

Auswertung des Tempis-Hangprofils Innsbruck für das Jahr 2017

ZAMG Kundenservice Tirol und Vorarlberg

Susanne Drechsel, Johannes Vergeiner und Manfred Bauer

Innsbruck, 21. Februar 2018

1. Stationen

Bei den Stationen gibt es keine Veränderungen zum Jahr 2016. Der folgende Abschnitt bis inklusive Punkt 1.6 ist daher unverändert zum Vorjahresbericht.

Verteilt über das Stadtgebiet Innsbruck und in verschiedenen Höhenlagen der Nordkette sind im Jahr 2015 in einer Kooperation der ZAMG mit dem Land Tirol und der Stadt Innsbruck insgesamt sechs Tempis-Stationen errichtet bzw. erneuert worden: am Hauptbahnhof bei der Berufsfeuerwehr (HBF), im Olympischen Dorf (ODO), beim Alpenzoo (ALP), auf der Hungerburg (HUB), am Rastlboden (RAS) und auf der Höttinger Alm (HOE). An allen Stationen wird Temperatur und Feuchte gemessen, an den Stationen Bahnhof und Olympisches Dorf auch Wind. Abbildung 1 zeigt die Standorte im GoogleEarth Orthofoto.

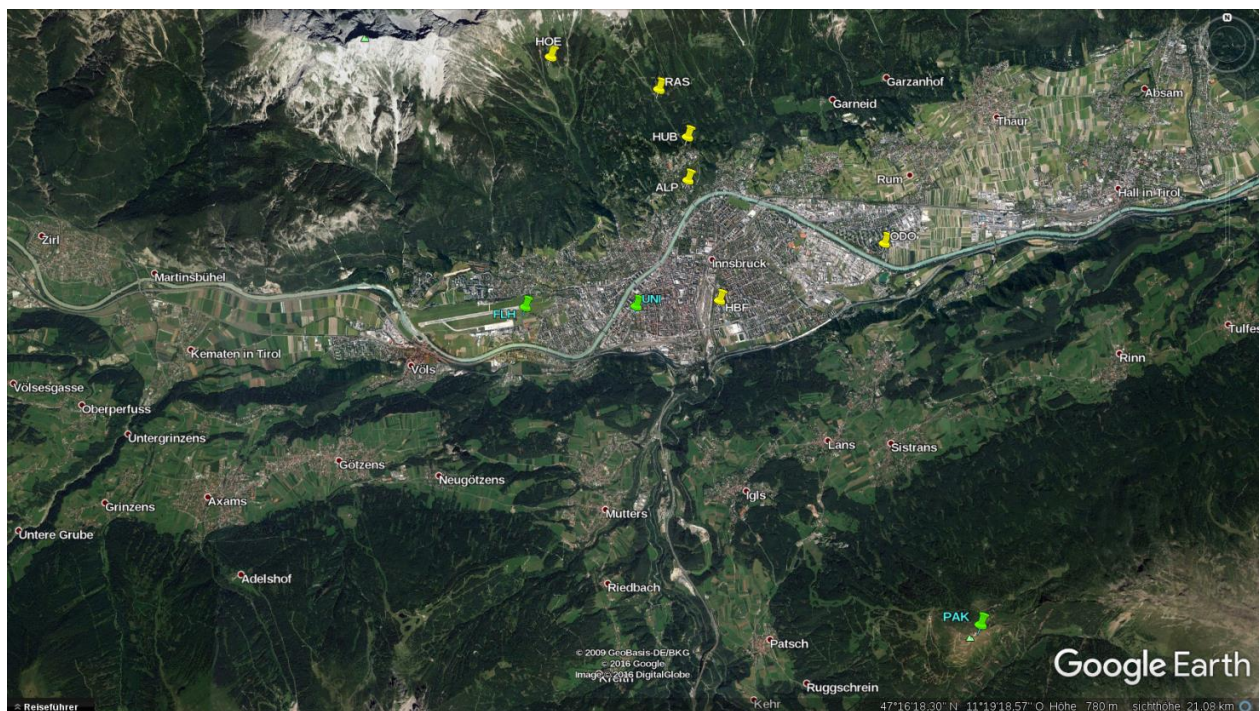


Abbildung 1: Satellitenfoto mit den Standorten der Tempis-Stationen (gelb) und zusätzlich der TAWES der ZAMG (grün) im Bereich Innsbruck, der Nordkette und auf dem Patscherkofel (Quelle: Google Earth).

Mit Hilfe der Tempis-Stationen lassen sich vertikale Profile von Temperatur und Feuchte erstellen. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass sich die Stationen alle auf der vornehmlich nach Süden ausgerichteten Nordkette befinden. Sie bilden nicht die sogenannte „freie Atmosphäre“ ab, sondern sind Strahlungseinflüssen und den daraus resultierenden Hangwinden ausgesetzt, was wiederum die Temperatur beeinflusst.

Zur Ergänzung bzw. Erweiterung der Vertikalprofile werden zudem die teilautomatischen Stationen (TAWES) der ZAMG am Flughafen (FLH) und auf dem Patscherkofel (PAK) verwendet, sowie die von der ZAMG und dem Institut für Atmosphäre und Cryosphäre in Kooperation betriebene Station Universität (UNI). Am Patscherkofel ist der Einfluss der Topographie auf Temperatur, Feuchte und Wind nur mehr gering. Die Station kommt somit der „freien Atmosphäre“ am nächsten. In Tabelle 1 sind Informationen zu den Tempis-Stationen und den TAWES zusammengefasst.

NAME	KÜRZEL	GEOGR. LÄNGE (WGS 84)	GEOGR. BREITE (WGS 84)	HÖHE Ü.D. MEER (M)	HÖHE Ü. GRUND (M)	MAST (M)	T	RH	WIND
HAUPTBAHNHOF	HBF	11°24'18,37"	47°15'38,36"	611	25	6	JA	JA	JA
OLYMPISCHES DORF	ODO	11°26'47,24"	47°16'12,16"	635	65	6	JA	JA	JA
ALPENZOO	ALP	11°23'51,06"	47°16'51,54"	668	3	3	JA	JA	NEIN
HUNGERBURG	HUB	11°23'50,54"	47°17'16,37"	920	11,5	0	JA	JA	NEIN
RASTLBODEN	RAB	11°23'25,38"	47°17'42,84"	1204	6,5	0	JA	JA	NEIN
HÖTTINGER ALM	HOE	11°21'52,45"	47°17'59,44"	1566	3	3	JA	JA	NEIN
FLUGHAFEN	FLH	11°21'23,60"	47°15'35,80"	578	25/2	2	JA	JA	JA
INNSBRUCK UNI	UNI	11°23'03,30"	47°15'35,50"	578	47/2	2	JA	JA	JA
PATSCHERKOFEL	PAK	11°27'44,00"	47°12'32,00"	2252	28/2	2	JA	JA	JA

Tabelle 1: In den ersten fünf Spalten sind Name, Kürzel, Seehöhe (m ü.N.N.) und Koordinaten der Tempis-Stationen (schwarz) und der in der Auswertung verwendeten TAWES (grau) angegeben. In der sechsten Spalte steht die Höhe der Messung über Grund (bei den Tempis-Stationen gilt dies für alle Parameter, bei den TAWES bezieht sich der erste Wert auf die Windmessung, der zweite auf Temperatur und Feuchte), in der siebten Spalte die Masthöhe. In den letzten drei Spalten wird festgehalten, ob Temperatur (T), relative Feuchte (rh) und Wind gemessen werden.

Im Folgenden werden nur die Tempis-Stationen detaillierter beschrieben. Die zugehörigen Abbildungen befinden sich im Appendix A.

1.1 Station Hauptbahnhof (HBF)

Die Station befindet sich mitten in der Stadt, direkt östlich des Hauptbahnhofs (vgl. Abb. A1 im Appendix) auf dem rund 25 m hohen Schlauchturm der Berufsfeuerwehr (Abb. A2). Der Turm überragt auch die meisten der höheren Gebäude der Umgebung ein wenig. Die Messinstrumente für Temperatur, Feuchte und Wind befinden sich auf einem 6 m hohen Masten (Abb. A3), die Sensorhöhe wird mit 611 m ü.N.N. angegeben, was einer Höhe von gut 30 m über Grund entspricht.

Der Standort ist als urban zu bezeichnen und ist umgeben von mehrstöckigen Gebäuden, asphaltierten Flächen sowie Grünanlagen mit Bäumen.

Im Vergleich zu einer unverbauten Umgebung ist bei einem städtischen Mikroklima ein sogenannter Wärmeinseleffekt zu erwarten. Aufgrund des geringeren Grünflächenanteils kommt es tagsüber in der Vegetationsperiode zu weniger Verdunstung und damit zu weniger Kühlung. Gleichzeitig wirken die (aufgeheizten) Gebäude als Wärmespeicher. Die Temperatur ist damit durchschnittlich etwas höher als in unverbaute Umgebung. Zudem ist die Luft trockener und der Wind wird durch die städtische Verbauung abgeschwächt.

1.2 Station Olympisches Dorf (ODO)

Die Station befindet sich auf einem rund 60 m hohen Hochhausturm im Olympischen Dorf in Innsbruck (Abb. A4). Der Turm, der die meisten Gebäude der Umgebung weit überragt, befindet sich am Ostrand der Stadt, nahe dem linken Innufer etwa auf Höhe des Baggersees. Die Messinstrumente für Temperatur, Feuchte und Wind befinden sich auf einem 6 m hohen Masten (Abb. A5), die Sensorhöhe wird mit 635 m ü.N.N. angegeben, was einer Höhe von etwa 65 m über Grund entspricht (Abb. A6).

Am Standort wird bei westlichen Windrichtungen ein städtischer Einfluss mit Wärmeinseleffekt (siehe voriger Absatz) erwartet, bei Ostwind überwiegt der Einfluss der unverbauten, großteils landwirtschaftlich genutzten Felder.

