

Auswertung des Tempis-Hangprofils Innsbruck für das Jahr 2018

ZAMG Kundenservice Tirol und Vorarlberg

Susanne Drechsel, Johannes Vergeiner und Manfred Bauer

Innsbruck, 18.02.2019

1 Stationen

Bei den Stationen gibt es keine Veränderungen zu den beiden vergangenen Jahren. Der folgende Abschnitt bis inklusive Punkt 1.6 ist daher unverändert zum Bericht für 2016 bzw. 2017.

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.

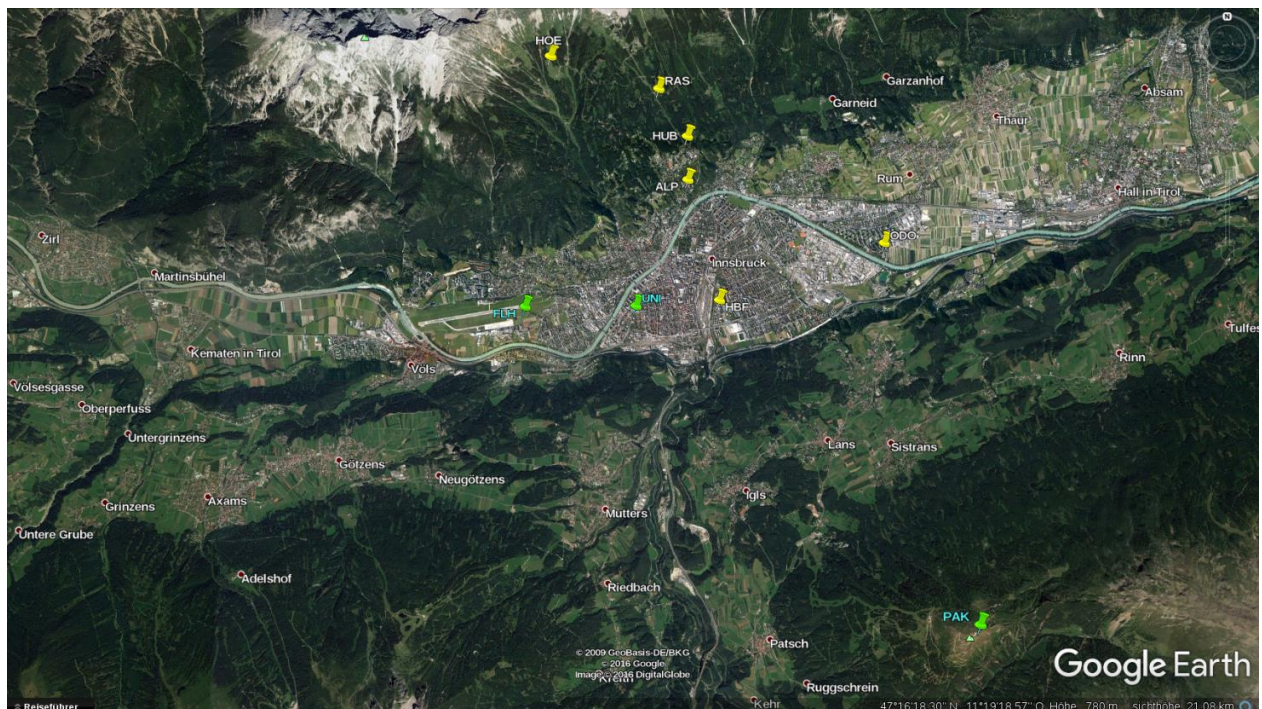


Abbildung 1: Satellitenfoto mit den Standorten der Tempis-Stationen (gelb) und zusätzlich der TAWES der ZAMG (grün) im Bereich Innsbruck, der Nordkette und auf dem Patscherkofel (Quelle: Google Earth).

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 Rastboden (RAB)

Die Station befindet sich im Bereich der Geländeverflachung des Rastbodens 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 2018

Die Datenverfügbarkeit für das Jahr 2018 beträgt für die meisten Standorte 97 bis 100 %, wobei die Ausfälle von verschiedenen Parametern oft nur wenige Stunden dauerten. An der Station Hauptbahnhof wurde Anfang des Jahres über 18 Tage keine Feuchte registriert, was zu einer Jahresverfügbarkeit von 94,3 % führt. An der Station Höttinger Alm gab es ab dem 19. März einen dreiwöchigen Ausfall der Temperatur- und Feuchtemessungen, die Datenverfügbarkeit beträgt hier nur 93,6 %. Im Olympischen Dorf fiel die Station im Mai insgesamt 10 Tage lang aus, was einer Datenverfügbarkeit von 97,3 % entspricht.

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.

3. Auswertung der Temperatur

Für die Auswertung ist eine Mindestverfügbarkeit von 80 % an 10-Minuten Daten im betrachteten Zeitintervall gefordert. Diese Voraussetzungen werden großteils erfüllt, nur für die Stationen Höttinger Alm bzw. Olympisches Dorf können für März und April, bzw. für Mai keine Monatsmittel bestimmt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

3.1 Monats- und Jahresmitteltemperatur

Die Jahresmitteltemperatur für 2018 lag im Stadtgebiet bei gut 11 °C bis zur Höhe Alpenzoo, auf der Hungerburg betrug sie 9,6 °C, am Rastlboden 8,3 °C und auf dem Patscherkofel 1,7 °C. Damit fiel 2018 großteils 1,1 bis 1,3 °C wärmer aus als das Vorjahr, am Patscherkofel um 0,7 °C.

Da die Temperaturänderung auf der Höttinger Alm mit 1,2 °C jener der tiefer gelegenen Stationen entspricht, dürfte der Jahresmittelwert von 6,8 °C trotz der Datenlücke in etwa stimmen. Die Temperaturentwicklung an den Tempis-Stationen verlief damit analog zu jener für ganz Österreich, wo 2018 das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen um 1750 war. Gegenüber 2016 fiel 2018 an den Tempis-Stationen zwischen 0,7 und 1,1 °C wärmer aus. Der Temperaturunterschied von 0,7 °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	1,3	-2,0	4,3	13,8	16,7	18,2	19,9	20,3	15,9	11,5	6,1	0,9	10,6
UNI	2,1	-1,3	4,9	14,5	17,2	18,8	20,7	21,0	16,5	12,1	6,8	1,4	11,3
HBF	2,5	-1,6	4,7	14,5	16,9	18,5	20,3	20,7	16,4	12,4	7,0	1,6	11,2
ODO	2,6	-1,9	4,7	14,6	nan	18,2	20,1	20,5	16,2	12,4	7,2	1,5	11,1
ALP	3,0	-1,6	5,0	14,8	16,9	18,4	20,1	20,6	16,3	12,6	7,5	1,5	11,3
HBG	2,4	-3,7	3,1	12,7	14,7	15,9	17,9	18,5	14,4	11,2	6,2	0,6	9,6
RAB	1,5	-4,9	1,6	10,7	12,9	14,1	16,1	16,9	13,2	10,0	5,6	0,3	8,3
HOE	-0,1	-6,5	nan	nan	10,6	12,1	14,5	15,2	11,8	8,2	4,1	-0,8	6,8
PAK	-4,5	-10,8	-5,7	2,4	5,4	7,4	9,8	10,3	7,5	3,6	-0,7	-5,0	1,7

Tabelle 2: Monats- und Jahresmittel der Temperatur in °C aus den 10-Minuten Daten der Messstationen (von oben nach unten der Höhe entsprechend sortiert). Sind im betrachteten Mittelungszeitraum weniger als 80 % an Daten verfügbar, wurde kein Mittel berechnet (nan).

