 Sekunden und wird innerhalb der letzten Minute vor der Übermittlung angegeben. Sie wird durch Referenzmessungen geprüft. Diese Referenzmessungen erfolgen mittels eines weitestgehend strahlungsgeschützten Sensors mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,2\text{K}$. Während dieser Messung darf kein Wind mit einer Windgeschwindigkeit stärker als $0,3\text{ m/s}$ wehen. Der Abstand der Referenzmessung zu dem zu überprüfendem Sensor muss horizontal kleiner als 1 m und vertikal kleiner als $0,5\text{ m}$ sein (ASFINAG, 2005).

	<i>Ordinary</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>
<i>Span of scale (°C)</i>	-30 to 45	-30 to 50	-40 to 40
<i>Range of calibration</i>	-30 to 40	-25 to 40	-30 to 30
<i>Maximum error</i>	< 0,2 K	0,2 K	0,3 K
<i>Max. diff. between max. and min. correction within the range</i>	0,2 K	0,3 K	0,5 K
<i>Maximum variation of correction within any interval of 10°C</i>	0,1 K	0,1 K	0,1 K

Tabelle 2: Voraussetzungen für Thermometer nach den Richtlinien der WMO (World Meteorological Organization) (Quelle: World Meteorological Organization, 2008)

Tabelle 2 zeigt für den Vergleich mit den Aufstellrichtlinien von PlaNT, die Voraussetzungen für eine WMO-konforme Verwendung von Thermometern. Laut WMO ist ein Thermometer auf einer möglichst großen freien Fläche in 1,2 bis 2 m über Grund aufzustellen und vor Strahlung und Niederschlag zu schützen (World Meteorological Organization, 2008).

4.2 Synop und Tawes

An meteorologischen Beobachtungsstationen werden regelmäßig sämtliche Parameter, die für die Meteorologie von Bedeutung sind, nämlich Luftdruck, Temperatur, Wasserdampfgehalt und die zwei Komponenten des horizontalen Windvektors, gemessen. Es existieren natürlich auch andere wichtige Größen–zum Beispiel die Luftdichte, ebenfalls eine Zustandsgröße–welche aber nicht gemessen, sondern berechnet werden. Diese für Wetteranalyse und –prognose wichtigen Beobachtungen werden auch „synoptische Beobachtungen“ genannt. Es gibt weltweit ca. 9000 Landstationen und 7000 Schiffstationen, wobei an allen Orten gleichzeitig, also synchron oder eben „synoptisch“, gemessen bzw. beobachtet wird (Hantel et al., 2001).

Tawes sind teilautomatische Wetterstationen der ZAMG. In dieser Arbeit ist immer von Synop die Rede, obwohl die Messwerte vom Brenner eigentlich Tawesdaten sind.

4.3 VERA

VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) ist ein objektives, automatisches Analyseverfahren, das am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien entwickelt wurde, um eine zeitlich und räumlich hochaufgelöste Darstellung meteorologischer Parameter wie zum Beispiel Druck, Wind oder Temperatur über komplexem Gelände zu erhalten. Mesoskalige Strukturen der Felder im Alpenbereich, welche oft kleiner als die mittleren Stationsabstände sind, werden aufgelöst, indem unregelmäßige skalare und vektorielle Beobachtungen auf ein regelmäßiges Gitter interpoliert werden. Dabei werden die thermischen und dynamischen Einflüsse der Topographie auf das Druckfeld–zum Beispiel Hitzetief (thermisch) oder Staukeil (dynamisch)–über den sogenannten Fingerprint eingearbeitet. Die Informationen stammen aus topographischen Daten, wodurch kein numerisches Modell oder first guess Feld als Anfangszustand benötigt wird. Das Analyseverfahren von VERA beruht auf einem Variationsalgorithmus, der die Quadrate der räumlichen ersten und/oder zweiten Ableitung der Messfelder minimiert, wobei davon ausgegangen wird, dass die erste und zweite Ableitung der meisten Feldverteilungen meteorologischer Parameter, wie in der Natur oft beobachtet, minimal sind (Quelle: <http://www.univie.ac.at/amk/vera/index.html>). In die VERA ist außerdem eine Datenqualitätskontrolle inkludiert, die garantieren soll, dass nicht repräsentative Messwerte angepasst werden. Dafür wird die Interpolation mit einer Differenz zwischen analysiertem und gemessenem Punkt (Station oder Gitterpunkt) gleich Null gerechnet. Dadurch führt das analysierte Feld auf jeden Fall durch die Messwerte. Der interpolierte Wert wird nun mit der zu untersuchenden Station, die bei der Berechnung weggelassen wurde, verglichen. Beträgt die Differenz dieser beiden Temperaturdaten mehr als 5 Grad, wird von einem nicht-repräsentativen Wert ausgegangen und diese Station gestrichen (Steinacker et al., 2003). Die eben beschriebene Qualitätskontrolle kann ein- oder ausgeschaltet werden. Sie wurde inzwischen verbessert und soll hier nicht weiter diskutiert werden. (Näheres unter daquamap.img-wien@univie.ac.at)

4.3.1 VERA Temperatur der Niederungen und Täler

Für diese Arbeit eigentlich von Bedeutung ist die VERA Temperatur der Niederungen und Täler (TNT). Das Konzept der TNT reduziert die potentielle Temperatur auf die sogenannte Minimumtopographie, welche sich an Tal- und Beckenlagen anpasst und Gipfel und Kämme abschneidet. VERA berechnet für die Alpenregion flächendeckend TNT-Analysen, welche klimatologisch ausgewertet wurden, um zwei-dimensionale Darstellungen sowie Zeitreihen an allen Gitterpunkten zu erhalten. Die Daten stammen aus dem EZMW Mars Archiv, wobei dreistündige Synopdaten über 22 Jahre, von 1.1.1980 00 UTC bis 31.12.2001 21 UTC, verwendet wurden. Um Inhomogenitäten der Rohdaten zu vermeiden, wurden sämtliche Datenlücken durch Interpolation der benachbarten Messwerte gefüllt. Die synoptischen Daten wurden über das VERA-Analysesystem mit 64 Gitterpunkten in zonaler Richtung (1260 km) und 43 Gitterpunkten in meridionaler Richtung (840 km) auf ein 20 km Gitter interpoliert. Das Gitterpunktfeld der TNT deckt den gesamten Alpenraum ab, wobei es für jeden einzelnen Gitterpunkt eine 22 Jahre lange dreistündige TNT Zeitreihe gibt (Bica et al., 2007). Die TNT Berechnungen haben laut Beschreibung gegenüber Stationsbeobachtungen folgende Vorteile:

- Die TNT wird auch für stationsarme und dadurch beobachtungsarme Regionen berechnet. Speziell für Bergregionen ist das von Vorteil.
- Die Stationsdaten werden qualitätskontrolliert, bevor sie weiterverarbeitet werden.
- Datenlücken, die in Beobachtungszeitreihen auftreten können, sind nur von kleiner Relevanz.

Minimumtopographie Die Minimumtopographie ist eine idealisierte Topographie, die sich, wie oben schon beschrieben, an Tal- und Beckenlagen anpasst und Gipfel und Kämme abschneidet. Dafür wird innerhalb eines bestimmten Bereichs die niedrigste Erhebung gesucht und diese Höhe für das

gesamte Gebiet als repräsentativ gesehen (Suklitsch, 2004). Um das zu erreichen, wird die gegebene Gitterpunktshöhe durch die Minimumhöhe, welche sich innerhalb eines gewissen Einflussradius befindet, ausgetauscht.

$$T_{i,j} \ (i \in [1, n], j \in [1, m]) \quad (8)$$

beschreibt die tatsächliche Topographie an den einzelnen Gitterpunkten und

$$M_{i,j} = \min_{\alpha^2 + \beta^2 \leq r^2} T_{i+\alpha, j+\beta} \quad (9)$$

die Minimum Topographie, wobei der Einflussradius $r, r \in \mathbb{Z}^+$, gegeben ist und $\alpha, \beta \in \mathbb{Z}$. (Bica et al., 2007)

An und für sich kann der Radius frei gewählt werden, hier wurde aber die durchschnittliche Breite eines großen Alpentaales gewählt, $r = 10\text{km}$. Um Ausreißer in der Berechnung der potentiellen Temperatur zu vermeiden, welche üblicherweise auf Berggipfeln und steilen Hängen auftreten, werden keine Stationen, die sich höher als 400m über der Minimum Topographie befinden, in das Analyseschema eingehen. Da sich die meisten Messstationen der Alpen in Becken und Tälern, also Nahe der Höhe der Minimum Topographie befinden, spielen die Ungenauigkeiten von Inversionswetterlagen keine Rolle und die Reduktion sollte in den meisten Fällen vernachlässigbar sein. Darüber hinaus befinden sich in den großen Tälern, in denen es oft zu winterlichen Inversionswetterlagen kommt, wie zum Beispiel im Inntal oder im Rheintal, genug Messstationen (Bica et al., 2007).

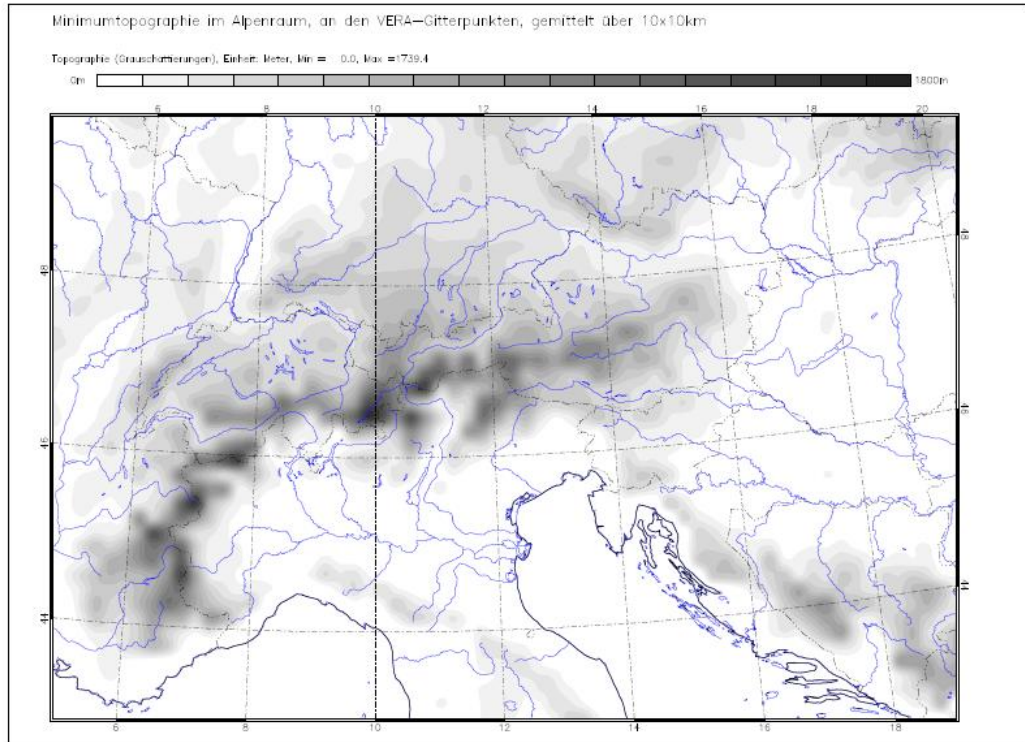


Abbildung 3: Minimumtopographie im Alpenraum, an den VERA-Gitterpunkten, gemittelt über 10x10 km; Grauschattierung entspricht Höhe in Metern (Min: 0,0 m, Max: 1739,4 m)

Abbildung 3 zeigt die Minimum Topographie im Alpenraum. Die höchste Erhebung befindet sich im Engadin mit einer Höhe von 1702 m, der Höhe des dortigen Talbodens. Diese Darstellung ist bereits eine gemittelte und geglättete Version, wobei über ein quadratisches Gebiet mit 10 km Seitenlänge gemittelt wurde (Suklitsch, 2004).

Temperatur der Niederungen und Täler (TNT) Die Formel zur Berechnung der potentiellen Temperatur lautet nach Bica et al.

$$\Theta = T_{stat} + \Gamma (h_{stat} + b(1000 - p_{msl})) \quad (10)$$

wobei T_{stat} die Trockentemperatur an der Stationshöhe h_{stat} ist und $\Gamma = 0,98K/100m$ der vertikale trockenadiabatische Temperaturgradient. $b = 8m/hPa$ ist ein empirisch ermittelter Wert für die vertikale Distanz zwischen zwei

Druckflächen auf Meeresniveau und p_{msl} der durchschnittliche Druck auf Meeresniveau. *Durch Ersetzen der Stationshöhe durch die Höhe der Minimumtopographie in Gleichung 10, wird die Temperatur der Niederungen an die Höhe der Minimumtopographie angenähert und liefert damit höhenkorrigierte, repräsentative Werte für Ebenen und Täler (Bica et al., 2007).*

5 Fallstudien

Im folgenden Abschnitt werden die Fallstudien präsentiert. Dabei werden die Temperaturdaten verschiedener Autobahnabschnitte bei unterschiedlichen Wetterlagen und Jahreszeiten einander gegenübergestellt und statistisch ausgewertet. Es wurden die üblichen statistischen Maßzahlen, nämlich Maximum, Minimum, Anzahl, arithmetisches Mittel, Median, Standardabweichung, Varianz und Wertebereich der einzelnen Datenreihen berechnet. Bei Minimum und Maximum handelt es sich um das absolute Minimum bzw. Maximum der Zeitreihen.

Außerdem wurde das arithmetische Mittel der Temperaturabweichungen für alle Tage der jeweiligen Fallstudie von jeder Stunde gebildet und davon die Standardabweichung errechnet. Für die Berechnung der mittleren Temperaturabweichung wurden immer die Werte des Sensors bzw. der VERA von den Synoptemperaturen abgezogen. Der Synop wurde hier als Referenztemperatur ausgewählt, da beim Absetzen der Synops sehr genau gearbeitet wird und die Messungen mit viel Aufwand betrieben werden. Dass die VERA-TNT eine errechnete Temperatur ist und die Messwerte der Sensoren unter anderem in dieser Arbeit untersucht werden, sind weitere Gründe für diese Wahl.

Anschließend werden auch die Autokorrelationsfunktionen der Temperaturdaten, welche in diesem Zusammenhang große Aussagekraft haben, besprochen.

Für die Fallstudien wurden Strahlungstage und Niederschlagstage im Sommer und im Winter ausgewertet. Idealerweise herrschen an den drei ausgewerteten Stationen an einigen aufeinanderfolgenden Tagen ähnliche Bedingungen, wodurch die Ergebnisse gut miteinander vergleichbar sind. Für Niederschlagstage ist es viel schwieriger, Tage mit ähnlichen Bedingungen an allen beteiligten Orten zu finden. Es wurden einige Tage im April und drei aufeinanderfolgende im Mai gewählt.

Kapitel 5.3 ist eine Fallstudie des gesamten Jänner, wieder unterteilt in Strahlungstage und Niederschlagstage.

5.1 Strahlungstage

An Strahlungstagen kann die Sonne tagsüber ungehindert einstrahlen und während der Nacht die Erde ungehindert abstrahlen, wodurch dies jene Tage mit dem größten Tagesgang der Temperatur sind. Typische Temperaturkurven für einen Strahlungstag sind in Abbildungen 4 oder 6 zu sehen. Das Maximum der Temperatur wird dabei am Nachmittag, das Minimum kurz vor Sonnenaufgang erreicht. Natürlich kann die Temperatur auch von dieser Kurve abweichen, zum Beispiel durch Advektion. Mehrere Strahlungstage hintereinander, wie für die Untersuchungen in dieser Arbeit ideal, gibt es bei stabilen Hochdruckwetterlagen. Im Flachland bildet sich bei Hochdruckeinfluss allerdings vor allem im Winter häufig nach Ausstrahlung in der Nacht eine starke Inversion, die durch die Energie der Sonne allein nicht mehr aufgeheizt werden kann. Bei solchen Inversionswetterlagen bildet sich oft Hochnebel, der den Tagesgang der Temperatur tagelang oder manchmal sogar wochenlang äußerst gedämpft hält. Für diese Arbeit wurde eine Woche im Februar und zwei Wochen im Mai ausgewertet, an denen Hochdruckwetterlagen zu wolkenarmem Wetter in ganz Österreich geführt haben.

5.1.1 7.–14. Mai 2008

Das Wetter in Österreich wird in dieser Woche von einem stabilen Hoch bestimmt, dessen Zentrum anfangs über der Nordsee und später über den britischen Inseln liegt (Quelle: www.zamg.ac.at). Es handelt sich hier um Strahlungstage, an denen die Tagesgänge der Temperatur durch den hohen Stand der Sonne zu dieser Jahreszeit besonders groß sind.

Wien

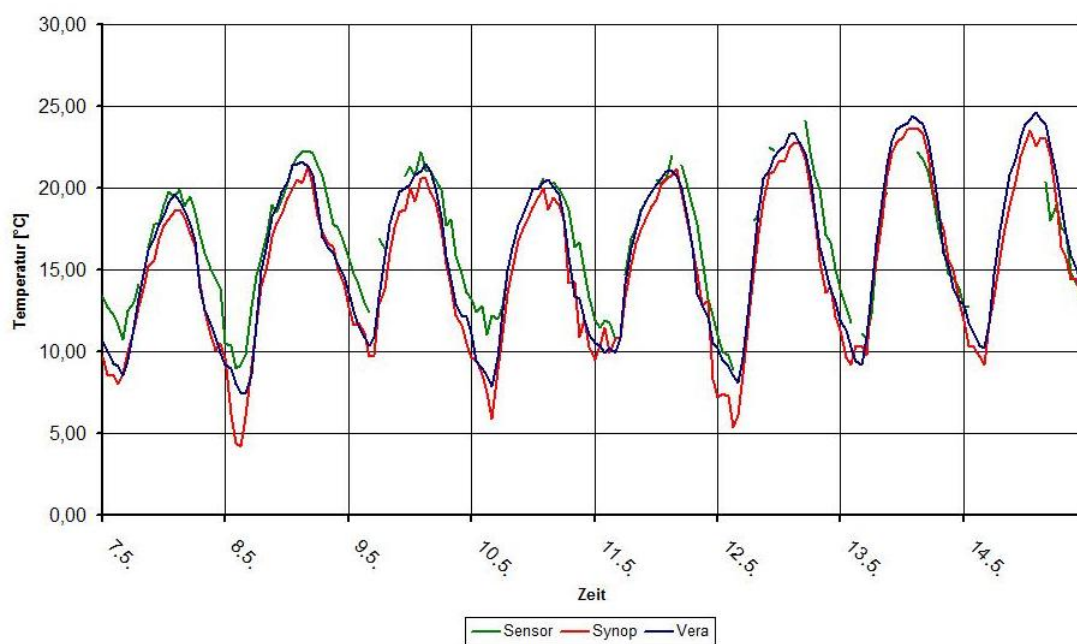


Abbildung 4: Temperaturen Wien-Schwechat 7.–14. Mai 2008; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 4 zeigt die Verläufe der Sensor-, Synop- und VERA-Temperaturdaten vom 7.–14. Mai 2008 in Wien. Die Graphen beschreiben dabei die Temperaturverläufe klassischer Strahlungstage, wobei die Messwerte der Sensorwetterstation bis auf wenige Ausnahmen höher liegen als jene der Synopstation, und zwar im Durchschnitt um 1,85 Grad. In Tabelle 1 ist zu sehen, dass die Temperaturdifferenzen nur zu einem geringen Teil auf den Höhenunterschied von Sensor- und Synopstandort bzw. VERA-Gitterpunkt zurückzuführen sind. Die VERA-Daten sind den Messwerten des Synops naturgemäß sehr ähnlich, die Differenz beträgt im Mittel nur 0,79 Grad, wie in Abbildung

5 zu sehen ist.

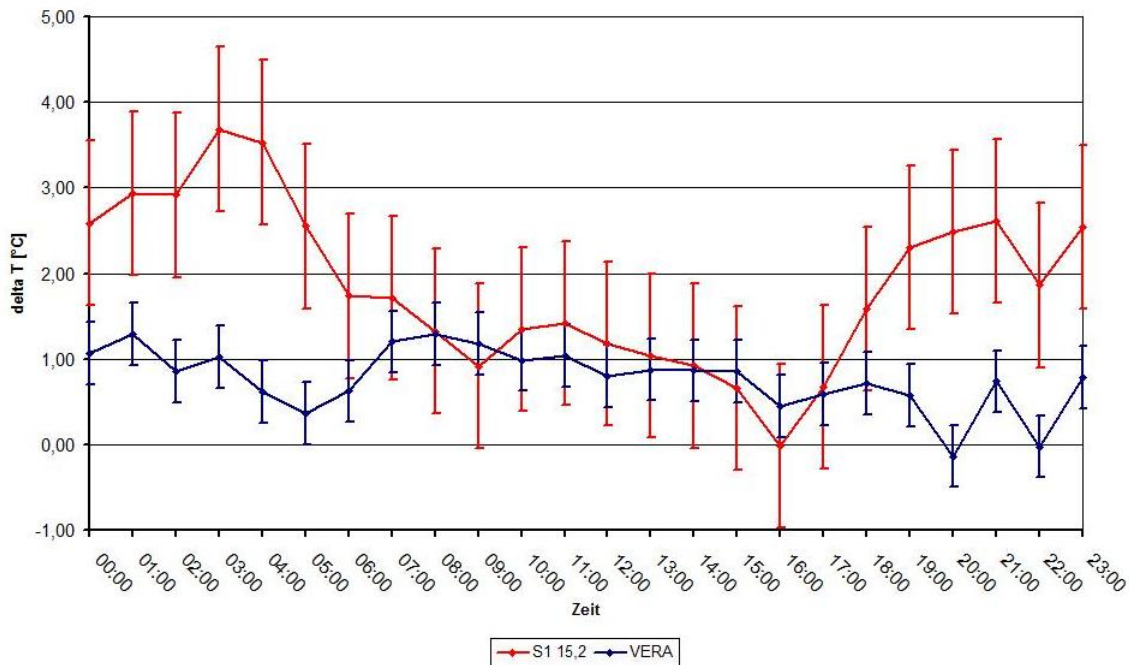


Abbildung 5: mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 7.-14. Mai 2008, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

In der Nacht ist die Differenz zwischen Sensor und Synop deutlich höher als tagsüber und ihre Standardabweichung ist größer als jene der VERA-Synop Differenz. Wie in Kapitel 5 erklärt wurde handelt es sich bei den mittleren Temperaturabweichungen immer um die Differenzen der Daten zum Synop.

Die Autokorrelationsfunktionen zeigen die erwartete hohe Korrelation, wie sie für Strahlungstage typisch ist, und sind mit jenen aus Innsbruck, dargestellt in Abbildung 8, vergleichbar. Auf Grund der großen Ähnlichkeit und der Fülle an Daten wird hier auf eine Darstellung verzichtet.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	8,9	4,2	7,4
<i>Max</i>	24,10	23,7	24,6
<i>Wertebereich</i>	15,2	19,5	17,2
<i>arith. Mittel</i>	16,55	15,27	16,05
<i>Median</i>	16,9	15,5	16,3
<i>Stabw.</i>	3,73	4,84	4,8
<i>Varianz</i>	13,89	23,4	23,01

	<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,96	0,36

(b)

(a)

Tabelle 3: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 7.–14. Mai 2008

Die größte Diskrepanz der statistischen Maßzahlen dieser Fallstudie, dargestellt in Tabelle 3 a), sind bei den Variationsmaßen zu erkennen. Varianz und Standardabweichung des Sensors sind deutlich geringer als die entsprechenden Werte der beiden anderen Datenreihen.

Außerdem liegt das Minimum des Synops deutlich tiefer als jenes von Sensor und VERA, wodurch auch der Wertebereich des Synops größer ist. Vergleicht man die Temperaturkurven in Abbildung 4, ist zu sehen, dass das Minimum des Sensors deutlich weniger schwankt als jenes des Synops.

Innsbruck

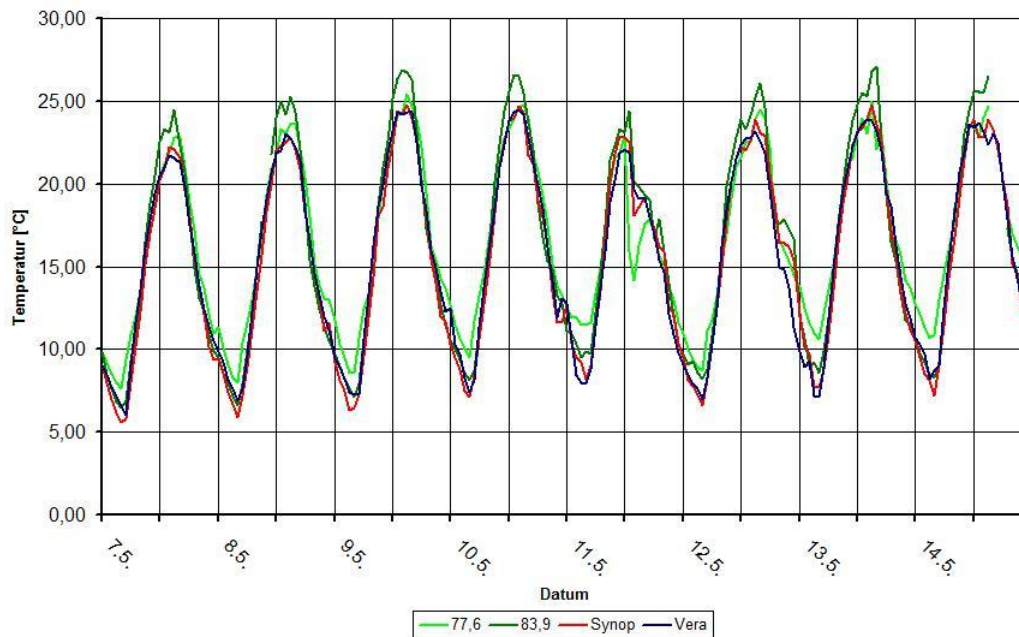


Abbildung 6: Temperaturen Innsbruck 7.–14. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 6 zeigt die Temperaturverläufe der Woche 7.–14. Mai 2008 in Innsbruck. Die Kurven dieser Zeitreihen beschreiben den Temperaturverlauf typischer Strahlungstage.

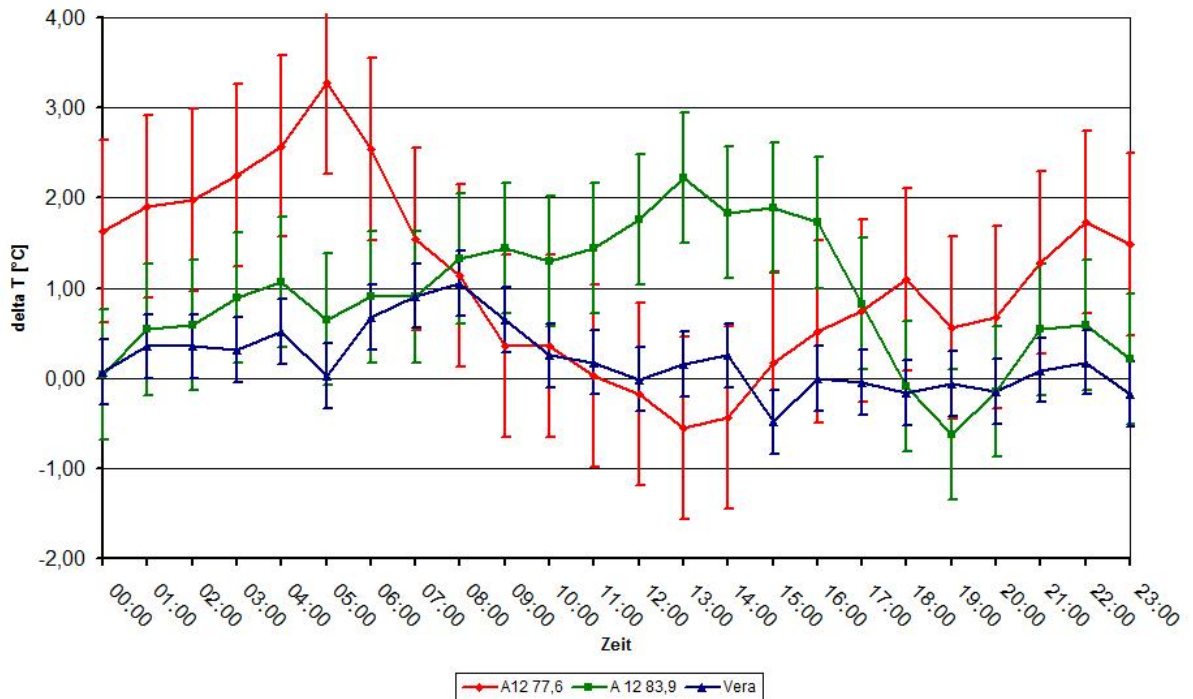


Abbildung 7: mittlere Temperaturdifferenzen 7.–14. Mai 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)

Abbildung 7 zeigt die Tagesgänge der mittleren Temperaturabweichungen. Das Minimum des Sensors bei km 77,6, welches kurz vor Sonnenaufgang erreicht wird, weicht stark von den entsprechenden Synopmesswerten ab, wobei die Werte des Sensors deutlich über jenen des Synops liegen. Die Differenzen der Temperaturen des Sensors bei km 83,9 zu den Messwerten des Synops sind während der Maximaltemperaturen am größten, über den Tag gemittelt ist die Abweichung aber geringer als jene des Sensors bei km 77,6.

Die Abweichung der VERA-Daten zu den Messwerten des Synops ist mit einer durchschnittlichen Differenz weit unter 1 Grad, nämlich 0,3 Grad, erwartungsgemäß sehr gering.

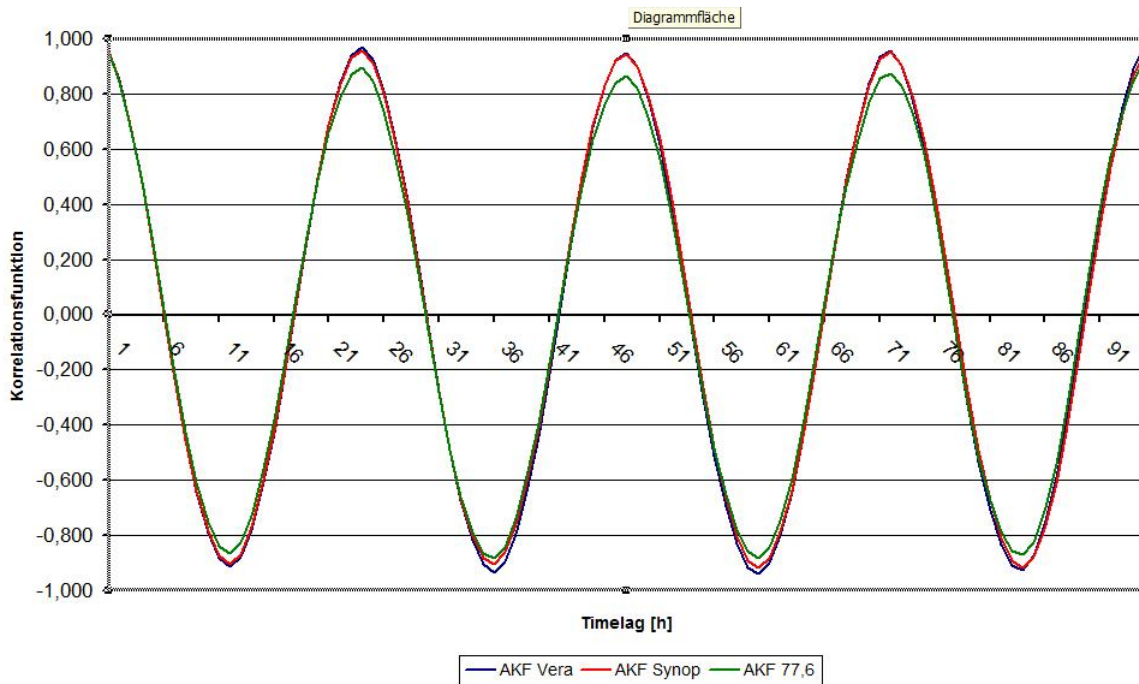


Abbildung 8: Autokorrelationsfunktionen 7.–14. Mai 2008 Innsbruck

Die Autokorrelationsfunktionen, dargestellt in Abbildung 8, sind typisch für Strahlungstage. Sie ergeben eine periodische Variation, die auf die starke Persistenz dieser Wetterlage hinweist.