1.3 Station Alpenzoo (ALP)

Die Station befindet sich im Gelände des Innsbrucker Alpenzoos, rund 100 Höhenmeter über dem Talboden und nördlich des Inns (Abb. A7). Der 3 m hohe Messmast befindet sich an dem nach Südosten orientierten Hang, oberhalb der Vogelvoliere und unterhalb eines asphaltierten Weges (Abb. A8). Die Mastspitze mit den Messinstrumenten für Temperatur und Feuchte überragen das Niveau des Weges um etwa 1 m. Westlich und östlich säumen, bzw. überragen Bäume und Büsche die Station (Abb. A9). Die Sensorhöhe wird mit 668 m ü.N.N. angegeben.

In Summe ist der Standort als nach Südosten offen, ansonsten durch Vegetation bzw. den Weg nördlich der Station als geschützt zu charakterisieren. Er befindet sich noch im Einflussbereich der Stadt, vor allem bei strahlungsbedingten Hangaufwinden, während die nächtliche Abkühlung am Standort eher abgeschwächt sein dürfte.

1.4 Station Hungerburg (HBG)

Die Station befindet sich wenig oberhalb des Stadtteils Hungerburg (Abb. A10) an Fuße der Nordkette auf einem eher flachen, nach Süden ausgerichteten Hang. Sie ist auf der ersten bzw. untersten Stütze der Seegruben-Kabinenbahn in einer Höhe von 11,5 m über Grund montiert (Abb. A11). Die Sensorhöhe beträgt damit 920 m ü.N.N. Um den Einfluss der Stützenkonstruktion zu minimieren, befinden sich die Messinstrumente für Temperatur und Feuchte auf einem ca. 1 m langen, nach Westen ausgerichteten Ausleger (Abb. A12).

Der Standort liegt gut 350 m über der Talsohle und ist durch die vorgelagerte Geländeterrasse des Hungerburgbereiches deutlich von den direkten Einflüssen der Stadt abgeschirmt. Während die Station nach Westen und Süden recht frei gelegen ist, wird sie nach Norden bzw. hangaufwärts mit Ausnahme der schmalen Seilbahntrasse durch Wald abgeschirmt. Im Ostsektor wechseln Baumgruppen und Lichtungen.

Aufgrund der Geländestruktur und des Bewuchses wird erwartet, dass die Hangzirkulation (Auf- und Abwinde) nur schwach ausgeprägt ist.

1.5 Station Rastlboden (RAB)

Die Station befindet sich im Bereich der Geländeverflachung des Rastlbodens auf den nach Süden ausgerichteten Hängen der Nordkette (Abb. A13). Sie ist ebenfalls auf einer Stütze der Seegrubenbahn (Abb. A14) in einer Höhe von 6,5 m über Grund auf einem nach Westen ausgerichteten, 1 m langen Ausleger montiert (Abb. A15). Die Sensorhöhe für Temperatur und Feuchte wird mit 1204 m angegeben.

Abgesehen von der hier auch als Skipiste genutzten und daher etwas breiteren Seilbahnschneise ist der Standort von Wald umgeben. Die Stütze befindet sich auf einem Geländerrücken, der sich Richtung Südwest hinunter zieht. Im Nordostsektor wird die Station dadurch von Bäumen überragt, im Südwestsektor ist der Standort als recht offen zu bezeichnen.

Aufgrund der Geländestruktur und des Bewuchses wird erwartet, dass die Hangzirkulation (Auf- und Abwinde) nur schwach ausgeprägt ist. Von der Stadt her ist hier kaum mehr ein Einfluss zu erwarten.

1.6 Station Höttinger Alm (HOE)

Die Station befindet sich oberhalb des Almgebäudes Höttinger Alm auf den nach Süden ausgerichteten Hängen der Nordkette (Abb. A16). Der 3 m hohe Mast steht auf freiem Almgelände (Abb. A16-A18), die Sensorhöhe für Temperatur und Feuchte wird mit 1566 m angegeben. Das Gelände ist als mäßig steil zu bezeichnen und formt im Bereich der Station einen leichten Rücken, der westlich und östlich durch schwach ausgeprägte Gräben, bzw. Kare abgegrenzt ist.

Aufgrund der Neigung und der Orientierung des Hanges, sowie der im Grunde hindernislosen Umgebung ist zu erwarten, dass Hangwinde einen maßgeblichen Einfluss auf die Temperatur- und Feuchteverhältnisse vor Ort haben.

2. Daten und Verfügbarkeit im Jahr 2017

An sämtlichen Standorten beträgt die Datenverfügbarkeit im Jahr 2017 mehr als 99 %, längere Ausfälle wie im Vorjahr an der Station Höttinger Alm gab es nicht.

An allen Stationen werden die gemessenen Parameter in 10-Minuten Intervallen abgespeichert. Sie stellen jeweils den Mittelwert über die vergangenen 10 Minuten dar, bzw. bei den Windböen den höchsten 2-Sekunden Wert in diesen 10 Minuten. Temperatur und Feuchte werden überall gemessen, Wind in Form von Richtung und Geschwindigkeit an den Stationen Flughafen, Innsbruck Uni, Hauptbahnhof, Olympisches Dorf und Patscherkofel.

Die größte Datenlücke tritt am 23./24. Jänner 2017 auf und beträgt knapp 20 Stunden. Sie betrifft sämtliche Tempis Stationen und ist auf den Ausfall einer Datenschnittstelle zurückzuführen. Bei einzelnen Stationen haben übers Jahr verteilt Logger- und/oder Übertragungsprobleme zu kurzen (Minuten bis wenige Stunden dauernden) Ausfällen geführt.

Die Analyse der Winddaten zeigt, dass sich der Windgeber Olympisches Dorf im Oktober, wahrscheinlich während des Föhnereignisses am 5. Oktober, gedreht haben muss. Die Windrichtungsmessungen sind somit ab diesem Zeitpunkt bis zur Neuausrichtung des Windgebers am 12. Dezember falsch. Die Werte wurden zwar korrigiert, dennoch sind sie in diesem Zeitraum mit Vorsicht zu genießen.

3. Auswertung der Temperatur

3.1 Monats- und Jahresmitteltemperatur

Für die Auswertung ist eine Mindestverfügbarkeit von 80 % an 10-Minuten Daten im betrachteten Zeitintervall gefordert. Diese Voraussetzung wird von allen Stationen erfüllt, anders als im Vorjahr konnte auch die Station Höttinger Alm durchgehend ausgewertet werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Die Jahresmitteltemperatur für 2017 liegt bei rund 10 °C im Stadtgebiet bis zur Höhe Alpenzoo, auf der Hungerburg beträgt sie 8,4 °C, am Rastlboden 7,1 °C. Damit fällt 2017 an diesen Stationen um 0,2 bis 0,3 °C kühler aus als das Vorjahr, auf dem Patscherkofel ist die Temperatur mit 1,0 °C gleich geblieben. Auf der Höttinger Alm beträgt die Durchschnittstemperatur 5,6 °C und liegt deutlich unter dem trotz längerer Datenlücken bestimmten Vorjahreswert von 6,7 °C. Da man davon ausgehen kann, dass sich die tatsächliche Jahr-zu-Jahr-Änderung auf der Höttinger Alm ähnlich verhält wie an den anderen Stationen, kann man den durch die Datenlücken des Jahres 2016 entstandenen Fehler auf etwa 0,7-1 °C eingrenzen. Die tatsächliche Durchschnittstemperatur von 2016 bewegt sich daher wahrscheinlich im Bereich von 5,6-5,9 °C. Der Temperaturunterschied von 0,6 °C zwischen den beiden gleich hoch gelegenen Stationen Flughafen und Innsbruck Universität rührt vom Stadteffekt her (vergleiche Abschnitt 1.1) und ist nicht nur im Jahresmittel, sondern auch in allen einzelnen Monaten zu finden.

NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
FLH	-4,9	3,5	8,4	8,8	15,2	19,9	18,7	19,2	12,1	9,9	3,2	-0,7	9,5
UNI	-3,8	4,1	9,0	9,3	15,8	20,5	19,2	19,7	12,5	10,4	3,7	-0,1	10,1
HBF	-3,4	4,2	9,0	9,1	15,7	20,4	19,1	19,7	12,5	10,8	3,7	0,1	10,1
ODO	-3,5	3,9	8,7	8,8	15,3	19,9	18,7	19,4	12,2	10,6	3,5	0,1	9,9
ALP	-3,1	4,4	8,9	9,1	15,4	20,0	18,6	19,3	12,2	10,6	3,6	0,3	10,0
HBG	-3,5	3,6	7,0	6,8	13,2	17,9	16,4	17,5	10,3	9,4	2,5	-0,6	8,4
RAB	-3,5	2,9	5,4	4,9	11,1	15,9	14,7	16,1	8,7	8,3	1,5	-1,3	7,1
HOE	-4,4	1,3	4,0	2,7	8,9	14,1	13,4	14,9	7,0	7,4	0,3	-2,9	5,6
PAK	-8,5	-3,7	-1,3	-2,3	3,8	9,5	9,1	10,7	2,6	3,2	-3,8	-7,3	1,0

Tabelle 2: Monats- und Jahresmittel der Temperatur in °C aus den 10-Minuten Daten der Messstationen (von oben nach unten der Höhe entsprechend sortiert), insofern im betrachteten Mittelungszeitraum mindestens 80 % an Daten verfügbar sind.

Der Jänner ist an allen Stationen der mit Abstand kälteste Monat, er liegt mit etwa -5 bis -3 °C an den Stationen im Stadtbereich und -8,5 °C auf dem Patscherkofel um 2 bis 3 °C unter dem langjährigen Mittel 1981-2010. Der wärmste Monat war in den Tallagen (rund 20 °C) bis inklusive zur Hungerburg der Juni, am Rastelboden und darüber der August. Während im Bereich der Stadt das Temperaturniveau des wärmsten Monats ähnlich ist wie 2016 (Juli), liegt der Patscherkofel mit 10,7 um 1,4 °C über dem Vorjahreswert.

3.2 Temperaturprofile

Anhand der stündlichen, über das Jahr bzw. die einzelnen Monate gemittelten Temperaturprofile kann man sowohl den tageszeitlichen als auch den jahreszeitlichen Verlauf der Temperaturschichtung zwischen Innsbruck und dem Patscherkofel betrachten. Abbildung 2 zeigt das Jahresmittel. In Appendix A enthält Abbildung A19 die Monatsmittel für Jänner, April (im Vorjahr Mai!), Juli und Oktober 2017. Aus den Temperaturprofilen lassen sich auch Aussagen zur Stabilität in den Schichten zwischen den Stationen ableiten. Grundsätzlich gilt, je steiler (senkrechter) ein Temperaturprofil, desto weniger nimmt die Temperatur mit der Höhe ab (oder sogar zu), umso stabiler ist also die Schicht.

