

# Auswertung des TEMPIS-Hangprofils Innsbruck für das Jahr 2021

Durchführung  
Kundenservice Tirol und Vorarlberg

Erstellt von  
Dr. Susanne Drechsel  
und  
Dr. Johannes Vergeiner

Februar 2022

# Inhalt

1	Einleitung .....	3
2	Stationen des Innsbrucker Hangprofils .....	3
3	Datenverfügbarkeit und -qualität im Jahr 2021 .....	5
4	Auswertung der Temperatur im Jahr 2021.....	5
4.1	Monats- und Jahresmitteltemperatur .....	5
4.2	Temperaturprofile.....	6
4.3	Stabilität.....	8
4.4	Inversionen .....	13
4.5	Einordnung in die Innsbrucker TEMPIS-Reihe seit 1999 .....	16
5	Auswertung der Feuchte im Jahr 2021.....	18
6	Auswertung des Windes im Jahr 2021 .....	20
6.1	Windrichtung.....	20
6.2	Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind .....	22
6.3	Windgeschwindigkeiten: 2 Sekunden Böen .....	23
6.4	Kalmen.....	24
7	Fazit.....	26

# 1 Einleitung

Die Auswertung des TEMPIS Hangprofils für das Jahr 2021 liefert nun bereits den sechsten Jahres-Überblick über die Temperatur- und Feuchteverteilung der Innsbrucker Talatmosphäre und die Windverhältnisse im Inntal. Neben den bekannten Stabilitäts- und Inversionsanalysen beinhaltet der vorliegende Bericht zum zweiten Mal eine Zeitreihe des Inversionsgeschehens in der Innsbrucker Talatmosphäre (in Abschnitt 4.5). Darüber hinaus konnte das aktuelle Jahr in den Kontext der mittleren Inversionshäufigkeit und – stärke der Gesamtmessreihe 1999 – 2021 gestellt werden.

## 2 Stationen des Innsbrucker Hangprofils

Bei den Stationen gibt es keine Veränderungen zu den vergangenen vier Jahren bzw. Berichten. Die wichtigsten Informationen zu den jeweiligen Standorten sind kurz in diesem Kapitel zusammengefasst, weitere Details sind im Appendix im Abschnitt A1 zu finden.

Wie bisher werden für das Innsbrucker Hangprofil die Stationen des TEMPeratur-Information-Systems (TEMPIS) verwendet, die über das Stadtgebiet und in verschiedenen Höhenlagen der Nordkette verteilt sind: Hauptbahnhof (HBF), Olympisches Dorf (ODO), Alpenzoo (ALP), Hungerburg (HBG), Rastlboden (RAS) und Höttinger Alm (HOE). Das Hangprofil wird ergänzt durch die teilautomatischen Stationen (TAWES) der ZAMG am Flughafen (FLH) und auf dem Patscherkofel (PAK), sowie der in Kooperation mit dem Institut für Atmosphäre und Cryosphäre betriebenen Station Universität (UNI). Abbildungen A1 bis A6 im Appendix zeigen die einzelnen Stationen in ihrer Umgebung.

Abbildung 1 zeigt die Standorte im GoogleEarth Orthofoto, in Tabelle 1 sind Informationen zu den Koordinaten und der Instrumentierung aufgelistet. Temperatur und Feuchte werden an allen Stationen erfasst, an einigen wird zudem der Wind gemessen.

Mit Hilfe der TEMPIS-Stationen lassen sich unter anderem vertikale Profile von Temperatur und Feuchte erstellen. Dabei gilt es zu beachten, dass sich die Stationen alle auf den nach Süden exponierten Hängen der Nordkette befinden. Sie bilden nicht die sogenannte „freie Atmosphäre“ ab, sondern sind Strahlungseinflüssen und den daraus resultierenden Hangwinden ausgesetzt, was wiederum die Temperatur beeinflusst. Auf dem Patscherkofel ist der Einfluss der Topographie auf Temperatur, Feuchte und Wind nur mehr gering. Die Station kommt somit der „freien Atmosphäre“ am nächsten.