Der Februar war an allen Stationen der mit Abstand kälteste Monat. Er lag mit etwa -2 bis -1 °C an den Stationen im Stadtbereich um ca. 2 °C unter dem langjährigen Mittel 1981-2010, auf dem Patscherkofel mit fast -11 °C um ca. 4 °C unter dem Durchschnitt. Der wärmste Monat war der August. Er übertraf mit gut 20 °C im Stadtbereich auch die wärmsten Monate der beiden Vorjahre.

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 Februar, Mai, August und Dezember 2018. 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.

Anhand des tageszeitlichen Verlaufs in der Abbildung 2 kann man erkennen, dass die Profile nachts (grüne und blau-violette Linien) generell steiler sind, es war also stabiler als tagsüber (rote und hellbraune Linien). Der Grund dafür ist, dass der mittlere Tagesgang in den unteren Niveaus (2018 waren es 8 bis 8,5 Grad an den Stationen UNI, HBF, ODO und ALP) deutlich größer war 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 etwas größere Tagesgang an den Stationen UNI und ALP gegenüber HBF und ODO der niedrigeren Messhöhe über Grund (vgl. Tabelle 1) zuzuschreiben¹.

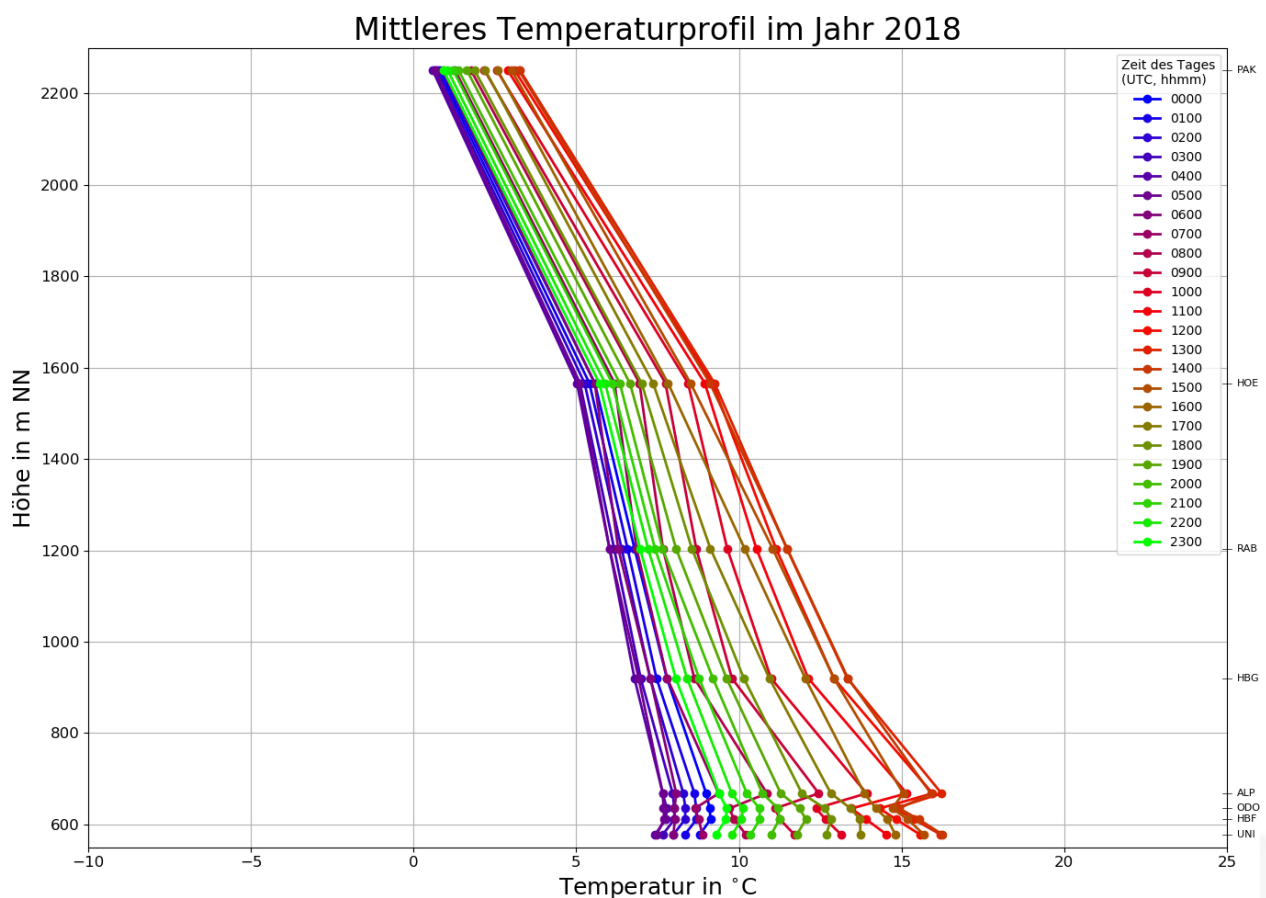


Abbildung 2: Stündliche Temperaturprofile im Jahresmittel. Zur Umrechnung auf Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ist eine Stunde zu addieren, 12 Uhr UTC entspricht also beispielsweise 13 Uhr MEZ.

Ebenso sind die Profile im Allgemeinen während der kühlen Jahreszeit steiler, da es dann im Durchschnitt stabiler ist. Im Jahr 2018 traf dies vor allem auf die Monate Jänner und Dezember zu. Dabei sind die Dezember-Profile sogar tagsüber bis zur Höttinger Alm hinauf nahezu senkrecht (Abb. A19, Dezember). Hingegen wies der mit Abstand kälteste Monat, der Februar, vergleichsweise labile Schichtungen auf (Abb. A19, Februar). Die Temperaturen waren nicht durch

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.

ein Kältehoch bedingt, sondern von einem Tief mit Höhenkaltluft, was für labile Schichtungen sorgte. Dies wirkte sich zum Beispiel auch auf die Anzahl der Sonnenstunden aus, die sowohl in der Stadt als auch auf dem Patscherkofel um 15 bis 20 % unterdurchschnittlich waren.