Nachts (grüne und blau-violette Linien) sind die Profile dabei generell steiler, es ist also stabiler als tagsüber (rote und hellbraune Linien). Der Grund dafür ist, dass der mittlere Tagesgang in den unteren Niveaus (8 bis 8,5 Grad an den Stationen UNI, HBF, ODO und ALP) deutlich größer ist als weiter oben (3 bis 4 Grad am PAK und HOE)¹. Im Bereich der Talsohle bis zum Alpenzoo wird die Abnahme des Tagesganges mit der Höhe von den Effekten der städtischen Wärmeinsel, der Messhöhe über Grund und der Hanglage überdeckt. So ist der leicht größere Tagesgang an den Stationen UNI und ALP gegenüber HBF und ODO der niedrigeren Messhöhe über Grund (vgl. Tabelle 1) zuzuschreiben¹.

Ebenso sind die Profile in der kühlen Jahreszeit steiler, da es dann im Durchschnitt stabiler ist (z.B. Abb. A19, Oktober). Im Jänner sind sie sogar bis zur Höttinger Alm hinauf nahezu senkrecht (Abb. A19, Jänner). Der geringe Temperatur-Tagesgang sorgt zudem für eng beisammen liegende Profile. Im Frühjahr erwärmen sich vor allem die niedrigeren Niveaus, in der Höhe bleibt es noch kühler. Dadurch wird die Atmosphäre labiler, vor allem tagsüber. So wird es zur wärmsten

¹ Da die Luft weniger direkt, sondern vielmehr durch Strahlungsprozesse von darunterliegenden Oberflächen gekühlt bzw. erwärmt wird, sind die Temperaturschwankungen nahe der Oberfläche größer als in der freien Atmosphäre.

Tageszeit von Jänner bis April in den untersten Schichten um gut 14 Grad wärmer, am Patscherkofel nur um knapp 7 Grad. (Abb. 19, April). Zum Hochsommer hin wird die Atmosphäre weiter hinauf durchmischt, auch die höheren Schichten erwärmen sich mehr. So nehmen die Temperaturen von April bis Juli in den unteren Schichten um etwa 10 Grad zu, am Patscherkofel sind es 11 Grad zur wärmsten Tageszeit (Abb. A19, Juli). In Summe ist es damit im Juli ein wenig stabiler als im April.

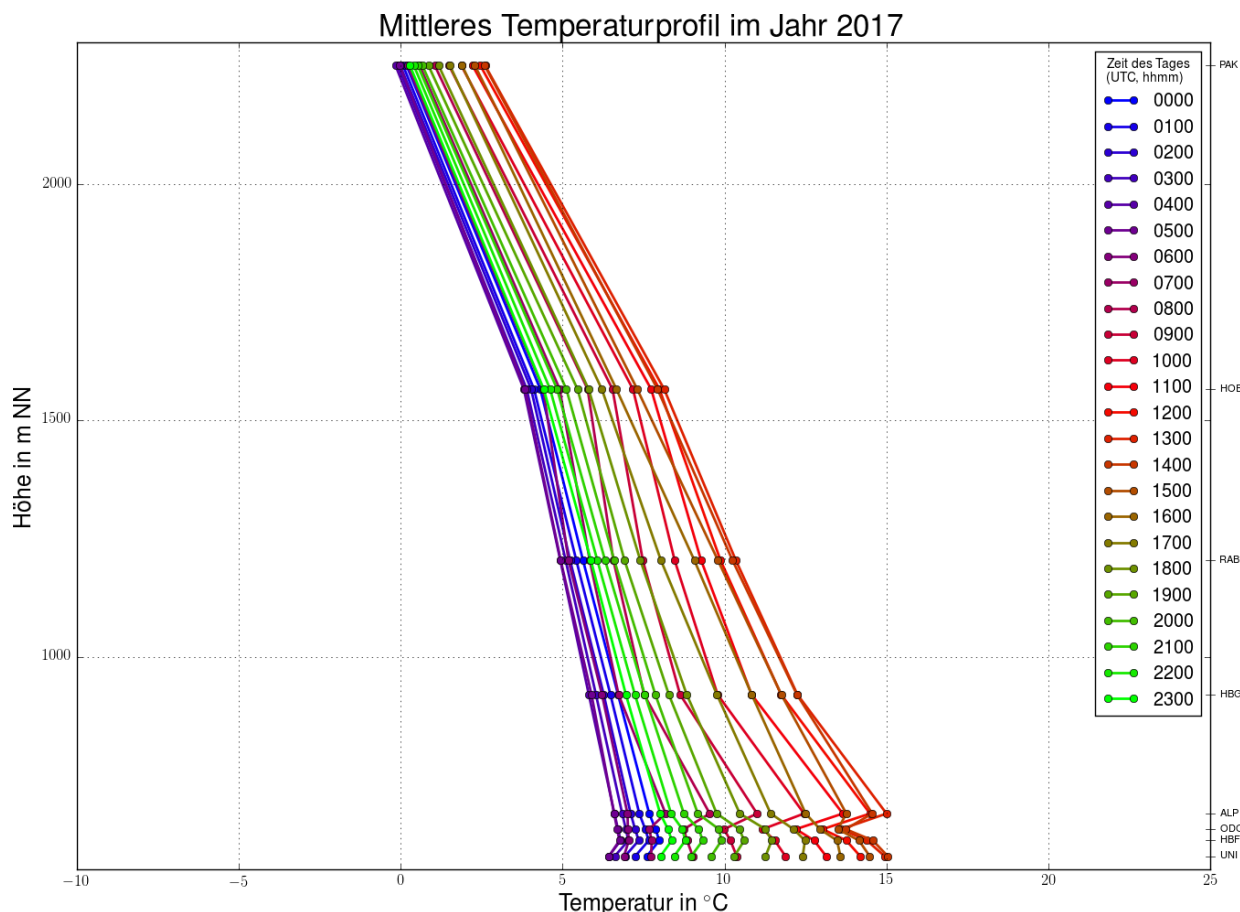


Abbildung 2: Stündliche Temperaturprofile im Jahresmittel. Zur Umrechnung auf Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ist eine Stunde zu addieren, 12 Uhr UTC entspricht also beispielsweise 13 Uhr MEZ.

3.3 Stabilität

Die vertikale Temperaturschichtung beschreibt die Stabilität der Atmosphäre. Während bei labiler Schichtung vertikaler Luftaustausch möglich ist, wird dieser durch zunehmende Stabilität erschwert bzw. auch ganz unterbunden. Die Stabilität und ihre zeitliche Entwicklung sind daher besonders im Hinblick auf Schadstoffkonzentrationen interessant. Die im Folgenden verwendeten Stabilitätsklassen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Stabilitätsklasse	Temperaturänderung mit der Höhe [°C / 100 m]	Vertikaler Luftaustausch
sehr labil	$\leq -1,30$	sehr leicht möglich, geschieht ‚von selber‘
labil	$\geq -1,30$ & $\leq -0,86$	leicht möglich, geschieht ‚von selber‘
neutral	$\geq -0,86$ & $\leq -0,40$	möglich, Schicht kann durchmischt werden
stabil	$\geq -0,40$ & $\leq 0,40$	erschwert; nur mit Zusatz-Forcing
sehr stabil	$\geq +0,40$	auch mit Zusatz-Forcing kaum möglich

Tabelle 3: Einteilung der Stabilitätsklassen.

Bei der Auswertung der Stabilität mittels Tempis-Stationen und TAWES werden jeweils zwei benachbarte Niveaus verglichen. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Klassen für die verschiedenen Schichten im Jahr 2017.