	<i>77,6</i>	<i>83,9</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	7,6	6,5	5,6	6,0
<i>Max</i>	25,4	27,1	24,8	24,5
<i>Wertebereich</i>	17,8	20,6	19,2	18,5
<i>arith. Mittel</i>	16,49	16,27	15,46	15,67
<i>Median</i>	15,7	15,6	15,5	15,7
<i>Stabw.</i>	4,97	6,2	5,77	5,61
<i>Varianz</i>	24,67	38,5	33,35	31,51

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>A12 83.9-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	1,01	0,73	0,36

(b)

Tabelle 4: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 7.–14. Mai 2008

Die Abweichungen der beiden Sensorwetterstationen voneinander ist auch anhand der Maßzahlen, welche in Tabelle 4 dargestellt sind, zu erkennen. Der Wertebereich des Sensors bei km 77,6 ist der kleinste, ebenso dessen Standardabweichung und Varianz. Die Tagesgänge und damit der Wertebereich des Sensors bei km 83,9 liegen dafür über den Schwankungsbreiten der anderen Zeitreihen und auch Standardabweichung und Varianz sind bei dieser Zeitreihe am größten. Der Median, welcher verglichen mit dem arithmetischen Mittel resistenter gegenüber Ausreißern ist (Schönwiese, 2006), hat bei diesen Zeitreihen annähernd den gleichen Wert; die Zeitreihen verlaufen also sehr ähnlich und die Abweichungen finden sich vor allem bei den Maximal- und Minimalwerten.

Brenner

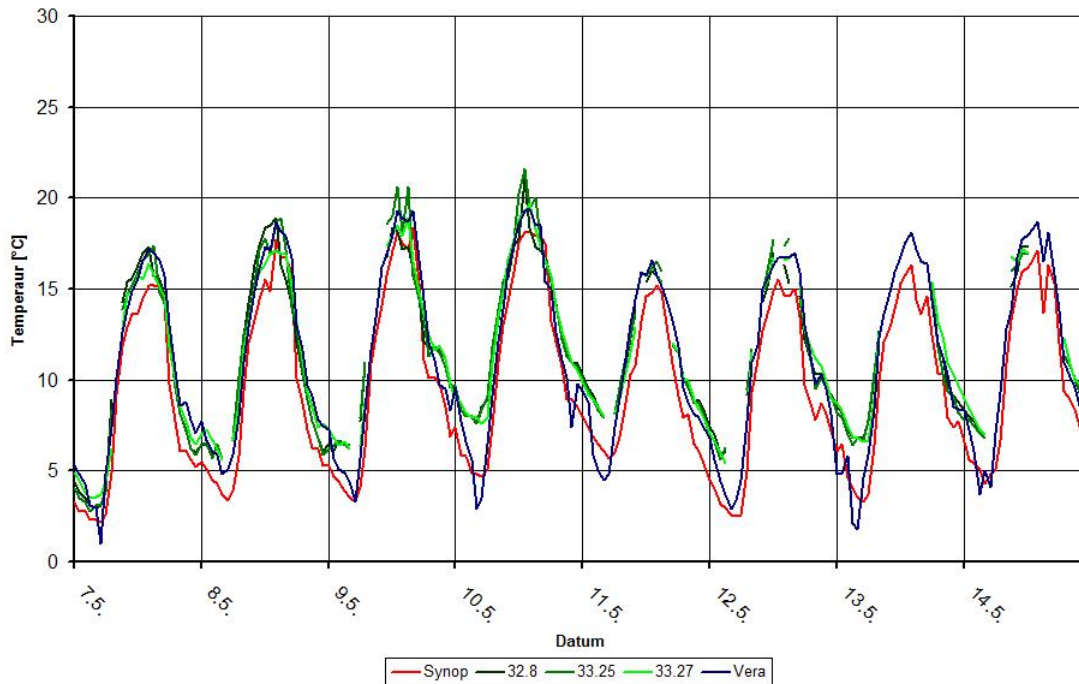


Abbildung 9: Temperaturen Brenner 7.–14. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 9 zeigt die Temperaturverläufe der Woche 7.–14. Mai 2008 am Brenner. Auch diese Kurven beschreiben wieder typische Strahlungstage. Auffallend sind die hohen Maxima der VERA verglichen mit den Maximaltemperaturen des Synops. Hier ist allerdings zu bedenken, dass der Standort des Synops deutlich über der Höhe des VERA-Gitterpunktes liegt, siehe Tabelle 1. Gegen Ende der Woche fehlen einige Daten der Sensoren, wodurch der Verlauf dieser Temperaturkurven teilweise über wenige Temperaturdaten erschlossen werden muss. Die Minima der Sensoren liegen an allen Tagen deutlich über den Minima von VERA und Synop.

Die Autokorrelationsfunktionen zeigen die erwarteten hohen Korrelationen und den zyklischen, fast periodischen Verlauf an Strahlungstagen. Auf Grund der großen Ähnlichkeit zu den Autokorrelationsfunktionen von Innsbruck, dargestellt in Abbildung 8, sind jene des Brenners hier nicht abgebildet.

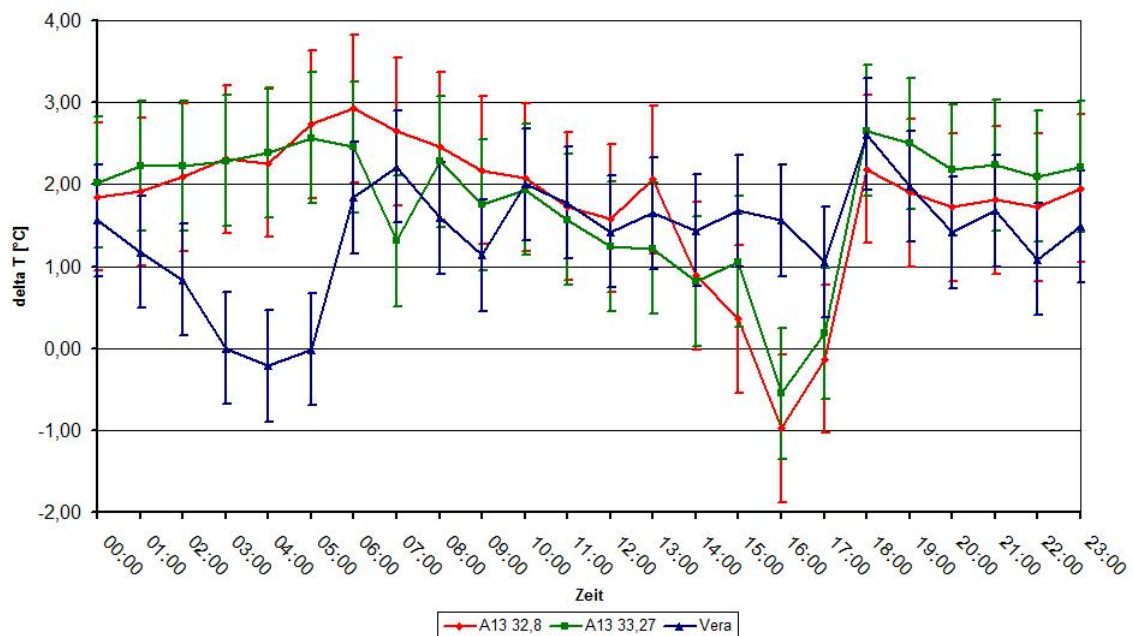


Abbildung 10: mittlere Temperaturdifferenzen 7.–14. Mai 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen, dargestellt in Abbildung 10, haben Parallelen zu jenen der Daten aus Wien und Innsbruck. Die Sensortemperaturmesswerte liegen auch am Brenner fast durchgehend über jenen des Synops, die Sensortemperatur fällt hier allerdings früher, wodurch ca. zwei Stunden, um etwa 16 UTC (Universal Time Coordinated), die Temperaturkurve des Synops höher liegt.

Vergleicht man Abbildung 10 und Abbildung 15, ist die Kurve der Abweichungen VERA-Synop jener der zweiten Maiwoche, welche in Kapitel 5.1.2 besprochen wird recht ähnlich. Die durchschnittliche Differenz dieser Woche beträgt 1,6 Grad und liegt damit kaum unter jener der zweiten ausgewerteten Woche (1,76 Grad).

Die Standardabweichungen zu den mittleren Temperaturabweichungen sind in Tabelle 5 b) dargestellt.

	<i>32,8</i>	<i>33,25</i>	<i>33,27</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	3,0	2,8	3,5	2,2	1,0
<i>Max</i>	21,0	21,6	19,7	18,4	19,4
<i>Wertebereich</i>	18,0	18,8	16,2	16,2	18,4
<i>arith. Mittel</i>	11,24	11,35	11,25	9,6	10,98
<i>Median</i>	10,9	10,7	10,9	8,9	10,6
<i>Stabw.</i>	4,19	4,49	4,15	4,69	4,93
<i>Varianz</i>	17,59	20,17	17,21	22,04	24,31

(a)

	<i>A13 32.8-Syn</i>	<i>A13 33.27-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,90	0,80	0,68

(b)

Tabelle 5: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 7.–14. Mai 2008

Auffallend an den Maßzahlen, dargestellt in Tabelle 5 a), sind die Werte der Synoptemperatur, die, wie schon besprochen, unter den Werten der Sensoren und der VERA liegen. Sowohl Minimum und Maximum als auch arithmetisches Mittel und Median liegen eindeutig tiefer als die Maßzahlen der anderen Zeitreihen. Die Variationsmaße des Synops liegen dafür höher als Varianz und Standardabweichung der Sensoren.

5.1.2 26.–31. Mai 2008

In dieser Woche herrscht in Österreich Hochdruckeinfluss, wobei an der Vorderseite eines Tiefs, mit Kern über der iberischen Halbinsel, subtropische Warmluft in den Alpneraum advehiert wird. [14]

Wien

Die Temperaturkurven in Wien in der Woche vom 26.–31. Mai 2008 beschreiben den typischen Verlauf an Strahlungstagen. Am 29. Mai sickert in Ostösterreich etwas kühlere Luft ein, wodurch das Temperaturmaximum tiefer als an den anderen Tagen bleibt. Die Sensor- und Synoptemperaturkurven verlaufen fast parallel, wobei die Sensortemperaturmesswerte, ähnlich wie in der Woche vom 7.–14. Mai, durchgehend über den Synoptemperaturmesswerten liegen, in dieser Woche mit einer durchschnittlichen Differenz von 1,64 Grad. Damit ist die Differenz um 0,66 Grad niedriger als jene in der schon beschriebenen Maiwoche. Die Abweichung dieser Datenreihen voneinander ist in der Nacht etwa 1,5 Grad größer als untertags. Ein Vergleich mit den mittleren Temperaturabweichungen der Woche 7.–14. Mai zeigt dort eine etwas größere Differenz als in dieser Woche, grundsätzlich ist der Verlauf der Kurven aber sehr ähnlich. Die Standardabweichung der gemittelten Differenz von Sensor-Synop beträgt 0,57, siehe Tabelle 6 b). Die Differenz zwischen VERA und Synop ist erwartungsgemäß geringer als jene zwischen Synop und Sensor. Die Temperaturdaten liegen im Durchschnitt nur 1,19 Grad auseinander und auch die Standardabweichung der mittleren Temperaturabweichungen von VERA-Synop ist mit 0,21 Grad gering. Die Standardabweichungen diese Woche sind zwar etwas kleiner als in der Woche vom 7.–14. Mai, die Größenordnung ist aber die selbe, siehe Tabellen 3 und 6.

Die Autokorrelationsfunktionen verhalten sich wieder, wie es für Strahlungstage typisch ist. Auch in diesem Fall handelt es sich um eine zyklische Variation. Sowohl bei den erst etwas später in dieser Arbeit behandelten Inversionswetterlagen mit Hochnebel als auch an Strahlungstagen weist die Atmosphäre eine hohe Persistenz auf, wodurch das Prognostizieren der Temperatur bei stabilen Hochdruckwetterlagen stark vereinfacht wird. Auf Grund

der hohen Ähnlichkeit der Graphen zu jenen der Woche vom 7.–14. Mai 2008 wurde hier auf die Abbildungen verzichtet.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	13,8	11,5	12,6
<i>Max</i>	29,3	28,4	29,6
<i>Wertebereich</i>	15,5	16,9	17,0
<i>arith. Mittel</i>	22,22	20,64	21,87
<i>Median</i>	21,70	20,4	21,85
<i>Stabw.</i>	3,97	4,29	4,33
<i>Varianz</i>	15,79	18,39	18,71

(a)

	<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,57	0,21

(b)

Tabelle 6: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 26.–31. Mai 2008

Tabelle 6 a) zeigt die statistischen Maßzahlen der “Wiener” Daten für den Zeitraum 26.–31. Mai 2008. Abgesehen davon, dass die Synopdaten sowohl das tiefste Maximum als auch das tiefste Minimum aufweisen—wodurch natürlich auch der Median und das arithmetische Mittel der Synopdaten tiefer liegen als die entsprechenden Maßzahlen der Sensor- und der VERA-Daten—lassen die Maßzahlen der Datenreihen in Wien keine Besonderheiten oder Ausreißer erkennen.

Innsbruck

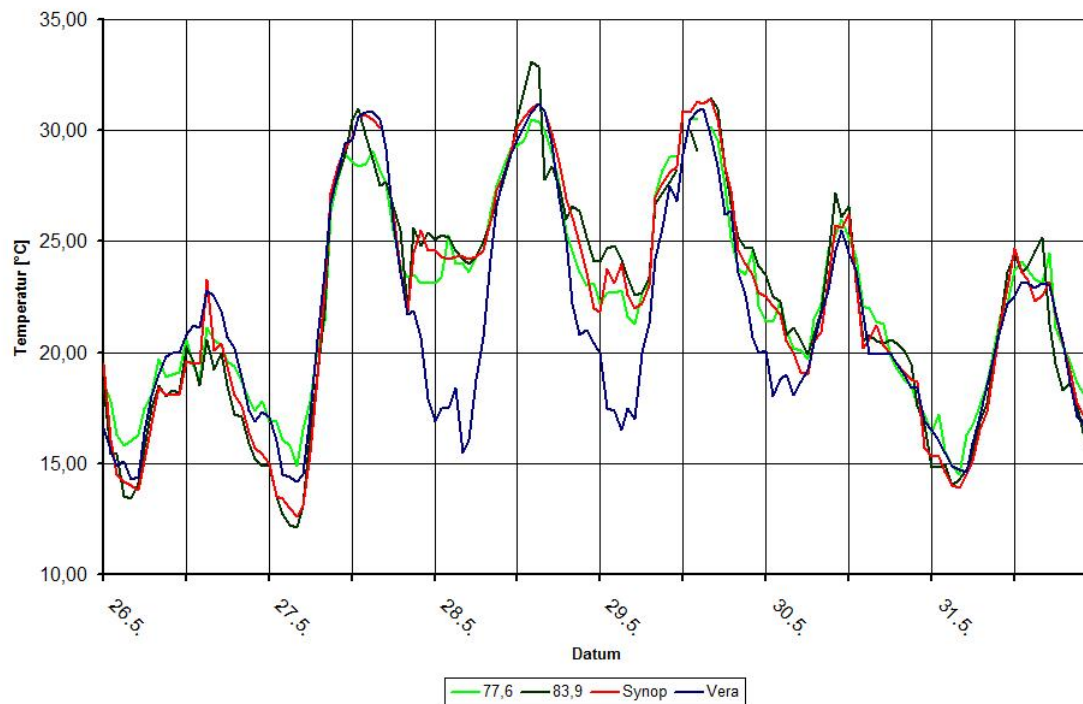


Abbildung 11: Temperaturen Innsbruck 26.–31. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 11 zeigt die Temperaturverläufe der Datenreihen vom 26.–31. Mai 2008 in Innsbruck. Der starke Temperaturanstieg am 27. Mai, der in Innsbruck besonders gut beobachtet werden kann, ist auf subtropische Warmluft zurückzuführen, die an der Vorderseite eines Tiefs mit Kern über der iberischen Halbinsel nach Österreich advehiert wird (Quelle: www.zamg.ac.at). Durch Bewölkung und Föhn ist die Abkühlung in der Nacht gedämpft, es handelt sich also zumindest im Bereich Innsbruck nicht um typische Strahlungstage, wie sie bei stabilen Hochdruckwetterlagen ohne Warmluftadvektion oder anderen Einflüssen beobachtet werden können.

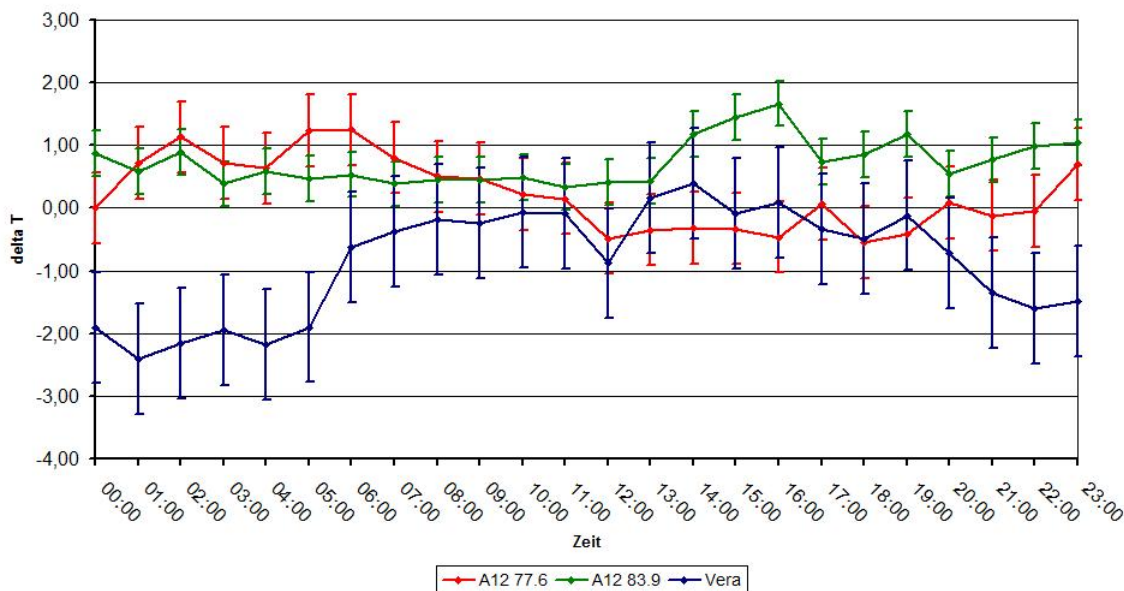


Abbildung 12: mittlere Temperaturdifferenzen 26.–31. Mai 2008 Innsbruck, Synop-A12 77,6 (rot), Synop-A12 83,9 (grün), Synop-VERA (blau)

Abbildung 12 zeigt die mittlere Abweichung der Synop- von den VERA- und Sensorwerten in Innsbruck. Die Differenzen der Messwerte der Sensoren von jenen des Synops sind verhältnismäßig gering und betragen in Innsbruck im Schnitt unter 2 Grad. Auch die zugehörige Standardabweichung ist nicht groß, vergleicht man sie mit jener der Differenz Synop-VERA, siehe Tabelle 7 b).

Interessant ist die große Differenz der VERA-Daten zu den Temperaturmesswerten in den Nächten vom 27. und 28. Mai, siehe Abbildung 11 und Abbildung 12. In die gemittelte Abweichung gehen natürlich auch die Temperaturen der ersten und letzten Tage ein, an denen sich die VERA-Daten nicht so auffallend von den anderen Werten unterscheiden, wodurch die Differenz zwar eindeutig – die Differenz liegt in der Woche vom 7.–14. Mai 2008 in Innsbruck deutlich unter einem Grad – aber nicht so groß ist, wie zu erwarten war.

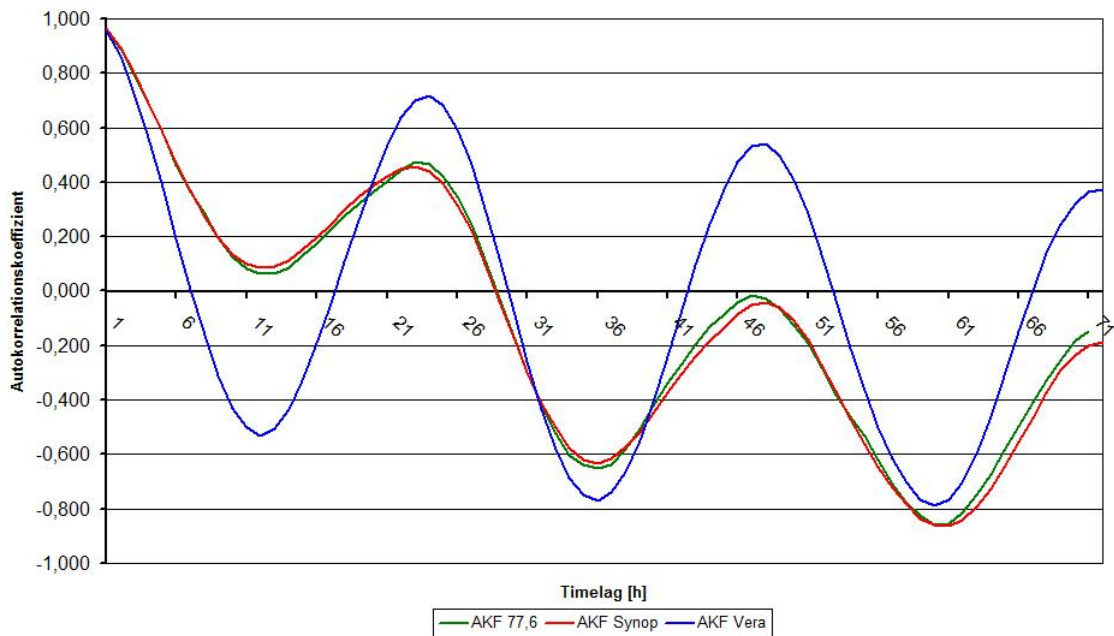


Abbildung 13: Autokorrelationsfunktionen 26.–31. Mai 2008 Innsbruck

Erwartungsgemäß unterscheidet sich auch die Autokorrelationsfunktion der VERA-Zeitreihe stark von jenen der anderen Daten, und ist in dieser Fallstudie die einzige Funktion, die eine für Strahlungstage typische Schwingung beschreibt. Die Autokorrelationsfunktionen von Synop und Sensor sind, wie auch die der VERA, periodisch, ihre Amplituden verändern sich aber stärker. Ab Zeitverschiebung 29 kommt es zu einer negativen Korrelation, wobei die Schwingung dann im negativen Bereich bleibt, da die Temperatur insgesamt zunimmt, sich also ihr gesamter Tagesgang nach oben verschiebt.

	<i>77,6</i>	<i>83,9</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	14,5	12,1	12,6	14,2
<i>Max</i>	30,5	33,1	31,4	31,2
<i>Wertebereich</i>	16,0	21,0	18,8	17,0
<i>arith. Mittel</i>	22,32	22,18	22,17	21,37
<i>Median</i>	22,2	22,65	22,3	20,45
<i>Stabw.</i>	4,22	5,11	5,13	4,78
<i>Varianz</i>	17,82	26,12	26,33	22,87

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>A12 83.9-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,57	0,36	0,88

(b)

Tabelle 7: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 26.–31. Mai 2008

Die statistischen Maßzahlen dieser Woche, welche in Tabelle 7 zu sehen sind, unterscheiden sich nicht gravierend voneinander. Die Daten des Synops und des Sensors bei km 83,9 weisen tiefere Minima, einen größeren Wertebereich und höhere Standardabweichungen auf als die Zeitreihen der VERA und des Sensors bei km 77,6–wobei die Variationsmaße des Sensors bei km 77,6 noch geringer sind als jene der VERA.

Die Wertebereiche sind natürlich bei allen Innsbrucker Daten, im Vergleich zu jenen aus Wien oder vom Brenner, am größten, da Innsbruck in einem Tal liegt und bei dieser Wetterlage der Tagesgang in Tälern, trotz zum Teil gedämpfter Abstrahlung in dieser Woche, größer ist als auf dem Berg oder im Flachland.

Brenner

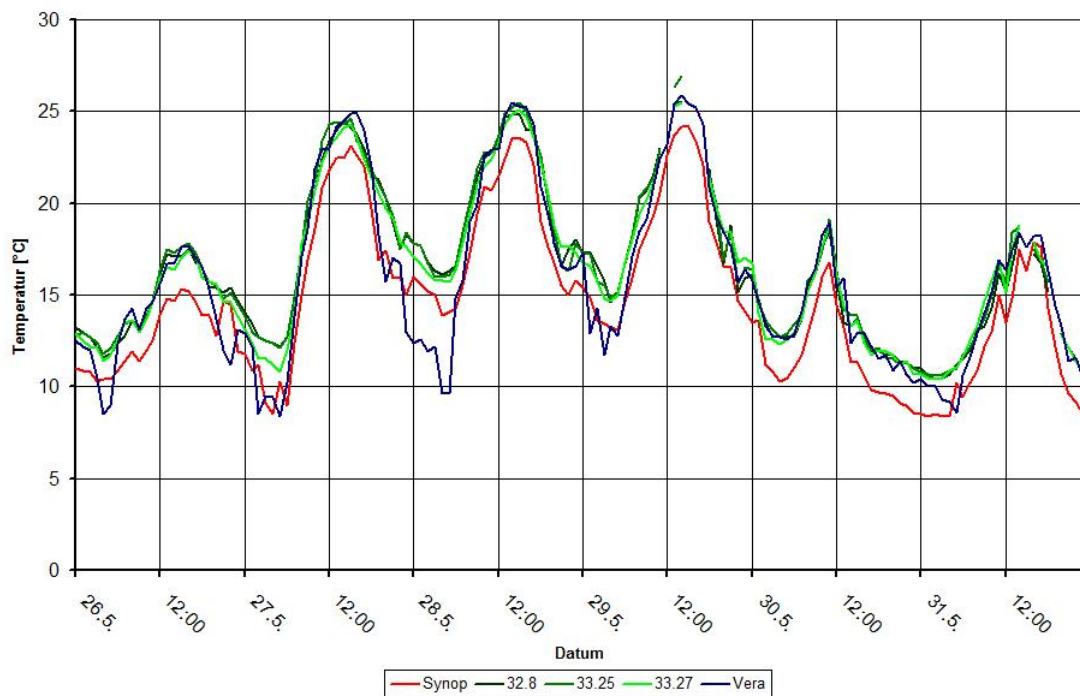


Abbildung 14: Temperaturen Brenner 26.–31. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 14 zeigt die Temperaturkurven der eben besprochenen Woche im Mai am Brenner. Wie schon in Innsbruck ist auch hier die starke Erwärmung am 27. Mai zu erkennen. Auch die gedämpfte Abkühlung in der Nacht und die große Differenz der VERA- zu den übrigen Temperaturdaten kann am Brenner wieder beobachtet werden, wodurch auch die Autokorrelationsfunktionen, welche hier aus Platzgründen nicht abgebildet sind, und die gemittelten Abweichungen große Ähnlichkeiten mit jenen aus Innsbruck haben. Die Autokorrelationsfunktion der VERA unterscheidet sich am Brenner zwar nicht so stark von jener der Synop- und Sensordaten, die stärkere Korrelation ist aber trotzdem deutlich zu erkennen.

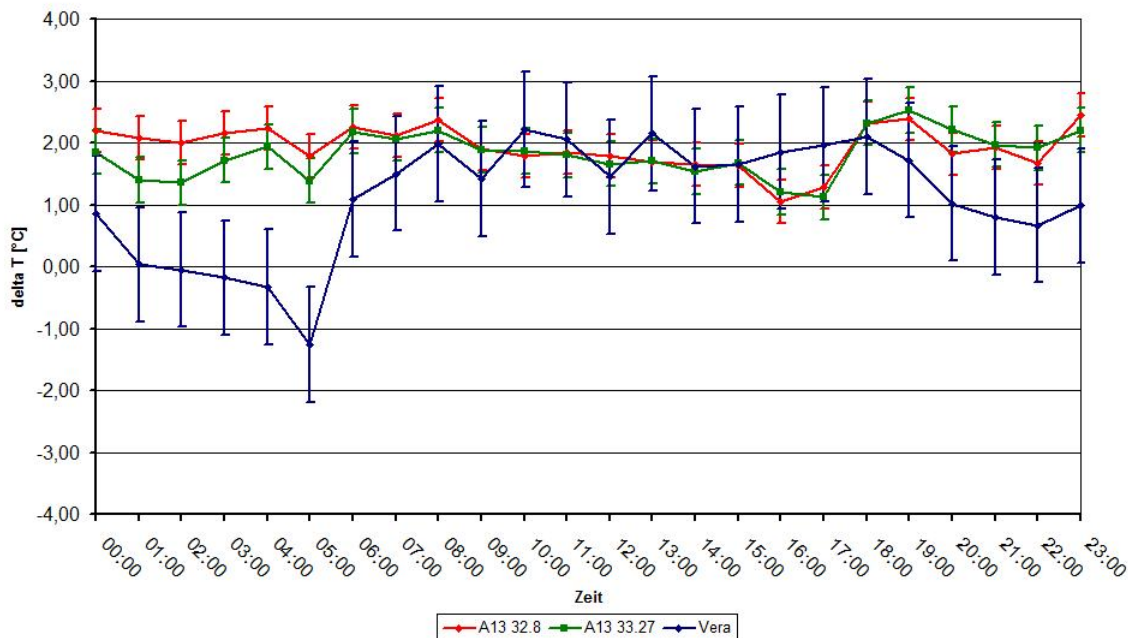


Abbildung 15: mittlere Temperaturdifferenzen 26.–31. Mai 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)

Bei einem Vergleich von Abbildungen 12 und 15 ist die Ähnlichkeit der Temperaturverläufe besonders deutlich. Die maximale Differenz zwischen VERA und Synop ist zwar mit -8,8 Grad in Innsbruck fast doppelt so groß als am Brenner mit -4,5 Grad, trotzdem kann in beiden Fällen auch bei der mittleren Abweichung die große Differenz der VERA in der Nacht erkannt werden. Abgesehen vom Sensor auf der A12 km 77,6, bleibt die Temperatur der Sensoren sowohl in Innsbruck als auch am Brenner immer über jenen der Synopmesswerte, und zwar ohne größere Schwankungen auch durchgehend etwa gleich viel. Am Brenner sind es im Durchschnitt 1,76 Grad, die der Sensormesswert über jenem des Synops liegt. Auch die Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen sind, die Differenz vom Sensor bei km 77,6 zum Synop ausgenommen, jenen aus Innsbruck ähnlich, wie in Tabellen 7 b) und 8 b) zu sehen ist. Der Vergleich mit den Standardabweichungen der Differenz Sensor-Synop der Woche vom 7.–14.Mai, siehe Tabelle 5 b) zeigt, wie gering die Schwankung dieser Differenz in der Woche vom 26.–31.Mai ist. Die Kur-

ve VERA-Synop verläuft außerdem analog zur gleichen Differenz der ersten Maiwoche, welche in Kapitel 5.1.1 analysiert wird.