Im Frühjahr, wenn es in tiefen und bis mittleren Lagen aper wird und auf den Bergen noch Schnee liegt, erwärmen sich vor allem die niedrigeren Niveau, während es in der Höhe noch kühler bleibt. Dadurch wird die Atmosphäre labiler, vor allem tagsüber. So wurde es 2018 zur wärmsten Tageszeit von Jänner bis April in den untersten Schichten um ca. 15 Grad wärmer, am Patscherkofel nur um knapp 8 Grad, wodurch der April bezüglich dieser Schicht der labilste Monat war. Zum Hochsommer hin wird die Atmosphäre weiter hinauf durchmischt, auch die höheren Schichten erwärmen sich mehr, wodurch es dann sogar ein wenig stabiler wird.

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.

Bei der Auswertung der Stabilität mittels TAWES und Tempis-Stationen werden jeweils zwei benachbarte Niveaus verglichen. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Klassen für die verschiedenen Schichten im Jahr 2018. Gegenüber den beiden Vorjahren gibt es keine wesentliche Veränderung.

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.

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

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.

Stabilitätsverteilung im Jahr 2018

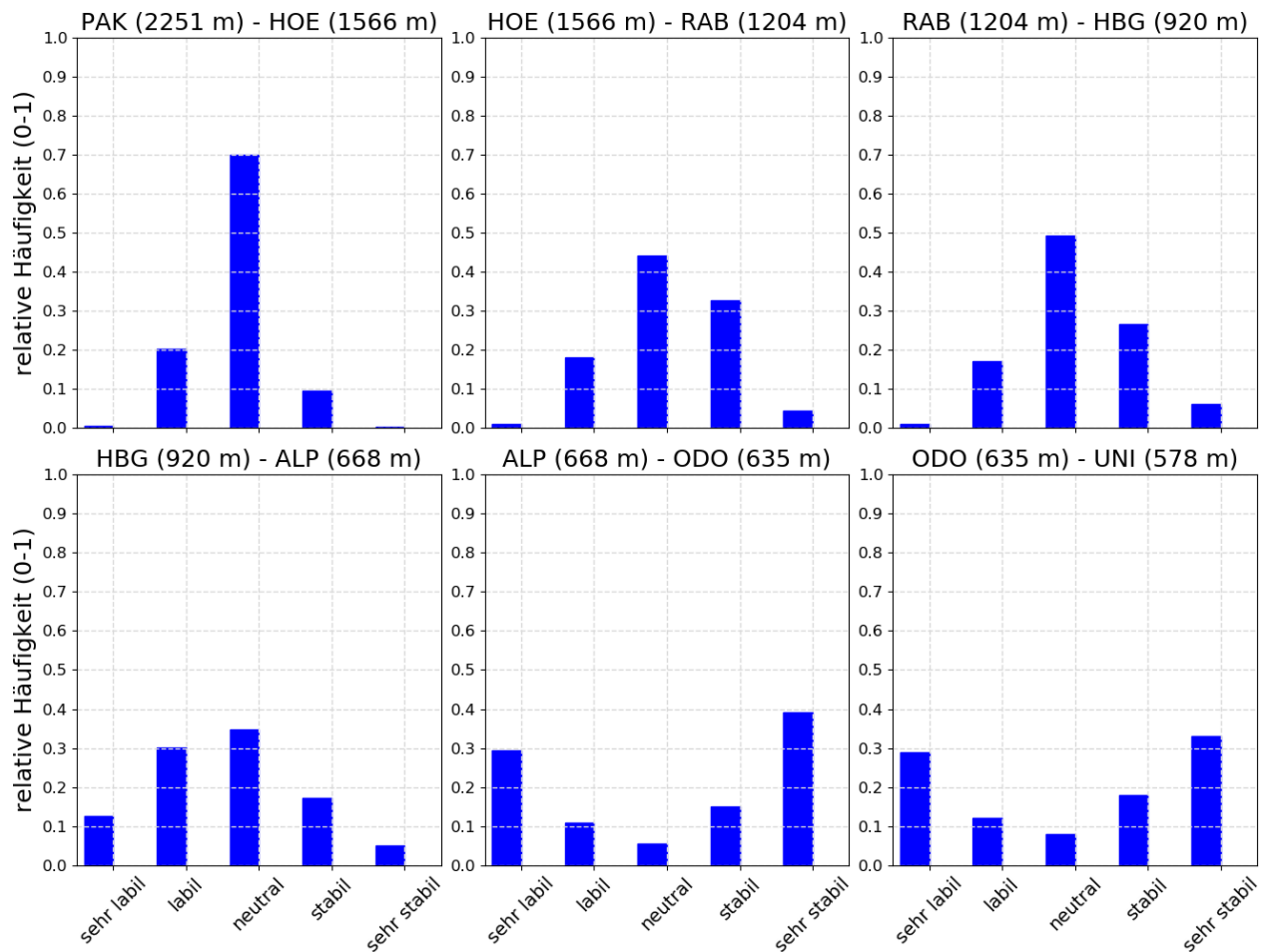


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Stabilitätsklassen im Jahr 2018 zwischen Patscherkofel und Höttinger Alm (oben links), Höttinger Alm und Rastlboden (oben Mitte), Rastlboden und Hungerburg (oben rechts), Hungerburg und Alpenzoo (unten links), Alpenzoo und Olympischem Dorf (unten Mitte), Olympischem Dorf und Innsbruck Uni (unten rechts).

Dieses Muster tritt mehr oder weniger stark ausgeprägt das ganze Jahr über auf. Über alle Schichten betrachtet, zeigte sich der Dezember am stabilsten (Abbildung A20 im Appendix). Abgesehen von der obersten Schicht (PAK-HOE) lag die Häufigkeit von stabilen bis sehr stabilen Fällen zwischen 48 und 57 %. Dies ist nicht ganz so stabil wie die stabilsten Monate der Vorjahre (2016 Dezember mit Häufigkeiten zwischen 59 und 83 %, 2017 Februar mit Häufigkeiten zwischen 50 und 70 %). Im Großen und Ganzen war es im Frühjahr am labilsten, wie aus den Erkenntnissen des Abschnitts 3.2 zu vermuten ist. Bis zum Rastlboden hinauf stach vor allem wieder der April heraus. Die Häufigkeit von labilen bis sehr labilen Fällen betrug im April 34 bis 57 %. Oberhalb des Rastlbodens war aufgrund der Datenausfälle auf der Höttinger Alm keine Auswertung möglich.

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. Wie sich gezeigt hat, eignet sich die 342 m mächtige Schicht Flughafen-Hungerburg für diese Auswertung am besten.