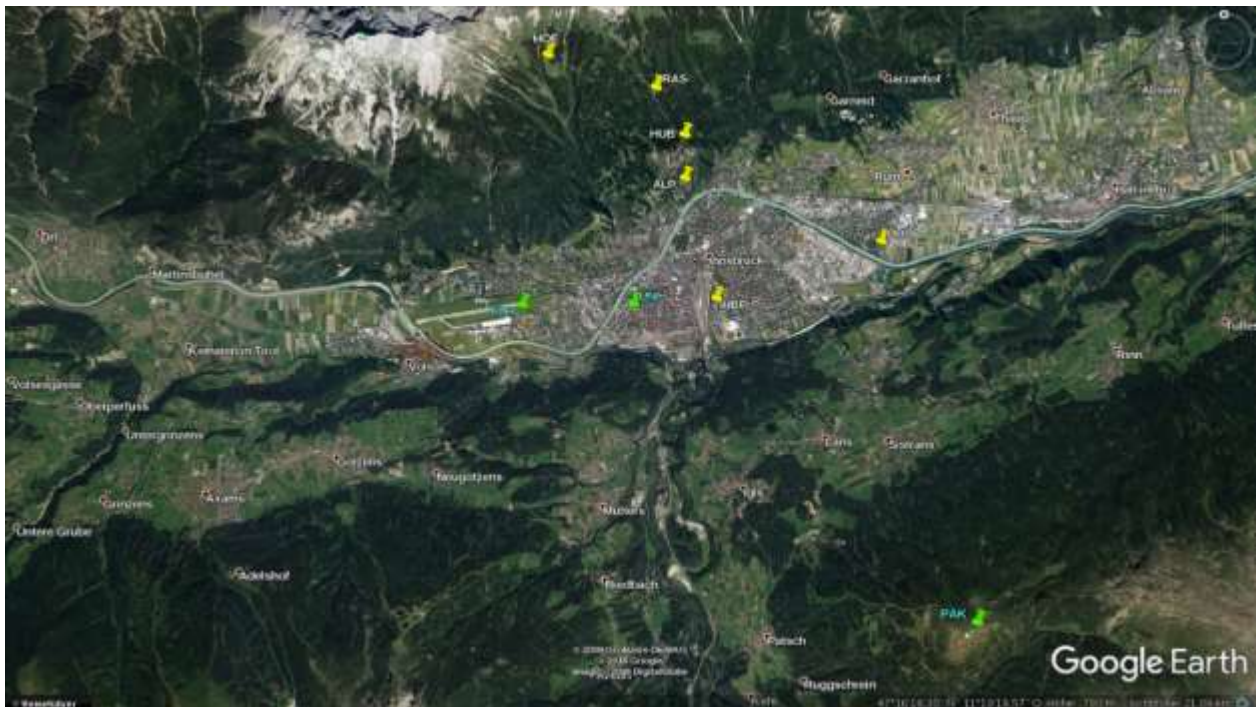


Abbildung 1: Satellitenfoto mit den Standorten der Tempis-Stationen (gelb) und zusätzlich der TAWES der ZAMG (grün) im Bereich Innsbruck, der Nordkette und auf dem Patscherkofel (Quelle: Google Earth).

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	11,405103	47,260656	611	25	6	ja	ja	ja
Olympisches Dorf	ODO	11.446341	47.270121	635	65	6	ja	ja	ja
Alpenzoo	ALP	11.397504	47.280986	665	3	3	ja	ja	nein
Hungerburg	HBG	11.397366	47.287872	907	11,5	0	ja	ja	nein
Rastlboden	RAB	11.390418	47.295204	1208	6,5	0	ja	ja	nein
Höttinger Alm	HOE	11,364569	47,299844	1566	3	3	ja	ja	nein
Flughafen	FLH	11.352065 11.356537	47.257720 47.259953	578	25 2	2	ja	ja	ja
Innsbruck Uni	UNI	11.385245 11.384243	47.264209 47.259850	578	47 2	2	ja	ja	ja
Patscherkofel	PAK	11.461691 11.462274	47.208718 47.208823	2248	28 2	2	ja	ja	ja

Tabelle 1: In den ersten fünf Spalten sind Name, Kürzel, Länge, Breite und Seehöhe (m ü.N.N.) 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 TAWES gibt es jeweils zwei Koordinatenangaben. Der erste Wert bezieht sich auf die Windmessung, der zweite auf Temperatur und Feuchte. In der siebten Spalte wird die Masthöhe angeführt. In den letzten drei Spalten wird festgehalten, ob Temperatur (T), relative Feuchte (rh) und Wind gemessen werden.

### 3 Datenverfügbarkeit und -qualität im Jahr 2021

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. Temperatur und Feuchte werden überall gemessen, Windgeschwindigkeit und -richtung an den Stationen FLH, UNI, HBF, ODO und PAK.