	<i>32,8</i>	<i>33,25</i>	<i>33,27</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	10,4	10,6	10,4	8,4	8,4
<i>Max</i>	25,5	26,9	25,5	24,2	25,9
<i>Wertebereich</i>	15,1	16,3	15,1	15,8	17,5
<i>arith. Mittel</i>	16,49	16,65	16,38	14,73	15,86
<i>Median</i>	16,1	16,2	16,10	14,4	15,35
<i>Stabw.</i>	4,10	4,18	4,1	4,33	4,71
<i>Varianz</i>	16,78	17,48	16,79	18,73	22,18

(a)

	<i>A13 32.8-Syn</i>	<i>A13 33.27-Syn</i>	<i>VERAys-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,35	0,36	0,93

(b)

Tabelle 8: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 26-31. Mai 2008

Am Brenner unterscheiden sich die Maßzahlen der VERA- und Synopdaten von den Werten der drei Sensordatenreihen. Ähnlich wie in Wien liegen die Messwerte der Synopstation unter jenen der Sensoren, der Wertebereich ist allerdings ähnlich groß. Größten Wertebereich und auch größte Standardabweichung und Varianz weist die Zeitreihe der VERA auf.

5.1.3 8.–14. Februar 2008

Als Beispiel für den Winter wurde die Woche vom 8.–14. Februar 2008 ausgewählt, in der ein Hoch das Wetter in Österreich bestimmt. Zunächst ist es in ganz Österreich wolkenlos oder nur gering bewölkt, erst am 12. Februar bildet sich im östlichen Flachland Hochnebel aus, der sich großteils auch tagsüber nicht auflöst (Quelle: www.zamg.ac.at).

Wien

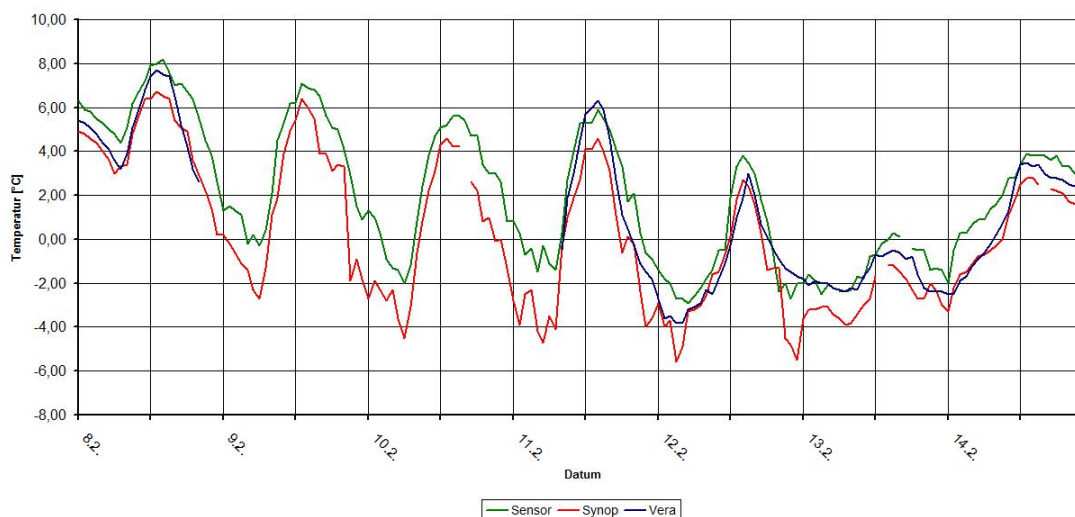


Abbildung 16: Temperaturen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Die durch den Hochnebel gedämpften Tagesgänge der Temperatur ab 13. Februar lassen sich im Diagramm der Abbildung 16 gut erkennen. Die Tage vor der Stratusbildung sind in Wien und Umgebung, wie auch im restlichen Österreich, Strahlungstage. Von 8. Februar 22 UTC bis 11. Februar 7 UTC fehlen die Temperaturdaten der VERA.

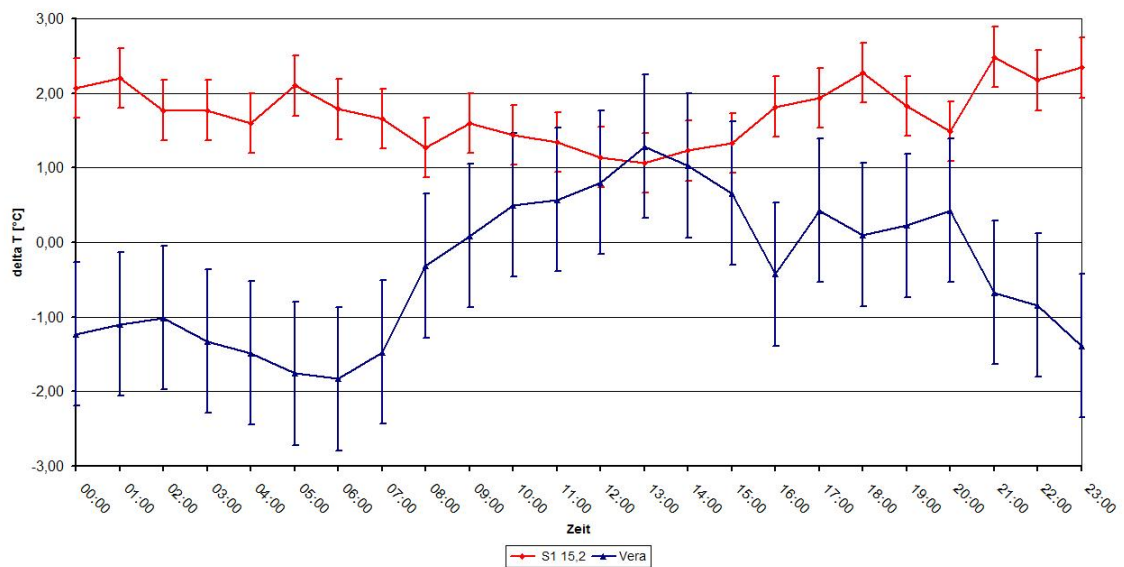


Abbildung 17: mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Wie in Abbildung 17 erkennbar, liegen die Sensortemperaturwerte in dieser Woche durchgehend über den Messwerten der Synopstation. Die Größe der Abweichung ist mit 1,74 Grad im Mittel mit den gemittelten Abweichungen der Mai-Strahlungstage in Wien vergleichbar, denn auch in den beiden Wochen im Mai liegen die Sensormesswerte immer über den Synopmesswerten, siehe Kapitel 5.1.1 und 5.1.2. Die mittlere Temperaturabweichung zwischen Synop und VERA liegt im Mittel unter einem Grad und ist damit, wie erwartet, gering. Die Standardabweichung dazu ist allerdings verhältnismäßig groß, siehe Tabelle 9 b), wobei eine Datenlücke von über zwei Tagen die Auswertung der VERA von dieser Woche ungenau und schlecht vergleichbar macht.

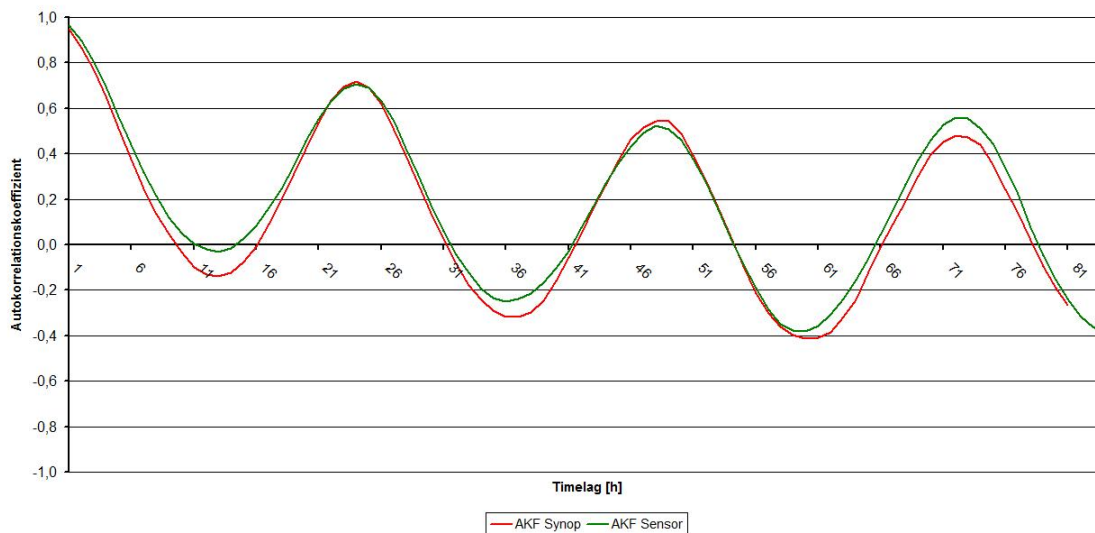


Abbildung 18: Autokorrelationsfunktionen 8.–14. Februar 2008 Wien-Schwechat

Die Autokorrelationsfunktionen von Sensor und Synop, dargestellt in Abbildung 18, sind periodisch und die Korrelation nimmt leicht ab. Sie sind typisch für Strahlungstage, auch wenn ihre Amplitude durch leichte Schwankungen in der Temperaturkurve nicht ganz so hoch ist wie zum Beispiel in Abbildung 8. Die Autokorrelationsfunktion der VERA wurde wegen der Datenausfälle nicht berechnet.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	-2,9	-5,6	-3,8
<i>Max</i>	8,2	6,7	7,7
<i>Wertebereich</i>	11,1	12,3	11,5
<i>arith. Mittel</i>	2,04	0,25	0,94
<i>Median</i>	1,85	-0,2	-0,2
<i>Stabw.</i>	3,04	3,21	3,15
<i>Varianz</i>	9,23	10,28	9,95

(a)

	<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,4	0,78

(b)

Tabelle 9: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008

Tabelle 9 a) zeigt die Maßzahlen der Woche vom 8.–14. Februar 2008

in Wien. Diese Zahlen, im Speziellen arithmetisches Mittel und Median, zeigen wieder, dass die Sensortemperaturwerte über jenen von VERA und Synop liegen. Abgesehen davon sind keine Besonderheiten zu beschreiben, Standardabweichung und Varianz bewegen sich, verglichen mit den anderen Strahlungstage–Wochen, eher im niedrigen Bereich.

Innsbruck

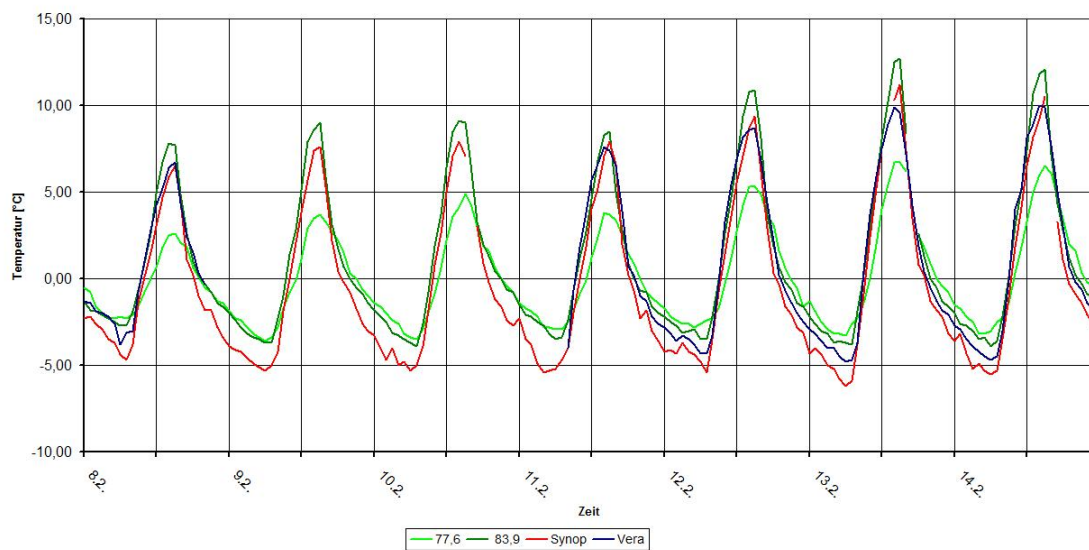


Abbildung 19: Temperaturen Innsbruck 8.–14. Februar 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

Die Temperaturkurven der Daten aus Innsbruck, dargestellt in Abbildung 19, sind typisch für Strahlungstage. Trotzdem unterscheiden sie sich zum Teil relativ stark voneinander, wobei die Messwerte des Sensors bei km 77,9 am stärksten von den anderen Temperaturdaten abweichen. Untertags ist diese Differenz besonders deutlich.

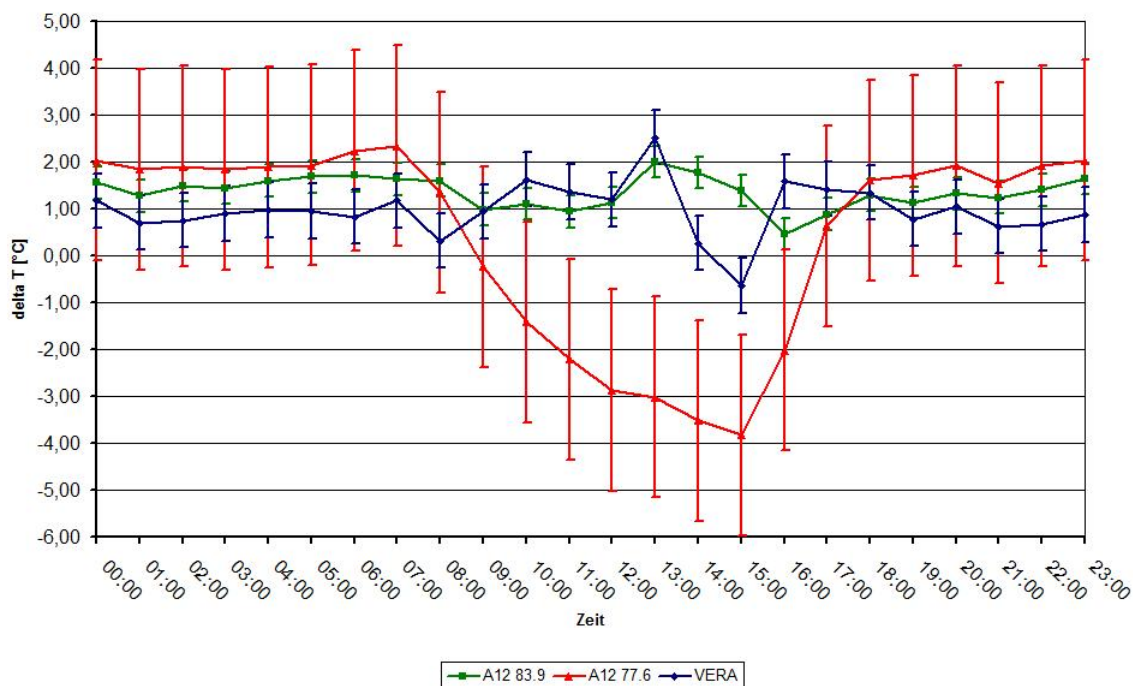


Abbildung 20: mittlere Temperaturdifferenzen 8.–14. Februar 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)

Die Graphen der mittleren Temperaturabweichungen dieser Woche sind in Abbildung 20 zu sehen. Die Messwerte des Sensors bei km 83,9 liegen durchgehend über jenen des Synops und zwar im Mittel um 1,36 Grad. Die mittlere Differenz der VERA-Daten von den Synopmesswerten ist mit 1,03 Grad geringer, wobei hier wieder auf den langen Datenausfall dieser Woche hingewiesen werden muss, der das Ergebnis verfälscht. Auffallend groß ist die Abweichung des Sensors bei km 77,6. Der Tagesgang seiner mittleren Differenz unterscheidet sich deutlich von jenen der beiden anderen Zeitreihen. Um auf die große Abweichung dieser Daten einzugehen, wurde hier auch die Differenz der beiden Sensoren voneinander berechnet, welche im Mittel 1,48 Grad, zwischen 11 UTC und 16 UTC sogar 4,15 Grad beträgt. Die maximale Abweichung ist jene um 15 UTC mit 5,21 Grad. Auch die Standardabweichung der mittleren Abweichung zwischen Sensor (km 77,9) und Synop ist mit 2,14, dargestellt in Tabelle 10 b), um einiges größer als jene der mittleren Abweichung zwischen Sensor (km 83,9) und Synop, welche nur 0,34 beträgt.

Die Autokorrelationsfunktionen sind typisch für Strahlungstage und aus diesem Grund hier nicht abgebildet. Die Funktionen verlaufen zyklisch bzw. sogar fast periodisch, wie in Kapitel 2.1 erklärt wird. Die Autokorrelationsfunktionen erreichen Werte um eins, was beachtlich, für diese Tagesgänge aber typisch ist.

	77,6	83,9	Synop	VERA
<i>Min</i>	-3,6	-3,9	-6,2	-4,8
<i>Max</i>	6,7	12,7	11,2	10,0
<i>Wertebereich</i>	10,3	16,6	17,4	14,8
<i>arith. Mittel</i>	0,04	1,0	-0,48	0,95
<i>Median</i>	-0,6	-0,6	-1,8	-0,3
<i>Stabw.</i>	2,67	4,38	4,38	4,45
<i>Varianz</i>	7,14	19,18	19,18	19,82

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>A12 83.9-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	2,14	0,34	0,58

(b)

Tabelle 10: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 8.–14. Februar 2008

Die Maßzahlen, abgebildet in Tabelle 10 a), bestätigen die oben beschriebenen Erkenntnisse. Die Datenreihe des Sensors bei km 77,6 unterscheidet sich auch hier stark von den anderen Zeitreihen. Das Maximum liegt weit unter jenen der anderen Temperaturreihen, wodurch der Wertebereich deutlich geringer ist. Auch Standardabweichung und Varianz dieses Sensors sind deutlich geringer als jene der anderen Datenreihen.

Maximum und Minimum des Sensors bei km 83,9 liegen über jenen des Synops, wodurch auch arithmetisches Mittel und Median dieser Sensor-Zeitreihe etwas höhere Werte annehmen. Auf die Maßzahlen der VERA wird auf Grund der großen Datenlücke nicht eingegangen.

Brenner

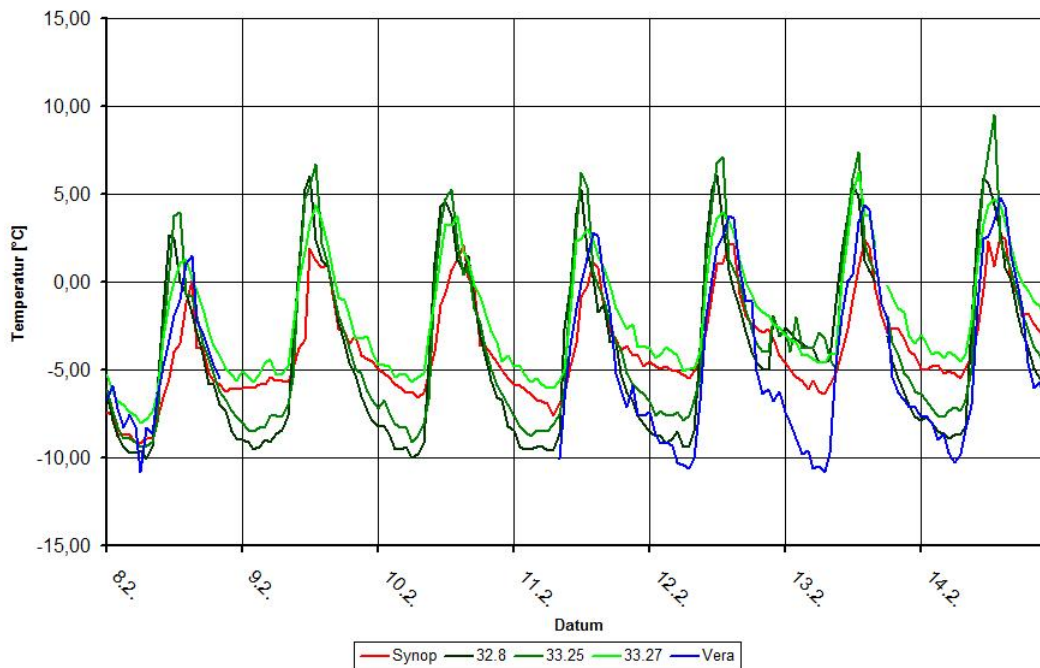


Abbildung 21: Temperaturen Brenner 8.–14. Februar 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 21 zeigt die Temperaturverläufe am Brenner. Es handelt sich wieder um Strahlungstage, wobei in diesem Fall die Temperaturkurven stärker schwanken als beispielsweise die “Innsbrucker” Kurven dieser Woche. Vergleichbar mit jener aus Innsbruck in derselben Woche ist die große Differenz der VERA- zur Synopzeitreihe in den Nächten ab 12. Februar. Auch die Sensoren unterscheiden sich stark voneinander.

Die VERA-Zeitreihe dieser Woche ist wie in Innsbruck und Wien unvollständig, wodurch sie schlecht vergleichbar und verwendbar ist.

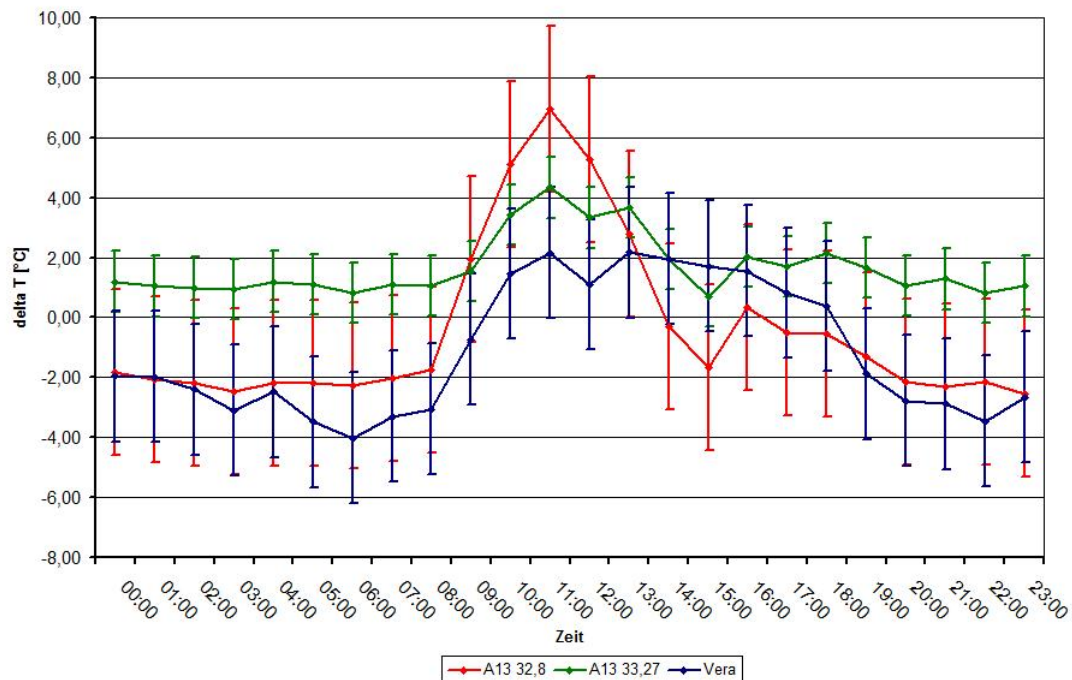


Abbildung 22: mittlere Temperaturdifferenzen 8.–14. Februar 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Abweichungen der Zeitreihen, die in Abbildung 22 zu sehen sind, unterscheiden sich stark voneinander. Die mittleren Differenzen der Sensoren zum Synop betragen im Durchschnitt etwa zwei Grad, wobei ein Maximum dieser Differenzen um die Mittagszeit auffällt.

Die Autokorrelationsfunktionen am Brenner zeigen wieder die für Strahlungstage typischen zyklischen Kurven und sind daher nicht abgebildet.

	<i>32,8</i>	<i>33,25</i>	<i>33,27</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	-10,1	-9,4	-8,0	-9,2	-10,8
<i>Max</i>	6,1	9,5	6,2	2,6	4,8
<i>Wertebereich</i>	16,2	18,9	14,2	11,8	15,6
<i>arith. Mittel</i>	-4,17	-3,46	-2,08	-3,74	-4,49
<i>Median</i>	-4,9	-4,4	-3,0	-4,3	-6,0
<i>Stabw.</i>	4,67	4,58	3,29	2,77	4,52
<i>Varianz</i>	21,85	20,99	10,79	7,66	20,45

(a)

	<i>A13 32.8-Syn</i>	<i>A13 33.27-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	2,77	1,01	2,18

(b)

Tabelle 11: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 8.–14. Februar 2008

Die Maßzahlen der Zeitreihen, dargestellt in Abbildung 11 a), unterscheiden sich, wie schon die mittleren Abweichungen dieser Woche stark voneinander. Auffallend sind die Werte des Synops. Die Tagesgänge sind kleiner (deutlich geringeres Maximum und geringerer Wertebereich), das arithmetische Mittel und der Median liegen aber im Bereich der übrigen Zeitreihen. Außerdem liegen Standardabweichung und Varianz des Synops unter den entsprechenden Variationsmaßen der übrigen Zeitreihen. Die Maßzahlen der Sensorwetterstation bei km 33,27 sind jenen des Synops relativ ähnlich. Die Maßzahlen der VERA unterscheiden sich relativ stark von jenen des Synops, doch schränkt, wie schon gesagt, die große Datenlücke die Aussagekraft der VERA in dieser Woche ein und wird deswegen hier nicht weiter besprochen.

5.2 Niederschlagstage

Für die folgenden Fallstudien wurden möglichst aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlag in Wien, Innsbruck und am Brenner ausgewählt. Eine Einteilung in Winter und Sommer, wie sie bei den Strahlungstagen gemacht wurde, ist in diesem Fall nicht sinnvoll, da es 2008 bzw. vor allem im Winter 2008 kaum Tage gibt, an denen Niederschlag an allen drei Orten fällt. Aus diesem Grund wurden hier drei Tage im Mai und fünf Tage im April ausgewählt.

5.2.1 Mai 2008

Für diese Fallstudie werden die Temperaturdaten von 18. bis 20. Mai 2008 ausgewertet. Eine verwellte Frontalzone führt laut Monatsrückblick der ZAMG schon in der Nacht von 17. auf 18. Mai im Westen, tagsüber dann in ganz Österreich zu teils ergiebigen Niederschlägen. Nach dem zögerlichen Abzug dieser Frontalzone gerät Österreich in den Einflussbereich eines Adriatiefs, das vor allem für den Süden des Landes wetterwirksam ist. Am 20. Mai regnet es im Großteil Österreichs, der Schwerpunkt der Niederschläge liegt im Süden und im Osten (Quelle: www.zamg.ac.at).

Wien

Der Temperaturverlauf dieser Tage in Wien, dargestellt in Abbildung 23, zeigt am Vormittag des 18. Mai einen recht starken Temperaturanstieg und am Nachmittag mit Durchzug der Front bzw. mit Einsetzen des Niederschlags, zu sehen in Tabelle 12, einen abrupten Temperaturabfall. Vom 19.–20. Mai ist kaum ein Tagesgang der Temperatur zu erkennen.

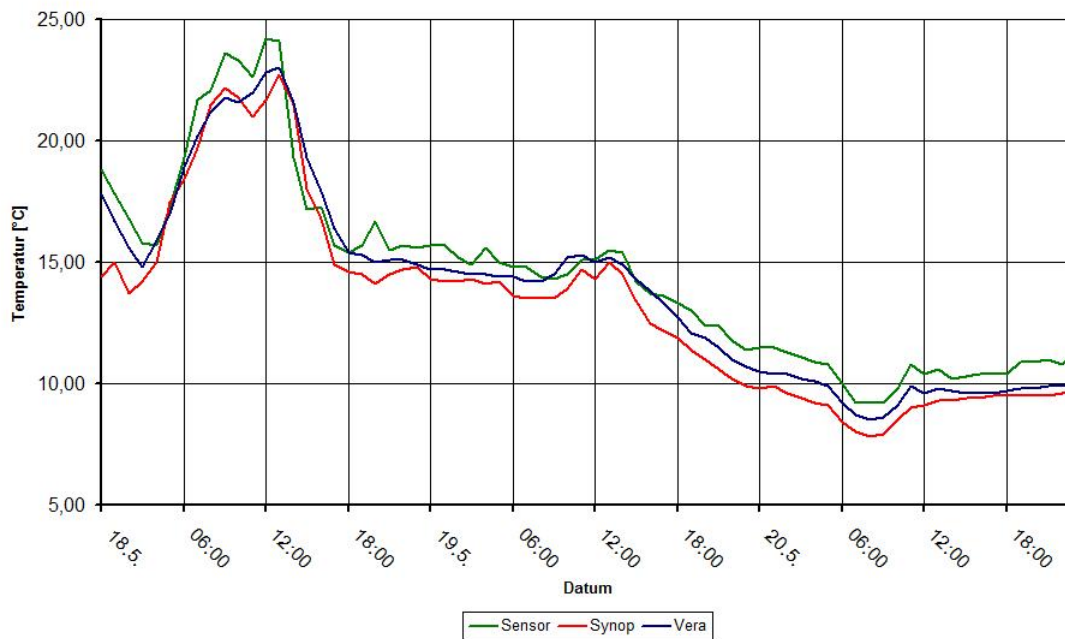


Abbildung 23: Temperaturen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008;
grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Wie sowohl an den Graphen in Abbildung 23 als auch in Abbildungen 24 und 25 erkannt werden kann, liegt auch in diesem Fall die Sensortemperatur durchgehend über den Messwerten des Synops. Die gemittelte Differenz dieser Abweichung hat dieselbe Größenordnung wie die gemittelte Differenz von Sensor und Synop an den weiter oben beschriebenen Strahlungstagen.

	18.5.	19.5.	20.5.
00:00		0,6mm/6h; SH (leicht)	Spuren/6h
01:00		SH (leicht)	
02:00			
03:00			
04:00		SH (leicht)	
05:00		SH (leicht)	
06:00		1mm/12h; SH (leicht)	1mm/12h; durchgehend leichter RA
07:00		SH (mäßig-stark)	durchgehend mäßiger RA
08:00			durchgehend mäßiger RA
09:00			durchgehend mäßiger RA
10:00			durchgehend leichter RA
11:00			durchgehend leichter RA
12:00	Spuren/6h	3mm/6h	9mm/6h
13:00			SH (leicht)
14:00			SH (leicht)
15:00	TS (mäßig+Regen)		durchgehend mäßiger RA
16:00			durchgehend mäßiger RA
17:00	SH (mäßig-stark)		durchgehend mäßiger RA
18:00	6mm/12h	3mm/12h	18mm/12h; durchgehend mäßiger RA
19:00			durchgehend leichter RA
20:00			durchgehend leichter RA
21:00			Regentropfen
22:00		durchgehend leichter RA	
23:00			

Tabelle 12: Niederschlagserscheinungen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008;
RA: Regen, SH: Schauer, TS: Gewitter

Tabelle 12 zeigt die Niederschlagsereignisse vom 18.–20.Mai nach Stunden aufgelistet. Diese Niederschlagswerte sind Synopdaten aus Wien-Schwechat. Alle 6 Stunden, in dieser Tabelle grün dargestellt, wird der Niederschlag summiert, und zwar um 00 UTC und um 12 UTC über die letzten 6 Stunden und um 06 UTC und 18 UTC über die letzten 12 Stunden.