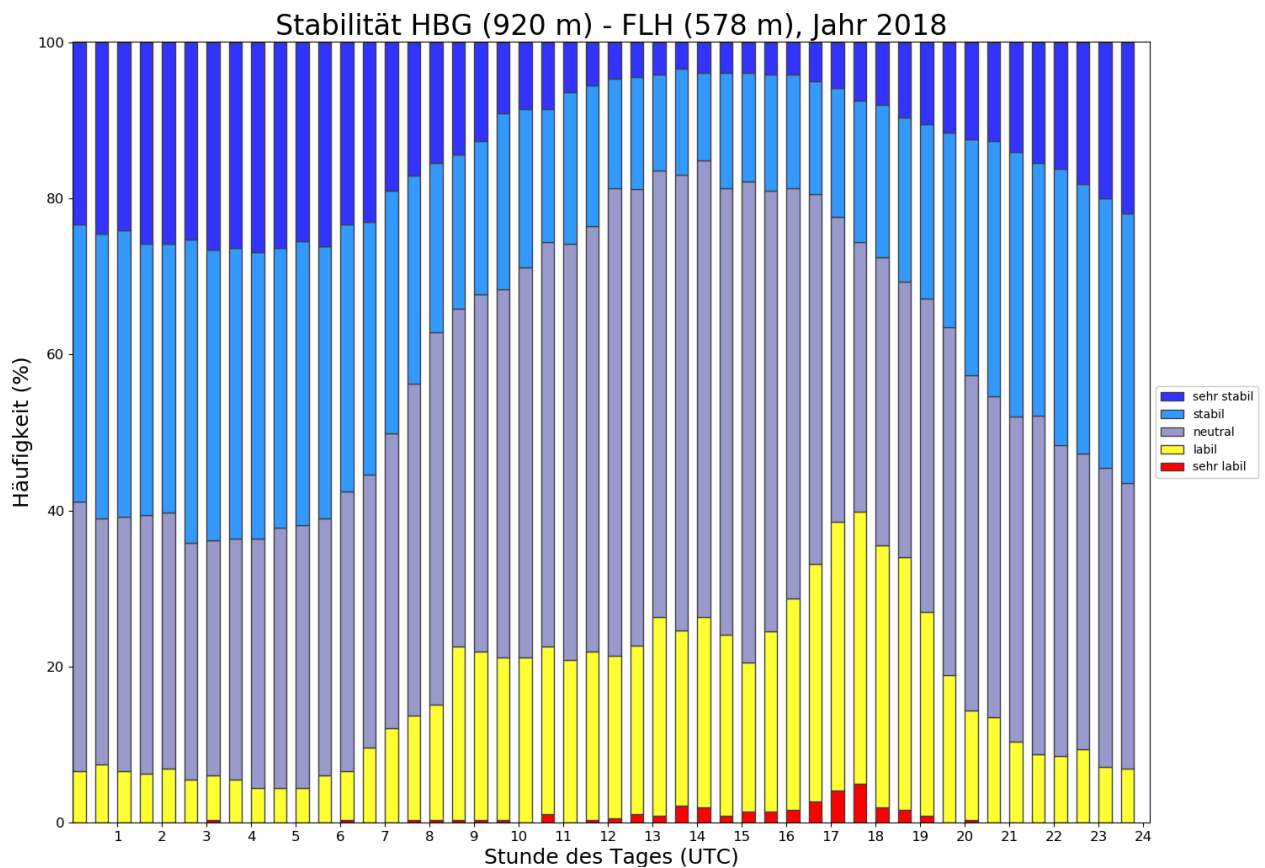


Abbildung 4: Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen aus den stündlichen Temperaturmitteln in der 342 m dicken Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg im Jahr 2018.

Grundsätzlich dominieren nachts ab etwa 22 UTC bis in die Morgenstunden um ca. 7 UTC die (sehr) stabilen Verhältnisse (ca. 50 bis 60 %), ansonsten die neutrale Schichtung. Mit der Einstrahlung steigt die Häufigkeit der labilen Klasse vormittags auf knapp über 20 %, den Maximalwert erreicht sie zwischen etwa 17 und 19 UTC mit etwa 40 %. Sehr labil ist es kaum (weniger als 5 %). 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 den beiden Vorjahren sind die Unterschiede der Stabilitätsverteilung marginal (vergleiche Abbildung A21 und A22 im Appendix). In der Häufigkeitsreihung der (sehr) stabilen Klasse lag 2018 für die Nacht- und Morgenstunden geringfügig vor 2017 und dieses vor 2016. Zur wärmsten Tageszeit war es 2018 mit der gleichen Reihenfolge eine Spur labiler. Man kann vermuten, dass die höhere Anzahl an Sonnenstunden (2016: 1962 h, 2017: 2096 h, 2018: 2204 h) auf mehr Hochdruckphasen hinweist, was zu stärkerer nächtlicher Auskühlung (stabiler) und einer größeren Tageserwärmung (labiler) führte.

In den einzelnen Monaten zeigt sich der komplexe Zusammenhang zwischen Stabilität, Strahlungsangebot und Wetterlagen (Abb. A23). Der relativ warme Jänner war stabiler als der deutlich kältere Feber! Letzterer war - wie in Abschnitt 3.2 erwähnt - von Höhenkaltluft geprägt, die einerseits zu kalten Verhältnissen und andererseits größeren Temperaturunterschieden zwischen Talniveau und höheren Lagen und damit labileren Verhältnissen führte. Am labilsten war

es im rund 2 °C zu warmen, sehr sonnigen (225 h, das entspricht einem Plus von 15 %) Juni. Gleich nach Sonnenaufgang nimmt die Labilität rasch zu, nach Sonnenuntergang wird die Schichtung schnell wieder neutral oder stabil, in den kurzen Nächten aber so gut wie nie sehr stabil. Wie schon im Vorjahr ist ab dem späten Vormittag 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. Auch im September war es bei einem Plus von 31 % an Sonnenstunden um gut 2 °C zu warm. Ursache waren häufige Hochdruckphasen, welche schlussendlich nachts für überwiegend stabile, tagsüber großteils neutrale Schichtungen sorgten. Im Vorjahr verursachte häufiger Tiefdruckeinfluss im September einen höheren Anteil an labilen bis neutralen Schichtungen (siehe Appendix 2017, Abbildung A24).

In Bezug auf die Schadstoffkonzentration kommt es neben der Häufigkeit insbesondere auf die Dauer von stabilen Phasen an. Deshalb wurden (analog zur Auswertung der Kalmendauer in Abschnitt 5.4) für die Schicht Flughafen bis Hungerburg die verschiedenen Dauerstufen der (sehr) stabilen Phasen analysiert. Sie sind zusammen mit den Werten der beiden Vorjahre in Tabelle 4 zusammengefasst.

HMW-Dauer		Anzahl			Gesamtdauer (Wochen)		
von	bis	2016	2017	2018	2016	2017	2018
1	2	258	347	331	0,9	1,3	1,3
3	6	76	85	109	0,9	1,0	1,4
7	12	40	46	53	1,0	1,2	1,4
13	24	90	76	91	5,1	4,0	5,2
25	48	49	80	81	4,7	7,7	7,9
49	inf	16	13	14	6,3	4,4	3,9
SUMME					19,0	19,7	21,1

Tabelle 4: Häufigkeit verschiedener Dauerstufen mit (sehr) stabiler Schichtung zwischen Flughafen (587 m) und Hungerburg (920 m), sowie deren Gesamtdauer in den Jahren 2016 bis 2018. Wie in Tabelle 3 definiert, bedeutet (sehr) stabil eine Temperaturabnahme von höchstens 0,4 °C/100m. HMW steht für Halbstundenmittelwert.