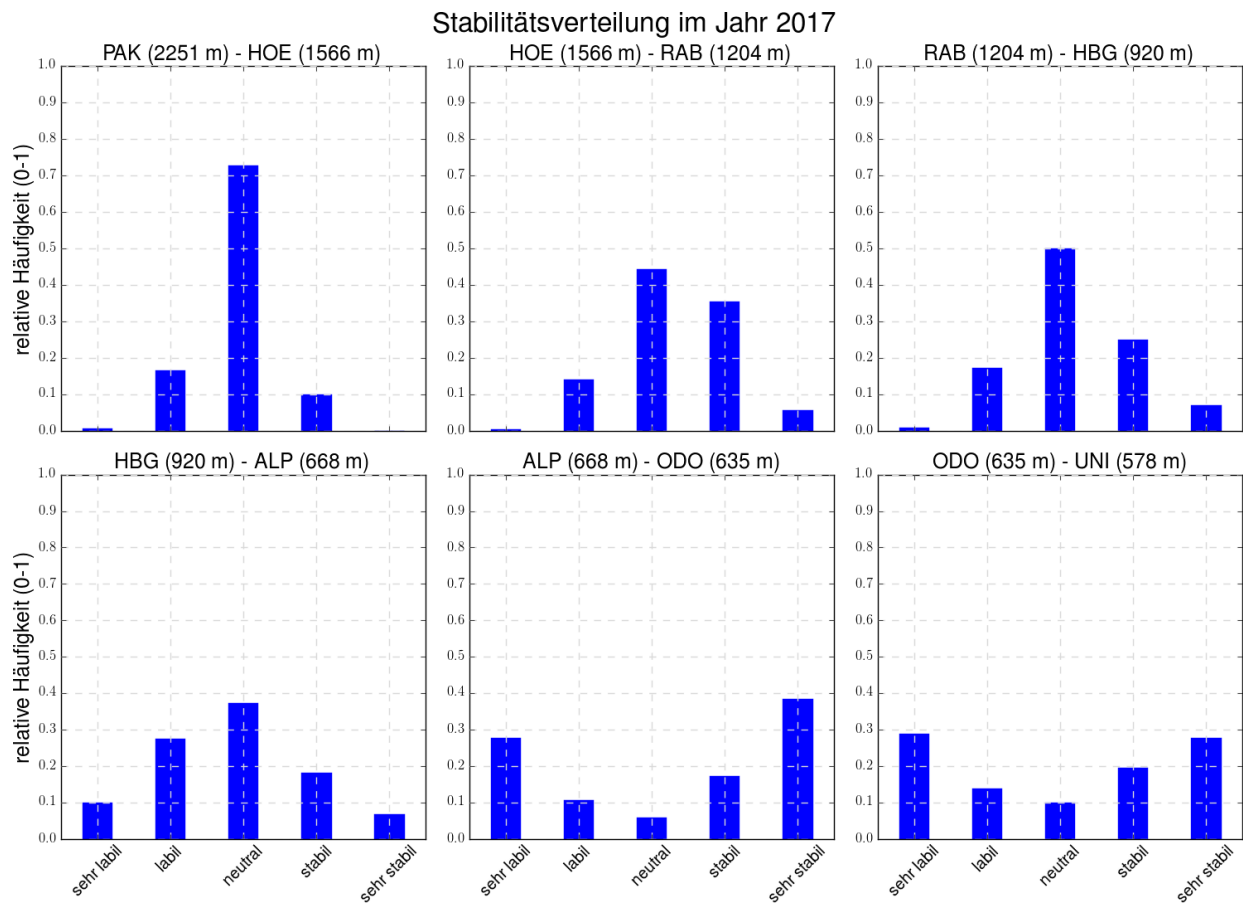


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Stabilitätsklassen im Jahr 2017 zwischen Patscherkofel und Höttinger Alm (oben links), Höttinger Alm und Rastlboden (oben Mitte), Rastlboden und Hungerburg (oben rechts), Hungerburg und Alpenzoo (unten links), Alpenzoo und Olympischem Dorf (unten Mitte), Olympischem Dorf und Innsbruck Uni (unten rechts).

Oberhalb des Alpenzoos dominiert überall die neutrale Schichtung, am weitest häufigsten ist sie zwischen Höttinger Alm und Patscherkofel zu finden. In den beiden untersten Schichten, sozusagen am Talgrund, ist diese Klasse am seltensten und die Randklassen „sehr labil“ und „sehr stabil“ sind am häufigsten. Dies zeigt gut, dass die Stabilität von der Oberfläche durch Strahlungsprozesse gesteuert wird².

Dieses Muster tritt mehr oder weniger stark ausgeprägt das ganze Jahr über auf. Über alle Schichten betrachtet, zeigt sich der unterdurchschnittlich kalte Jänner am stabilsten (Abbildung A20 im Appendix). Abgesehen von der obersten Schicht (PAK-HOE) liegt die Häufigkeit von stabilen bis sehr stabilen Fällen zwischen 45 und 65 %. Einen extrem stabilen Monat wie im Vorjahr der Dezember mit Häufigkeiten zwischen 59 und 83 % gibt es aber 2017 nicht.

² Bei windschwachen Hochdrucklagen unterliegt die Stabilität Strahlungsprozessen. Die Sonnenstrahlung erwärmt vor allem Oberflächen und erst diese die darüber liegende Luft. Die involvierte Schicht wird (sehr) labil. Nachts kühlen ebenfalls vor allem Oberflächen aus und kühlen die darüber liegende Luft, die involvierte Schicht wird (sehr) stabil. Damit ist die Stabilität bei windschwachen Hochdrucklagen von der Tages- und der Jahreszeit abhängig. An Hängen produzierte kalte bzw. warme Luft sinkt bzw. steigt auf und wird somit abtransportiert. Bei sehr windigen und/oder niederschlagsreichen Phasen findet von oben her eine Durchmischung statt, wodurch sich eine neutrale (oder leicht labile bis leicht stabile) Schichtung ergibt.

Wie aus den Erkenntnissen des Abschnitts 3.2 zu erwarten, ist es im Frühjahr am labilsten, da sich die unteren Niveaus stärker als die höheren erwärmen. Über alle Schichten betrachtet ist die Häufigkeit von labilen bis sehr labilen Fällen im Mai am höchsten. In den höheren Niveaus liegt sie bei knapp 30 %, in den tieferen bei bis zu 50 % (Abbildung A21 im Appendix).

Besonders relevant bezüglich der Schadstoffkonzentration bzw. -belastung ist natürlich jene Schicht, in der die hauptsächliche Emission (durch Verkehr, Heizung, Industrie, ...) stattfindet und in der gleichzeitig der Großteil der Bevölkerung lebt. Daher wurde wie schon 2016 die dafür interessanteste Schicht zwischen Olympischen Dorf und Innsbruck Uni untersucht. Auf den ersten Blick zeigt sich der tageszeitliche Verlauf der verschiedenen Stabilitätsklassen 2017 in Abbildung 4 recht ähnlich zu jenem im Vorjahr (vergleiche Abb. A22 im Appendix). Die Stabilität nimmt mit zunehmendem Strahlungsangebot im Tagesverlauf erst ab, und nachmittags, nach Sonnenhöchststand, bis in die Abendstunden wieder zu. Nachts bleibt es bis Sonnenaufgang relativ gleichmäßig stabil.

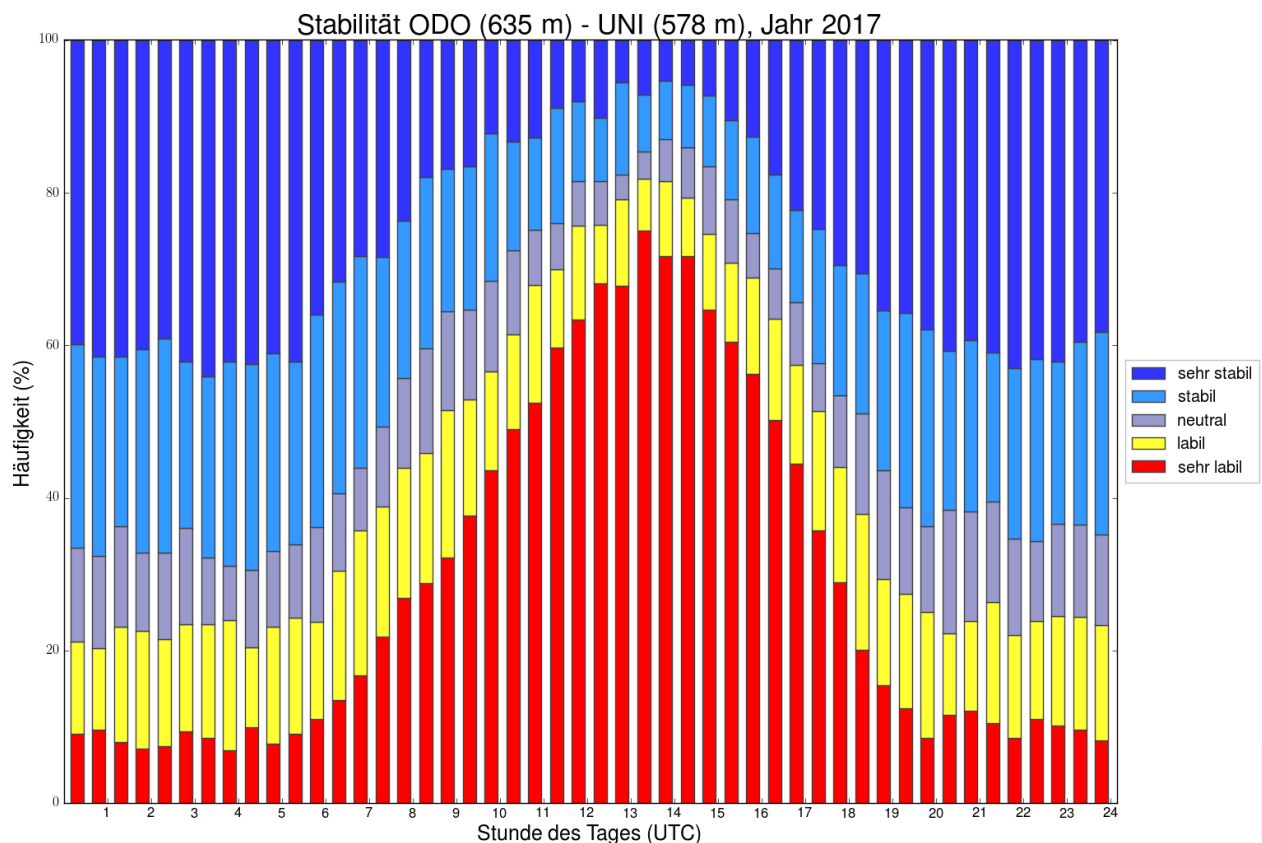


Abbildung 4: Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen aus den stündlichen Temperaturmitteln in der rund 60 m dicken Schicht zwischen den Stationen Olympisches Dorf und Innsbruck Uni im Jahr 2017.

Gegenüber 2016 fällt auf, dass der (sehr) labile Anteil besonders nachts geringer ist, während der vormittägliche Übergang von stabil zu labil eher etwas später stattfindet, abends der umgekehrte Vorgang eine Spur früher. In der Schicht zwischen Innsbruck Uni und Olympischem Dorf gibt es 2017 (scheinbar) eine Verschiebung zu eher stabilen Verhältnissen.

Die leichte Verkürzung der (sehr) labilen Phase ist mit Ausnahme des Dezembers (welcher 2016 extrem stabil war) auch in den einzelnen Monaten sichtbar. Wird statt Olympisches Dorf die Station Hungerburg für den Tagesgang der Stabilität in der Schicht ab Innsbruck Uni herangezogen, fällt 2016 ebenfalls labiler aus als 2017. Ersetzt man bei der Auswertung jedoch Innsbruck Uni durch den Flughafen, fällt die Änderung deutlich geringer aus. Es ist daher

naheliegender, dass die Verschiebung hauptsächlich von einer Veränderung an der Station Innsbruck Uni herrührt. Die höhere Stabilität in der Schicht bedeutet vergleichsweise kühlere Verhältnisse am Standort Innsbruck Uni, besonders abends, nachts und am Morgen. Dafür konnten keine schlüssigen Erklärungen gefunden werden. Es gab weder entsprechende Änderungen der Messinstrumente, noch in der Bebauung oder in der Vegetation in der Umgebung. In Summe betrachtet, scheint die Schicht für eine Stabilitätsanalyse nur mäßig geeignet zu sein. Vor allem in Relation zur geringen Schichtdicke wirkt sich der Stadt-Effekt sehr stark aus. Die (sehr) labilen Phasen während der Nacht sollten eigentlich einen deutlich geringeren Anteil haben.