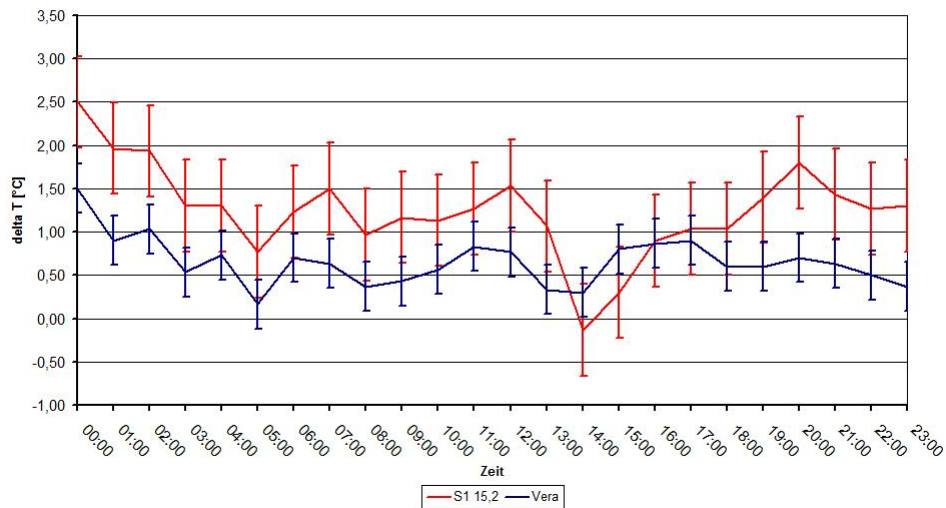


Abbildung 24: mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Wien-Schwechat, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

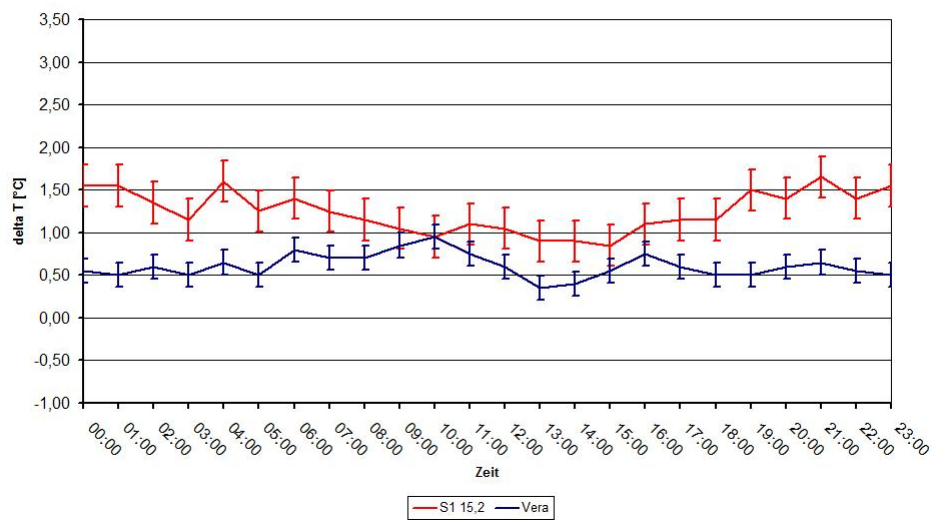


Abbildung 25: mittlere Temperaturdifferenzen 19.–20. Mai 2008 Wien-Schwechat, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

In Abbildung 24 sind die mittleren Temperaturabweichungen vom 18.–20. Mai 2008 und in Abbildung 25 die mittleren Temperaturabweichungen vom 19.–20. Mai 2008 dargestellt. Wie schon weiter oben beschrieben, ist der Tagesgang der Temperatur am 18. Mai noch relativ stark ausgeprägt, obwohl die Temperatur durch den einsetzenden Regen früher fällt als an einem Strahlungstag. Da der Wertebereich aber ähnlich groß ist, wurde untersucht, ob sich die Abweichungen ohne die Daten dieses Tages stark verändern. Der Mittelwert der Differenzen von Abbildungen 24 und 25 ist fast gleich groß, die Kurve der mittleren Abweichungen vom 19.–20. Mai verläuft aber gleichmäßiger, wodurch die Standardabweichungen mit 0,24 (Sensor-Synop) und 0,14 (VERA-Synop) geringer als jene der Differenzen von 18.–20. Mai sind, dargestellt in Tabelle 13 b).

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	9,2	7,8	8,5
<i>Max</i>	24,2	22,7	23,0
<i>Wertebereich</i>	15,0	14,9	14,5
<i>arith. Mittel</i>	14,47	13,22	13,88
<i>Median</i>	14,65	13,55	14,4
<i>Stabw.</i>	3,88	3,96	3,95
<i>Varianz</i>	15,03	15,72	15,57

(a)

	<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,53	0,28

(b)

Tabelle 13: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008

Die Maßzahlen vom 18.–20. Mai 2008, dargestellt in Tabelle 13 a), zeigen keine Besonderheiten, alle errechneten statistischen Parameter sind ähnlich groß. Vergleicht man diese Maßzahlen mit jenen der Zeitreihen vom 19.–20. Mai 2008, siehe Tabelle 14, sind neben den logischen Unterschieden bei Maximum, Minimum und Wertebereich, die viel geringere Werte bei Varianz und Standardabweichung beachtlich.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	9,2	7,8	8,5
<i>Max</i>	15,7	15,0	15,3
<i>Wertebereich</i>	6,5	7,2	6,8
<i>arith. Mittel</i>	12,39	11,14	11,75
<i>Median</i>	11,5	9,9	10,6
<i>Stabw.</i>	2,13	2,3	2,33
<i>Varianz</i>	4,52	5,31	5,45

Tabelle 14: Maßzahlen Wien-Schwechat 19.–20. Mai 2008

Innsbruck

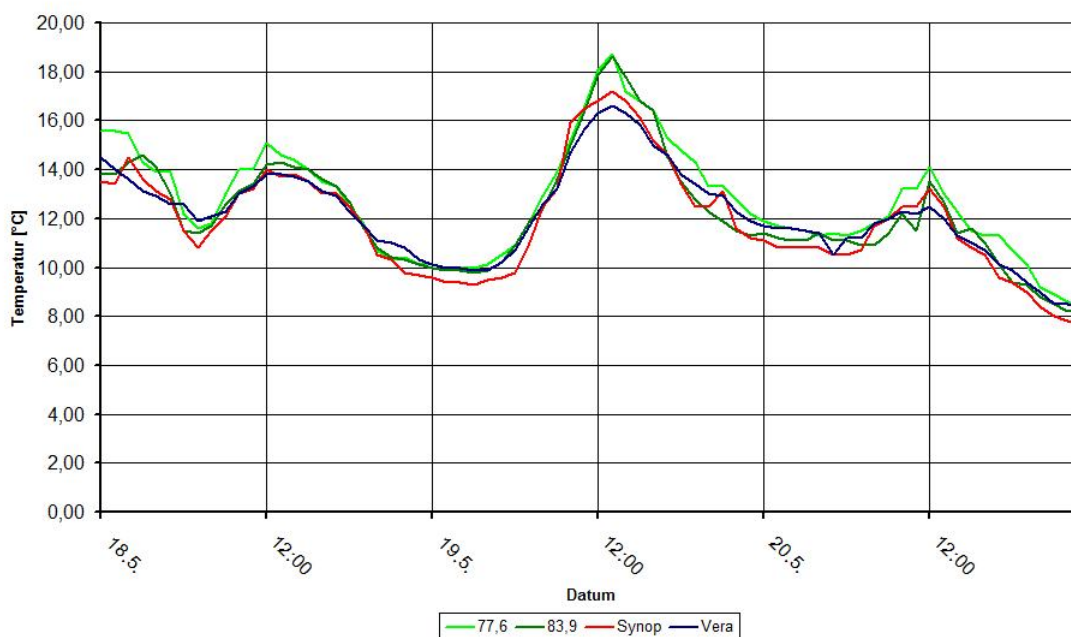


Abbildung 26: Temperaturen Innsbruck 18.–20. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

In Innsbruck fällt, wie in Tabelle 15 ersichtlich, am 19. Mai die geringste Niederschlagsmenge. Dies hat zur Folge, dass der Tagesgang der Temperatur an diesem Tag am größten ist. An den übrigen Tagen bleibt die Temperatur, wie es für Tage mit Niederschlag typisch ist, gedämpft. Die Tagesgänge sind

aber deutlicher ausgeprägt als in Wien an denselben Tagen, dargestellt in Abbildung 23.

	18.5.	19.5.	20.5.
00:00			
01:00			
02:00	SH (leicht)		durchgehend leichter RA
03:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
04:00			durchgehend leichter RA
05:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
06:00	1mm/12h; SH (leicht)	1mm/12h; durchg. leichter RA	4mm/12h; durchg. leichter RA
07:00	durchgehend leichter RA	durchgehend leichter RA	durchgehend leichter RA
08:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
09:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
10:00	durchgehend leichter RA		
11:00	Regentropfen		
12:00	4mm/6h	0,1mm/6h	2mm/6h
13:00	durchgehend leichter RA		
14:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
15:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
16:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
17:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
18:00	6mm/12h; durchg. leichter RA	0,2mm/12h	2mm/12h; SH(leicht)
19:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
20:00	durchgehend leichter RA		durchgehend leichter RA
21:00	SH (leicht)	SH (leicht)	durchgehend leichter RA
22:00			
23:00			

Tabelle 15: Niederschlagserscheinungen Innsbruck 18.–20. Mai 2008; RA: Regen, SH: Schauer, TS: Gewitter

Tabelle 15 zeigt die Niederschlagsmeldungen der Synopstation des Innsbrucker Flughafens. Auch hier wurde der Niederschlag wieder alle 6 Stunden über 12 bzw. 6 Stunden aufsummiert.

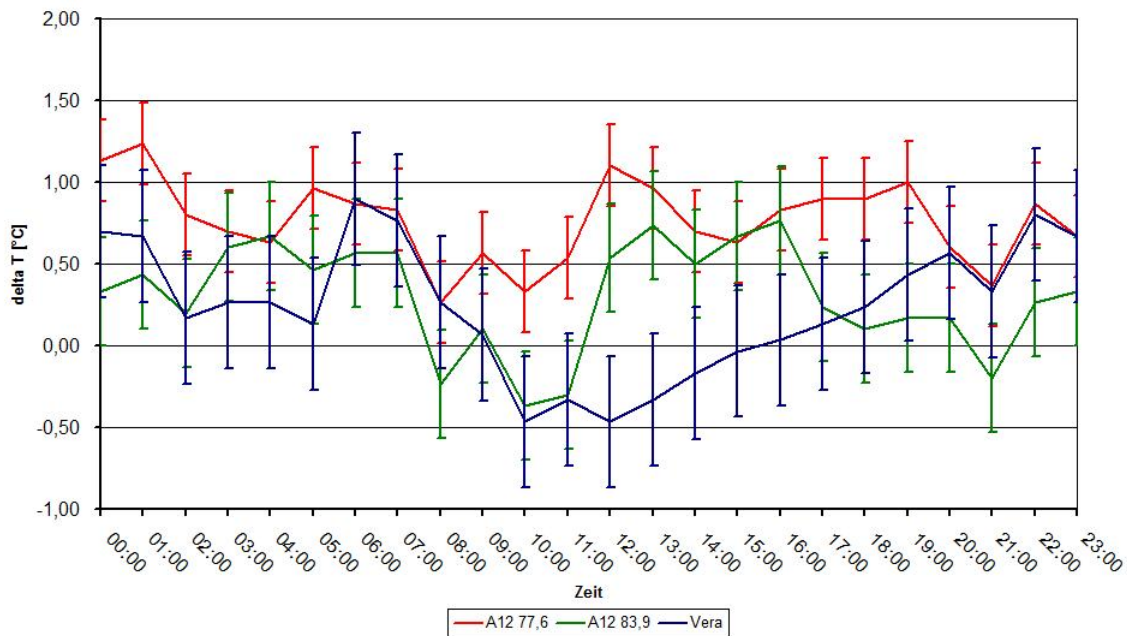


Abbildung 27: mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Innsbruck, Synop-A12 77,6 (rot), Synop-A12 83,9 (grün), Synop-VERA (blau)

Die mittleren Abweichungen, dargestellt in Abbildung 27, bleiben in einem recht geringen Rahmen, die Differenz des Sensors bei km 77,6 ist mit einem Durchschnitt von 0,77 noch am größten. Auch die Standardabweichungen sind gering, siehe Tabelle 16 b).

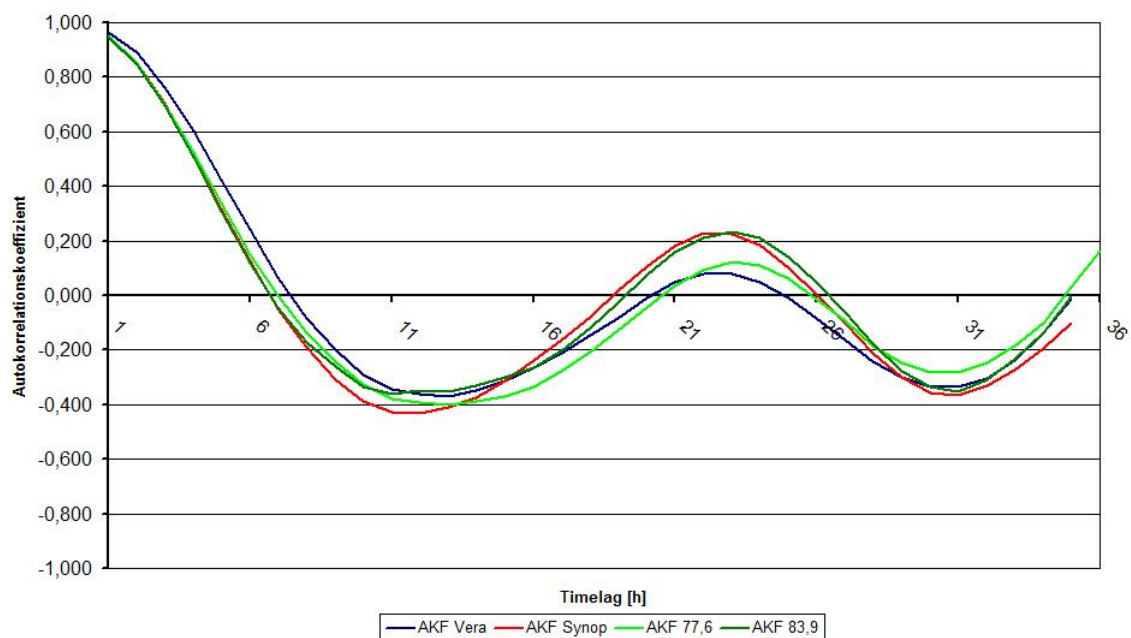


Abbildung 28: Autokorrelationsfunktionen 18.–20. Mai 2008 Innsbruck

Die Autokorrelationsfunktionen, zu sehen in Abbildung 28, sind wie auch an Strahlungstagen zyklisch und schwanken um die Null-Linie, die Korrelation nimmt allerdings sehr schnell deutlich ab.

	<i>77,6</i>	<i>83,9</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	8,3	8,2	7,7	8,4
<i>Max</i>	18,7	18,6	17,2	16,6
<i>Wertebereich</i>	10,4	10,4	9,5	8,2
<i>arith. Mittel</i>	12,68	12,22	11,92	12,15
<i>Median</i>	12,25	11,6	11,7	12,05
<i>Stabw.</i>	2,27	2,26	2,21	1,88
<i>Varianz</i>	5,15	5,09	4,9	3,52

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>A12 83.9-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,25	0,33	0,40

(b)

Tabelle 16: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 18.–20. Mai 2008

Auch die in Tabelle 16 abgebildeten Maßzahlen der Innsbrucker Zeitreihen weisen, wie auch schon jene aus Wien, keine Besonderheiten auf und bewegen sich alle im selben Bereich. Standardabweichung und Varianz der VERA-Daten sind etwas geringer als jene der Sensoren und des Synops, da diese Zeitreihe bei fast gleichem arithmetischem Mittel das tiefste Maximum und dadurch den geringsten Wertebereich hat.

Brenner

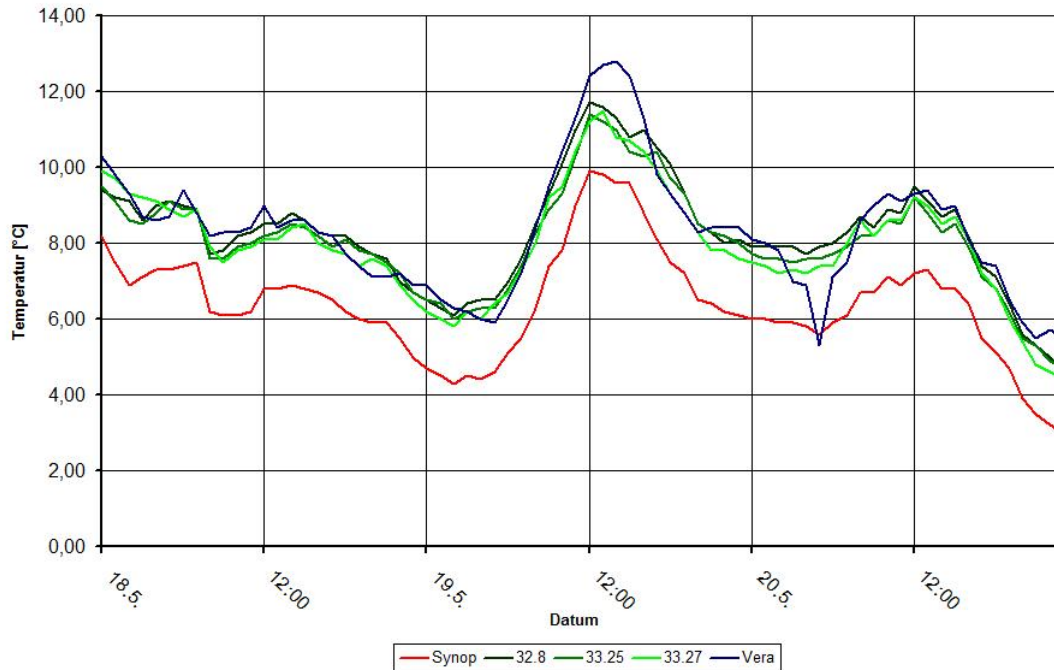


Abbildung 29: Temperaturen Brenner 18.–20. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA

Die Temperaturkurven am Brenner, welche in Abbildung 29 zu sehen sind, sind erwartungsgemäß jenen der gleichen Woche in Innsbruck ähnlich. Auffallend ist der plötzliche Ausreißer bzw. die plötzliche Abweichung im Temperaturverlauf der VERA am 20. Mai um 05 UTC (Universal Time Coordinated). Außerdem erreicht die Maximaltemperatur der VERA am 19. Mai eindeutig den höchsten Wert. Ähnliches konnte am Brenner auch an Strahlungstagen beobachtet werden, siehe Abbildung 9. Die Synop-Messwerte liegen durchgehend deutlich tiefer als die übrigen Temperaturdaten, wobei man wieder die Höhendifferenz, zu sehen in Tabelle 1, bedenken muss.

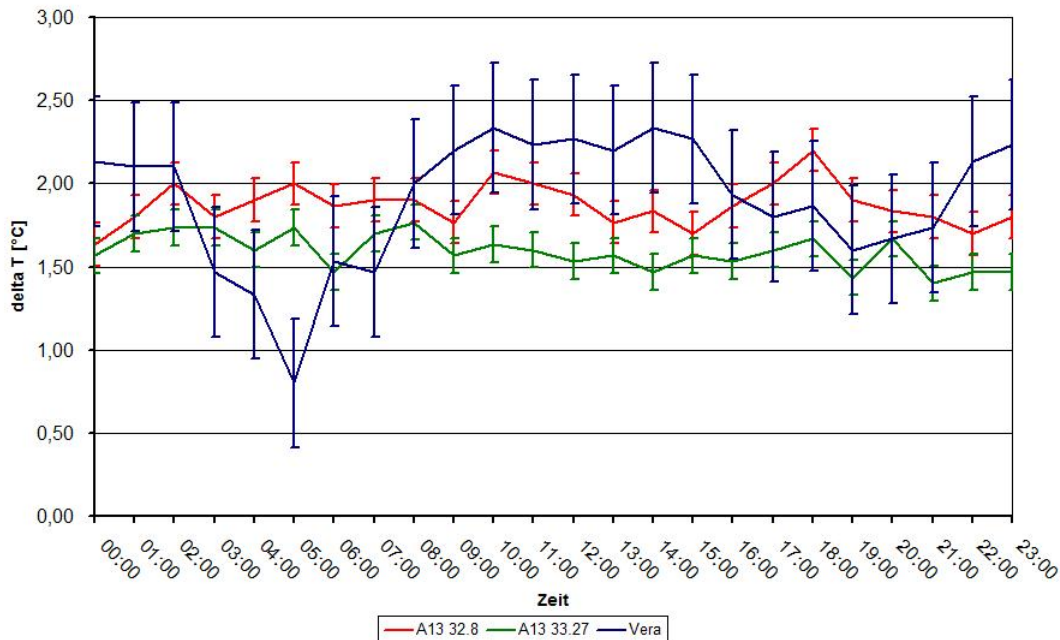


Abbildung 30: mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen, dargestellt in Abbildung 30, sind größer als jene in Wien und in Innsbruck an den gleichen Tagen. Es ist allerdings zu bemerken, dass es sich ja um die Differenzen der Sensor- und VERA-Daten zu den Synop-Messwerten handelt und diese, wie in Abbildung 29 zu sehen ist, eindeutig tiefer liegen als die restlichen Temperaturdaten. Da die Kurven ziemlich parallel laufen, bleiben die Standardabweichungen aber trotzdem gering, siehe 17 b).

Die Autokorrelationsfunktionen sind, wie auch die Temperaturverläufe, jenen der Zeitreihen aus Innsbruck sehr ähnlich und aus diesem Grund hier nicht abgebildet. Sie verlaufen auch am Brenner zyklisch und schwanken regelmäßig um Null, wobei die Korrelation rasch abnimmt.

	<i>32,8</i>	<i>33,25</i>	<i>33,27</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	4,7	4,7	4,4	3,0	5,3
<i>Max</i>	11,7	11,4	11,5	9,9	12,8
<i>Wertebereich</i>	7,0	6,7	7,1	6,9	7,5
<i>arith. Mittel</i>	8,27	8,06	7,99	6,4	8,3
<i>Median</i>	8,3	8,15	7,95	6,35	8,35
<i>Stabw.</i>	1,46	1,38	1,48	1,45	1,68
<i>Varianz</i>	2,14	1,9	2,2	2,1	2,82

(a)

	<i>A13 32.8-Syn</i>	<i>A13 33.27-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,13	0,11	0,39

(b)

Tabelle 17: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 18.–20. Mai 2008

Auch die Maßzahlen der Zeitreihen dieser drei Tage vom Brenner weisen keine Besonderheiten auf. Standardabweichung und Varianz sind hier, verglichen mit jenen aus Wien und Innsbruck, speziell niedrig.

5.2.2 April 2008

Für diese Fallstudie wurden fünf Tage ausgewählt, an denen wieder in Wien, Innsbruck und am Brenner Niederschlag gefallen ist. Anders als bei der vorhergehenden Studie handelt es sich im April aber nicht nur um aufeinanderfolgende Tage. Aus diesem Grund wurde für die folgenden Zeitreihen auch keine Autokorrelationsfunktionen berechnet.

Am 2. und 3. April führt kühle Nordseeluft verbreitet zu Regen, Graupel und lokal auch Schneeschauern. Besonders in Tirol und Oberösterreich sind die Niederschläge sehr ergiebig. Die Temperaturen sinken vor allem in Westösterreich stark ab. Am 21. und 22. Mai zieht eine Front von Frankreich und Oberitalien nach Österreich und bringt zuerst im Süden, am 22. Mai auch an der Alpennordseite intensive Niederschläge. In der zweiten Tageshälfte des 22. Mai gehen in Ostösterreich heftige Unwetter nieder. Die Temperatur fällt stark, wobei es im Westen deutlich kühler ist als im Osten. Am 25. Mai

zieht eine Störung von Westen nach Osten über Österreich, die zu Regen, und teils gewittrigen Regenschauern, die im Westen, Norden und Osten auch ergiebig ausfallen, führt. Die Temperaturen sinken wieder im Laufe des Tages ab (Quelle: www.zamg.ac.at).

Wien

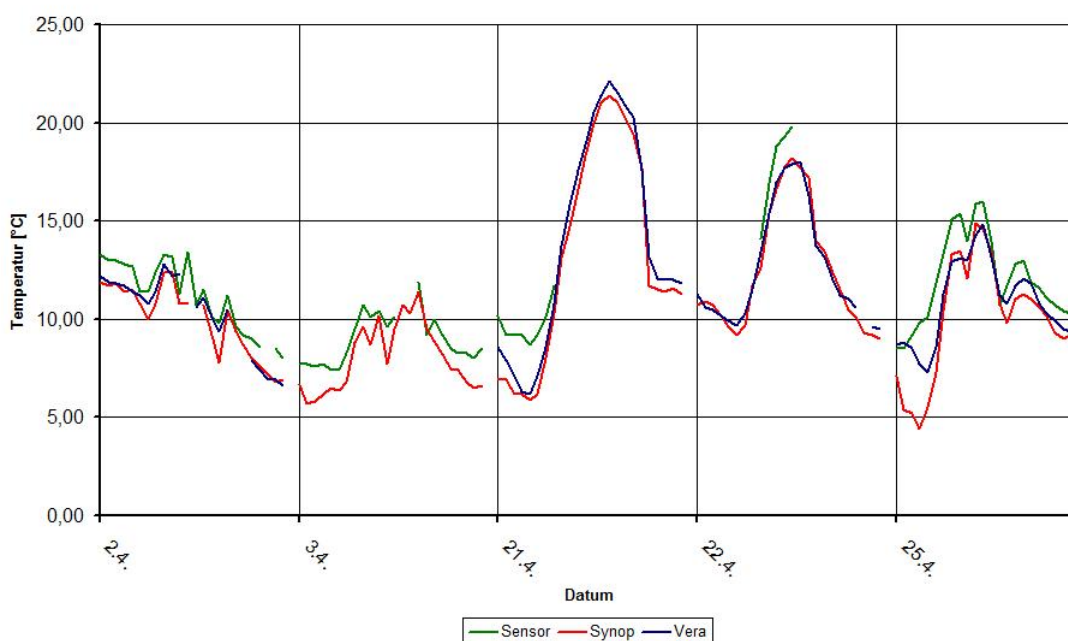


Abbildung 31: Temperaturen Wien-Schwechat April 2008; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 31 zeigt die Temperaturverläufe in Wien während der Tage mit Niederschlag im April. Da nicht alle diese Tage aufeinander folgen, wurden die Temperaturkurven mit einer kurzen Unterbrechung nach jedem Tag dargestellt. Die VERA- und Sensordaten dieser Fallstudie sind lückenhaft.

An den ersten beiden Tagen ist wenig Tagesgang der Temperatur zu erkennen, wie es für stark bewölkte, regnerische Tage typisch ist. Auch die starken Schwankungen der Temperaturkurven sind auf Bewölkung und Niederschlag zurückzuführen. Am 21. und 22. April ähnelt der Verlauf der Tem-

peratur jenem an Strahlungstagen. Vergleicht man mit Tabelle 18, ist der Niederschlag dieser beiden Tage zwischen 21.April 06 UTC und 22.April 00 UTC gefallen. Da es sich hier um konvektive Ereignisse handelt und untertags kaum Niederschlag gefallen ist, sind die Tagesgänge nicht verwunderlich.

	2.4.	3.4.	21.4.	22.4.	25.4.
00 UTC	Spuren/6h	Spuren/6h		17mm/6h	
06 UTC	0,1mm/12h	Spuren/12h		17mm/12h	
12 UTC		0,1mm/6h			Spuren/6h
18 UTC	0,4mm/12h	0,1mm/12h	Spuren/12h	Spuren/12h	0,6mm/12h

Tabelle 18: Niederschlagserscheinungen Wien-Schwechat April 2008

Zur Veranschaulichung zeigt Tabelle 18 die 6-stündigen Niederschlags-summen dieser Tage.

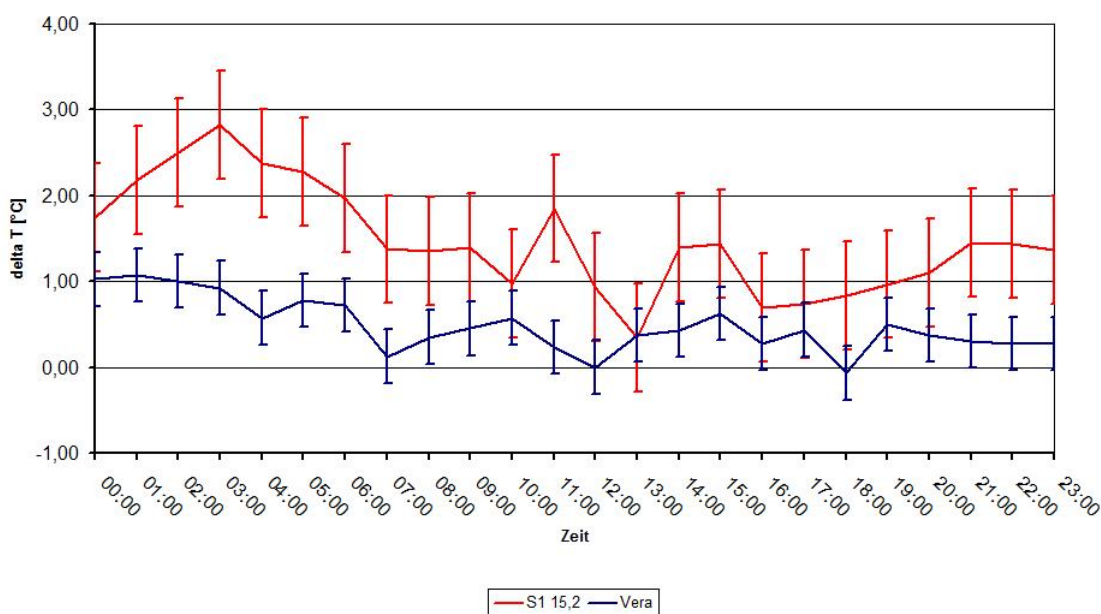


Abbildung 32: mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat April 2008, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

In Abbildung 32 werden die mittleren Abweichungen der Zeitreihen dar-

gestellt. Die Differenz zwischen VERA- und Synopdaten ist wie erwartet gering und beträgt im Mittel nur 0,49 Grad. Zum Vergleich: Auch bei der Niederschlagsfallstudie im Mai war diese Differenz, dargestellt in Abbildung 24, mit 0,66 Grad sehr gering. Die mittlere Abweichung zwischen Sensor und Synop ist mit 1,48 Grad um einiges größer. Wie schon bei anderen Fallstudien oft beobachtet, liegt die Sensortemperatur im Mittel immer über den Synopmesswerten. Wie schon bei den Niederschlagstagen im Mai wurde auch in diesem Fall ein Mittel nur mit Daten der Tage mit gedämpften Temperaturtagesgängen berechnet. Weder bei der Differenz Sensor–Synop noch bei der Differenz VERA–Synop wurde ein großer Unterschied zur mittleren Temperaturabweichung in Abbildung 32 erkannt, weshalb die Graphen hier auch nicht extra dargestellt sind.

Die Maßzahlen dieser Zeitreihen wurden nicht dargestellt, da sie, aufgrund der Datenausfälle von Sensor und VERA, nicht miteinander vergleichbar sind.