Erwartungsgemäß kommen kurze Phasen bis 6 Stunden (12 HMW) zwar relativ häufig vor, sie machen insgesamt aber nur einen geringen Anteil an der Gesamtdauer aus. In Summe haben diese gegenüber den beiden Vorjahren von knapp drei (2016) bis dreieinhalb (2017) Wochen auf vier Wochen im Jahr 2018 zugenommen. Fasst man die nächsten beiden Klassen mit 6,5 bis höchstens 24 Stunden zusammen, so sind hier vor allem stabile Schichtungen aufgrund nächtlicher Auskühlung zu vermuten. Auch hier ist die Gesamtdauer angestiegen, und zwar von etwa zehn Wochen 2016, bzw. knapp elf Wochen 2017 auf über 13 Wochen im letzten Jahr. Bei länger anhaltenden stabilen Phasen mit mehr als 24 Stunden hat sich die Häufigkeit wenig verändert (13 bis 16 solche Perioden). Jedoch ergibt sich bei der Gesamtdauer ein deutlicher Rückgang, und zwar von 6,3 Wochen 2016 auf 4,4 Wochen 2017 und 3,9 Wochen 2018.

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.

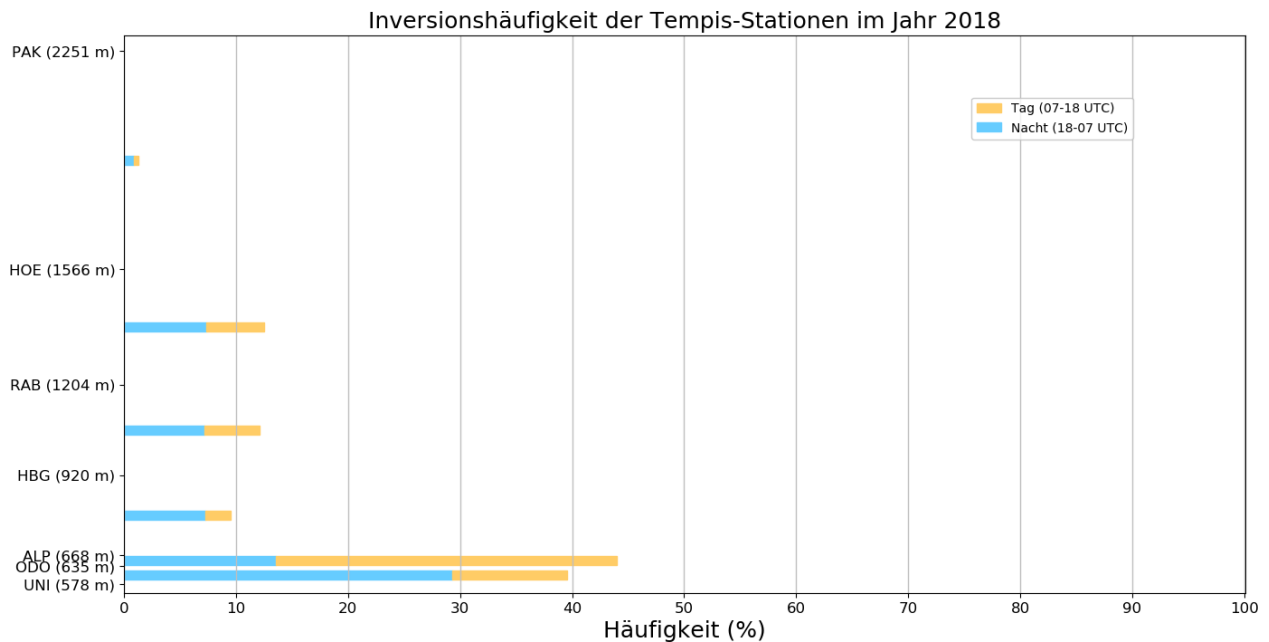


Abbildung 5: Häufigkeit der Inversionen in den verschiedenen Schichten im Jahr 2018. Gelbe Balken stehen dabei für den Anteil zwischen 7 und 18 UTC (8 und 19 MEZ), blau für den Anteil zwischen 18 und 7 UTC (19 und 8 MEZ), vereinfacht also für den Tages- und Nachtanteil.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Inversionshäufigkeit in den verschiedenen Schichten im Jahr 2018. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren hat sie sich folgendermaßen verändert: In der untersten Schicht sind Inversionen etwas häufiger geworden, in der nächsten Schicht waren sie ähnlich oft anzutreffen wie in den beiden Vorjahren, darüber etwas seltener. Zwischen Innsbruck Uni und dem Olympischen Dorf gab es während knapp 40 % des Gesamtzeitraums eine Inversion (2016 33 %, 2017 35 %). In der darüber liegenden Schicht bis zum Alpenzoo hinauf lag die Häufigkeit bei 44 % (2016 43 %, 2017 44 %), oberhalb davon nahm sie auf 10 bis 12 % ab (2016 waren es 13 bis 17 %, 2017 waren es 11 bis 16 %).

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 höchstens gleich häufig oder etwas 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 sowie in den einzelnen Monaten sind für 2018 in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Tabelle enthält darüber hinaus auch die Auswertungen für die beiden Vorjahre, um eine leichtere Vergleichbarkeit bieten zu können.

	Δz	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2018														
HBF	33	57	19	33	44	28	26	30	28	38	54	52	54	39
ODO	57	58	18	33	51	33	26	30	33	37	53	51	48	40
ALP	90	57	23	33	49	32	26	25	31	38	51	50	41	38
HBG	342	44	8	17	17	7	1	1	4	10	27	32	26	16
RAB	626	38	10	13	10	4	0	0	3	10	22	37	31	15
HOE	988	29	9	7	5	0	0	1	1	10	15	25	24	11
PAK	1673	4	2	1	0	0	0	0	0	4	1	5	9	2
2017														
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
2016														
HBF	33	45	35	17	26	23	16	33	40	51	38	39	82	37
ODO	57	36	32	19	25	21	15	27	34	46	34	37	78	34
ALP	90	33	28	18	23	19	14	16	27	42	34	32	88	31
HBG	342	28	24	6	10	8	1	1	4	14	14	22	79	18
RAB	626	30	18	4	8	6	1	1	1	12	12	23	76	16
HOE	988	26	14	8	9	0	1	1	2	8	9	17	72	15
PAK	1673	9	4	0	0	0	0	0	1	0	1	3	35	4

Tabelle 5: Die Inversionshäufigkeit (in %) zwischen Innsbruck Uni und der jeweiligen Station in den einzelnen Monaten bzw. gesamt (fett) im Jahr 2018 (oben), 2017 (Mitte) und 2016 (unten). Unter Δz ist die Schichtdicke (in m) angegeben. Die Häufigkeiten sind farbkodiert – je dunkler der Zellohintergrund, umso höher die Häufigkeit. In den Monaten März und April (2018) bzw. Feber bis April (2016) ist die Inversionshäufigkeit bis zur Höttinger Alm nur für den Anteil der vorhandenen Daten berechenbar (weiße Schrift).