Aus diesem Grund wird der Tagesgang der Stabilität in der 342 m mächtigen Schicht Flughafen-Hungerburg³ näher analysiert (Abbildung 5). In dieser Schicht tritt die sehr labile Klasse nachts und in den Morgenstunden gar nicht auf, die Häufigkeit der labilen Klasse sinkt unter 5 %. Dies entspricht viel eher den Erwartungen an ‚normale‘ atmosphärische Verhältnisse.

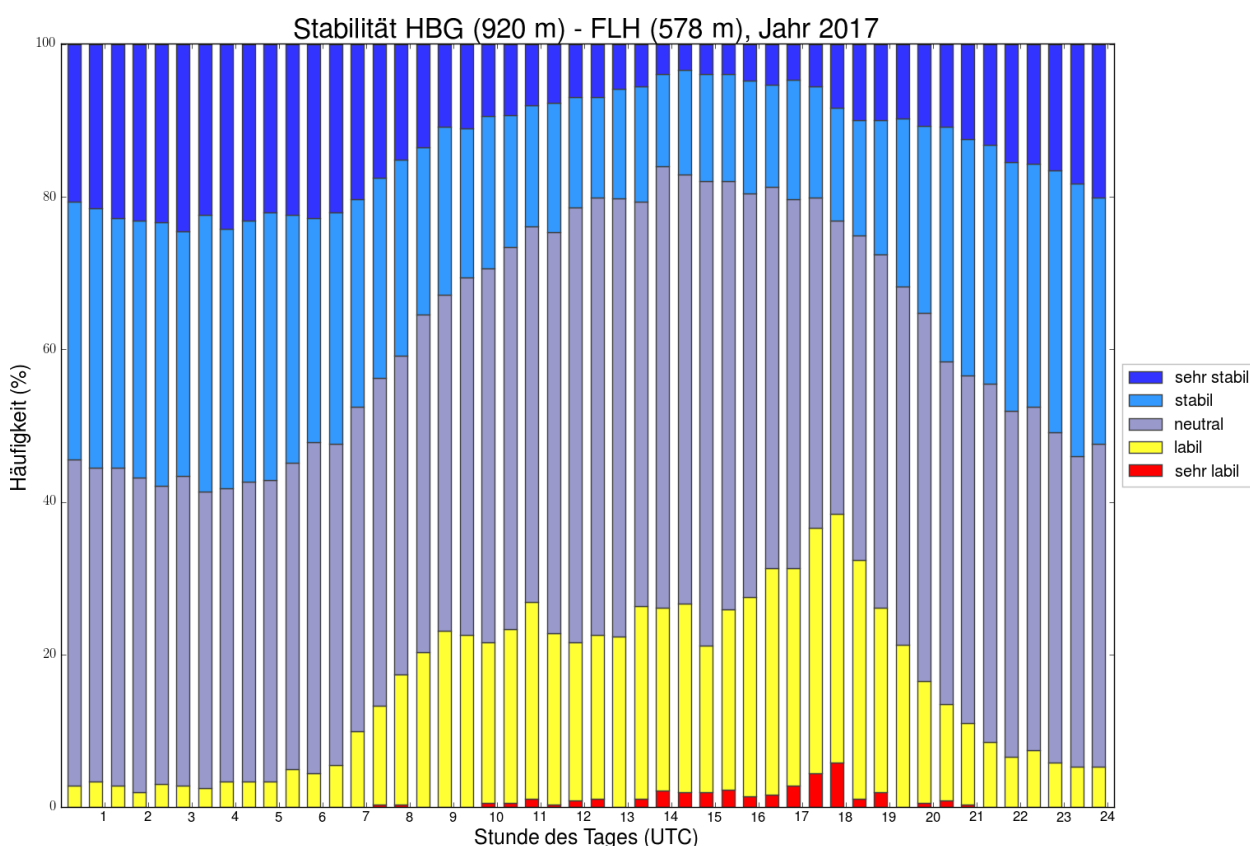


Abbildung 5: Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen aus den stündlichen Temperaturmitteln in der 342 m dicken Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg im Jahr 2017.

Mit der Einstrahlung steigt die Häufigkeit der labilen Klasse vormittags auf 20 bis 25 %, den Maximalwert erreicht sie gegen 18 Uhr am Abend mit knapp 40 %. Die Lage der Station Hungerburg am Südhang sorgt hier mittags und am frühen Nachmittag vermutlich für ein leichtes ‚Überhitzen‘ und damit für höhere Stabilitätswerte. Die Abendspitze der labilen Werte ist wohl auf das späte Temperaturmaximum am Flughafen zurückzuführen, was an der begünstigten Sonneneinstrahlung liegt. Im Mittel übers Jahr tritt die neutrale Klasse am häufigsten auf.

Gegenüber 2016 fallen die Unterschiede sehr gering aus (vergleiche Abbildung A23 im Appendix). 2017 war in Summe nachts etwas stabiler, am Spätnachmittag eine Spur labiler. Man

³ Die Station Alpenzoo als Schicht-Obergrenze ist aufgrund der Südhangelage ebenfalls eher ungeeignet.

kann vermuten, dass die höhere Anzahl an Sonnenstunden (2016 waren es 1962 h, 2017 waren es 2096 h) auf mehr Hochdruckphasen hinweisen, was zu stärkerer nächtlicher Auskühlung (stabiler) und einer größeren Tageserwärmung (labiler) führt.

In den einzelnen Monaten wird der Zusammenhang zwischen Stabilität und Strahlungsangebot noch deutlicher (Abb. A24).

Im vergleichsweise kalten Jänner 2017 zeigt sich die Schicht trotz zahlreicher Sonnenstunden (32 % mehr als im langjährigen Schnitt) überwiegend (sehr) stabil. Hier sind der niedrige Sonnenstand sowie die ab dem 5. Jänner durchgehende Schneebedeckung ausschlaggebend.

Der März mit durchschnittlich vielen Sonnenstunden weist dagegen einen deutlich stärkeren Tagesgang auf. Die Nächte sind noch relativ lang und bringen starke Abkühlung, die fehlende Schneebedeckung und die in der Höhe noch eher kühle Atmosphäre führen bei nachmittäglicher Einstrahlung bereits vermehrt zu labilen bis sehr labilen Phasen. Das späte Labilitäts-Maximum wurde bereits oben erklärt.

Im sonnenreichen Juni mit seinen kurzen Nächten sind die stabilen Phasen weniger häufig. Ab dem späten Vormittag ist ein Rückgang der labilen Phasen zu beobachten. Dies dürfte auf die bereits oben erwähnte ‚Überhitzung‘ der Station Hungerburg zurückzuführen sein. Zudem können untertags entstehende Hangaufwinde zur Neutralisierung in dieser Schicht beitragen.

Im September, der ein Minus von 27 % an Sonnenstunden im Vergleich zum langjährigen Schnitt aufweist, fällt vor allem die nächtliche Stabilisierung gering aus⁴, oft bleibt es neutral geschichtet.

3.4 Inversionen

Ein Spezialfall bei der Stabilität ist die Inversion, hier nimmt die Temperatur mit der Höhe zu. Die Atmosphäre ist damit bei Inversionslagen stabil bis sehr stabil. Problematisch sind vor allem lang anhaltende Inversionslagen. Schadstoffe aus Verkehr, Hausbrand und Industrie sammeln sich dabei in der Inversionsschicht an. Wenn wie im Inntal das Gebirge auch horizontalen Austausch einschränkt, kann es zu hohen Schadstoffkonzentrationen (-belastungen) kommen.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Inversionshäufigkeit in den verschiedenen Schichten im Jahr 2017. Im Vergleich zum Vorjahr ist sie nur geringfügig verändert. In den untersten beiden Schichten sind Inversionen eine Spur häufiger, darüber etwas seltener anzutreffen. Zwischen Innsbruck Uni und dem Olympischen Dorf gibt es während 35 % des Gesamtzeitraums eine Inversion (2016 33 %). In der darüber liegenden Schicht bis zum Alpenzoo hinauf liegt die Häufigkeit bei 44 % (2016 43 %), oberhalb davon nimmt die Inversionshäufigkeit auf 11 bis 16 % ab (2016 waren es 13 bis 17 %).

Die Zunahme des Inversionsanteils von der untersten zur darüber liegenden Schicht ist der geschützten Südhanglage des Alpenzoos zuzuschreiben. Die Sonne erwärmt hier die Luft schneller als am Talgrund. Aufgrund der fehlenden Luftzirkulation kommt es zu einer Art ‚Wärmestau‘ und dadurch zu ‚künstlichen‘ Inversionen. Würde in der Talmitte auf gleicher Höhe wie am Alpenzoo gemessen werden, würde das Bild höchstwahrscheinlich anders aussehen und die Inversionen wohl seltener sein als in der untersten Schicht. Dieser Effekt ist auch erkennbar, wenn man die vom Boden (hier Innsbruck Uni) ausgehenden Inversionen betrachtet. Die Häufigkeiten im Jahr 2017 sowie in den einzelnen Monaten sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Sowohl übers Jahr gesehen, als auch in den einzelnen Monaten nimmt die Inversionshäufigkeit mit zunehmender Schichtdicke ab. Flache Inversionen sind also häufiger als hoch reichende. Eine

⁴ Vergleiche dazu die Verteilung im März bei ähnlichem Sonnenstand.

kleine Ausnahme stellt eben jene Schicht bis zum Alpenzoo dar, wo Inversionen zwischen Jänner und Mai, sowie im Oktober häufiger sind als in jener bis zum Olympischen Dorf.