Die Datenverfügbarkeit für die Standorte bzw. Parameter für das Jahr 2021 liegt zwischen knapp 97 und 100 %, wobei die meisten Ausfälle oft nur wenige Stunden dauerten. Die Station Olympisches Dorf fiel (mit allen Parametern) im Juni aufgrund einer defekten Sicherung eine Woche lang aus. An der Station Hungerburg gab es wegen eines defekten Kabels des Hygrometers Ende September, Anfang Oktober 11 Tage keine Feuchtemessung. Am Patscherkofel sorgte ein defekter Windsensor für einen Datenausfall bei Richtung und Geschwindigkeit von gut einer Woche im August.

Was die Datenqualität betrifft, so werden sowohl die TAWES als auch die TEMPIS-Stationen bezüglich Auffälligkeiten automatisiert überwacht. Bei Ausfällen, Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Grenzwerte kommt es zu einer Kontrolle und gegebenenfalls zur Reparatur oder einem Tausch des betroffenen Sensors.

### 4 Auswertung der Temperatur im Jahr 2021

Für die Auswertung ist eine Mindestverfügbarkeit von 80 % an 10-Minuten Daten im betrachteten Zeitintervall gefordert. Diese Voraussetzung wurde im Jahr 2021 mit Ausnahme der Station Olympisches Dorf im Juni an allen Stationen und in allen Monaten erfüllt.

#### 4.1 Monats- und Jahresmitteltemperatur

Tabelle 2 zeigt die Monats- und Jahresmittel der Temperatur an allen betrachteten Stationen im Jahr 2021. Mit Jahresmittelwerten zwischen knapp unter 10 Grad im Stadtgebiet und 0,6 Grad auf dem Patscherkofel war es zwischen 0,2 und 1,7 Grad kühler als in den letzten fünf Jahren seit Beginn der hochauflösenden TEMPIS-Reihe 2016. Betrachtet man jedoch die bis 1877 zurückreichenden Temperaturreihen Universität Innsbruck, stellt sich heraus, dass es hier bis 1994 nie, und danach bis 2013 nur jedes 3. Jahr (7 mal) wärmer war als 2021.

Bezogen auf das Klimamittel 1981-2010 war es im Jahresschnitt um 0,6 Grad an der UNI und um 0,3 Grad am PAK wärmer als im Referenzzeitraum. Dabei waren an der UNI und am PAK die Hälfte der Monate unterdurchschnittlich, die andere Hälfte überdurchschnittlich temperiert (vergleiche Tabelle 3). Abgesehen vom unterdurchschnittlich kalten und an allen Stationen im Mittel frostigen Jänner, waren die Temperaturen im Mittel unterhalb vom Patscherkofel meist über Null Grad. Nur RAB und HOE zeigten auch im Dezember leicht negative Monatsmittelwerte. Über das gesamte Höhenprofil betrachtet fiel der Juni am wärmsten aus, jedoch deutlich weniger heiß als

der Rekordjuni 2019, welcher (zusammen mit dem Juni 2003) mit knapp 22 °C in der Stadt der heißeste Monat der Messgeschichte seit 1877 war.

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

Tabelle 2: Monats- und Jahresmittel der Temperatur in °C aus den 10-Minuten Daten der Messstationen (von oben nach unten der Höhe entsprechend sortiert) im Jahr 2021. Sind im betrachteten Mittelungszeitraum weniger als 80 % an Daten verfügbar, wurde kein Mittel berechnet (NA). Die Farbcodierung in „blau= kalt“ und „rot=warm“ soll eine schnelle Einordnung erleichtern.

Abweichungen vom Klimamittel 1981 - 2010													
NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
UNI	-0,4	3,2	-0,1	-0,8	-0,2	3,6	0,5	-0,4	2,2	-0,2	0,6	0,8	0,6
PAK	-2,9	3,5	-0,1	-1,7	-2,7	3,7	0,4	-1,0	2,2	-0,3	0,9	1,1	0,3

Tabelle 3: Temperaturabweichungen in °C in den einzelnen Monaten und im Jahr 2021 vom Klimamittel 1981 – 2010. Quelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/>

Der Temperaturunterschied von 0,7 °C zwischen den beiden gleich hoch gelegenen Stationen FLH und UNI war ähnlich wie in den Vorjahren. Er rührt vom Stadteffekt her und ist nicht nur im Jahresmittel, sondern auch in allen einzelnen Monaten vorhanden. Details zum Stadteffekt sind im Vorjahresbericht in Abschnitt 4.5 zusammengefasst.