Wie schon in den Vorjahren konzentrierten sich 2018 die Inversionen ganzjährig auf die Schicht unterhalb der Hungerburg und waren in der kalten Jahreszeit erwartungsgemäß häufiger als in der warmen. Ab der Hungerburg nahm die Häufigkeit der Inversionen mit zunehmender Schichtdicke stark ab. Der Patscherkofel lag nur noch selten innerhalb einer Inversion, und wenn, dann hauptsächlich in den Monaten November bis Februar.

Das Maximum der Inversionshäufigkeit wurde im Jahr 2018 bis inklusive der Höttinger Alm im Jänner verzeichnet. Die (extremen) Werte vom Dezember 2016 wurden aber bei weitem nicht erreicht. Häufige Inversionsbedingungen waren auch in den Monaten Oktober bis Dezember anzutreffen, unterhalb der Hungerburg an etwa jedem zweiten Tag, bis zur Höttinger Alm an jedem dritten bis vierten Tag. In den anderen Monaten gab es eine stärkere Abnahme der Inversionshäufigkeit bei höher gelegenen Stationen im Vergleich zu den Stationen im Tal. Nachts (18 bis 7 UTC) nahm die Inversionshäufigkeit mit zunehmender Schichtdicke (mit marginalen Ausnahmen) in allen Einzelmonaten ab (Tabelle A1 im Appendix). Tagsüber sind die zuvor erwähnten ‚künstlichen‘ Inversionen am Alpenzoo aufgrund der geschützten Südhanglage erkennbar (Tabelle A2 im Appendix): die Inversionshäufigkeit war während aller betrachteter Zeiträume 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 die Jahre 2017 und 2018 liegen für Schwaz noch keine Daten vor. Geht man von einer abnehmenden Inversionshäufigkeit mit zunehmender Schichtdicke aus, werden die vorliegenden Ergebnisse von Innsbruck bestätigt³.

³ In der Arbeit von Thudium werden die Inversionen 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 %.

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.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2018													
FLH	86	77	70	55	65	69	67	69	74	73	77	86	72
UNI	84	75	67	51	63	65	63	65	71	70	73	84	69
HBF	nan	nan	65	48	60	63	61	64	68	66	71	82	66
ODO	81	78	68	48	nan	68	66	68	74	70	75	88	71
ALP	75	76	65	50	65	68	67	68	73	69	70	85	69
HBG	77	85	71	52	69	75	72	73	79	71	74	88	74
RAB	76	86	74	56	71	77	75	74	78	71	69	82	74
HOE	73	81	nan	nan	72	76	73	72	75	70	66	73	72
PAK	78	82	84	72	81	82	78	79	75	75	73	74	78
2017													
FLH	82	76	68	68	64	64	74	75	82	79	85	86	75
UNI	78	72	64	65	60	60	71	73	81	77	83	85	72
HBF	75	70	61	62	57	58	69	70	77	72	81	82	70
ODO	76	72	63	64	59	61	70	72	79	73	83	83	71
ALP	78	71	66	67	64	65	77	78	85	79	85	85	75
HBG	75	69	69	72	66	67	80	79	87	76	85	84	76
RAB	70	66	69	75	70	70	81	79	87	74	84	82	76
HOE	65	65	66	75	70	69	77	75	85	67	77	76	72
PAK	63	72	72	81	79	74	80	76	87	68	78	79	76
2016													
FLH	87	78	70	67	70	76	75	75	75	80	80	78	76
UNI	84	74	66	63	66	72	71	72	71	77	77	74	72
HBF	81	72	64	61	64	70	70	69	69	75	75	69	70
ODO	83	74	67	63	65	72	71	71	70	76	74	69	71
ALP	86	75	68	65	70	79	78	78	76	80	76	71	75
HBG	84	74	72	68	71	81	79	79	76	83	80	62	76
RAB	78	74	75	71	74	84	82	82	76	85	80	54	76
HOE	73	nan	nan	nan	74	83	78	79	74	84	76	49	74
PAK	81	85	86	85	88	89	86	79	78	84	77	51	81

Tabelle 6: Relative Feuchte in % an den Tempis Stationen in den einzelnen Monaten bzw. gesamt (fett) im Jahr 2018 (oben), 2017 (Mitte) und 2016 (unten). Die Häufigkeiten sind farbkodiert, wobei rote Farben für eher trockene Verhältnisse stehen, grüne für feuchtere. In den Monaten mit weniger als 80 % an verfügbaren Daten wurden keine Mittel bestimmt, sie sind mit ‚nan‘ gekennzeichnet.

Übers Jahr gerechnet lag die relative Feuchte 2018 zwischen 66 und 78 % (Tabelle 6, oben). Die niedrigsten Werte waren dabei am Hauptbahnhof zu finden, aufgrund des hohen Anteiles an versiegelten Flächen in der Umgebung. An der Station Innsbruck Uni sorgte der Garten mit Rasen und Bäumen für mehr Feuchte. Am feuchtesten war es auf dem Patscherkofel, der aufgrund seiner Höhe bereits oft in Wolken steckt.

In Tallagen ist im Winter die relative Feuchte tendenziell höher als in den wärmeren Jahreszeiten. 2018 sticht der April an allen Stationen als trockenster Monat heraus. Ähnlich tiefe Werte wurden nur im Dezember 2016 verzeichnet, wobei hier vor allem die Stationen oberhalb des Alpenzoos betroffen waren, während im April 2018 insbesondere an den talnahen Stationen sehr niedrige Feuchtwerte auftraten. Die Ursache liegt in den zahlreichen Föhntagen in der ersten Aprilhälfte, auf welche eine lange Schönwetterperiode folgte. Die trockenen Verhältnisse hielten aufgrund der relativ hohen Temperaturen und unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen bis weit in den Herbst hinein an. Am feuchtesten war es im Jänner und Dezember, sowie noch während der ersten Feberhälfte durch die Kombination aus häufigen Niederschlägen, überdurchschnittlichen Mengen und vor allem im Jänner und Dezember dem stabilitätsbedingten fehlenden (Ab-) Transport der Feuchte.

In der Talsohle ist der Tagesgang stärker ausgeprägt als in höheren Niveaus. Dies lässt sich aus dem Vergleich der Stationen Hauptbahnhof und Höttinger Alm in Abbildung 6 erkennen. Tagsüber war es durch die Temperaturzunahme sowie die vertikale Durchmischung trockener als nachts. Maßgeblich für die Muster sind Stabilität der Atmosphäre (Vertikaltransport) und Wetterlagen (Horizontaltransport).