Innsbruck

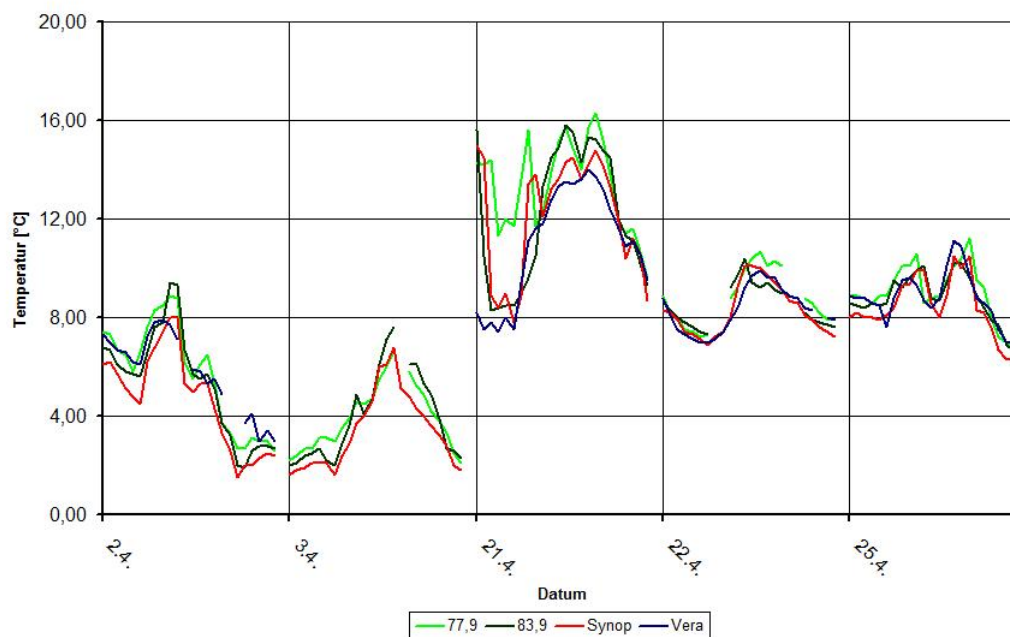


Abbildung 33: Temperaturen Innsbruck April 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

Die Graphen der Temperaturen aus Innsbruck sind wie schon jene in Wien nach jedem Tag unterbrochen und wieder haben VERA- und Sensor-Zeitreihe einige Datenlücken. Der Tagesgang der Temperatur ist auch in Innsbruck am 21. April am größten, da an diesem Tag am wenigsten Niederschlag fiel, wie in Tabelle 19 zu sehen ist.

	2.4.	3.4.	21.4.	22.4.	25.4.
00 UTC		4mm/6h		2mm/6h	Spuren/6h
06 UTC		7mm/12h		6mm/12h	2mm/12h
12 UTC		1mm/6h		3mm/6h	2mm/6h
18 UTC	14mm/12h	1mm/12h	0,2mm/12h	7mm/12h	3mm/12h

Tabelle 19: Niederschlagserscheinungen Innsbruck April 2008

Tabelle 19 zeigt, dass die Niederschlagssummen in Innsbruck deutlich

über jenen aus Wien liegen. Ausgenommen ist die Nacht von 21. auf 22. April, in der es in Wien 17 mm geregnet hat.

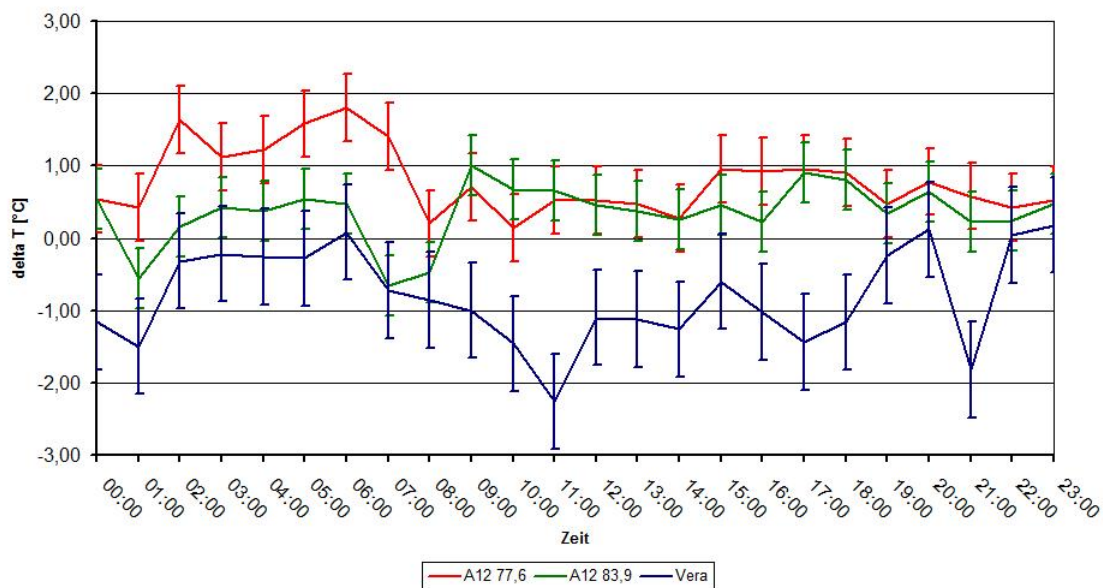


Abbildung 34: mittlere Temperaturdifferenzen Innsbruck April 2008, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)

Die beiden Sensoren in Innsbruck bleiben, ähnlich den Beobachtungen in Wien, fast durchgehend über den Messwerten des Synops. Wie in Abbildung 34 ersichtlich, ist die mittlere Abweichung des Sensors bei km 83,9 mit 0,5 Grad im Durchschnitt sehr gering, aber auch die Abweichung des Sensors bei km 77,6 bleibt, wie auch die Differenz VERA–Synop, im Mittel unter einem Grad. Die VERA–Werte liegen allerdings fast durchgehend unter jenen des Synops. Die zugehörigen Standardabweichungen sind gering, wie in Tabelle 20 b) zu sehen ist.

	<i>77,6</i>	<i>83,9</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	2,1	1,9	1,5	
<i>Max</i>	16,3	15,8	15,0	
<i>Wertebereich</i>	14,2	13,9	13,5	
<i>arith. Mittel</i>	8,16	7,73	7,37	
<i>Median</i>	8,3	7,9	7,7	
<i>Stabw.</i>	3,65	3,46	3,52	2,39
<i>Varianz</i>	13,31	11,95	12,37	5,74

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>A12 83.9-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,46	0,41	0,66

(b)

Tabelle 20: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck April 2008

Die Maßzahlen der Zeitreihen, dargestellt in Tabelle 20 a) weisen keine Besonderheiten auf. Jene der VERA wurden nicht dargestellt, da die Daten eines ganzen Tages fehlen und die Maßzahlen daher nicht repräsentativ sind.

Brenner

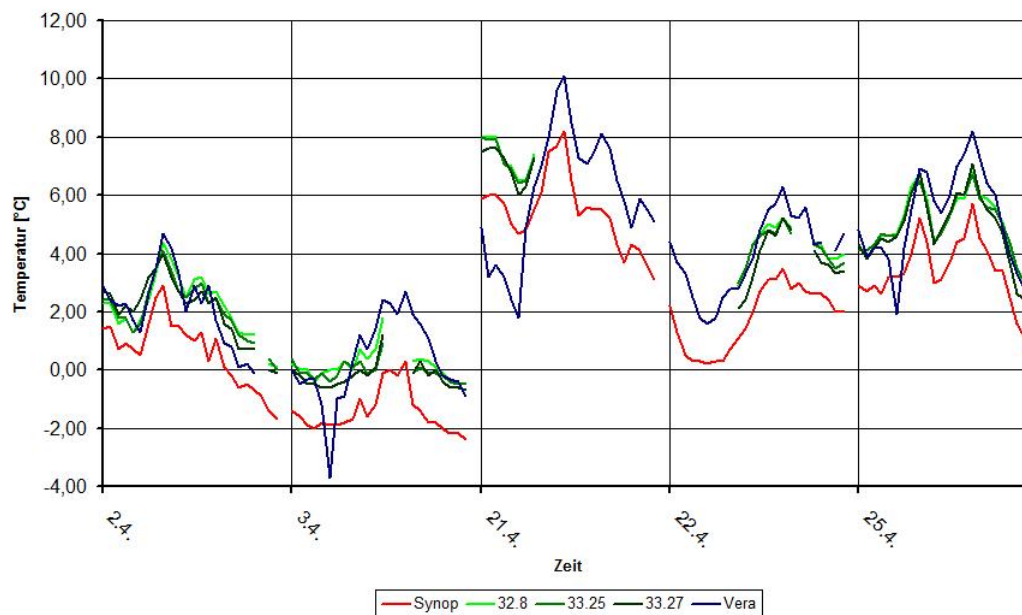


Abbildung 35: Temperaturen Brenner April 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA

Wie schon bei den Fallstudien von Wien und Innsbruck werden auch die Temperaturverläufe für den Brenner mit kleinen Abständen zwischen den Tagen dargestellt, und die Daten der Sensoren sind lückenhaft. Die Graphen der Temperaturen am Brenner, dargestellt in Abbildung 35, ähneln auf Grund der geographischen Nähe jenen in Innsbruck. Interessant ist der Verlauf der Temperaturdaten der VERA. Neben den, verglichen mit den Messwerten der Synop und Sensorstationen, zum Teil deutlich höheren Maxima, sind die plötzlichen Temperaturminima am 3., 21. und 25. April um jeweils 05 UTC auffallend. Das gleiche Phänomen wurde schon bei den Daten im Mai beobachtet, wie in Abbildung 29 gesehen werden kann.

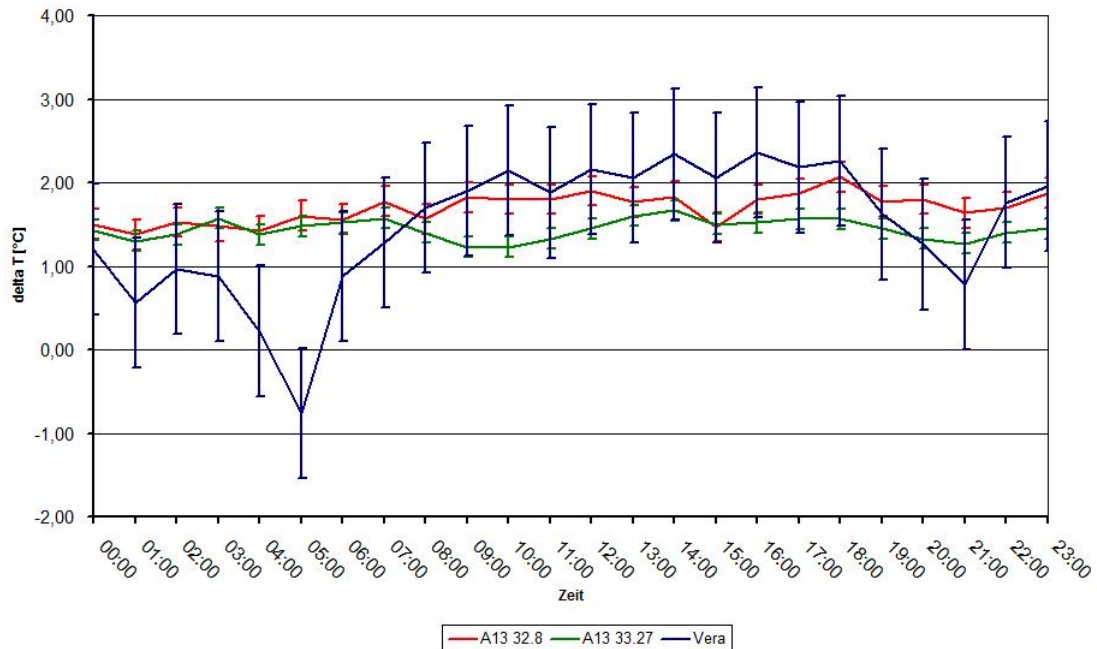


Abbildung 36: mittlere Temperaturdifferenzen Brenner April 2008, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen, dargestellt in Abbildung 36, zeigen, dass auch in diesem Fall die Sensorwetterstation durchgehend höhere Werte als der Synop misst. Dieses Verhalten der Temperaturen am Brenner wurde auch an den Niederschlagstagen im Mai beobachtet, welche in Kapitel 5.2.1 diskutiert werden. Die mittleren Temperaturabweichungen der Sensoren vom Synop verlaufen sehr gleichmäßig, wodurch die Standardabweichungen, dargestellt in Tabelle 21, sehr gering sind. Die Standardabweichung der mittleren Abweichung VERA–Synop ist deutlich höher. Die plötzlichen Temperaturminima der VERA in den Morgenstunden, die an einigen Tagen auftreten, sind auch hier wieder zu sehen.

	<i>32,8</i>	<i>33,25</i>	<i>33,27</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>				-2,4	-3,7
<i>Max</i>				8,2	10,1
<i>Wertebereich</i>				10,6	13,8
<i>arith. Mittel</i>				1,94	3,54
<i>Median</i>				2,0	3,3
<i>Stabw.</i>	2,4	2,43	2,46	2,59	2,64
<i>Varianz</i>	5,78	5,92	6,06	6,68	6,97

(a)

	<i>A13 32.8-Syn</i>	<i>A13 33.27-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,18	0,12	0,78

(b)

Tabelle 21: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner April 2008

Standardabweichung und Varianz dieser Zeitreihen unterscheiden sich relativ wenig voneinander, obwohl VERA und Synop ein tieferes Minimum, ein höheres Maximum und dadurch auch einen größeren Wertebereich haben. Die Temperaturkurve des Synops verläuft aber ziemlich parallel zu den Kurven der Sensoren, siehe Abbildung 35, wodurch auch das arithmetische Mittel tiefer liegt, die Abstände der einzelnen Messwerte davon aber gleich bleiben. Das gleiche Phänomen ist auch in Abbildung 29 sichtbar, in der die Temperaturverläufe der Niederschlagstage am Brenner im Mai dargestellt sind. Auf Grund eines relativ langen Datenausfalls der Sensorstationen wurde von diesen Zeitreihen nicht alle Maßzahlen dargestellt.

5.3 Jänner

In diesem Teil der Arbeit wird der Monat Jänner 2008 im Detail betrachtet. Es werden wieder Zeitreihen aus Wien, Innsbruck und vom Brenner untersucht, wobei zuerst die Temperaturdaten des gesamten Monats analysiert werden und danach das Verhalten der Temperaturen bei verschiedenen Wetterlagen.

Der Jänner verläuft klimatologisch gesehen verhältnismäßig mild. Die Temperaturen der ersten Tage sind noch winterlich, laut Monatsrückblick der ZAMG liegen die Tagesmittel aber spätestens nach dem 6. Jänner fast überall in Österreich über dem langjährigen Mittel, wodurch auch die Temperaturmonatsmittel in weiten Teilen des Landes über dem langjährigen Mittel liegen (Quelle: www.zamg.ac.at).

Wien

Die Temperaturkurven aus Wien, dargestellt in Abbildung 37, zeigen den deutlichen Temperaturanstieg am 6. Jänner und fallen danach kaum noch unter den Gefrierpunkt.

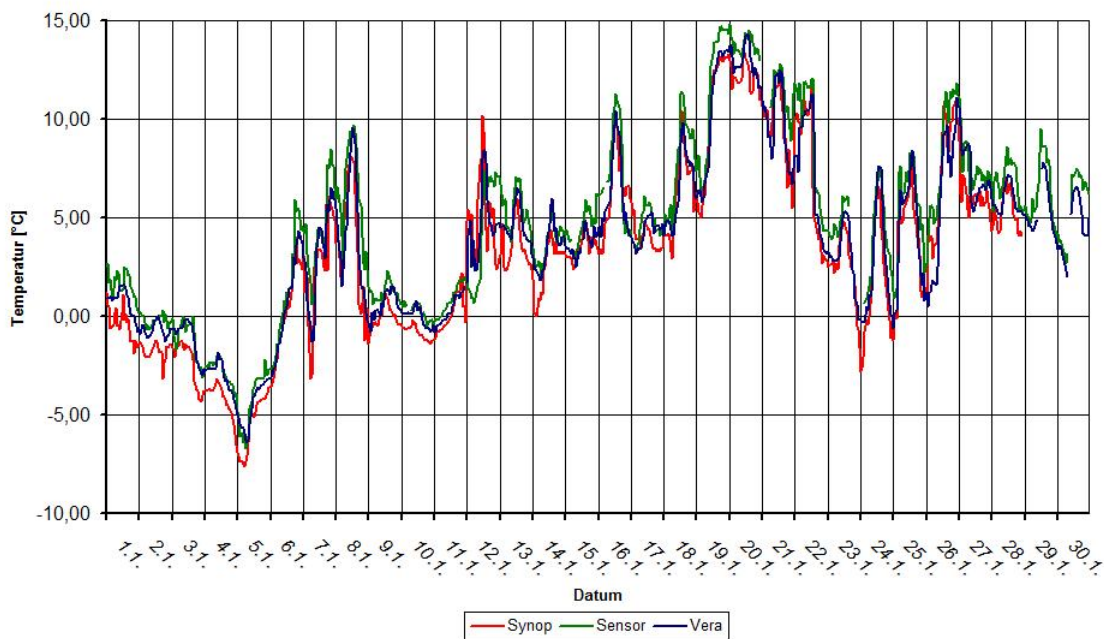


Abbildung 37: Temperaturen Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

An einigen Tagen, wie am 1. Jänner, vom 8.–11 Jänner und vom 23.–24.Jänner bewegen sich die Temperaturdaten um die Nullgradgrenze. Für solche Fälle ist der Unterschied der Messwerte von Sensor und Synop bzw. etwaige Regelmäßigkeiten bezüglich ihrer Differenz besonders interessant.

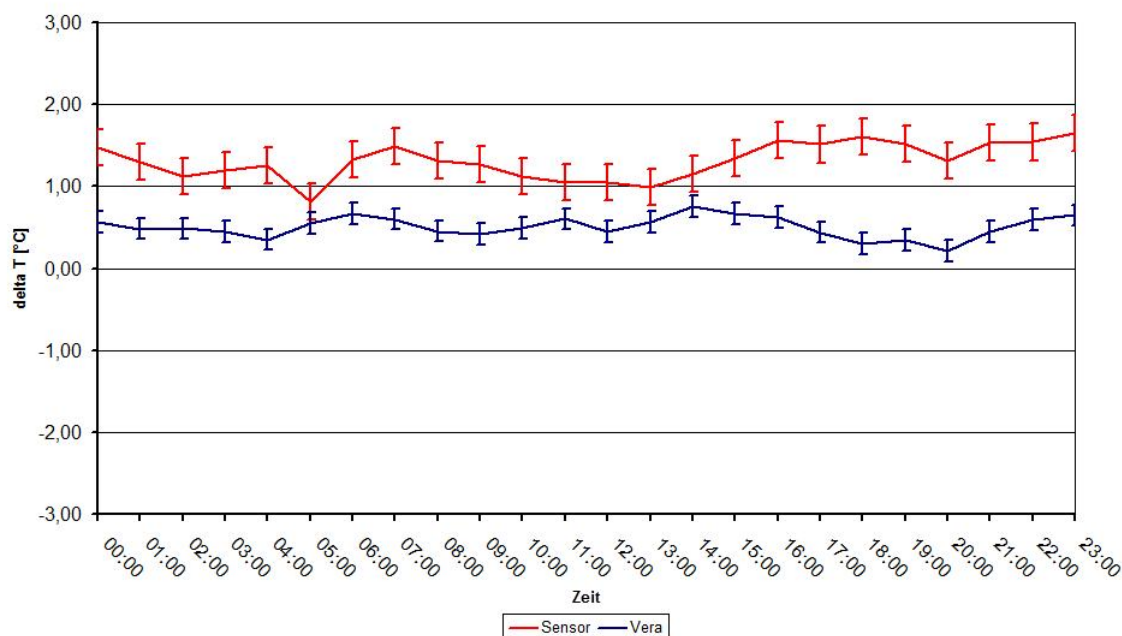


Abbildung 38: mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Die mittleren, über den ganzen Monat berechneten Temperaturabweichungen sind in Abbildung 38 dargestellt. Die Messwerte des Sensors liegen wieder durchgehend über jenen des Synops, wobei die durchschnittliche Abweichung 1,31 Grad beträgt. Die Differenz zwischen VERA-Daten und Synopmesswerten ist mit einer gemittelten Abweichung von 0,51 Grad geringer, womit die VERA-Werte wie erwartet recht nahe an der tatsächlichen Temperatur liegen. Diese Abweichung entspricht genau der Temperaturdifferenz, die bei trockenadiabatischer Durchmischung, durch den Höhenunterschied von Minimumtopographie und Synop von 50 m, zu erwarten ist, siehe auch Tabelle 1. Die Standardabweichungen der mittleren Temperaturabweichungen haben mit 0,22 (Sensor-Synop) und 0,13 (VERA-Synop) sehr geringe Werte, was auf die Gleichmäßigkeit der Abweichungsgrößen hinweist.

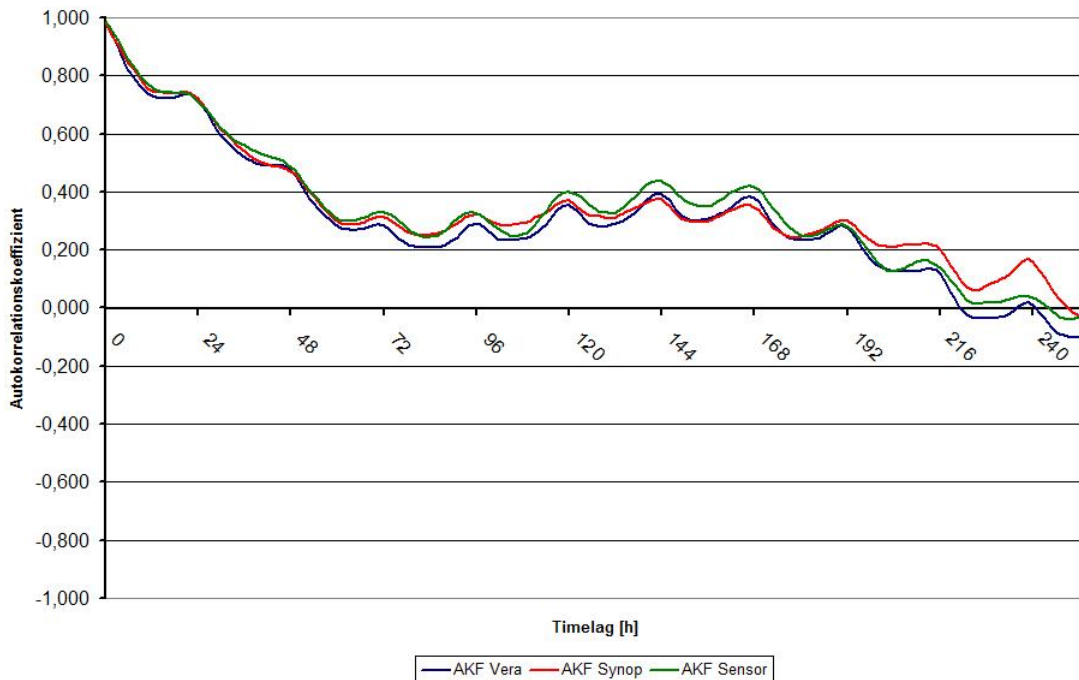


Abbildung 39: Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Wien-Schwechat

Abbildung 39 zeigt die Autokorrelationsfunktionen. Die Korrelation nimmt in den ersten vier Tagen stark ab und bleibt dann bis zu Timelag 192, das entspricht einer Verschiebung von 8 Tagen, abgesehen von einem minimalen Aufwärtstrend, konstant. Diese Korrelationen hängen natürlich stark von den Wetterlagen ab. Gäbe es zum Beispiel eine länger Periode von Strahlungstagen, wäre die Autokorrelation der Zeitreihe an diesen Tage höher. Insgesamt zeigt sich aber bei der Betrachtung der Autokorrelationsfunktionen über einen Monat, dass die Korrelation schon nach Timelag 48 nur zwischen 0,2 und 0,4 liegt. Deutlich zu sehen sind die Tagesgänge der Temperatur.

Die Größenordnung der Maßzahlen ist bei allen Zeitreihen aus Wien gleich. Arithmetisches Mittel, Median und Maximum des Sensors liegen etwas über den jeweiligen Maßen von Synop und VERA, eine Tatsache, die auch bei der mittleren Temperaturabweichung in Abbildung 38 beobachtet werden kann. Auf Grund ihrer Unauffälligkeit sind die Maßzahlen hier nicht extra abgebildet.

Niederschlagstage

Tage mit nennenswertem Niederschlag sind im Jänner 2008 in Wien selten, daher wurden Tage ausgewählt, an denen zum Teil nicht sehr viel Niederschlag fiel, der Tagesgang aber gedämpft blieb. Einige Tage wurden trotz größerer Niederschlagssummen nicht behandelt, da – wie beispielsweise am 19. Jänner durch Warmluftadvektion – der Tagesgang zu deutlich ist.

Von 1. bis 2. Jänner Tiefdruckeinfluss und Störungsausläufer im Osten Österreichs für geschlossene Bewölkung und leichte Schneefälle. Auch am 3. und am 4. Jänner bleibt das Wetter trüb und der Himmel bedeckt, die Niederschläge sind in ihrer Intensität unbedeutend. Am 27. Jänner bringt eine stürmische Nordwestströmung milde Atlantikluft, die um ein Hoch in Westeuropa geführt wird, nach Österreich. Die Niederschlagsmenge beträgt in Wien-Schwechat an diesem Tag 2,6 mm, wobei der Großteil zwischen 06 UTC und 12 UTC fällt. Die Temperatur bleibt den ganzen Tag gedämpft.

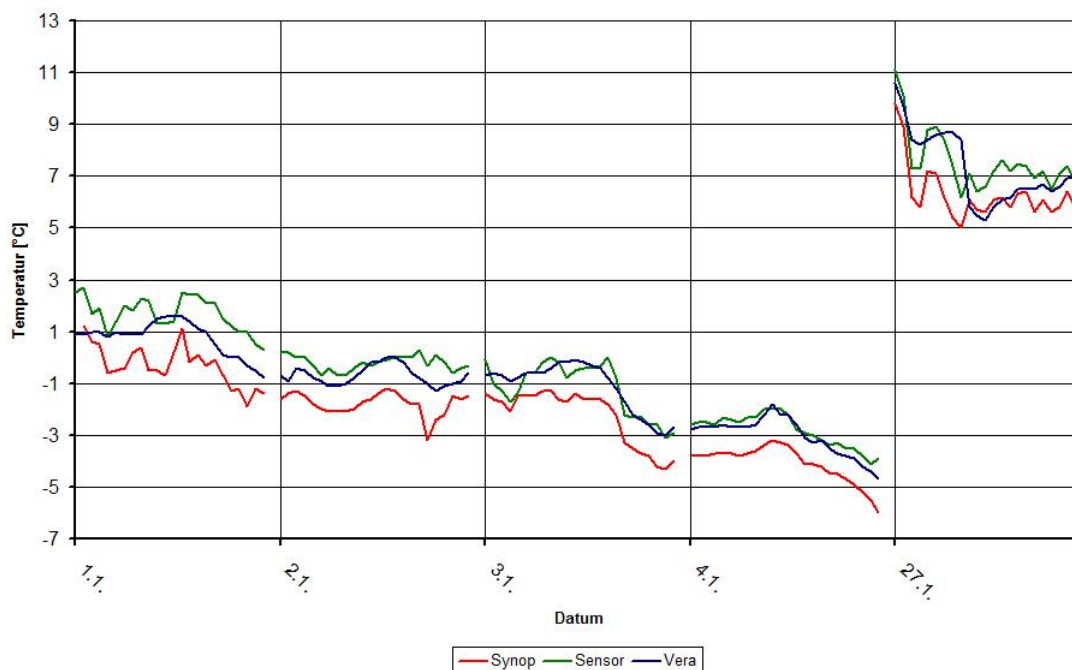


Abbildung 40: Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 40 zeigt die Temperaturverläufe der ausgewählten Niederschlagstage. Der Tagesgang der Temperatur bleibt an allen Tagen gedämpft und beträgt kaum mehr als zwei bis drei Grad.

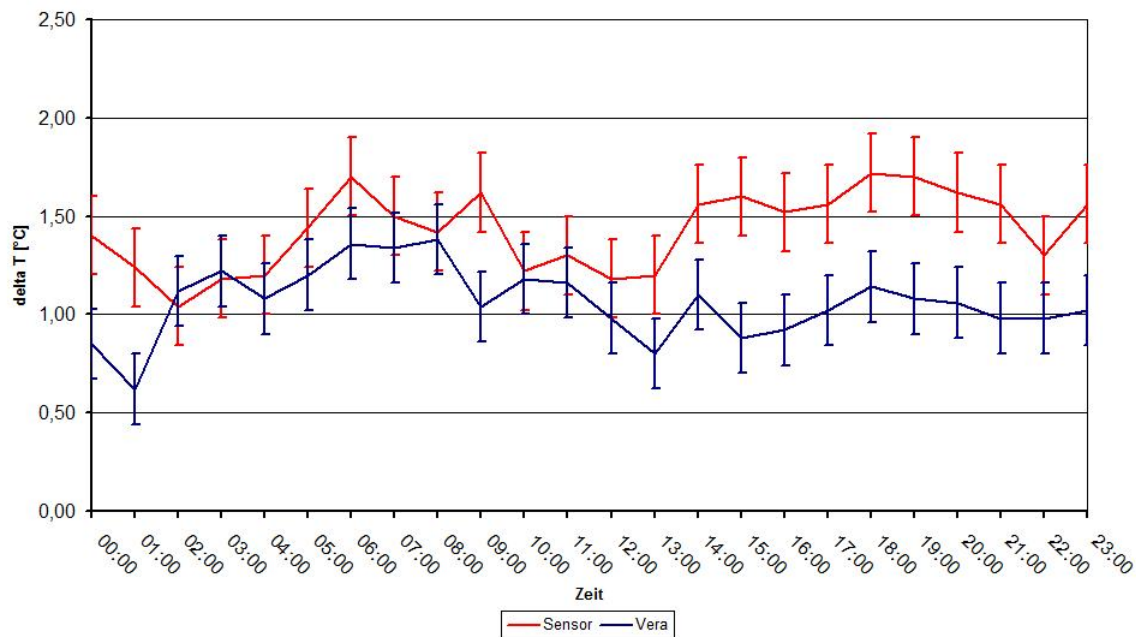


Abbildung 41: mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen, dargestellt in Abbildung 41, liegen zwischen ein und zwei Grad, wobei die Differenzen der VERA zu den Synopdaten auch hier wieder geringer ausfallen. Sowohl VERA- als auch Sensor–Zeitreihe bleibt dabei durchgehend über den Messwerten des Synops. Die Standardabweichungen sind mit 0,20 (Sensor–Synop) und 0,18 (VERA–Synop) sehr gering, zu sehen in Tabelle 22 b).

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>		<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Min</i>	-4,1	-6,0	-4,7			
<i>Max</i>	11,1	9,8	10,6			
<i>Wertebereich</i>	15,2	15,8	15,3			
<i>arith. Mittel</i>	1,01	-0,44	0,63	<i>Stabw.</i>	0,20	0,18
<i>Median</i>	-0,1	-1,5	-0,5			
<i>Stabw.</i>	3,69	3,69	3,65			
<i>Varianz</i>	13,62	13,63	13,31			

(a)

(b)

Tabelle 22: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Wien-Schwechat Jänner 2008

Auch die Maßzahlen, festgehalten in Tabelle 22 a), zeigen, dass die Temperaturmesswerte des Synops tiefer als die Daten der VERA und des Sensors liegen. Standardabweichung und Varianz sind bei allen Zeitreihen nahezu identisch.

Strahlungstage

Strahlungstage sind leichter zu definieren als Niederschlagstage, da hier, wie schon beschrieben, Tage mit maximaler Einstrahlung bzw. maximaler Ausstrahlung möglichst ohne Störungen wie Wolken oder Wind gewählt werden. Solche Tage kommen oft bei stabilen Hochdruckwetterlagen vor. Niederschlag hingegen fällt oft sehr lokal und tritt teilweise nur kurz auf, wodurch Niederschlagstage schlechter miteinander vergleichbar sind.