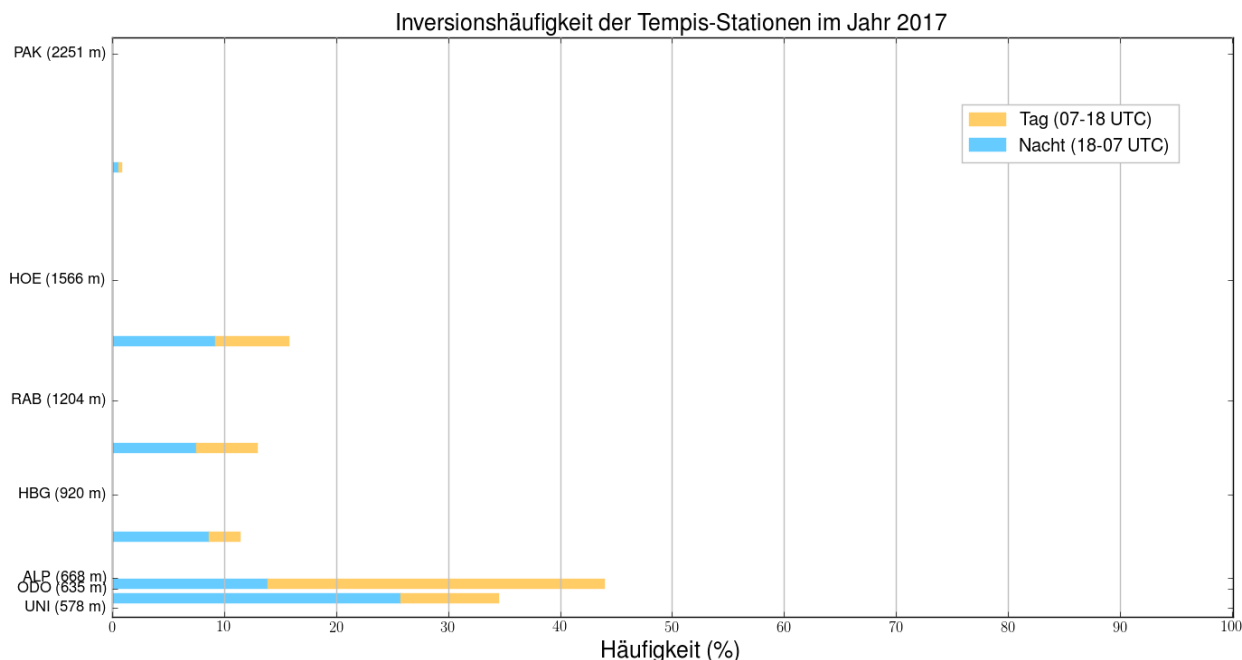


Abbildung 6: Häufigkeit der Inversionen in den verschiedenen Schichten im Jahr 2017. Gelbe Balken stehen dabei für den Anteil zwischen 7 und 18 UTC (8 und 19 MEZ), blau für den Anteil zwischen 18 und 7 UTC (19 und 8 MEZ), vereinfacht also für den Tages- und Nachtanteil.

Unterhalb der Hungerburg gibt es in etwa zu einem Drittel der Gesamtzeit eine Inversion (41 bis 34 %). Darüber nimmt die Häufigkeit bis zur Höttinger Alm auf 16 bis 13 % ab, wobei sich die Inversionen immer mehr auf die kühle bis kalte Jahreszeit konzentrieren. Der Patscherkofel liegt nur zu 5 % der Gesamtzeit innerhalb einer Inversion, und diese beschränkt sich auf die Monate zwischen Oktober und Februar.

NAME	ΔZ	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
HBF	33	52	45	39	31	38	37	33	40	40	56	39	42	41
ODO	57	48	37	36	26	31	28	26	32	34	47	30	37	35
ALP	90	56	38	37	29	32	26	20	27	26	50	27	37	34
HBG	342	39	31	11	7	6	4	2	8	6	27	20	29	16
RAB	626	44	35	5	4	2	1	2	7	4	24	21	28	15
HOE	988	41	26	8	2	1	1	1	5	1	24	22	21	13
PAK	1673	25	4	0	0	0	0	0	0	0	8	7	11	5

Tabelle 4: Inversionshäufigkeit (in %) zwischen Innsbruck Uni und der jeweiligen Station in den einzelnen Monaten bzw. gesamt (fett) im Jahr 2017. Unter Δz ist die Schichtdicke (in m) angegeben.

Das Maximum der Inversionshäufigkeit wurde im Jahr 2017 nahezu unabhängig von der Obergrenze im Jänner verzeichnet, nur in der untersten, flachen Schicht zwischen Uni und Hauptbahnhof ist der Oktoberwert noch höher. Durchschnittlich an jedem 2. Jännertag herrschen in den untersten Schichten bis zum Alpenzoo Inversionsbedingungen. Darüber nimmt die Häufigkeit ab, aber selbst der Patscherkofel liegt noch zu 25 % der Zeit innerhalb der Inversion.

Im Frühjahr gibt es eine stärkere Abnahme der Inversionshäufigkeit bei höher gelegenen Stationen im Vergleich zu den Stationen im Tal. Folglich sind die Inversionen in der warmen Jahreszeit weniger hochreichend.

Die zuvor erwähnten ‚künstlichen‘ Inversionen am Alpenzoo sind in dieser Tabelle bereits zu erkennen. Betrachtet man die Inversionshäufigkeit tagsüber (7 bis 18 UTC) und nachts (18 bis 7 UTC) getrennt, kristallisiert sich der Effekt der geschützten Südhänglage noch deutlich stärker heraus (vergleiche Tabellen A1 und A2 im Appendix). Nachts nimmt die Inversionshäufigkeit mit zunehmender Schichtdicke in allen Einzelmonaten ab. Tagsüber ist sie aber während nahezu allen betrachteten Zeiträumen in der Schicht bis zum Alpenzoo (oft 2 bis 4-fach) höher als in den beiden darunter liegenden (HBF und ODO).

Vergleiche mit Ergebnissen aus anderen Hangprofilen sind nur eingeschränkt möglich, da diese stark von Schichtdicke und lokaler Lage bestimmt werden. Thudium (2017) hat Inversionen an verschiedenen Standorten in den Alpen untersucht, darunter auch für den gut vergleichbaren Standort in Schwaz. Die Schicht misst hier 294 m und beginnt 16 m über Grund. Für die Jahre 2002 bis 2016 schwankt die Inversionshäufigkeit zwischen etwa 16 und 28 %, im Durchschnitt beträgt sie rund 23 %, 2016 lag sie bei 24 %. In der etwa 50 m dickeren Schicht zwischen Innsbruck Uni und Hungerburg ist die Inversionshäufigkeit 2016 um 6 Prozentpunkte höher, für das Jahr 2017 liegen für Schwaz noch keine Daten vor.

Geht man von einer abnehmenden Inversionshäufigkeit mit zunehmender Schichtdicke aus, werden die vorliegenden Ergebnisse von Innsbruck bestätigt⁵.

4. Auswertung der Feuchte

Eines der gebräuchlichsten Feuchtemaße ist die relative Feuchte. Diese hängt von Temperatur und Luftdruck ab und sagt aus, wieviel Wasserdampf die Luft enthält, bezogen auf das maximale Aufnahmevermögen. Wird das maximale Aufnahmevermögen der Luft erreicht, kondensiert das Wasser und eine Wolke entsteht. Daher beträgt die relative Feuchte innerhalb von Wolken oder Nebel immer 100 %. Findet kein horizontaler Transport an feuchten Luftmassen/Regen statt, ist die Quelle für Wasserdampf (abgesehen von vernachlässigbaren chemischen Prozessen) die Erdoberfläche. Wasser, das an der Oberfläche von Gewässern oder von der Vegetation oder sonst nassen/feuchten Oberflächen verdunstet, gelangt über vertikalen Austausch in die Atmosphäre und kann mittels großräumiger Luftströmungen weiter transportiert werden.

Übers Jahr gerechnet liegt die relative Feuchte zwischen 70 und 76 % (Abbildung 7, rechts). Die niedrigsten Werte sind dabei in der Stadt aufgrund des hohen Anteiles an versiegelten Flächen zu finden, also am Hauptbahnhof und im Olympischen Dorf. An der Station Innsbruck Uni sorgt der Garten mit Rasen und Bäumen für mehr Feuchte. Am höchsten ist sie auf dem Patscherkofel, der aufgrund seiner Höhe bereits oft in Wolken steckt.

In den Niveaus bis zur Hungerburg zeichnen sich Mai und Juni mit eher geringen Werten der relativen Feuchte aus (57 bis 67 % relative Feuchte, siehe Abb. A25). In beiden Monaten ist die

⁵ In der Arbeit von Thudium werden die Inversionen sehr wahrscheinlich nicht über die Temperaturdifferenz direkt bestimmt, sondern über die Differenz einer „quasi-potentiellen Temperatur“. Dabei wird zur Berücksichtigung der Feuchte pro 100 Höhenmeter die Temperaturdifferenz um 0,5 Grad erhöht (Zeni 2016). Die Inversionshäufigkeit nimmt somit laut Thudium mit zunehmender Schichtdicke sogar eher zu. In der flacheren Schicht bei Schwaz (154 m Dicke) ist die Inversionshäufigkeit um 3 Prozentpunkte niedriger und schwankt um ‚nur‘ etwa 20 %.

Niederschlagsmenge unterdurchschnittlich, gleichzeitig ist der Feuchtetransport weg von der Oberfläche während dieser Jahreszeit temperaturbedingt sehr hoch. Oberhalb der Hungerburg ist es teils im Jänner, teils im Februar am trockensten (63 bis 66 %). Ursache ist die Kombination aus vielen niederschlagsfreien Tagen (v.a. im Februar) und dem fehlenden Feuchtenachschub – an den Stationen aufgrund der schneebedeckten Umgebung, aus tieferen Niveaus stabilitätsbedingt. Von den sehr trockenen Verhältnissen im Dezember 2016 (um 50 %) sind diese Werte aber weit entfernt.