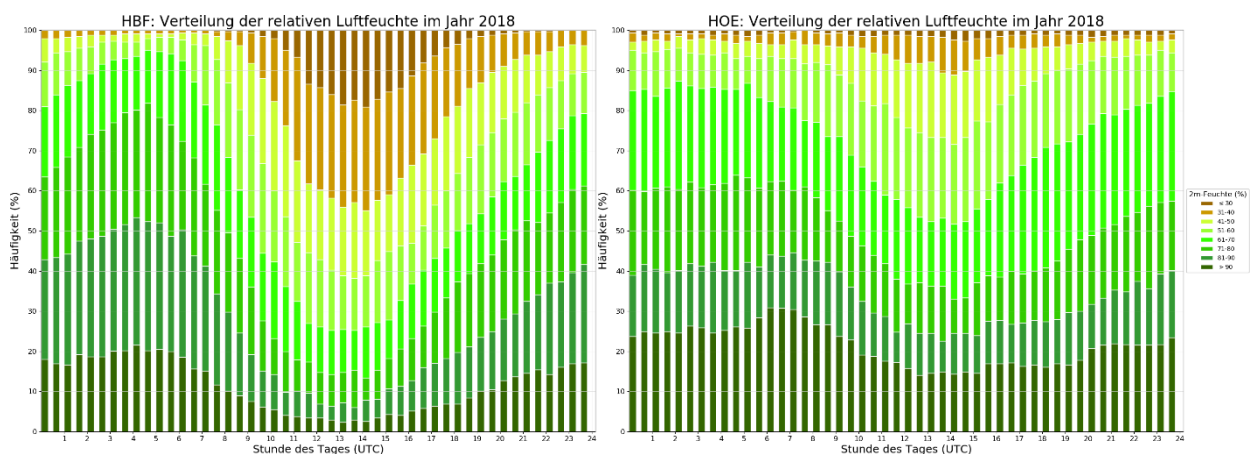


Abbildung 6: Tagesgang der Häufigkeitsverteilung der relativen Feuchte am Hauptbahnhof (links) und auf der Höttinger Alm (rechts) im Jahr 2018.

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. Insgesamt hat sich an den Verteilungen gegenüber den beiden Vorjahren wenig verändert. Da für die Luftqualität weniger die Windrichtung sondern vielmehr die Geschwindigkeit ausschlaggebend ist und diese an den aus den Vorjahren bekannten Windrosen nur schwierig ablesbar sind, wird zusätzlich zur Abbildung der Windrose die Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen für die Station Hauptbahnhof gezeigt (Abbildung 6). Die Richtungs- und Geschwindigkeitsverteilung an der Messstelle Olympisches Dorf sind in Abbildung A26 im Appendix zu sehen.

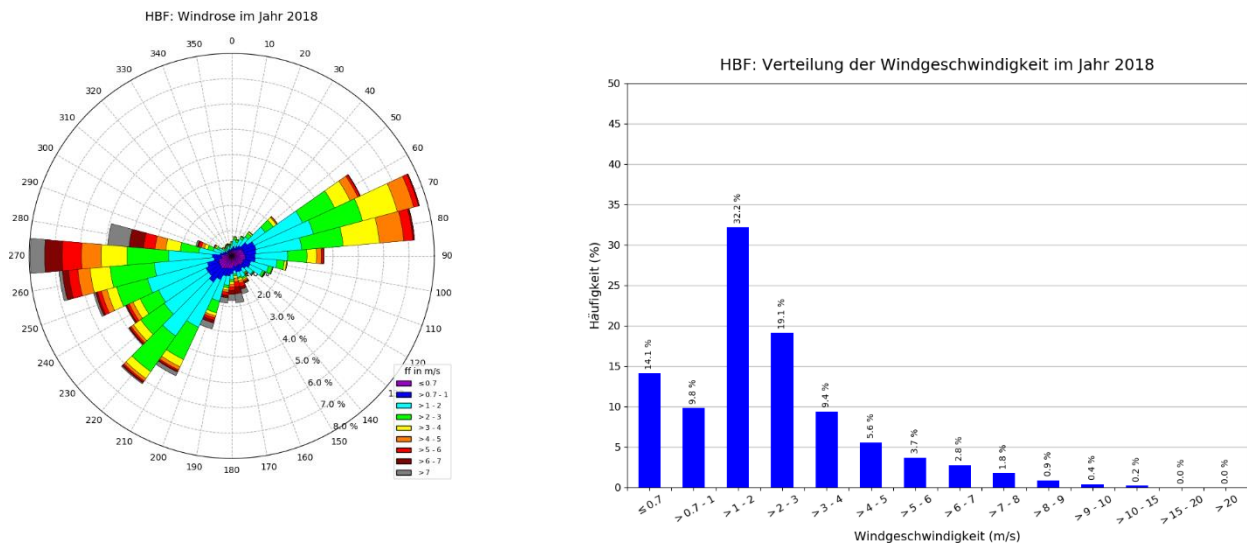


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung mit Farbskalierung der dabei auftretenden Geschwindigkeit (links) und der Geschwindigkeitsklassen (rechts) für das Jahr 2018 für die Station Hauptbahnhof.

Die Station ist einerseits vom nächtlichen Ausfließen aus dem Inn- und Wipptal aus den Sektoren West bzw. Südwest betroffen, wobei hier der Wind meistens schwach ist. Andererseits kann bereits bei mäßig ausgeprägten Südföhnlagen der Wind aus dem Wipptal recht ungehindert vordringen. Dieser geht mit höheren Windgeschwindigkeiten einher. Taleinwärts gerichteter Wind aus dem Ost-Nordost-Sektor ist hingegen meist schwächer. Zu gut der Hälfte der Gesamtzeit (56 %) wehte 2018 der Wind mit höchstens 2 m/s, in etwa 15 % der Gesamtzeit sind die Windgeschwindigkeiten höher als 4 m/s. Insgesamt fiel das Jahr damit etwas windiger aus als die beiden Vorjahre, in denen es jeweils zu 64 % der Zeit weniger als 2 m/s Wind hatte und nur zu 11 (2016) bzw. 10 % der Zeit mehr als 4 m/s.

5.2 Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind

Wie anhand der Tabelle 7 ersichtlich ist, lagen 2018 die Monats- bzw. das Jahresmittel der mittleren Windgeschwindigkeiten an den Stationen am Talgrund zwischen 1,5 und 4,3 m/s (2016 1,2 - 4,3 m/s; 2017 1,4 - 3,5 m/s).

NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
FLH	2,6	1,9	2,5	3,5	2,7	2,0	1,9	2,4	1,6	2,5	2,6	2,0	2,4
UNI	2,1	2,0	2,3	2,9	2,4	2,2	2,0	2,2	1,7	2,1	2,2	1,5	2,1
HBF	2,6	2,0	2,7	3,5	2,4	2,2	2,0	2,3	1,8	2,4	2,5	1,8	2,4
ODO	2,6	3,1	3,4	4,3	nan	3,1	2,9	3,1	2,5	3,3	3,3	2,0	3,1
PAK	10,3	5,9	8,6	10,5	6,2	4,4	3,7	4,7	3,9	10,1	10,5	7,3	7,2

Tabelle 7: Monats- und Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s an den Stationen mit Windmessung für das Jahr 2018.