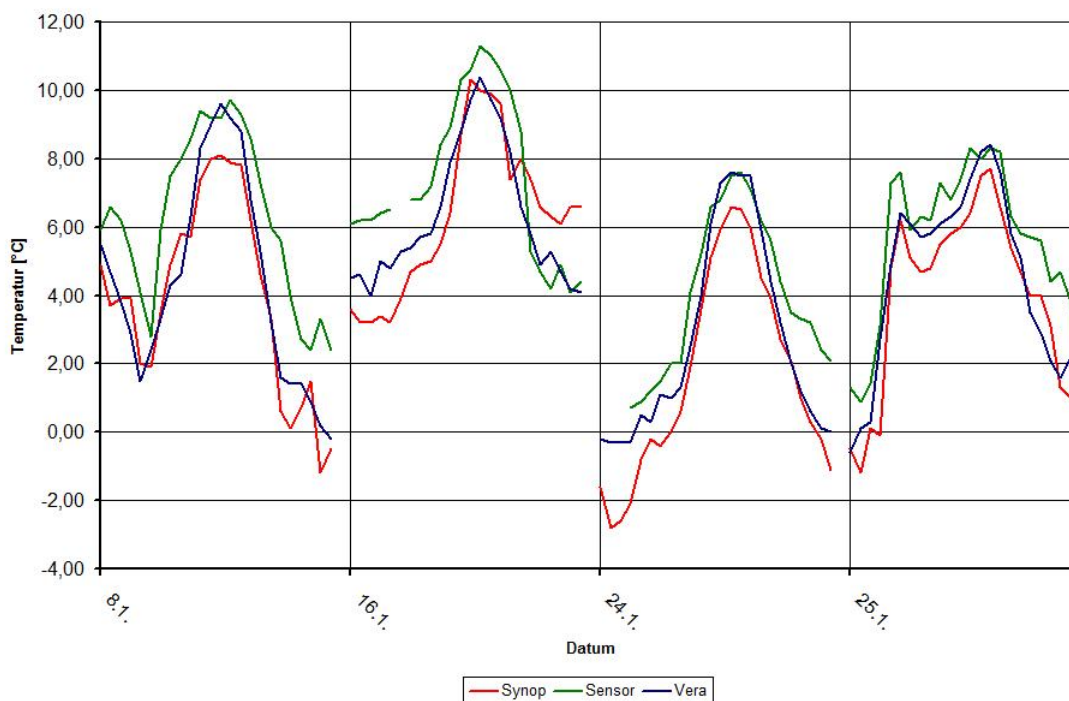


Abbildung 42: Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 42 zeigt die Temperaturkurven der Strahlungstage aus Wien im Jänner 2008. Am 8. und am 24. Jänner herrscht in ganz Österreich Hochdruckeinfluss, es ist schwach bewölkt bis wolkenlos und die Temperatur beschreibt typische Strahlungstagkurven. Sowohl am 16. als auch am 25. Jänner überqueren schwache Kaltfronten Österreich, die aber im Osten Österreichs für keinen Niederschlag sorgen und den Tagesgang der Temperatur kaum däm-

pfen bzw. am 16. Jänner durch Ausräumen des Nebels einen Tagesgang der Temperatur erst ermöglichen.

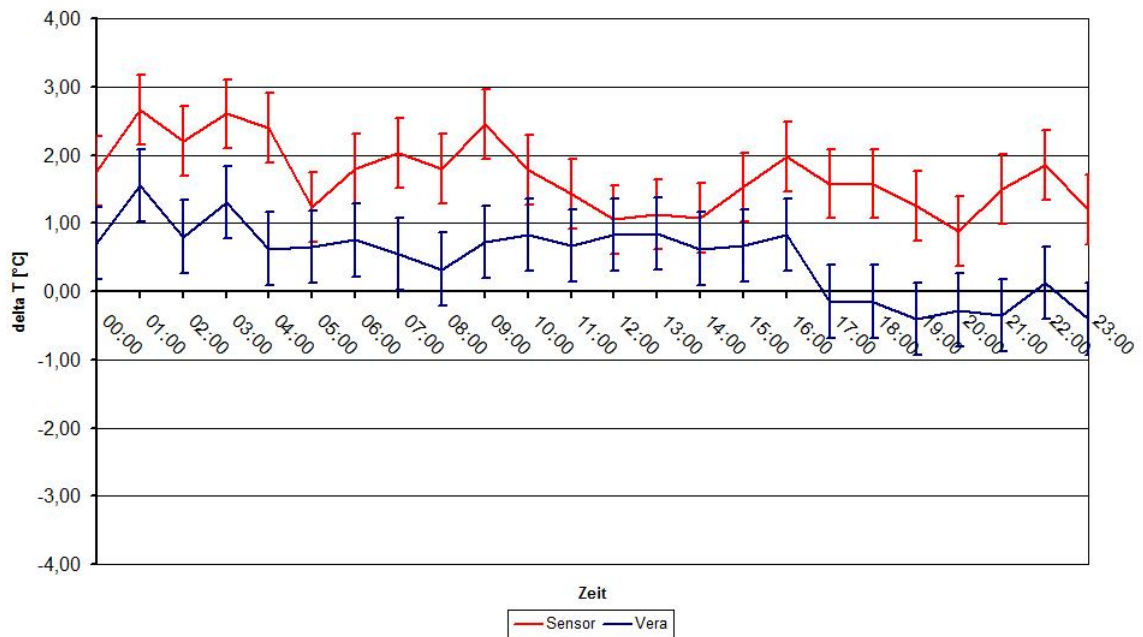


Abbildung 43: mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen werden in Abbildung 42 dargestellt. Die Differenzen der VERA- zu den Synop-Daten bleiben größtenteils unter einem Grad und betragen 0,63 Grad im Mittel. Die Standardabweichung beträgt 0,72, siehe auch Tabelle 23 b). Die Messwerte des Sensors liegen, ähnlich den anderen Strahlungstagen, im Schnitt 1,70 Grad über jenen des Synops.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	VERA
<i>Min</i>	0,7	-2,8	-0,6
<i>Max</i>	11,3	10,3	10,4
<i>Wertebereich</i>	10,6	13,1	11,0
<i>arith. Mittel</i>	5,83	3,94	4,43
<i>Median</i>	6,15	4,55	4,7
<i>Stabw.</i>	2,63	3,14	2,96
<i>Varianz</i>	6,91	9,89	8,75

	<i>S1 15.2-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,51	0,53

(b)

(a)

Tabelle 23: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat Strahlungstage Jänner 2008

Minimum, Maximum, arithmetisches Mittel und Median des Sensors liegen, wie in Tabelle 23 a) ersichtlich, über den entsprechenden Maßzahlen der anderen Zeitreihen und vor allem deutlich über jenen des Synops. Dessen Daten weisen den größten Wertebereich auf und außerdem die größte Standardabweichung und Varianz. Die Differenz der Variationsmaße ist aber nicht auffallend groß.

Hochnebel

Von 9. bis 11. Jänner liegt Ostösterreich unter einer beständigen Hochnebeldecke. Tiefer Stratus ist für den Osten Österreichs während Hochdruckwetterlagen im Winter typisch.

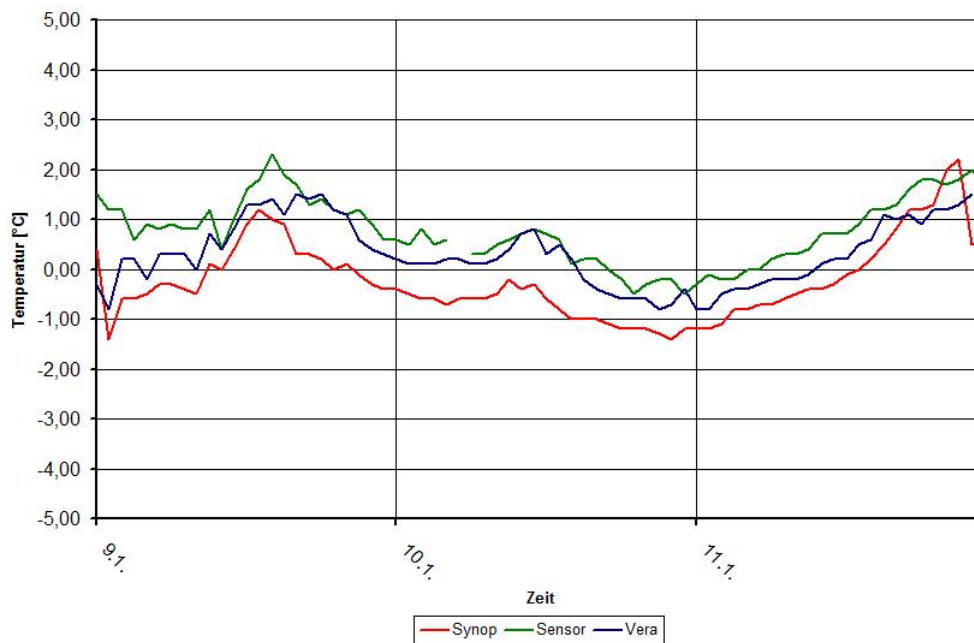


Abbildung 44: Temperaturen Hochnebel Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Der Tagesgang an Tagen mit Hochnebel ist, wie auch die Graphen der Temperaturen in Abbildung 44 zeigen, sehr gedämpft; am 10. Jänner beträgt er nicht einmal ein Grad.

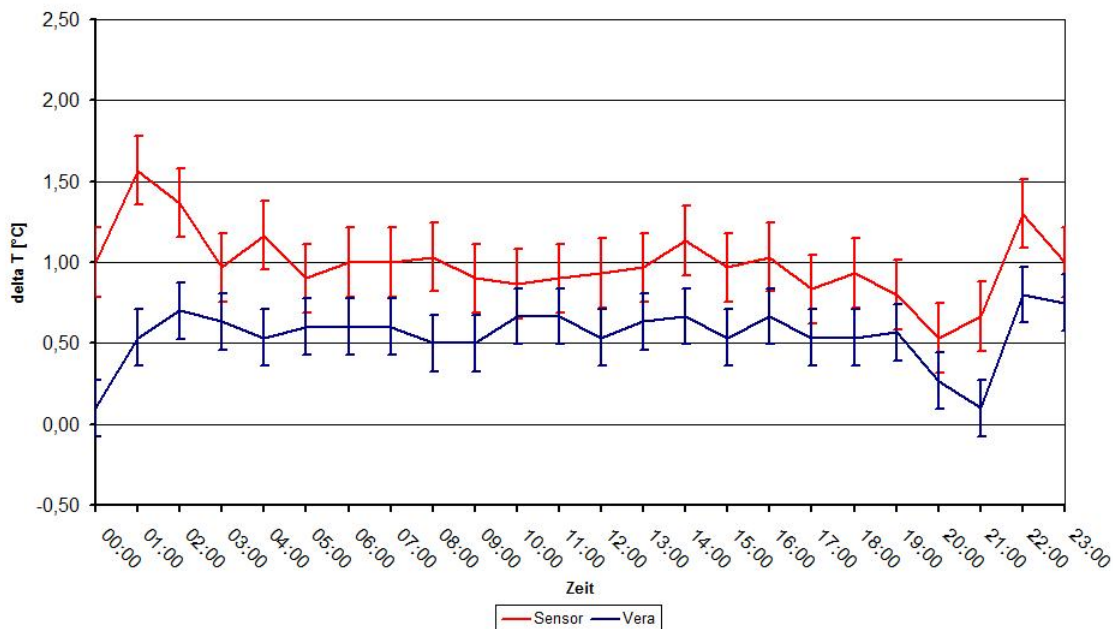


Abbildung 45: mittlere Temperaturdifferenzen Hochnebel Jänner 2008
Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen bei Hochnebel, zu sehen in Abbildung 45, sind gering. Durch den gedämpften Tagesgang und die geringen Schwankungen der Temperatur sind auch die Standardabweichungen der mittleren Differenzen mit 0,21 (Sensor–Synop) und 0,17 (VERA–Synop) verhältnismäßig klein.

Auffallend an den Maßzahlen dieser Fallstudie sind die Variationsmaße, die alle unter eins liegen und damit äußerst gering sind.

Innsbruck

In dieser Fallstudie werden nur die Daten eines Sensors, nämlich jenes bei km 77,6, analysiert bzw. mit den Daten der VERA und des Synops verglichen, da die Datenmengen sehr hoch sind und die Fallstudien dieser Arbeit gezeigt haben, dass dieser Sensor jener mit größerer Differenz zum Synop ist.

Der Temperaturverlauf in Innsbruck zeigt, wie auch schon in Wien, am Anfang des Monats einen Temperaturanstieg, allerdings schon am 3. Jänner, also etwas früher als in Wien. Grund dafür ist Süd Sturm und föhnbedingte Wärme in vielen Tälern im Westen Österreichs.

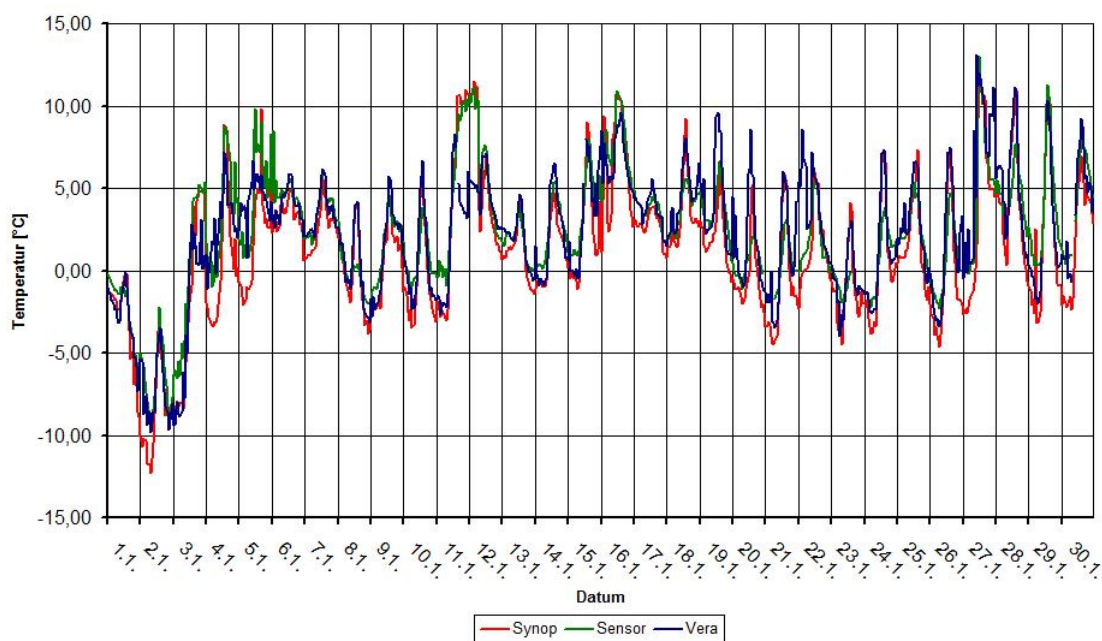


Abbildung 46: Temperaturen Jänner 2008 Innsbruck; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Die Temperaturkurven der Daten aus Innsbruck, dargestellt in Abbildung 46, zeigen, dass die Tagesgänge in Innsbruck stärker ausgeprägt sind als jene im Flachland, zu sehen in Abbildung 37.

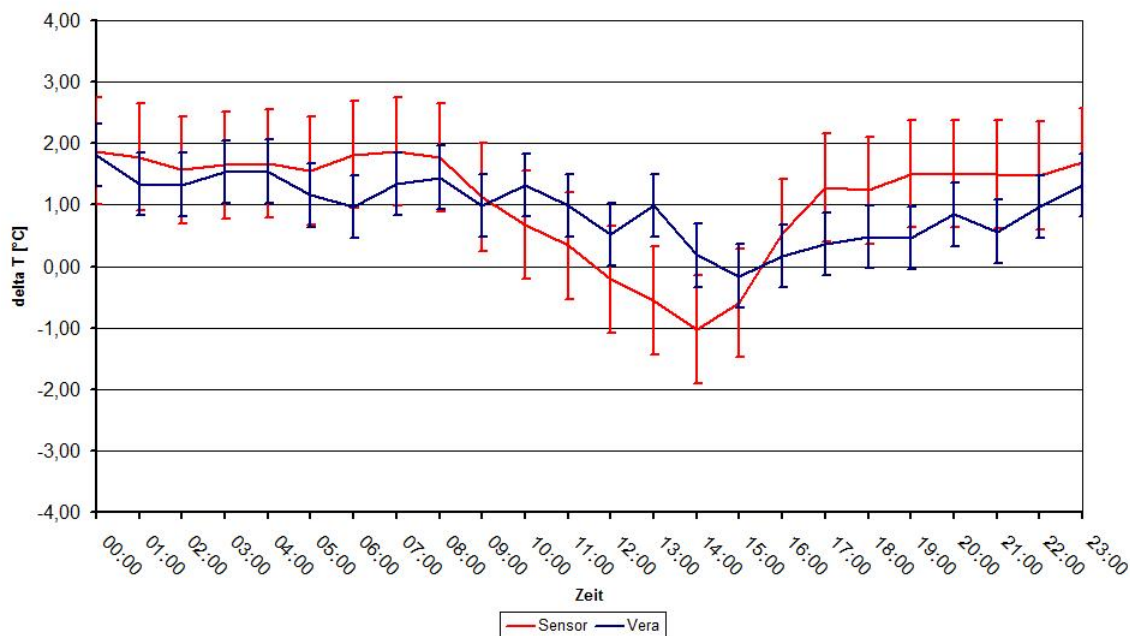


Abbildung 47: mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Innsbruck, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen aus Innsbruck, zu sehen in Abbildung 47, sind nicht ganz so gering wie jene aus Wien, siehe Abbildung 38. Die Abweichung Sensor–Synop liegt im Mittel bei 1,28 Grad, allerdings liegen die Messwerte des Sensors nicht wie in Wien durchgehend über jenen des Synops. Zwischen 12 UTC und 15 UTC liegt der Temperaturwert des Synops im Mittel über jenem des Sensors. Die mittlere Abweichung der VERA–Daten von den Synopmesswerten bleibt unter einem Grad, ist aber höher als die entsprechende Differenz in Wien, dargestellt in Abbildung 38. Auch die Standardabweichungen sind höher als in Wien, siehe 24 b).

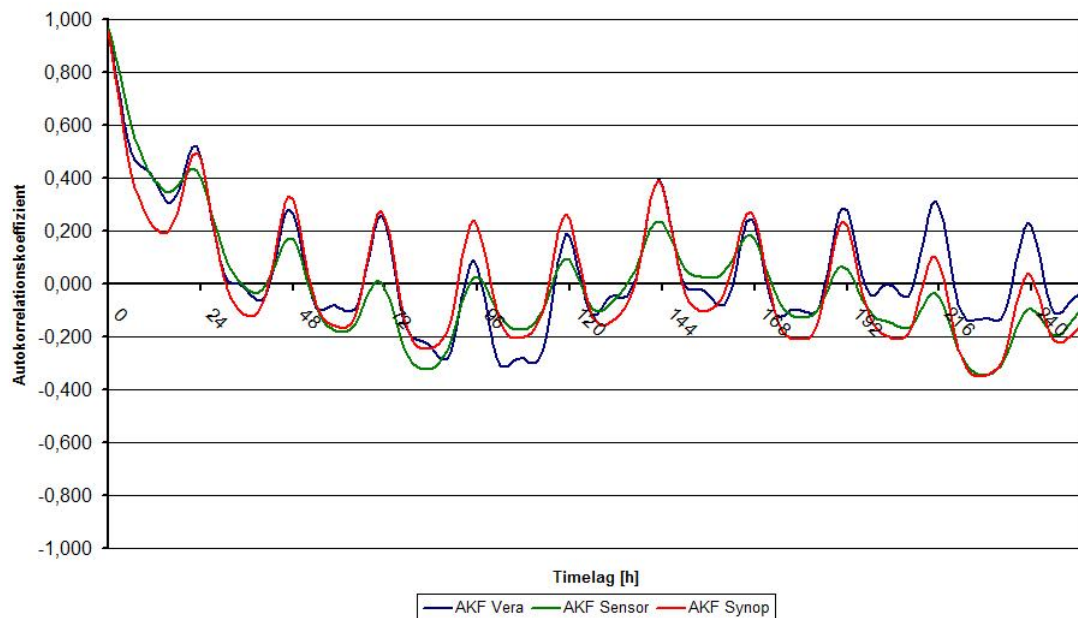


Abbildung 48: Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Innsbruck

Die Autokorrelationsfunktionen Innsbrucks, dargestellt in Abbildung 48, nehmen sehr schnell deutlich ab und liegen schon ab Timelag 48 zwischen -0,2 und +0,2. Die Tagesgänge der Temperatur sind wieder gut zu erkennen, sogar um einiges deutlicher als in Wien, siehe Abbildung 39. Auffallend sind außerdem die kurzfristigen Anstiege der Korrelation der VERA.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	-8,8	-12,3	-9,8
<i>Max</i>	13,0	12,1	13,10
<i>Wertebereich</i>	21,8	24,4	22,9
<i>arith. Mittel</i>	2,37	1,22	2,16
<i>Median</i>	2,2	1,3	2,5
<i>Stabw.</i>	3,62	4,19	3,9
<i>Varianz</i>	13,14	17,52	15,21

(a)

	<i>A12 77.6-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,88	0,51

(b)

Tabelle 24: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck Jänner 2008

Die Maßzahlen unterscheiden sich leicht voneinander, wie man in Tabelle 24 a) sehen kann, die Größenordnung bleibt aber dieselbe.

Niederschlagstage

Bei der Auswahl der Niederschlagstage für Innsbruck wurde, wie schon in Wien, nicht nur auf die Regen- oder Schneemenge geachtet, sondern besonders auf einen möglichst gedämpften Tagesgang der Temperatur. 6., 7., 13. und 17. Jänner erfüllen dieses Kriterium recht gut, an all diesen Tagen fällt Niederschlag und die Tagesgänge der Temperatur sind kaum größer als 4 Grad.

Von 6. bis 7. Jänner führen mehrere Störungen, die Österreich von West nach Ost überqueren, immer wieder zu Niederschlägen. Am 13. Jänner ist ein Genuatief, das schon in der Nacht die Schneefallgrenze stark sinken lässt und in Westösterreich ein paar Zentimeter Neuschnee bringt, die Ursache für Regen bzw. Schneefall. Eine Störung, die bereits in der Nacht zu Niederschlägen im Westen führt und im Laufe des Tages Österreich überquert, bestimmt das Wetter am 17. Jänner (Quelle: www.zamg.ac.at).

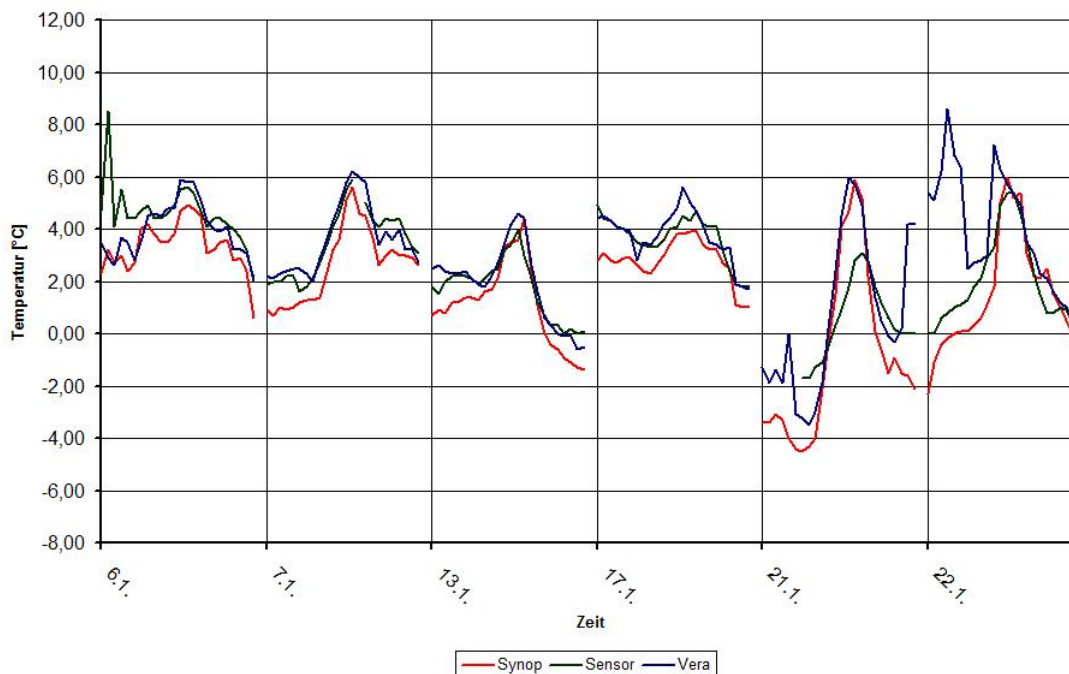


Abbildung 49: Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Innsbruck; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Die Temperaturkurven von 21. und 22. Jänner zeigen deutlichere Tagesgänge der Temperatur als die Temperaturverläufe der übrigen Niederschlags-tage, zu sehen in Abbildung 49. Das auffällige Verhalten der VERA-Zeitreihe macht aber auch diese Tage interessant. Die Messwerte des Sensors zeigen – abgesehen von der großen Abweichung am 6. Jänner – keine Besonderheiten auf.

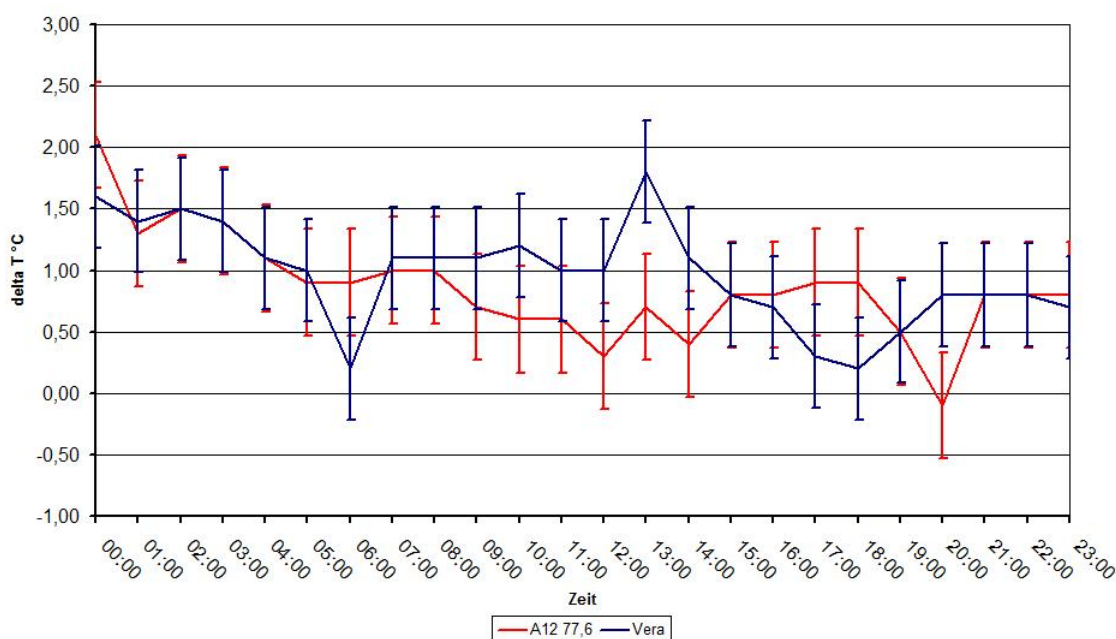


Abbildung 50: mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Innsbruck, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen der VERA- und der Sensor-Zeitreihe von den Synopmesswerten, dargestellt in Abbildung 50, sind hier im Mittel sehr ähnlich. Sie liegen knapp unter einem Grad und auch die Standardabweichungen sind fast identisch. Diese Differenzen wurde ohne die Daten von 21. und 22. Jänner errechnet, da nur Tage mit möglichst gedämpften Temperaturtagesgang verwendet werden sollten, um die Ergebnisse mit jenen der anderen Fallstudien vergleichen zu können.

Strahlungstage

8., 23., 24., 26. und 29. Jänner sind im Westen Österreichs auf Grund von Hochdruckeinfluss Strahlungstage. Daher wurden diese Tage für die folgenden Berechnungen ausgewählt.

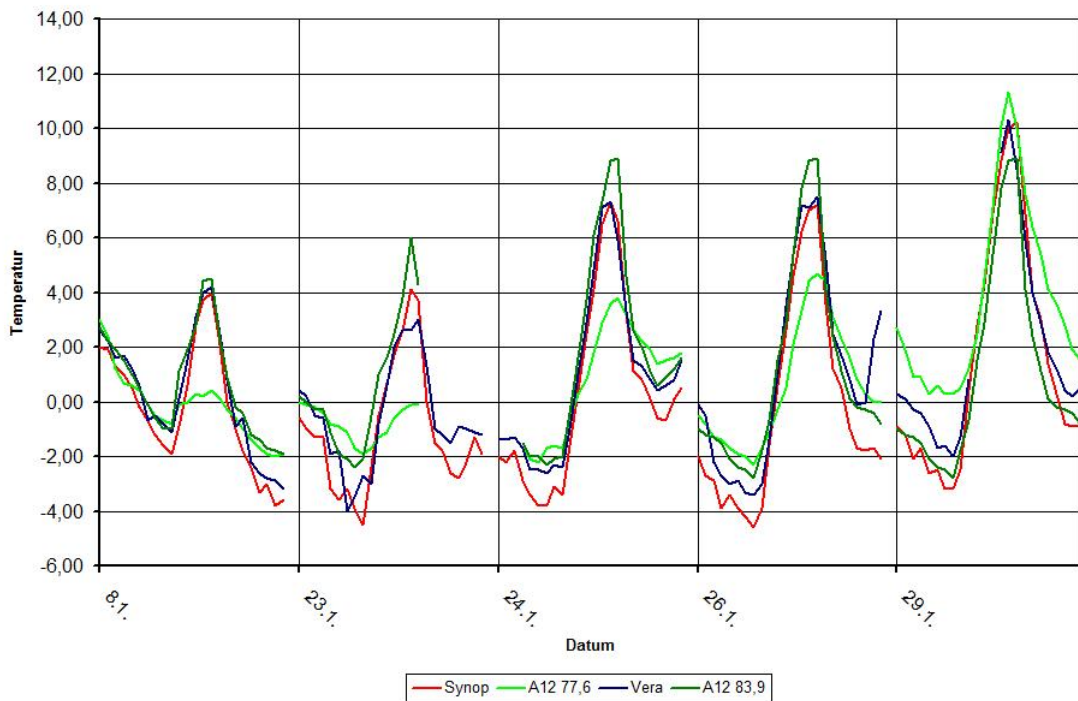


Abbildung 51: Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Innsbruck; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 51 zeigt die Temperaturverläufe der Strahlungstage in Innsbruck. Auffallend ist die Temperaturkurve des Sensors bei km 77,6, dessen Tagesgang viel geringer ist als jener der anderen Zeitreihen. Speziell an den ersten drei untersuchten Tagen steigt die Temperatur bei dieser Station untertags kaum an. Auf Grund des speziellen Verlaufs dieses Sensors wurden hier auch die Messwerte des Sensors bei km 83,9 untersucht. Ähnlich wie schon im Februar, siehe Abbildung 19, verläuft die Temperaturkurve des Sensors bei km 83,9 ziemlich parallel zu den Kurven von Synop und VERA.