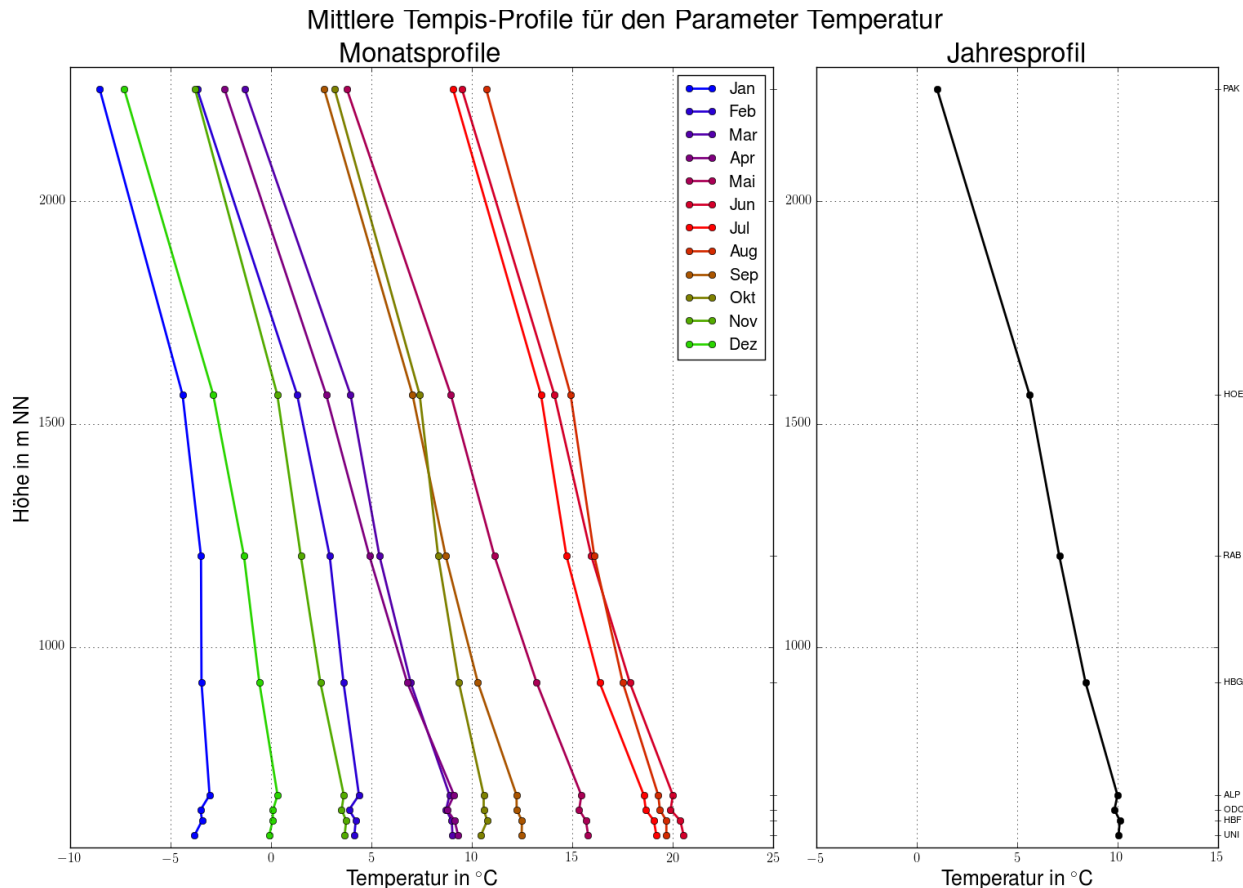


Abbildung 7: Vertikalprofile der relativen Feuchte in % im Jahr 2017 im Monats- (links) bzw. Jahresmittel (rechts).

Am feuchtesten ist es im Talbereich bis zur Hungerburg im Dezember (82 bis 86 %) durch die Kombination aus häufigen Niederschlägen und dem stabilitätsbedingten fehlenden (Ab-)Transport der Feuchte bei gleichzeitig sehr niedrigen Temperaturen. In den Niveaus darüber ist der September der feuchteste Monat (85 bis 87 %) mit einer hohen Anzahl an Niederschlagstagen und überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen.

In der Talsohle ist der Tagesgang stärker ausgeprägt als in höheren und (abseits der Feuchtequelle) allgemein trockeneren Niveaus. Dies lässt sich bereits aus dem Vergleich der Stationen Hauptbahnhof und Höttinger Alm in Abbildung 8 erkennen. Tagsüber ist es durch die Temperaturzunahme sowie die vertikale Durchmischung mit höheren (d.h. trockeneren) Schichten trockener als nachts. Maßgeblich für die Muster sind Stabilität der Atmosphäre (Vertikaltransport) und Wetterlagen (Horizontaltransport).

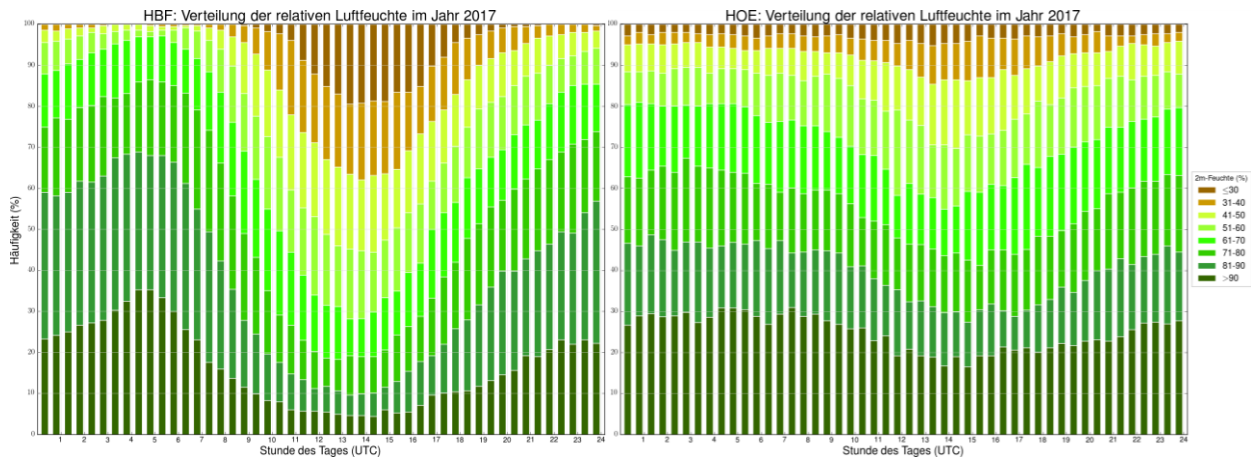


Abbildung 8: Tagesgang der Häufigkeitsverteilung der relativen Feuchte am Hauptbahnhof (links) und auf der Höttinger Alm (rechts) im Jahr 2017.

5. Auswertung des Windes

Der Wind ist das Resultat von horizontalen Druck- und damit Temperaturunterschieden. Lokale topographische Gegebenheiten können den Wind blockieren, umlenken und/oder kanalisieren. Vor allem beim Überströmen von Gebirgen kann es unter anderem zu Beschleunigungseffekten kommen. In Innsbruck ist hier vor allem der Südföhn durch das Wipptal zu nennen.

5.1 Windrichtung

Am Talgrund spiegelt die Verteilung der Windrichtungen an den verfügbaren Messstationen die Ausrichtung der Achse des Inntals in der Umgebung von Innsbruck (WSW nach ONO) wider, wie in Abbildung 9 sowohl an der Station Olympisches Dorf (mit den korrigierten Windrichtungsdaten), als auch am Hauptbahnhof zu sehen ist.

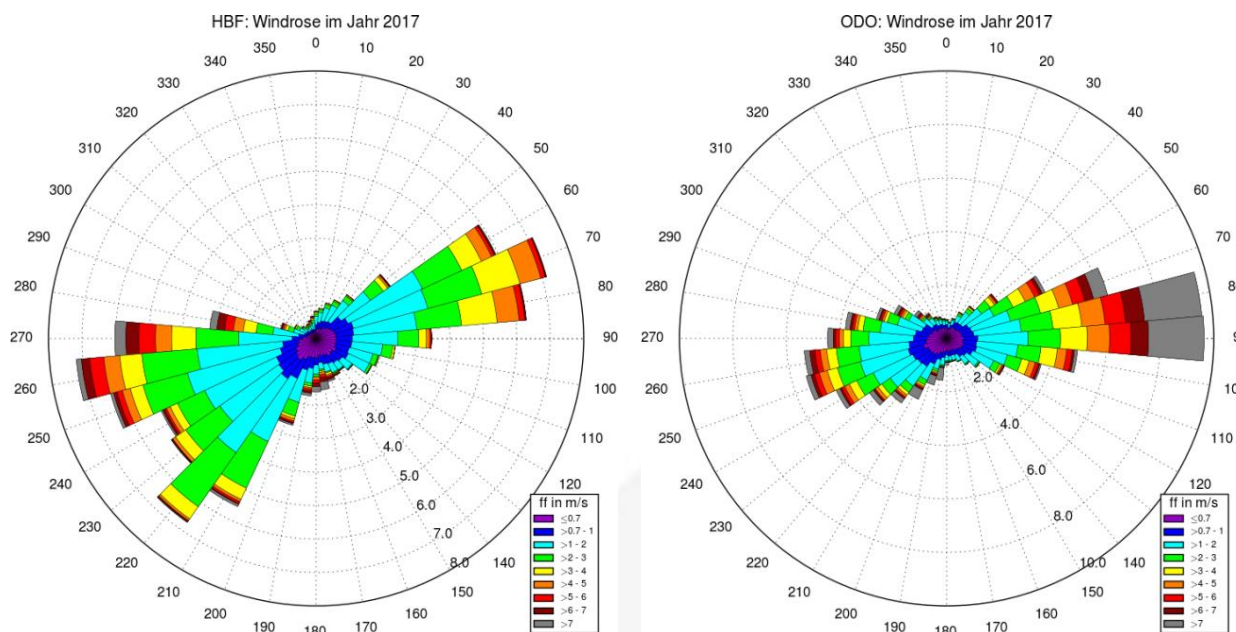


Abbildung 9: Windrosen mit Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Farbskalierung der dabei auftretenden Geschwindigkeit für das Jahr 2017 für die Stationen Hauptbahnhof (links) und Olympisches Dorf (rechts).

Gegenüber dem Vorjahr gibt es keine wesentlichen Veränderungen, weshalb hier statt der Windverteilung am Patscherkofel jene an der Station Hauptbahnhof gezeigt wird.