Am Patscherkofel beträgt der Jahresmittelwert bei 7,2 m/s, wobei gleich vier Monate mit etwas über 10 m/s vertreten sind (im Vorjahr war der Dezember mit 9,6 m/s der windstärkste Monat, 2016 war es der Feber mit 10,6 m/s). Die höchsten Monatsmittel traten an allen Stationen im April auf, was auf die sehr häufigen Föhndurchbrüche bis ins Tal (vergleiche auch Abschnitt 4) zurückzuführen ist.

In Tabelle 8 sind die drei stärksten Windereignisse jeder Station gelistet. Während im Vorjahr vor allem Gewitter und Kaltfronten (aus West bis Nordwest) die höchsten 10-Minuten Mittel verursacht haben, traten 2018 die stärksten Ereignisse hauptsächlich bei Südföhnlagen auf. Dies erklärt auch, wieso im Tal im Gegensatz zum Vorjahr nicht am Flughafen, sondern im Olympischen Dorf die höchsten Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Am „schwächsten“ war der Wind wie schon 2016 und 2017 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.	01.08.	16,4	249	21.06.	11,5	339	01.03.	16,1	203	31.10.	18,3	188	30.10.	39,1	164
2.	29.08.	14,8	252	03.01.	11,3	292	04.06.	13,9	204	13.04.	18,2	185	06.11.	32,6	167
3.	30.10.	14,6	159	04.04.	11,1	183	01.08.	12,6	250	15.03.	17,9	189	23.11.	32,2	168

Tabelle 8: Datum, Windgeschwindigkeit im 10-Minutenmittel (ff, in m/s) und Windrichtung (dd, in Grad) der jeweils drei stärksten Ereignisse im Jahr 2018.

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), kritischer ist der Schwellenwert von 8 Beaufort (=17,2 m/s).

Beide Grenzwerte wurden 2018 häufiger überschritten als in den beiden Vorjahren. Dies gilt sowohl für die Zahl der Tage, als auch den prozentuellen Anteil an der Gesamtzeit. Tabelle 9 gibt eine Übersicht zur prozentuellen Überschreitungszeit der beiden Grenzwerte.

>= 6 Beaufort						>= 8 Beaufort				
% Gesamtzeit						% Gesamtzeit				
	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
2018	6,3	5,4	6,9	10,8	31,7	1,1	0,8	0,9	2,5	15,1
2017	5,0	3,7	4,8	7,4	31,2	1,0	0,4	0,6	1,2	11,3
2016	4,8	4,5	6,1	8,7	28,1	0,7	0,6	0,7	2,2	13,5

Tabelle 9: Prozentuelle Überschreitungszeiten der Böen von 6 bzw. 8 Beaufort (mit Ausnahme der Station Patscherkofel farbkodiert) bezogen auf die gesamte Periode des jeweiligen Jahres für alle Stationen mit Windmessung.

In Tabelle 10 sind die drei stärksten Böenereignisse jeder Station gelistet. Mit einem Maximalwert von 105 km/h, gemessen am 31.10. auf dem Hochhaus im Olympischen Dorf, lag der Spitzenreiter der Talstationen 2018 weit abgeschlagen hinter der am Flughafen 2017 registrierten Spitzenböe von 165 km/h. Der Maximalwert von 2016 (110 km/h) wurde nicht ganz erreicht. Wie schon beim Mittelwind standen 2018 fast alle der gelisteten Top-3-Ereignisse im Zusammenhang mit Föhn. Ausnahmen waren die Ereignisse im August, die von Gewittern bzw. einer Kaltfront verursacht wurden, und das Starkwindereignis an Weihnachten, ebenfalls aufgrund einer Kaltfront.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx
1.	03.04.	27,6	169	03.04.	26,2	170	24.12.	26,2	292	31.10.	29,2	169	30.10.	46,2	167
2.	01.08.	26,6	258	31.10.	25,3	167	03.04.	26,1	211	15.03.	28,4	188	30.03.	40,2	190
3.	31.10.	24,6	135	15.03.	23,5	185	01.03.	24,2	203	06.08.	27,0	247	31.10.	39,2	171

Tabelle 10: Datum, Windgeschwindigkeit der 2-Sekunden Böe (ffx, in m/s) und Windrichtung (ddx, in Grad) der jeweils drei stärksten unabhängigen Ereignisse im Jahr 2018.

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. Wie in den beiden Vorjahren waren am Flughafen Kalmen mit 21 % am häufigsten (2016: 23 %, 2017: 24 %), am seltensten erwartungsgemäß am Patscherkofel mit 1,8 % (2016: 2,4 %, 2017 1,8 %). An den Stationen Universität, Hauptbahnhof und Olympisches Dorf kamen Kalmen zu 14 bis 19 % der Gesamtzeit vor (in den Vorjahren 1 bis 3 Prozentpunkte häufiger). Der Grund, dass Kalmen an den Standorten in der Stadt seltener als am relativ frei liegenden Flughafen sind, dürfte einerseits an der Höhe des Windsensors über Grund liegen⁴ 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 11 enthält die Übersicht zur Kalmen-Auswertung für 2018. Zum ersten Mal seit 2016 wurde die Klasse über 1 Tag (48 HMW) verzeichnet, und zwar an der Station Olympisches Dorf.

⁴ 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.

Ansonsten waren die Kalmen deutlich kürzer, die Klasse 12 bis 24 Stunden trat gar nicht auf (im Vorjahr an 2 Standorten je einmal). Die Klasse mit 6,5 bis 12 Stunden (13 bis 24 HMW) wurde je zweimal am Flughafen und Hauptbahnhof verzeichnet, einmal im Olympischen Dorf. In Summe gab es an den Stationen Flughafen, Universität und Hauptbahnhof deutlich weniger Kalmen als in den beiden Vorjahren (Größenordnung 150 bis 250 Stunden), im Olympischen Dorf gut 100 Stunden weniger als noch 2017, aber rund 80 Stunden mehr als 2016.

HMW-DAUER		ANZAHL PERIODEN				
VON	BIS	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
1	2	1497	1476	1177	1336	207
3	6	399	263	241	268	16
7	12	36	14	16	16	1
13	24	2	0	2	1	0
25	48	0	0	0	0	0
49	inf	0	0	0	1	0
Summe der HMW		3714	2960	2523	3307	311

Tabelle 11: Häufigkeit verschiedener Klassen der Kalmendauer und Summe aller Halbstundenmittelwerte (HMW) an den verfügbaren Windstationen im Jahr 2018. Bei Kalmen liegt der HMW unter 0,8 m/s.

6 Fazit

Die über weite Strecken guten Messdaten der Tempis-Stationen lieferten für das Jahr 2018 erneut wertvolle Einblicke in die Talatmosphäre entlang des Südhangs der Nordkette, ergänzt durch die Stationen in Innsbruck und auf dem Patscherkofel. Es war gut 1 °C wärmer als im Vorjahr. Die Unterschiede in den Verteilungen der Stabilität gegenüber 2016 und 2017 waren marginal. Die Gesamtdauer an stabilen Phasen nahm etwas zu, die Kalmendauer hingegen leicht ab. Insbesondere das Sommerhalbjahr fiel durch sehr trockene Verhältnisse in Talnähe auf.

7 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.