## 4.2 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, im Appendix sind in Abbildung A7 die Monatsmittel für Jänner, Mai, Juli und Dezember 2021 zu sehen.

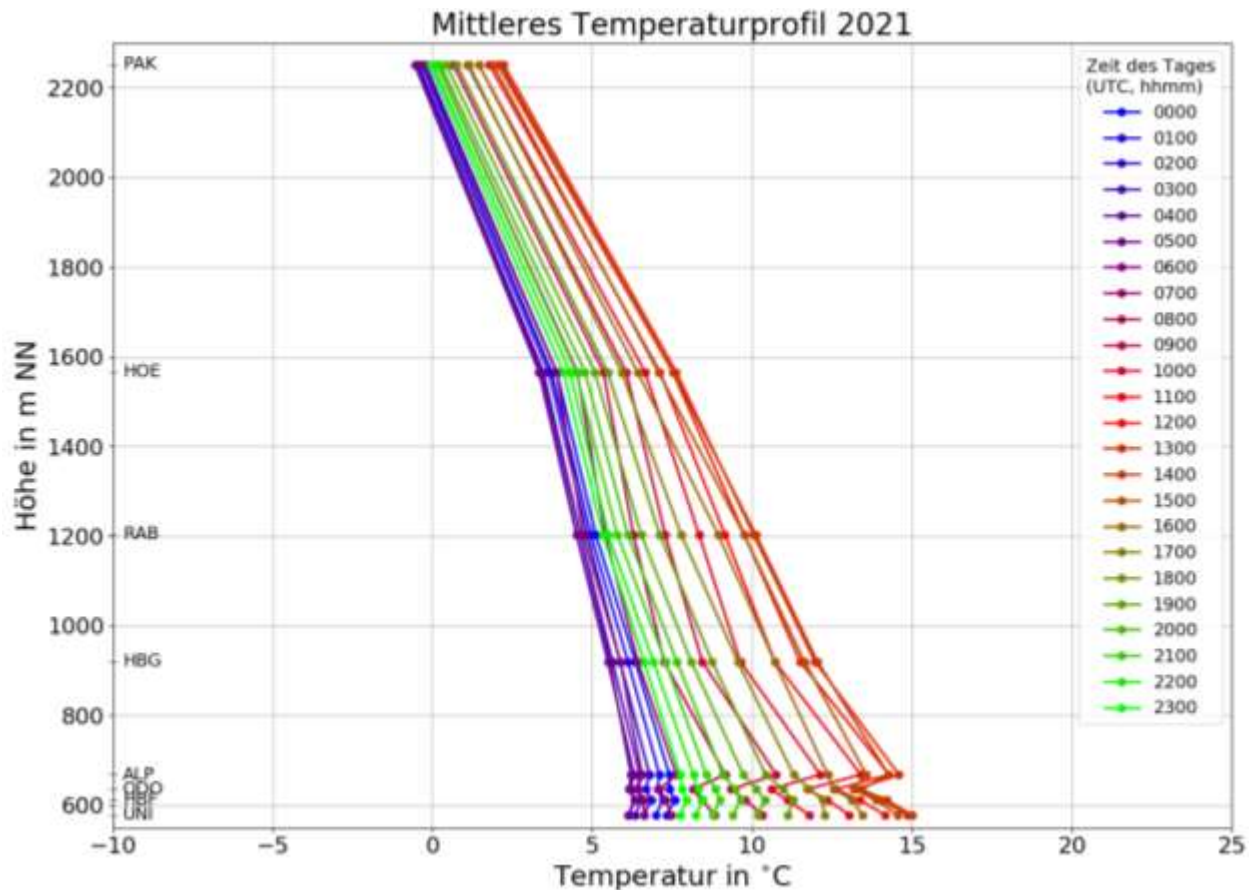


Abbildung 2: Mittlere stündliche Temperaturprofile im Jahresmittel 2021. Zur Umrechnung auf Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ist eine Stunde zu addieren, 12:00 Uhr UTC entspricht also beispielsweise 13:00 Uhr MEZ.

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 ist also stabiler als tagsüber (rote und hellbraune Linien). Der Grund dafür ist, dass der mittlere Tagesgang in den unteren Niveaus mit etwa 8 bis 9 Grad an den Stationen UNI, HBF, ODO und ALP deutlich größer ist als weiter oben<sup>1</sup> an den Stationen HOE und PAK mit nur ca. 3 bis 4 Grad. 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 geringere Tagesgang an den Stationen HBF und ODO gegenüber UNI und ALP der größeren Messhöhe über Grund (vgl. Tabelle 1) zuzuschreiben.