Es fällt auf, dass im Jahresschnitt der Wind am Hauptbahnhof breiter gefächert ist als im Olympischen Dorf. Dies liegt daran, dass die Station Hauptbahnhof im östlichen Ausgangsbereich des Wipptales liegt. Damit ist die Station einerseits vom nächtlichen Ausfließen betroffen, wobei hier der Wind meistens schwach ist. Andererseits kann bereits bei mäßig ausgeprägten Südföhnlagen der Wind aus dem Wipptal recht ungehindert vordringen. Dieser trifft mit eher höheren Windgeschwindigkeiten ein. Im Olympischen Dorf ist der Anteil an Windgeschwindigkeiten von über 5 m/s (rote, dunkelrote und graue Flächen) beim taleinwärts gerichteten Wind deutlich höher. Dies dürfte hauptsächlich an der größeren Höhe über Grund und der in diesem Sektor wenig verbauten Flächen liegen.

5.2 Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind

Im Monats- bzw. Jahresmittel sind die mittleren Windgeschwindigkeiten an den Stationen am Talgrund gering und liegen zwischen 1,4 und 3,5 m/s (2016 1,2 bis 4,3 m/s). Am Patscherkofel ist der Wind stärker, der Jahresmittelwert liegt hier (unwesentlich höher als im Vorjahr) bei 7,0 m/s, der windstärkste Monat ist der Dezember mit 9,6 m/s (2016 10,6 m/s im Feber) (vergleiche Tabelle 5).

NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
FLH	1,9	2,4	2,4	2,3	2,6	2,5	2,1	2,1	1,6	1,6	1,5	2,2	2,1
UNI	1,6	2,1	2,0	2,2	2,2	2,3	1,9	1,8	1,5	1,4	1,4	1,8	1,8
HBF	1,9	2,1	2,2	2,2	2,4	2,3	1,9	1,9	1,7	1,6	1,5	2,2	2,0
ODO	1,9	2,5	3,2	3,4	3,5	3,2	2,8	2,8	2,0	1,9	1,6	2,4	2,6
PAK	7,6	9,2	8,2	6,8	6,4	5,9	5,2	6,0	5,6	5,9	7,7	9,6	7,0

Tabelle 5: Monats- und Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s an den Stationen mit Windmessung für das Jahr 2017.

In Tabelle 6 sind die drei stärksten Windereignisse jeder Station gelistet. Abgesehen vom Patscherkofel sind die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten am Flughafen aufgetreten (im Vorjahr auf dem Hochhausturm im Olympischen Dorf bei Südföhn). Ursache waren am Flughafen in allen drei Fällen Böenfronten im Zusammenhang mit Gewittern, die aus westlicher Richtung herangezogen sind. In bzw. am Ostrand der Stadt ist der Wind aus dieser Richtung durch die Verbreiterung des Tales und die erhöhte Reibung durch die Verbauung bereits etwas abgeschwächt und es reihen sich eine kräftige Kaltfront (12.11.) und/oder Südföhn (28.2., 4.3. und 10./11. 12.) unter die drei stärksten Ereignisse. Am „schwächsten“ ist der Wind in der Stadt auf dem Universitäts-Gebäude.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd
1.	30.07.	24,9	288	12.11.	11,9	318	30.07.	14,5	252	30.07.	22,5	241	11.12.	39,6	177
2.	08.08.	21,3	282	30.07.	11,3	261	04.03.	13,3	169	09.07.	19,3	242	04.03.	36,3	166
3.	09.07.	20,1	282	28.02.	10,9	72	10.12.	12,7	216	04.03.	18,9	187	10.12.	36,1	174

Tabelle 6: Datum, Windgeschwindigkeit im 10-Minutenmittel (ff, in m/s) und Windrichtung (dd, in Grad) der jeweils drei stärksten Ereignisse im Jahr 2017.

5.3 Windgeschwindigkeiten: 2 Sekunden Böen

Interessanter als der Mittelwind über den Gesamtzeitraum oder die einzelnen Monate sind vor allem im Hinblick auf Schadenspotential Starkwindereignisse. Als Untergrenze für Schadereignisse gelten Windböen von 6 Beaufort (=10,8 m/s). Dieser Schwellenwert wurde im Jahr 2017 im Talbereich am häufigsten im Olympischen Dorf überschritten, an insgesamt 192 Tagen und damit nahezu gleich oft wie im Vorjahr (194 Tage). Bezogen auf den Gesamtzeitraum machen diese Perioden 7,4 % der Zeit aus. Am Flughafen traten an 151 Tagen (5,0 % des Gesamtzeitraumes) 6 Beaufort oder mehr auf, 2016 waren es lediglich 130 Tage. An den Stationen Hauptbahnhof und Innsbruck Uni wurde der Grenzwert an 147 bzw. 133 (Vorjahr jeweils 119) Tagen überschritten. Auf den Gesamtzeitraum bezogen, war dies am Hauptbahnhof zu 4,8 %, an der Uni ‚nur‘ zu 3,7 % der Fall.

Kritischer für Schadereignisse ist der Schwellenwert von 8 Beaufort (=17,2 m/s), er tritt naturgemäß deutlich seltener auf. Während die Anzahl der Tage mit solchen Windereignissen im Olympischen Dorf mit 49 (1,2 % der Gesamtzeit) annähernd konstant zum Vorjahr geblieben ist, gab es am Flughafen mit 58 (1,0 % der Gesamtzeit) einen Zuwachs von 15 Tagen. Am Hauptbahnhof wurden 8 Beaufort oder mehr an 29 (Vorjahr 39) Tagen (0,6 %) erreicht, an der Uni an 29 (Vorjahr 34) Tagen (0,4 %).

In Tabelle 7 sind die drei stärksten Böenereignisse jeder Station gelistet. Als Spitzenböe 2017 wurde am Flughafen 165 km/h im Zusammenhang mit einem Gewitter im Vorfeld einer Kaltfront am 30. Juli beobachtet. Dies ist am Flughafen die zweitstärkste Böe, die seit Messbeginn der automatischen Station 1992 registriert wurde und wird in etwa als 15 bis 20-jährliches Ereignis eingestuft. 2016 erreichte die höchste Windspitze am Flughafen ‚nur‘ 110 km/h. 2017 wurde nur am Patscherkofel bei Südföhn mit 176 km/h am 11. Dezember ein höherer Wert als die Spitzenböe am Flughafen gemessen. Dieses Südföhnereignis führte auch im Olympischen Dorf zur höchsten Windspitze von 131 km/h. An der Universität war ein Frontgewitter am 8. August für die stärkste Böe mit 92 km/h verantwortlich.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx
1.	30.07.	45,7	283	08.08.	25,6	390	30.07.	28,5	257	11.12.	36,4	209	11.12.	49,0	178
2.	08.08.	34,9	288	30.07.	24,5	270	10.12.	25,6	211	30.07.	32,2	251	03.04.	44,7	161
3.	29.10.	34,3	294	27.02.	22,5	177	27.02.	24,4	199	04.03.	32,2	230	10.12.	43,4	162

Tabelle 7: Datum, Windgeschwindigkeit der 2-Sekunden Böe (ffx, in m/s) und Windrichtung (ddx, in Grad) der jeweils drei stärksten unabhängigen Ereignisse im Jahr 2017.

5.4 Kalmen

Windstille und sehr schwacher Wind werden als Kalmen bezeichnet. In Gebieten mit Schadstoffeintrag führen (längere) Perioden mit Kalmen auf Grund der geringen Durchmischung zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentration. In der vorliegenden Auswertung sind Halbstundenmittelwerte mit Windgeschwindigkeiten von weniger als 0,8 m/s als Kalmen definiert. Am häufigsten sind Kalmen mit knapp 24,4 % (Vorjahr 23 %) am Flughafen, am seltensten erwartungsgemäß am Patscherkofel (1,8 %, Vorjahr 2,4 %). Dass am Hauptbahnhof mit 17 % (wie 2016), bzw. im Olympischen Dorf mit 20 % (Vorjahr 18 %) Kalmen seltener als am relativ frei liegenden Flughafen sind, dürfte einerseits an der Höhe des Windsensors über Grund

liegen⁶ und andererseits daran, dass sich die Stadt mehr im Einflussbereich des Wipptals mit Föhn und nächtlichem Ausfließen befindet als der Flughafen.

Je länger die Kalmendauer, umso größer ist die Auswirkung auf die Schadstoffkonzentration. Tabelle 8 enthält die Übersicht zur Kalmes-Auswertung für 2017. Im Jahr 2017 ist als längste Kalmendauer die Klasse 12 bis 24 Stunden einmal am Hauptbahnhof und einmal im Olympischen Dorf aufgetreten (2016 nie). Dies gilt auch für die Klasse 6,5 bis 12 Stunden (13 bis 24 Halbstunden in Tab. 8), welche 2016 teils häufiger, teils weniger häufig war (FLH 4 mal, UNI 1 mal, HBF 0 mal, ODO 3 mal).

HMW-DAUER		ANZAHL PERIODEN				
VON	BIS	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
1	2	1626	1687	1326	1552	221
3	6	428	342	283	321	20
7	12	62	20	27	35	0
13	24	5	0	1	1	0
25	48	0	0	1	1	0
49	inf	0	0	0	0	0
Summe der HMW		4278	3539	3001	3539	323

Tabelle 8: Häufigkeit verschiedener Klassen der Kalmendauer und Summe aller Halbstundenmittelwerte (HMW) an den verfügbaren Windstationen im Jahr 2017. Bei Kalmes liegt der HMW unter 0,8 m/s.

Literatur

Thudium, J. und Chélala, C., 2017: *Zur Entwicklung der Häufigkeit atmosphärischer Inversionen im Alpenraum 1997 – 2016*. Oekoscience AG.

Zeni, V., 2016: *Inversionsbestimmung im Inntal anhand von zwei Hangprofilen*. Bachelorarbeit an der Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Juli 2016.

⁶ Am Boden ist die Windgeschwindigkeit auf Grund der Rauigkeit und der daraus resultierenden Reibung Null. Mit der Höhe nimmt der Wind in einer logarithmischen Form zu. In einer Höhe von rund 1 km über Grund ist der Einfluss der Bodenreibung schließlich vernachlässigbar.