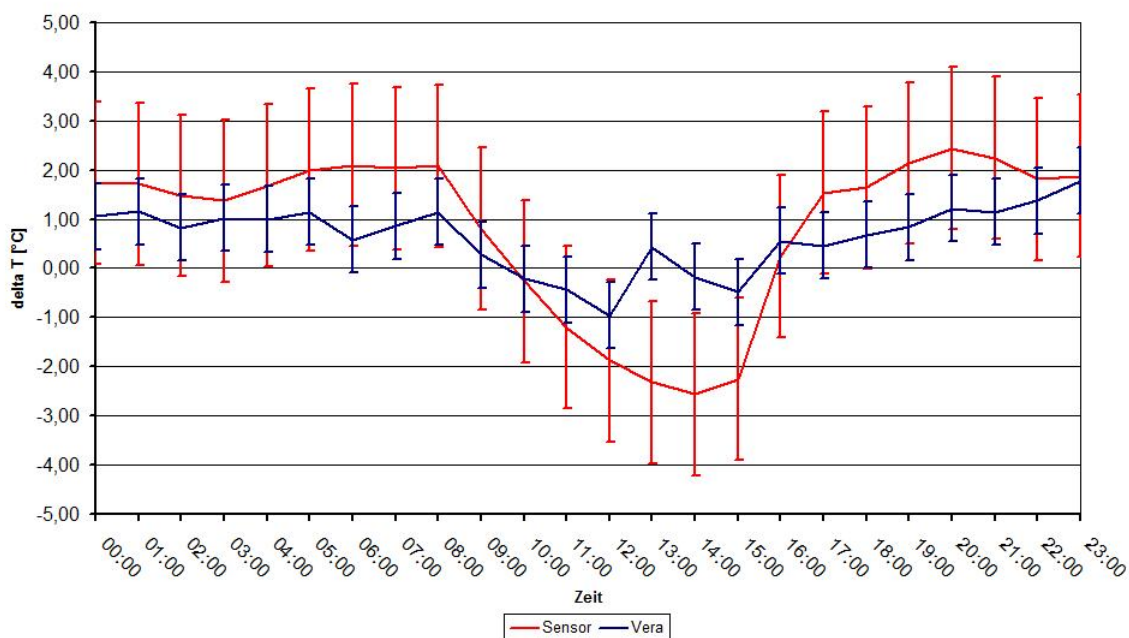


Abbildung 52: mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Innsbruck, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Die mittleren Temperaturabweichungen dieser Fallstudie, zu sehen in Abbildung 52, sind mit den Graphen der mittleren Abweichung im Februar 2008, siehe Abbildung vergleichbar. Die Differenzen zum Synop sowohl der VERA- als auch der Sensordaten sind hier geringer, der Verlauf der Abweichungskurven ist aber sehr ähnlich. Der Graph der mittleren Abweichung Sensor-Synop in Abbildung 47 ist jenem der Strahlungstage auch sehr ähnlich.

Brenner

In diesem Fall wird wie schon in Innsbruck auch am Brenner nur mit den Daten einer Sensorwetterstation gearbeitet. Die Temperaturen der Sensorwetterstationen verlaufen, wie bei den vorhergehenden Fallstudien gezeigt wurde, parallel.

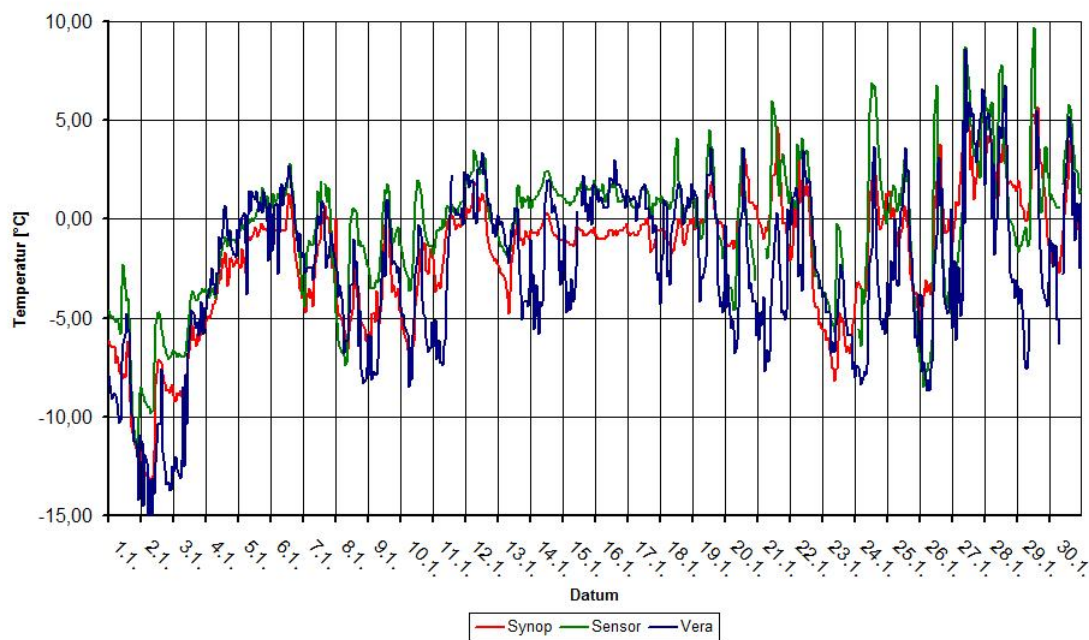


Abbildung 53: Temperaturen Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Den Temperaturanstieg Anfang Jänner, der schon in Wien und in Innsbruck beobachtet wurde, zeigen auch die Temperaturdaten vom Brenner, die in Abbildung 53 dargestellt sind. Auffallend ist die Zeitreihe der VERA, die in der Nacht immer wieder große Differenzen zu den anderen Temperaturreihen aufweist. Die Synoptemperaturen liegen größtenteils tiefer als die Messungen des Sensors und die Daten der VERA.

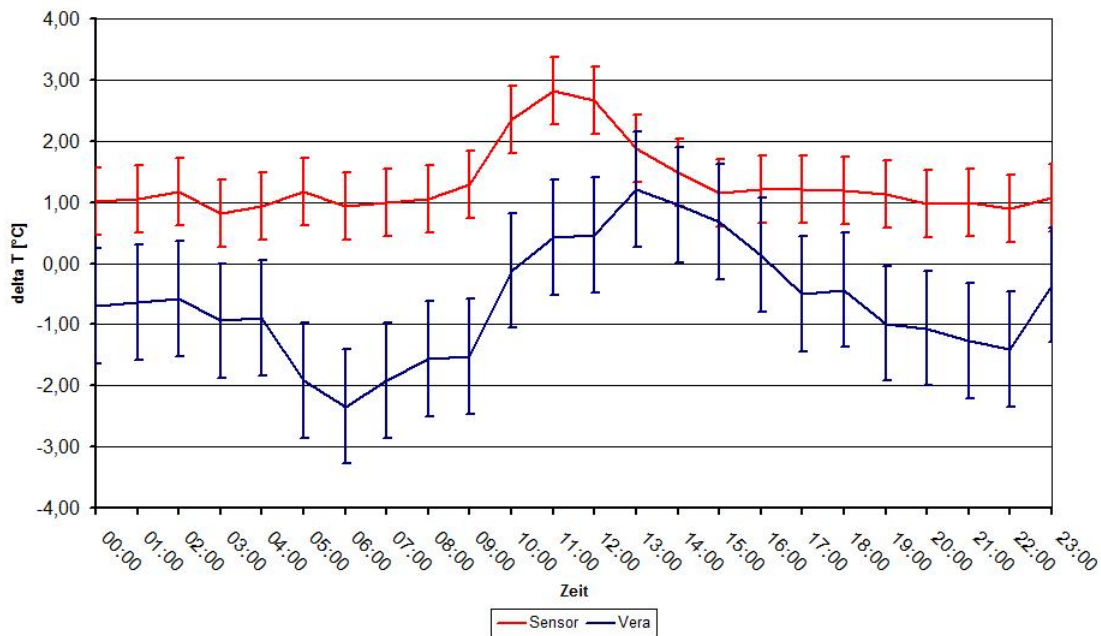


Abbildung 54: mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Brenner, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Abbildung 54 zeigt die mittleren Temperaturdifferenzen im Jänner am Brenner. Die mittlere Abweichung Sensor-Synop liegt ungefähr bei einem Grad und steigt zwischen 10 UTC und 14 UTC auf über zwei Grad an. Die Standardabweichung dieser Differenz ist mit 0,55 relativ gering. Die Differenz VERA-Synop hingegen und auch die zugehörige Standardabweichung ist verhältnismäßig groß, siehe Tabelle 25 b). Die schon beschriebenen großen Abweichungen der VERA in der Nacht bzw. in den Morgenstunden sind deutlich zu erkennen.

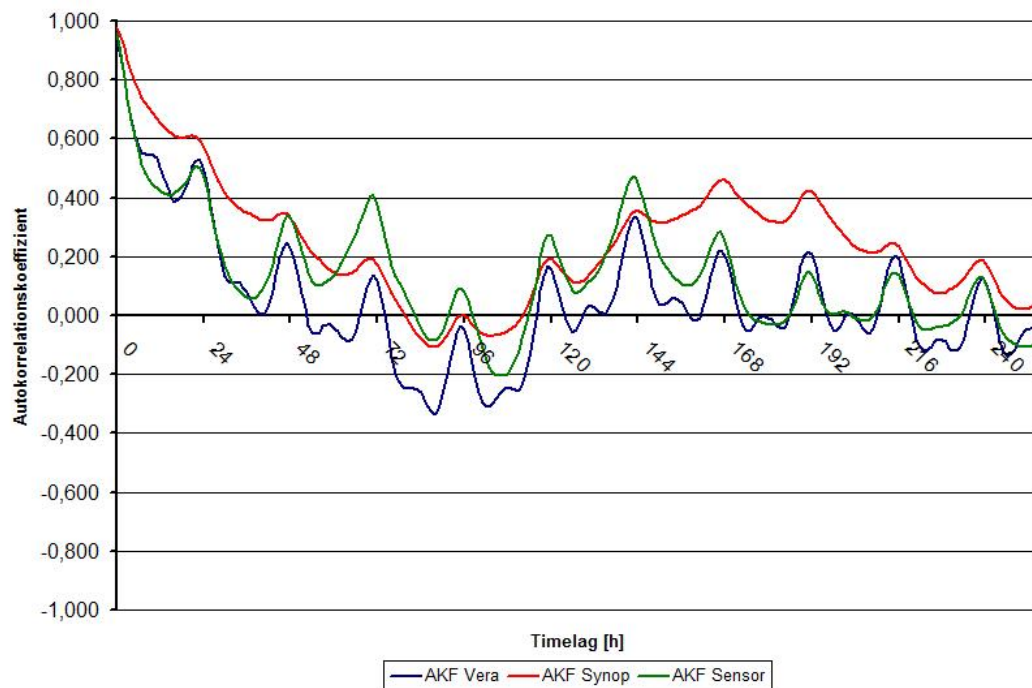


Abbildung 55: Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Brenner

Die Autokorrelationsfunktionen der Zeitreihen am Brenner, abgebildet in Abbildung 55, lassen, wie schon in Wien und Innsbruck, die Tagesgänge der Temperatur gut erkennen. Vergleichbar mit Innsbruck steigt die Autokorrelationsfunktion der VERA-Zeitreihe täglich zusätzlich kurz an. Die Kurve der Synopdaten ist etwas flacher, dafür steigt die Korrelation insgesamt ab etwa Timelag 120 wieder bis auf 0,4 an und fällt ab Timelag 168 wieder.

	<i>Sensor</i>	<i>Synop</i>	<i>VERA</i>
<i>Min</i>	-11,5	-13,3	-15
<i>Max</i>	9,7	7,7	8,6
<i>Wertebereich</i>	21,2	21,0	23,6
<i>arith. Mittel</i>	-0,45	-1,8	-2,47
<i>Median</i>	0,4	-0,9	-2,3
<i>Stabw.</i>	3,38	3,42	4,11
<i>Varianz</i>	11,42	11,68	16,87

(a)

	<i>A13 32,8-Syn</i>	<i>VERA-Syn</i>
<i>Stabw.</i>	0,55	0,94

(b)

Tabelle 25: a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck Brenner 2008

Die Maßzahlen zeigen noch einmal den schon beschriebenen speziellen Verlauf der VERA-Zeitreihe im Jänner am Brenner. So liegen, wie in Tabelle 25 a) zu sehen ist, arithmetisches Mittel und Median deutlich unter den entsprechenden Zahlen von Sensor und Synop, Standardabweichung und Varianz deutlich darüber.

Niederschlagstage

Am Brenner wurde für die Fallstudie mit Niederschlagsereignissen wieder nach Tagen mit gedämpftem Temperaturtagesgang gesucht. Die folgenden Tage sind also nicht zwingend Tage mit herausragenden Niederschlagsmengen. Am 5. Jänner bläst ein Föhnsturm. Störungen führen am 6., 16. und 17. Jänner zu trübem Wetter, ebenso ein Genuatief vom 12. bis 13. Jänner ein Genuatief und ein Tief mit Kern über den britischen Inseln von 14. bis 15. Jänner (Quelle: www.zamg.ac.at)

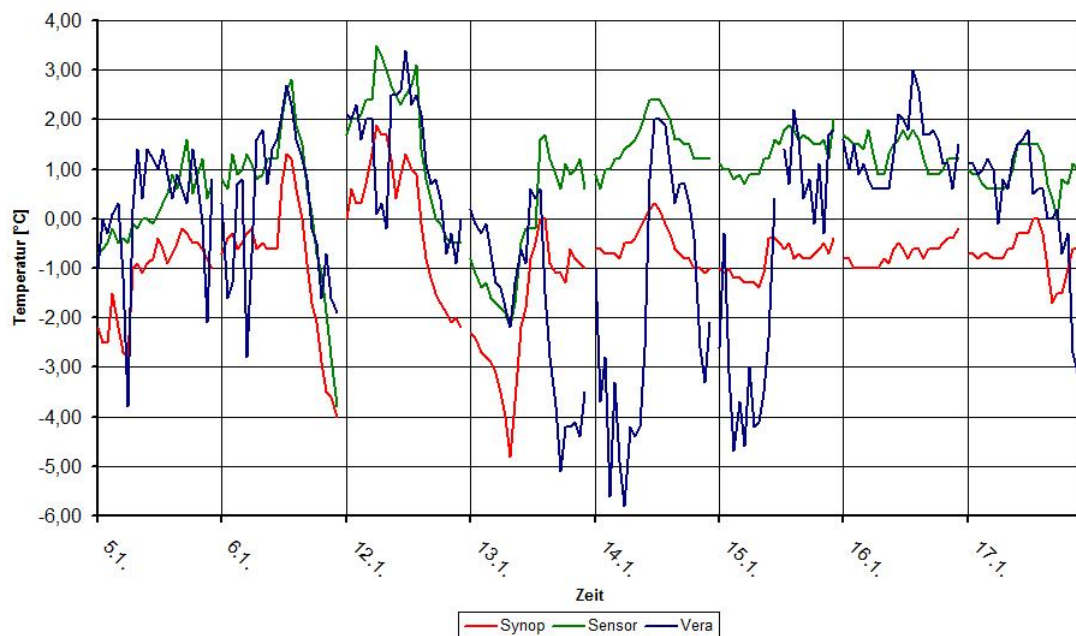


Abbildung 56: Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Die Temperaturkurven dieser Fallstudie, dargestellt in Abbildung 56, weisen einige Besonderheiten auf. Wie schon die bisherigen Fallstudien vom Brenner gezeigt haben, liegen auch in diesem Fall die Messwerte des Synops durchgehend klar unter den Temperaturen des Sensors, siehe als Vergleichsbeispiel Abbildung 29, welche die Temperaturverläufe der Niederschlagsfallstudie im Mai am Brenner darstellt. Sehr interessant ist auch der Verlauf der VERA-Daten. Diese liegen größtenteils deutlich über den Werten des Synops, vor allem während der Nachtstunden sind aber Ausreißer nach unten zu erkennen. Das gleiche Phänomen konnte am Brenner auch schon bei anderen Fallstudien beobachtet werden, wie zum Beispiel an den untersuchten Tagen mit Niederschlag im Mai und April, siehe Abbildungen 35 und 29.

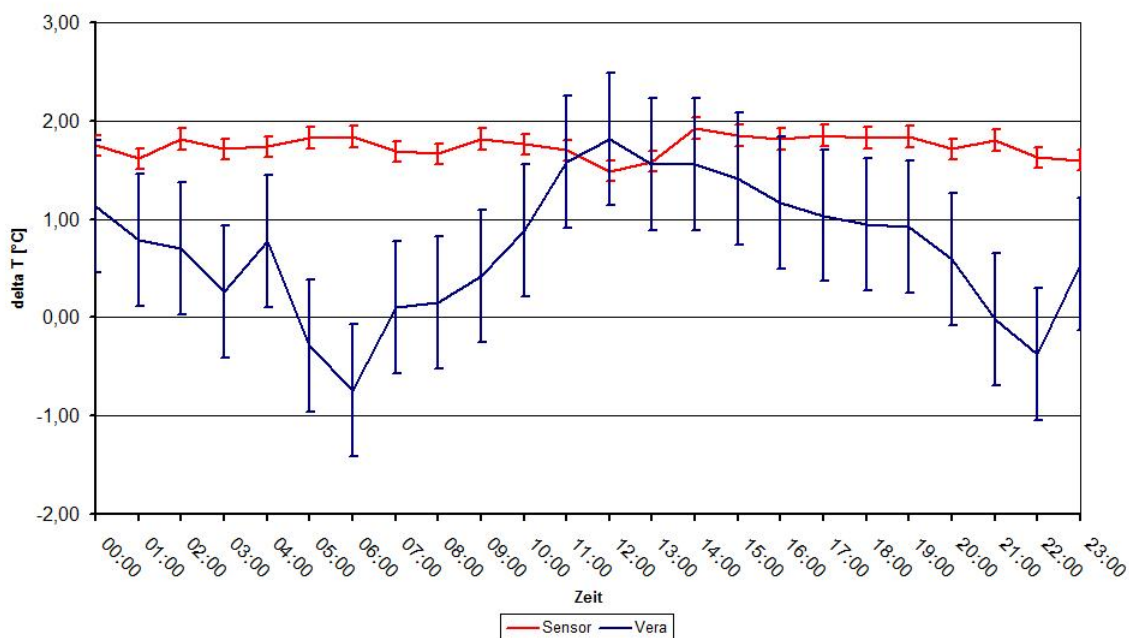


Abbildung 57: mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Brenner, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Sehenswert sind auch die mittleren Temperaturabweichungen dieser Fallstudie, dargestellt in Abbildung 57, welche die eben beschriebenen Feststellungen widerspiegeln. Die Abweichung der VERA- von den Synop-Daten ist zwar im Mittel geringer als jene der Sensor-Daten, die Standardabweichung ist aber deutlich höher. Die Ausreißer der VERA- Daten während der Nachtstunden können an der mittleren Differenz erkannt werden und dürften um 6 UTC und um 22 UTC am häufigsten vorkommen. Die mittlere Abweichung des Sensors von den Synopmesswerten ist zwar mit fast zwei Grad relativ hoch, die Kurve verläuft jedoch sehr homogen und die Standardabweichung ist mit 0,11 extrem gering. Da diese Differenz kontinuierlich gleich groß bleibt, lässt sich gut mit den Messungen dieses Sensors arbeiten.

Strahlungstage

An allen für diese Fallstudie ausgewählten Tagen führt ein Hochdruckgebiet oder ein Zwischenhoch zu wolkenarmem Wetter und damit zu Strahlungstagen.

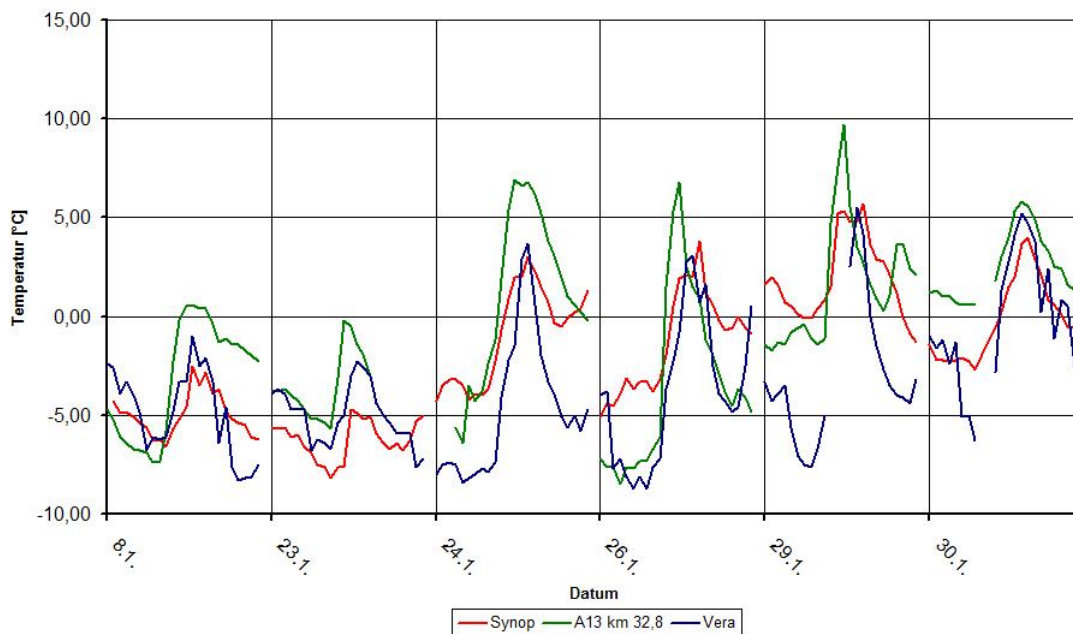


Abbildung 58: Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA

Abbildung 58 zeigt die Temperaturverläufe der Strahlungstage am Brenner, die leider kleine Datenlücken erkennen lassen. Auffallend ist wieder die Zeitreihe der VERA. Vor allem die Minima sind von jenen der Synopmesswerte weit entfernt. Die Synoptemperaturen liegen wieder meist tiefer als die Messwerte der Sensorwetterstationen, das Minimum des Sensors sinkt allerdings teilweise unter die Minimumtemperatur des Synops.

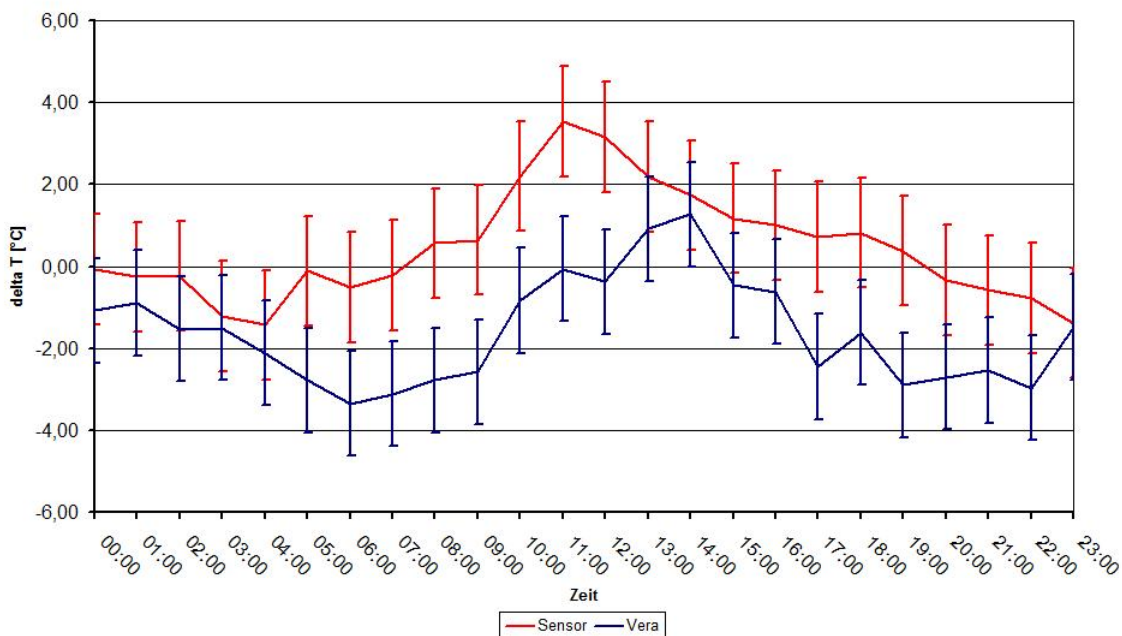


Abbildung 59: mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Brenner, Synop-Sensor (rot), Synop-VERA (blau)

Der Verlauf der mittleren Abweichung der VERA dieser Fallstudie ähnelt dem Verlauf dieser Differenz an Niederschlagstagen, vergleicht man Abbildung 57 mit Abbildung 59. In diesem Fall ist aber die Abweichung in der Nacht größer, untertags dafür geringer als in der vorhergehenden Fallstudie. Auch die Standardabweichung der Differenz zwischen VERA und Synop ist hier deutlich größer. Die Differenz Sensor-Synop liegt untertags, wie schon bei einigen Fallstudien am Brenner beobachtet wurde, bei etwa zwei Grad. Auch in der Nacht unterscheiden sich die beiden Messwerte großteils um mindestens zwei Grad, oft auch um deutlich mehr. Es liegt aber, wie in Abbildung 58 gesehen werden kann, teilweise das Minimum des Synops tiefer und teilweise das Minimum des Sensors, wodurch die mittlere Abweichung Sensor-Synop während der Nachtstunden ungefähr Null Grad beträgt. Die Standardabweichung ist deutlich höher, als sie es bei der vorhergehenden Fallstudie ist.

6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Fallstudien präsentiert und zusammengefasst. Dabei wird versucht, die oben beschriebenen Phänomene zu erklären und Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten und zwar jeweils für die Temperaturverläufe im Allgemeinen, für die mittleren Abweichungen, für die Maßzahlen und für die Autokorrelationsfunktionen.

6.1 Strahlungstage

6.1.1 Wien

Die Sensortemperaturen liegen in Wien an Strahlungstagen nicht ganz zwei Grad über den Synopmesswerten und zwar sowohl im Sommer als auch im Winter. Diese Differenz kann durch das Mikroklima der Autobahn erklärt werden, der Höhenunterschied dieser Stationen beträgt nämlich nur 30 m. Die Abweichung der VERA vom Synop liegt um ein Grad. Die Standardabweichung dieser Differenz ist deutlich geringer als jene der Differenz Sensor–Synop, da der Verlauf der VERA jenem des Synops natürlich sehr ähnlich ist.

Das Verhalten mancher Maßzahlen wiederholt sich bei allen Fallstudien an Strahlungstagen. So hat die Varianz des Sensors immer den geringsten Wert. Nachdem ja die Standardabweichung, in die laut Gleichung 5 die quadratischen Abweichungen zum Mittelwert eingehen, die Wurzel aus der Varianz ist, kann dies durch einen, verglichen mit den übrigen Datenreihen, homogenen Verlauf des Sensors, erklärt werden. Die Zeitreihen des Synops weisen stärkere Schwankungen auf. Insgesamt sind die Varianzen aller drei Zeitreihen im Winter tiefer als im Sommer, da die Absolutwerte der Minima weniger schwanken, wodurch die Mittelwerte niedriger liegen und die Abweichungen zum Mittelwert geringer sind, vergleiche dazu Abbildungen 16 (Winter) und 4 (Sommer). Der Wertebereich der Zeitreihen ist im Winter geringer als im Sommer, da die Tage kürzer sind und damit weniger Strahlung zur Verfügung steht, wie in Abbildung 60 zu sehen ist.

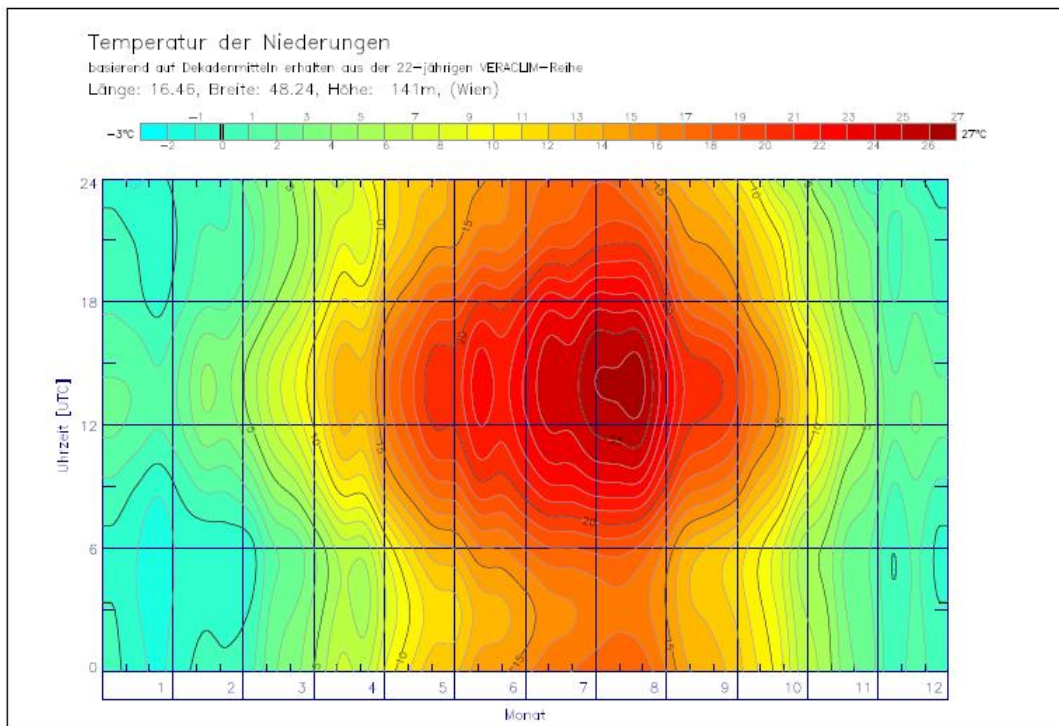


Abbildung 60: Tagesgang der Temperatur der Niederungen abhängig von der Jahreszeit für einen Gitterpunkt nahe Wiens

Die Autokorrelationsfunktionen von Strahlungstagen beschreiben eine Schwingung mit meist fast gleicher Amplitude und Schwingungsdauer, da sich die Temperaturkurven bei diesen Wetterlagen oft tagelang nicht ändern.

6.1.2 Innsbruck

In Innsbruck liegen sowohl Minimumtopographie als auch die Wetterstationen bis auf etwa 20 m auf gleicher Höhe. Es wurde mit zwei Sensoren gearbeitet, also gibt es auch zwei Sensor-Synop-Differenzen. An klassischen Strahlungstagen im Sommer liegen, wie auch in Wien, die Sensormesswerte über den entsprechenden Temperaturen des Synops, siehe Abbildung 6. Anders verhalten sich die Temperaturen an Strahlungstagen im Winter. Wie die Graphen in Abbildung 19, zeigen liegen zwar die Messwerte des Sensors bei km 83,9 weiterhin über jenen des Synops, die Kurve des Sensors bei km 77,6 verläuft aber deutlich flacher. Auch die mittlere Temperaturabweichung

dieses Sensors, dargestellt als rote Kurve in Abbildung 20, zeigt diese deutliche Differenz. Grund für diese Abweichung ist die geographische Lage der Stationen und die je nach Lage stark unterschiedliche Sonneneinstrahlung. In Abbildung 61 ist zu sehen, dass bei km 77,6 im Februar praktisch keine Sonneneinstrahlung zur Verfügung steht, im Gegensatz zu km 83,9 mit etwa 9 Stunden Einstrahlung. Die maximale Temperaturdifferenz beträgt mehr als 5 Grad, obwohl die beiden Wetterstationen auf gleicher Seehöhe und nur 6,3 km voneinander entfernt stehen.