Ebenso sind die Profile im Allgemeinen während der kühlen Jahreszeit steiler, da es dann im Durchschnitt stabiler ist. Im Jahr 2021 traf dies besonders auf den Dezember zu. Der Anfang war zwar von einer wechselhaften Nordwestwetterlage mit raschem Tiefdruckdurchzug geprägt. Ab dem zweiten Monatsdrittel dominierte aber der Hochdruckeinfluss mit sehr milder Luft in der

<sup>1</sup> 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.



Höhe, während sich im Tal oftmals Kaltluft bilden bzw. halten konnte. Die Kürze des Tages und der sehr niedrige Sonnenstand ermöglichen in solchen Phasen hier nur eine vergleichsweise geringe Tageserwärmung. Bis hinauf zur Höttinger Alm war die Atmosphäre zu den meisten Tageszeiten annähernd isotherm und damit stabil geschichtet. Insgesamt weisen die monatlichen Temperaturprofile 2021 keine besonderen Auffälligkeiten auf. Entsprechend der Jahreszeit bzw. dem Sonnenstand deuten die eher steilen Verläufe auch im Jänner und Feber, sowie im Oktober und November stabilere Schichtungen an. Im Frühjahr kam es mit der Ausaperung im Bereich der Talsohle und den weiterhin schneebedeckten (kühleren) Bergen zu einem raschen Übergang zu deutlich labileren Verhältnissen, was äquivalent zu den immer flacheren Profilen ist. Im Laufe des Sommers wird es mit der Erwärmung in höheren Schichten allmählich wieder stabiler. Im Anhang werden die Monate Jänner, Mai, Juli und Oktober gezeigt.

### 4.3 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 4 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 4: Einteilung der Stabilitätsklassen.

Bei der Auswertung der Stabilität mittels TAWES und TEMPIS-Stationen werden jeweils zwei benachbarte Niveaus verglichen. Es hat sich herausgestellt, dass es für eine gut interpretierbare Auswertung sinnvoll ist, nicht zu dünne Schichten zu betrachten und Stationen, an denen der Stadteffekt deutlich zu tragen kommt, wegzulassen. Als unterste Schicht wird deshalb jene zwischen Flughafen und Hungerburg verwendet.

Abbildung 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Stabilitätsklassen für vier aufeinanderfolgende Schichten für die Jahre 2021 und 2020. Es gibt grundlegende Ähnlichkeiten, aber auch relevante Unterschiede.

Kommen wir zunächst zu den Gemeinsamkeiten: In beiden Jahren und in allen hier dargestellten Schichten dominierte die neutrale Schichtung, am häufigsten war sie in der Schicht Höttinger Alm bis Patscherkofel zu finden. Stabile und labile Lagen kamen öfter vor als sehr stabile bzw.



sehr labile. Letztere sind überhaupt selten, die Häufigkeit sehr stabiler Lagen nimmt mit der Höhe ab.

Bei genauerer Betrachtung zeigen sich aber auch Unterschiede. Diese spiegeln in erster Linie wider, dass es im Jahr 2020 und insbesondere im Jänner stabiler war als in anderen Jahren (vergleiche dazu auch den Tempisbericht für 2020). In der Schicht Flughafen bis Hungerburg war es heuer insgesamt zu etwa 40 % stabil oder sehr stabil geschichtet, 2021 waren es noch ca. 45 %. Dafür waren 2021 die neutralen und labilen Schichtungen etwas häufiger als 2020. Diese Verschiebung der Häufigkeiten ist auch in den höheren Schichten zu beobachten. Ein Vergleich der prozentuellen Häufigkeiten seit 2016 ist im Appendix als Tabelle A1 zu finden. Es ist ersichtlich, dass sich die Verteilung im Jahr 2021 gut in jene der Jahre 2016-2019 einreicht, während die Anzahl der (sehr) stabilen Lagen im Jahr 2020 – wie bereits oben diskutiert – sehr hoch war.