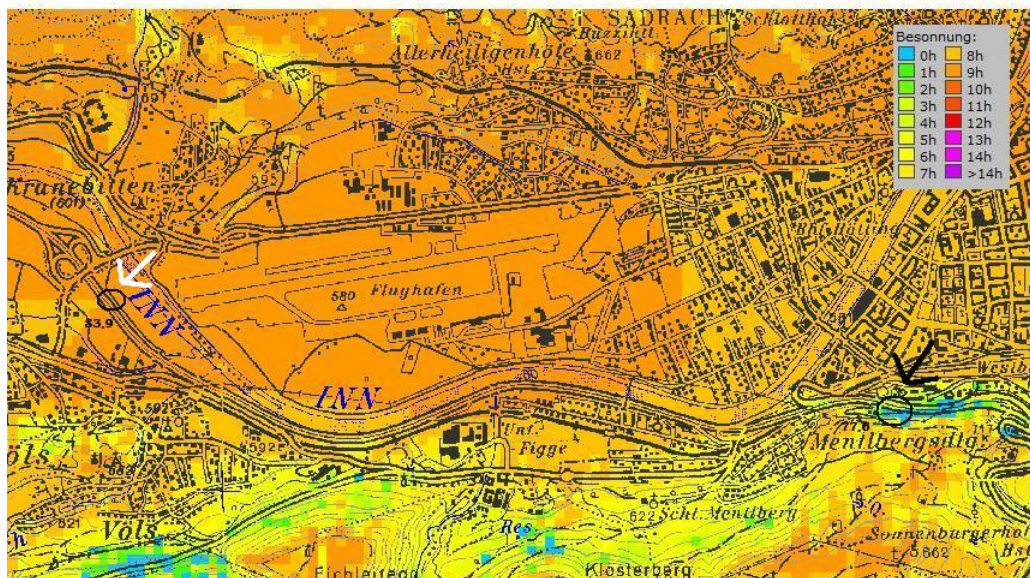


Abbildung 61: Sonnenstunden am 21. Februar in Innsbruck, weißer Pfeil: Sensor bei km 83,9; schwarzer Pfeil: Sensor bei km 77,6 (Quelle: <http://gis3.tirol.gv.at/>)

Der Verlauf der VERA in der Woche vom 26.–31. Mai 2008 sticht hervor, wie die Verläufe der Temperaturen in Abbildung 11 zeigen. In den Nächten vom 28., 29. und 30. Mai sinkt die Temperatur der VERA-Zeitreihe deutlich stärker als die Messwerte des Synops und der Sensoren, was sich auch in den mittleren Temperaturabweichungen, zu sehen in Abbildung 12, widerspiegelt. Grund für diese Differenz ist die Qualitätskontrolle der VERA, welche

in Kapitel 4.3 beschrieben wurde. In diesem Fall dürfte sich die Temperatur der Innsbrucker Station durch Föhn stark von den umliegenden Stationen bzw. den interpolierten Werten unterscheiden und wird daher nicht als repräsentativ gewertet und durch einen tieferen Wert der umliegenden Stationen ersetzt.

Die Größenordnung der Wertebereiche im Winter ist wie schon in Wien geringer als im Sommer. Dies ist wieder auf die je nach Jahreszeit variierende Sonneneinstrahlung zurückzuführen, siehe Abbildung 60 als Beispiel für Wien. Auch Standardabweichungen und Varianzen sind im Winter geringer als im Sommer. Vergleicht man Abbildung 19 mit 6 und 11, ist eindeutig zu erkennen, dass die Temperaturkurven im Winter homogener verlaufen und dadurch auch die quadratischen Abweichungen zum Mittelwert, die ja in die Standardabweichung eingehen, geringer sein muss. Besonders gut zeigen dies die Maßzahlen des Sensors bei km 77,6 in Abbildung 19: Sowohl Standardabweichung als auch Varianz sind durch den homogenen Verlauf der Kurve, verglichen mit den anderen Zeitreihen, extrem gering, siehe auch Tabelle 10.

Das Verhalten der Autokorrelationsfunktionen wurde bereits in Kapitel 6.1.1 erklärt.

6.1.3 Brenner

Die Unterschiede der Temperaturverläufe der Sensoren am Brenner sind wie in Innsbruck auf ihre geographische Lage und die dadurch variierende Besonnung, Höhe oder sonstige Einflüsse (wie zum Beispiel den Brennersee) zurückzuführen. Vor allem die großen Höhenunterschiede, welche starken Einfluss auf die Temperatur haben, müssen am Brenner bedacht werden. Die Höhendifferenz beträgt zwischen Synop und Sensor ca. 100 m und zwischen Synop und Minimumtopographie ca. 350 m.

Auch der geringere Wertebereich im Winter wurde schon für Wien und Innsbruck beschrieben. Gleiches gilt für Varianzen und Standardabweichungen. So gilt für die geringe Varianz des Synops in Tabelle 5 die gleiche Erklärung wie für die Maßzahlen des Sensors bei km 77,6 in Innsbruck in Kapitel 6.1.2.

Der Verlauf der VERA-Zeitreihe sticht hervor, da interessanterweise die Maximaltemperaturen an allen Strahlungstagen am Brenner deutlich über den Messwerten des Synops liegen. Dieses Phänomen ist auf die Minimumtopographie, welche in Kapitel 4.3.1 beschrieben wurde, zurückzuführen. Diese idealisierte Topographie, dargestellt in in Abbildung 3, nimmt innerhalb eines bestimmten Radius (hier 10 km) immer den tiefsten Punkt als Talboden und damit als repräsentative Höhe an. Die Synopstation am Brenner steht aber deutlich über der Minimum Topographie, wodurch die VERA-Temperatur hier natürlich deutlich höher liegt.

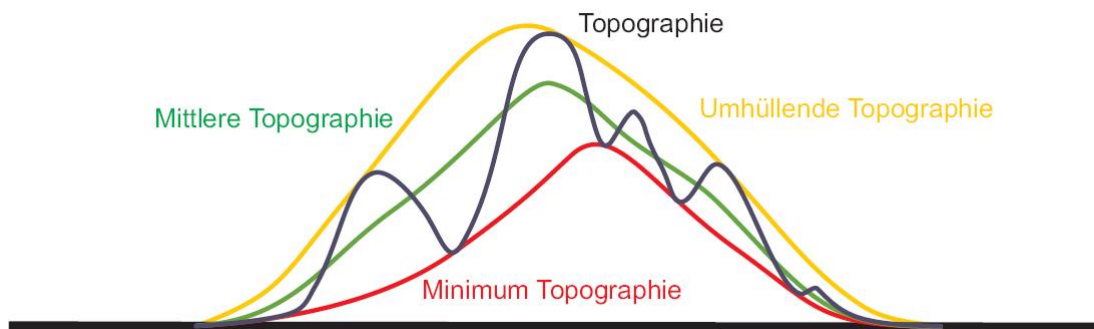


Abbildung 62: Minimumtopographie (Bica, 2005)

Abbildung 62 veranschaulicht noch einmal die Idee der Minimumtopographie.

Auch die schon für Innbruck in Kapitel 6.1.2 beschriebene Korrektur der Qualitätskontrolle der VERA kann am Brenner in Abbildungen 14 und 21 wieder beobachtet werden.

Das Verhalten der Autokorrelationsfunktionen wurde bereits in Kapitel 6.1.1 erklärt.

6.2 Niederschlagstage

6.2.1 Wien

Die Daten der Fallstudien in Wien an Niederschlagstagen weisen keine Besonderheiten auf. Ähnlich wie an Strahlungstagen liegen auch an Niederschlagstagen die Messwerte der Sensorwetterstation immer über jenen des Synops. Auch die Differenz VERA–Synop hat die gleiche Größenordnung wie an Strahlungstagen. Die Maßzahlen der Fallstudien bewegen sich im selben Bereich. Generell liegen die Variationsmaße an Tagen mit gedämpftem Tagesgang der Temperatur – untersucht man aufeinanderfolgende Tage – immer deutlich unter den Variationsmaßen an Strahlungstagen, da die Abweichungen der Daten vom Mittelwert dadurch geringer sind. Die Abweichungen der Zeitreihen im April sind auf Datenausfälle zurückzuführen.

Das Verhalten der Autokorrelationsfunktionen wird unter Punkt 6.2.2 beschrieben.

6.2.2 Innsbruck

Die Zeitreihen der Temperaturdaten aus Innsbruck weisen an Niederschlagstagen keine Besonderheiten auf. Die Differenzen der Sensoren zum Synop sind deutlich geringer als an Strahlungstagen. Grund dafür ist die Durchmischung der Atmosphäre, das heißt der Standort der Wetterstationen, von dem die Strahlungsdauer abhängt, spielt bei Regen kaum eine Rolle.

Die Maßzahlen in Innsbruck an Regentagen lassen sich durch die in Kapitel 6.2.1 schon beschriebenen Tatsachen erklären, wie zum Beispiel geringere Standardabweichungen und Varianzen bei geringeren Wertebereichen, also geringere Abweichungen zum Mittelwert bzw. homogenerer Verlauf der Zeitreihe. Auch Datenausfälle müssen berücksichtigt werden.

Die Kurven der Autokorrelationsfunktionen bewegen sich zwar wie an Strahlungstagen um die Nulllinie, die Korrelation nimmt aber viel stärker ab, da sich der Temperaturverlauf an Regentagen stärker verändert als an klassischen Strahlungstagen. Hier muss allerdings dazugesagt werden, dass Temperaturzeitreihen von aufeinanderfolgenden Tagen mit gedämpftem Temperaturtagesgang stärker autokorrelieren und eine höhere Persistenz haben als

beispielsweise Temperaturreihen von Tagen mit konvektiven Niederschlagsereignissen.

6.2.3 Brenner

Ähnlich wie in Innsbruck sind die Differenzen der Sensorwetterstationen untereinander auch am Brenner bei Regen deutlich geringer als an Strahlungstagen, da bei Durchmischung der Atmosphäre der Standort (z.B. Anzahl der Sonnenstunden) nicht so viel Einfluss auf die Temperatur hat. Die Höhe des Standortes der Station ist bei Durchmischung dafür äußerst wichtig und hat großen Einfluss auf die Temperatur. Die Synopstation liegt am Brenner etwas höher als die Autobahn und somit als die Sensorwetterstationen. Die Temperaturkurve des Synops liegt durchgehend unter den Kurven der Sensoren, wobei die Verläufe sehr gleichmäßig und dadurch die Standardabweichung der Differenz Synop–Sensor auch sehr gering ist, siehe auf Abbildungen 29 und 30 die rote und grüne Kurve.

Auffallend sind die Ausreißer der VERA–Zeitreihe, die sowohl in Abbildung 29 als auch in Abbildung 35 zu erkennen sind. Für diese Anomalie kommen einige Gründe in Frage. Es könnte sich wieder um eine Korrektur der Qualitätskontrolle handeln, wie schon in Kapitel 6.1.2 erklärt wurde. Besteht ein starker Gradient zwischen den Stationen, zum Beispiel durch eine Inversion, korrigiert VERA einen der Werte. Möglicherweise liegt die Ursache aber auch bei einer Nachbarstation, wenn diese fehlerhaft ist und nicht in die 5 Grad-Schranke fällt, welche in Kapitel 4.3 beschrieben wurde. Oder es fehlen einfach zu diesem Zeitpunkt die Daten der Station.

Wie schon an Strahlungstagen beobachtet und beschrieben, liegen auch bei diesen Fallstudien die Maximaltemperaturen der VERA deutlich über den Messwerten des Synops. Auch hier ist dies wieder auf die Minimumtopographie zurückzuführen, die am Brenner deutlich unter dem Standort des Synops liegt.

Das Verhalten der Maßzahlen wird unter Punkt 6.2.1 beschrieben, jenes der Autokorrelationsfunktionen unter Punkt 6.2.2

6.3 Jänner

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Fallstudie, die den gesamten Monat Jänner untersucht, erläutert. Die Ergebnisse werden wieder nach Orten bzw. nach Wetterlagen sortiert präsentiert.

6.3.1 Wien

Über den gesamten Monat betrachtet sind die Abweichungen der Temperaturdaten voneinander nicht sehr groß und auch die zugehörigen Standardabweichungen sind gering. Dies ist zwar ein erfreuliches Ergebnis, es muss allerdings bedacht werden, dass hier über einen gesamten Monat gemittelt wird, wodurch einzelne größere Abweichungen nicht so sehr ins Gewicht fallen.

Die Autokorrelationsfunktionen, dargestellt in Abbildung 39, nehmen erwartungsgemäß von Anfang an stark ab. Die kurze Zunahme der Korrelation ab Timelag 72 ist von Wetterlagen bzw. Temperaturverlauf abhängig. Grundsätzlich nimmt die Abhängigkeit der Temperatur von ihrem Ausgangswert natürlich mehr und mehr ab; handelt es sich aber zum Beispiel um Strahlungstage, bleibt die Korrelation länger hoch, siehe Abbildung 8. Deutlich zu sehen sind in Abbildung 39 die Tagesgänge der Temperatur, was durch den täglichen Anstieg und Abfall der Temperatur und die dadurch entstehende kurzfristig stärkere bzw. schwächere Autokorrelation zu erklären ist.

Niederschlagstage

Die Synoptemperatur liegt auch hier wieder durchgehend unter der Sensortemperatur, wobei die Differenz wie schon bei den Fallstudien von April und Mai zwischen ein und zwei Grad beträgt. Die Maßzahlen unterscheiden sich kaum voneinander und auch die vergleichbaren Maßzahlen, also Wertebereich und vor allem Standardabweichung und Varianz der übrigen Niederschlagsfallstudien für Wien, haben die gleiche Größenordnung, wie in Tabellen 13 und 22 zu sehen ist.

Strahlungstage

An Strahlungstagen im Jänner zeigt die Kurve der mittleren Abweichung Sensor–Synop ein altbekanntes Bild: die Sensorwerte liegen im Schnitt etwa zwei Grad über den Synopwerten. Die Abweichung der VERA- zu den Synopdaten ist hier etwas geringer als bei den vergleichbaren Fallstudien im Februar und Mai, die Größenordnung bleibt aber die gleiche.

Hochnebel

Die Auswertung der Hochnebel–Fallstudie bringt auf Grund der kaum vorhandenen Tagesgänge, verglichen mit den übrigen Fallstudien, extrem geringe mittlere Abweichungen und zugehörige Standardabweichungen und die Maßzahlen betreffend wieder kaum Standardabweichung und Varianz.

6.3.2 Innsbruck

Die mittleren Temperaturabweichungen sind auch in Innsbruck über den gesamten Monat betrachtet relativ gering. Große Ähnlichkeit hat die mittlere Differenz Sensor–Synop mit der entsprechenden Differenz im Februar, dargestellt in Abbildungen 47 und 20. Grund für diese Kurven und ihre relativ hohe Standardabweichung ist auch hier, wie schon in Kapitel 6.1.2 beschrieben wurde, der im Winter sonnenarme Standort des Sensors bei km 77,6 auf der A12, dargestellt in Abbildung 2.

Die Autokorrelationsfunktionen zeigen wieder die Tagesgänge der Temperatur, wobei diese hier stärker ausgeprägt sind als in Wien, da die Tagesgänge der Temperatur in Innsbruck größer sind. Die kurzfristigen Anstiege der Autokorrelation der VERA liegen an den eindeutigen Ausreißern“, welche die VERA-Temperaturkurve oft um etwa 00 UTC oder kurz danach aufweist, zu sehen am Temperaturverlauf in Abbildung 46 oder am Beispiel der Niederschlagstage in Abbildung 49. Anhand der Niederschlagsfallstudie wird dieses Phänomen auch im nächsten Punkt dieser Arbeit erläutert.

Die Maßzahlen weisen keine Besonderheiten auf. Die Abweichungen der Standardabweichung und der Varianz werden unter 6.1.1 dieser Arbeit erklärt.

Niederschlagstage

Der Temperaturverlauf der VERA sticht auch an Niederschlagstagen wieder hervor. Vorallem die Ausreißer am 21. und am 22. Jänner sind ungewöhnlich. Grund für dieses, im Monat Jänner regelmäßig auftretende Phänomen, ist, wie der Temperaturverlauf der VERA in Abbildung 49 zeigt, wieder die Qualitätskontrolle der VERA.

Strahlungstage

An den Strahlungstagen im Jänner sind nur in dieser Arbeit schon beschriebene Phänomene bemerkenswert. Die auffallende mittlere Abweichung des Sensors bei km 77,6 und die zugehörige große Standardabweichung sind auf die geographische Lage der Sensorwetterstation zurückzuführen, wie in Abbildung 61 gesehen werden kann und unter Punkt 6.1.2 schon beschrieben wurde.

6.3.3 Brenner

Für viele Beobachtungen, die im Jänner am Brenner gemacht wurden, findet sich die Erklärung bereits in den vorhergehenden Fallstudien. So liegt auch in diesem Fall die Temperatur des Synops durchgehend am tiefsten, da diese Wetterstation höher steht als die Sensoren. Der Standort des Synops ist auch einer der Gründe für den Verlauf der VERA an diesem Gitterpunkt. Die Temperaturdaten der VERA sind hier nämlich oftmals wärmer als jene des Synops. Dies kann, wie in dieser Arbeit schon unter Punkt 6.1.3 erläutert wurde, auf die Minimumtopographie, welche in Abbildung 3 zu sehen ist, zurückgeführt werden. Die möglichen Gründe für die Temperatúrausreißer, die an vielen Tagen in der Nacht beobachtet werden können, wurden ebenfalls schon in Kapitel 6.2.3 beschrieben.

Auch die Autokorrelationsfunktionen wurden grundsätzlich schon in den Kapiteln 6.3.1 und 6.3.2 beschrieben. Die Funktion des Synops unterscheidet sich am Brenner aber etwas. Da erstens der Temperaturverlauf gleichmäßiger ist als die Verläufe der restlichen Temperaturdaten und zweitens die Tagesgänge nicht so stark ausgeprägt sind, autokorreliert diese Zeitreihe zwar

einerseits stärker, andererseits sind dafür die Tagesgänge in der Autokorrelationsfunktion nicht so stark zu sehen. Auch die zunehmende Korrelation zwischen Timelag 96 und 168 – vergleiche mit Abbildung 55, zirka ab Tag 5 – liegt an dem geringeren Tagesgang und dem gleichmäßigeren Verlauf des Synops während dieser Tage.

Die Maßzahlen dieser Fallstudie weisen keine Besonderheiten auf. Die kleinen Unterschiede der Variationsmaße lassen sich wieder wie in Kapitel 6.1.1 erklären.

Niederschlagstage

Die Temperaturen der Niederschlagstage und die mittleren Differenzen zeigen die gleichen Auffälligkeiten, wie die oben beschriebenen Temperaturverläufe des gesamten Jänner und vor allem wie die Fallstudien für Niederschlagstage im April und im Mai, vergleicht man Abbildungen 36 und 57. In beiden Fällen verläuft die Abweichung Sensor–Synop sehr gleichmäßig mit geringer Standardabweichung und die Differenz VERA–Synop variiert stärker, wodurch auch ihre Standardabweichung größer ist. Die vor allem in der Nacht auftretenden Temperatúrausreißer der VERA sind eindeutig zu sehen. Sowohl die teils große Abweichung der VERA als auch die durchgehend unter Sensor und VERA liegende Synoptemperatur wurde schon in Punkt 6.2.3 besprochen. Die gleichmäßige Differenz Sensor–Synop ist auf den homogenen Verlauf der Zeitreihen an Niederschlagstagen zurückzuführen. Die Differenz durch die geographische Lage des Synops bleibt zwar erhalten, sie schwankt aber bei Durchmischung bzw. bei gedämpften Temperaturtagesgängen sichtlich nicht stark bzw. nicht so stark wie beispielsweise an Strahlungstagen.

Strahlungstage

Auch die Beobachtungen an Strahlungstagen wurden schon in vorhergehenden Kapiteln dieser Arbeit diskutiert. Der Verlauf der Synoptemperatur kann wieder durch den höheren Standort dieser Wetterstation erklärt werden. Die Zeitreihe der VERA lässt auch hier wieder, wie bei den meisten Fallstudien am Brenner, gewisse Eigenheiten erkennen. Diese wurden schon in Kapiteln

6.1.2 (Fehlerkorrektur), 6.1.3 (Minimumtopographie) und 6.2.3 besprochen.

Erwähnenswert ist die Ähnlichkeit der Kurven dieser Fallstudie in Abbildung 59 zu jenen der Fallstudie für Strahlungstage im Februar, zu sehen in Abbildung 22. Die mittleren Temperaturabweichungen der Strahlungstage im Sommer weisen keine Ähnlichkeiten auf.

6.4 Schlussfolgerungen

Diese Arbeit versucht einige Fragen, welche am Beginn dieser Arbeit gestellt wurden, zu beantworten. Dass die Autobahn ein eigenes Klima hat, lässt sich nach den Analysen dieser Arbeit mit Sicherheit sagen. Klar ist auch, dass sich die Temperatur über der Autobahn, je nach Lage der Autobahn und natürlich je nach Wetterlage, verschieden verhält, und sich dieses Verhalten auch wiederholt d.h. Regelmäßigkeiten entdeckt wurden. Durch die Analyse und die statistische Bearbeitung der verschiedenen Temperaturdaten konnten außerdem beachtenswerte Unterschiede der verschiedenen Messnetze bzw. Datennetze herausgearbeitet werden. Das enge Netz an Wetterstationen, welche an österreichischen Autobahnen aufgebaut wurden und werden, stellt ein vielversprechendes Messnetz mit großen Datenmengen dar, wobei man sich bewusst sein muss, wie stark die gemessenen Temperaturen auch an zwei Messpunkten in unmittelbarer Nähe voneinander abweichen können. Die VERA reproduziert die Temperaturdaten äußerst gut, allerdings muss hier beachtet werden, dass die Qualitätskontrolle manche Werte nicht als repräsentativ wertet und daher durch andere ersetzt. Für diese Arbeit ist das Datenqualitätsmodul, welches auch ausgeschaltet werden kann, nicht sehr günstig, da Österreich nicht großräumig betrachtet wird, sondern mit einzelnen Gitterpunkten gearbeitet wird.

Weitere Untersuchungen der Daten der Sensorwetterstationen sind wünschenswert, da dieses Messnetz bereits durch seine Größe viel Potenzial aufweist und für Meteorologen von hohem Wert sein kann.

Literatur

- [1] Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen:
<http://www.austrianmap.at>, 16.Juni 2009
- [2] ASFINAG, 2005: Straßenwetterstationen Standard für Planung, Ausführung und Instandhaltung, Allgemeine Richtlinie, PLaNT Planungshandbuch der ASFINAG, Entwurf
- [3] Bica B., 2005: VERA-Notiz Nr. 38.
- [4] Bica B., Steinacker R., Lotteraner C., Suklitsch M., 2007: A new concept for high resolution temperature analysis over complex terrain. In: Theoretical and Applied Climatology.
- [5] Google Maps: <http://maps.google.at/>, 24.Mai 2009
- [6] Hantel M., Reuter H., Steinacker R., 2001: Meteorologie. In: Raith W.: Bergmann Schäfer. Lehrbuch der Experimentalphysik. Band 7, Erde und Planeten. Berlin: Walter de Gruyter, S.258f.
- [7] Land Tirol: <http://gis3.tirol.gv.at/>, 1. Mai 2009
- [8] National Academy of Sciences, 2004: Where the weather meets the road. A research agenda for improving road weather services". Washington D.C.: The National Academies Press.
- [9] Schönwiese C.D., 2006: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- [10] Steinacker R., Cimini B., Tschannett S., 2003: Innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit. Teilprojekt von StartClim, <http://www.boku.ac.at/austroclim/startclim/bericht2003/StCl12.pdf>, 24.Mai 2009

- [11] Suklitsch M., 2004: Objektive Analyse der Temperatur der Niederungen. Diplomarbeit, Universität Wien
- [12] VERA–Homepage: <http://www.univie.ac.at/img-wien/vera/index>,
1.Mai
- [13] World Meteorological Organization, 2008: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8, Seventh edition.
- [14] ZAMG–Homepage: http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/wetterlagen/
1.Mai

Abbildungsverzeichnis

1	Zeitreihencharakteristika (Schönwiese, 2006: 221)	5
2	Standorte der Stationen auf einer Karte von Google Maps (Quelle: http://maps.google.at/maps)	7
3	Minimumtopographie im Alpenraum, an den VERA-Gitterpunkten, gemittelt über 10x10 km; Grauschattierung entspricht Höhe in Metern (Min: 0,0 m, Max: 1739,4 m)	18
4	Temperaturen Wien-Schwechat 7.–14. Mai 2008; grün: Sen- sor, rot: Synop, blau: VERA	22
5	mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 7.–14. Mai 2008, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	23
6	Temperaturen Innsbruck 7.–14. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dun- kelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	25
7	mittlere Temperaturdifferenzen 7.–14. Mai 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)	26
8	Autokorrelationsfunktionen 7.–14. Mai 2008 Innsbruck	27
9	Temperaturen Brenner 7.–14. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mit- telgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA . .	29
10	mittlere Temperaturdifferenzen 7.–14. Mai 2008 Brenner, Synop– A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)	30
11	Temperaturen Innsbruck 26.–31. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dun- kelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	34
12	mittlere Temperaturdifferenzen 26.–31. Mai 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)	35
13	Autokorrelationsfunktionen 26.–31. Mai 2008 Innsbruck	36
14	Temperaturen Brenner 26.–31. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mit- telgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA . .	38

15	mittlere Temperaturdifferenzen 26.–31. Mai 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)	39
16	Temperaturen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	41
17	mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	42
18	Autokorrelationsfunktionen 8.–14. Februar 2008 Wien-Schwechat	43
19	Temperaturen Innsbruck 8.–14. Februar 2008; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	44
20	mittlere Temperaturdifferenzen 8.–14. Februar 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)	45
21	Temperaturen Brenner 8.–14. Februar 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA .	47
22	mittlere Temperaturdifferenzen 8.–14. Februar 2008 Brenner, Synop–A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)	48
23	Temperaturen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008; grün: Sen- sor, rot: Synop, blau: VERA	51
24	mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	53
25	mittlere Temperaturdifferenzen 19.–20. Mai 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	53
26	Temperaturen Innsbruck 18.–20. Mai 2008; hellgrün: 77,6, dun- kelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	55
27	mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Innsbruck, Synop–A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)	57
28	Autokorrelationsfunktionen 18.–20. Mai 2008 Innsbruck . . .	58
29	Temperaturen Brenner 18.–20. Mai 2008; hellgrün: 33,27, mit- telgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA . .	60

30	mittlere Temperaturdifferenzen 18.–20. Mai 2008 Brenner, Synop– A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)	61
31	Temperaturen Wien-Schwechat April 2008; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	63
32	mittlere Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat April 2008, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	64
33	Temperaturen Innsbruck April 2008; hellgrün: 77,6, dunkel- grün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	66
34	mittlere Temperaturdifferenzen Innsbruck April 2008, Synop– A12 77,6 (rot), Synop–A12 83,9 (grün), Synop–VERA (blau)	67
35	Temperaturen Brenner April 2008; hellgrün: 33,27, mittelgrün: 33,25, dunkelgrün: 32,8, rot: Synop, blau: VERA	69
36	mittlere Temperaturdifferenzen Brenner April 2008, Synop– A13 32,8 (rot), Synop–A13 33,27 (grün), Synop–VERA (blau)	70
37	Temperaturen Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	73
38	mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	74
39	Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Wien-Schwechat . .	75
40	Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	76
41	mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau) .	77
42	Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	79
43	mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Wien-Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau) .	80
44	Temperaturen Hochnebel Jänner 2008 Wien-Schwechat; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	82
45	mittlere Temperaturdifferenzen Hochnebel Jänner 2008 Wien- Schwechat, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	83

46	Temperaturen Jänner 2008 Innsbruck; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	84
47	mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Innsbruck, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	85
48	Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Innsbruck	86
49	Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Innsbruck; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	88
50	mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Innsbruck, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	89
51	Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Innsbruck; hellgrün: 77,6, dunkelgrün: 83,9, rot: Synop, blau: VERA	90
52	mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Innsbruck, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	91
53	Temperaturen Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	92
54	mittlere Temperaturdifferenzen Jänner 2008 Brenner, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	93
55	Autokorrelationsfunktionen Jänner 2008 Brenner	94
56	Temperaturen Niederschlagstage Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	96
57	mittlere Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Jänner 2008 Brenner, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	97
58	Temperaturen Strahlungstage Jänner 2008 Brenner; grün: Sensor, rot: Synop, blau: VERA	98
59	mittlere Temperaturdifferenzen Strahlungstage Jänner 2008 Brenner, Synop–Sensor (rot), Synop–VERA (blau)	99
60	Tagesgang der Temperatur der Niederungen abhängig von der Jahreszeit für einen Gitterpunkt nahe Wiens	101
61	Sonnenstunden am 21. Februar in Innsbruck, weißer Pfeil: Sensor bei km 83,9; schwarzer Pfeil: Sensor bei km 77,6 (Quelle: http://gis3.tirol.gv.at/)	102
62	Minimumtopographie (Bica, 2005)	104

Tabellenverzeichnis

1	Höhenangaben der Synopstationen, VERA-Gitterpunkte und Strassenwetterabschnitte für Wien-Schwechat, Innsbruck und den Brenner	9
2	Voraussetzungen für Thermometer nach den Richtlinien der WMO (World Meteorological Organization) (Quelle: World Meteorological Organization, 2008)	14
3	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 7.–14. Mai 2008	24
4	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 7.–14. Mai 2008	28
5	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 7.–14. Mai 2008	31
6	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 26.–31. Mai 2008	33
7	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 26.–31. Mai 2008	37
8	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 26.-31. Mai 2008	40
9	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 8.–14. Februar 2008	43
10	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 8.–14. Februar 2008	46
11	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 8.–14. Februar 2008	49
12	Niederschlagserscheinungen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008; RA: Regen, SH: Schauer, TS: Gewitter	52
13	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat 18.–20. Mai 2008	54
14	Maßzahlen Wien-Schwechat 19.–20. Mai 2008	55
15	Niederschlagserscheinungen Innsbruck 18.–20. Mai 2008; RA: Regen, SH: Schauer, TS: Gewitter	56

16	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck 18.–20. Mai 2008	59
17	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner 18.–20. Mai 2008	62
18	Niederschlagserscheinungen Wien-Schwechat April 2008	64
19	Niederschlagserscheinungen Innsbruck April 2008	66
20	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck April 2008	68
21	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Brenner April 2008	71
22	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Niederschlagstage Wien-Schwechat Jänner 2008	78
23	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Wien-Schwechat Strahlungstage Jänner 2008	81
24	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck Jänner 2008	87
25	a) Maßzahlen b) Standardabweichungen der mittleren Temperaturdifferenzen Innsbruck Brenner 2008	95

1

¹Ich habe mich bemüht sämtliche Urheberrechte ausfindig zu machen, sollte aber dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich während der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben. Zu allererst meinem Betreuer Professor Steinacker, der sich immer wieder Zeit genommen hat, um meine Fragen zu beantworten.

Weiters möchte ich mich bei Dr. Markus Kerschbaum von der ACG bedanken, der mir sowohl bei der Beschaffung der Daten als auch bei sonstigen Fragen immer wieder mit seiner Erfahrung und seinen Ideen weitergeholfen hat. Außerdem Wolfgang Duhms von der ACG, der mir bei technischen Problemen eine große Hilfe war.

Natürlich möchte ich mich auch bei meinen Eltern bedanken, unter anderem für ihre finanzielle Unterstützung während meines Studiums, und meinem Vater für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Last but not least danke ich meinen StudienkollegInnen für die lustige und schöne Studienzeit.

Curriculum Vitae

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Johanna Karoline Eleonore Nikitsch

Staatsbürgerschaft: Österreich

Geburtstag: 16.11.1981

Geburtsort: Wien

Familienstand: ledig

AUSBILDUNG:

1992-1997 Gymnasium: Unterstufe BG XIX

1993-2003 Studium der Violine bei Fr. Prof. Heide Auersperg an der Universität f. Musik und darstellende Kunst in Graz

1997-2001 Oberstufenrealgymnasium für Studierende der Musik, Wien 7

2001 Matura mit gutem Erfolg

2001-2004 Studium der Meteorologie und Geophysik an der Universität Wien

Februar 2004 1. Diplomprüfung

seit Februar 2004 Studium der Meteorologie an der Universität Wien

ARBEITSPRAXIS:

seit Dezember 2006 Meteorologin bei der MeteoServe Wetterdienst GmbH

November-Dezember 2006 Praktikum bei Austro Control GmbH in der Abteilung Meteorologie

Oktober 2006 Praktikum in der Synoptikabteilung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Standort Wien

Juli–August 2006 Praktikum in der Wetterabteilung von ATV Privat TV GmbH & Co KG (eigenständiges Erstellen von Prognosen und alleinige Verantwortung für die Produktion der Wettersendung)

Februar 2006 Praktikum bei Austro Control GmbH in der Abteilung Meteorologie

2002–2007 Promotion für „Nespresso“ bei Fa. Competition Partner Promotion (ca. 20h/Woche) zusätzlich diverse Promotionstätigkeiten u.a. für „Graz 2003“, Öamtc, Chello, Nestle, Brunch,

2001–2002 Servicekraft im Gastronomiebereich

Sommer 1998 Ferialpraktikum bei Fa. Anker

Sommer 1997 Ferialpraktikum bei Fa. Humanic