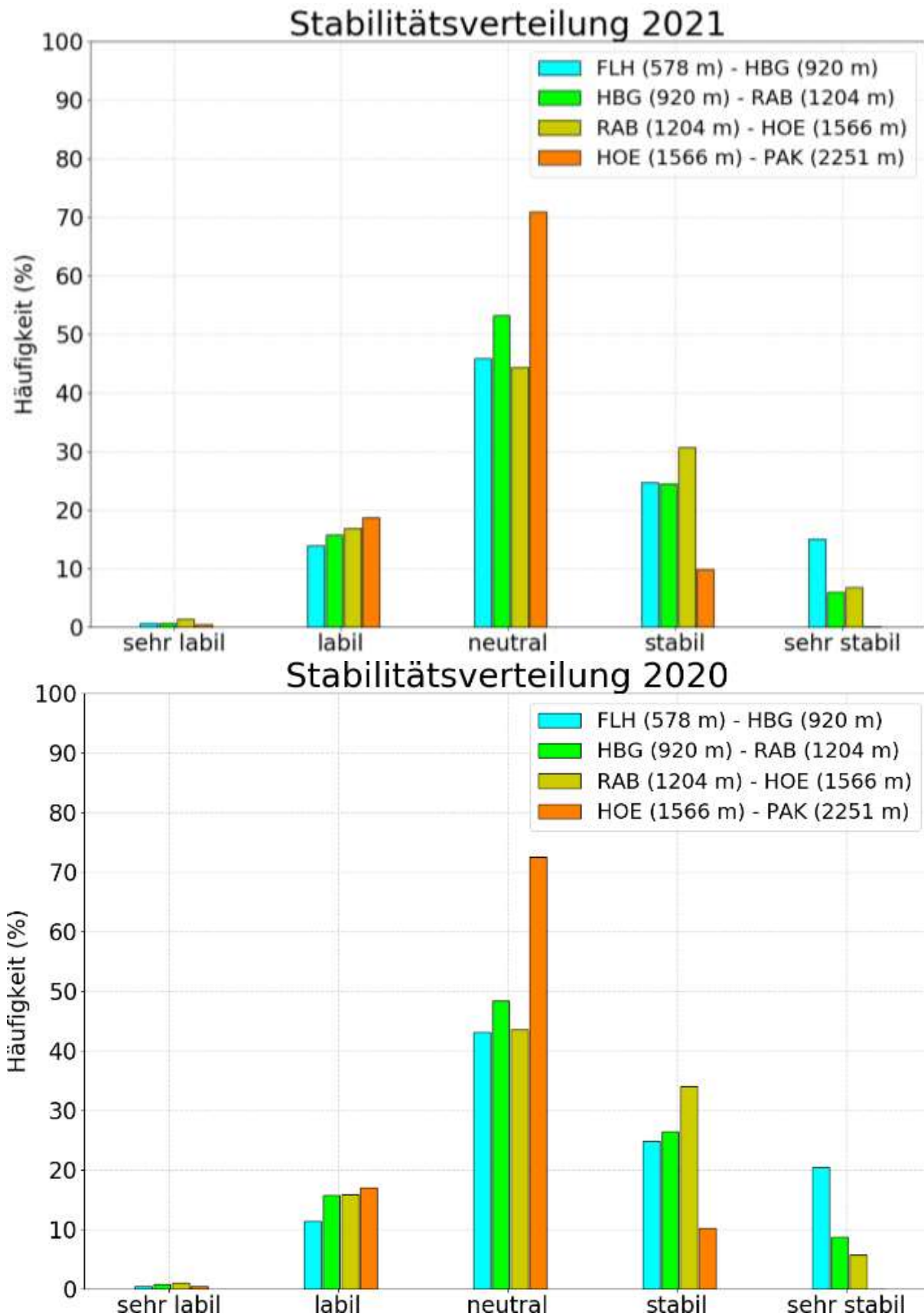


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Stabilitätsklassen in den übereinanderliegenden (verschiedenfarbig markierten) Schichten im Jahr 2021 (oben) und 2020 (unten).

Die Stabilitätsverteilungen im August und Dezember sind der Abbildung A8 im Appendix zu entnehmen. Im August 2021 dominierte die neutrale Schichtung in allen Höhenbereichen. Bis zur Hungerburg war es in über einem Fünftel der Fälle labil geschichtet. Bei den stabilen Klassen fällt auf, dass das Maximum der Häufigkeit in der Schicht zwischen Rastlboden und Höttinger Alm auftrat. Hier spiegeln sich die in der warmen Jahreszeit typischen abgehobenen Inversionen wider. Im Dezember 2021 war es so stabil wie in keinem anderen Monat des Jahres. Die Schichtung zwischen FLH und HBG war in 75 % der Zeit stabil oder sehr stabil, zwischen der Höttinger Alm und dem Patscherkofel galt dies immerhin noch in rund einem Viertel der Zeit.

Die tageszeitliche Verteilung der Stabilitätsklassen in der Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg ist in Abbildung 4 dargestellt.

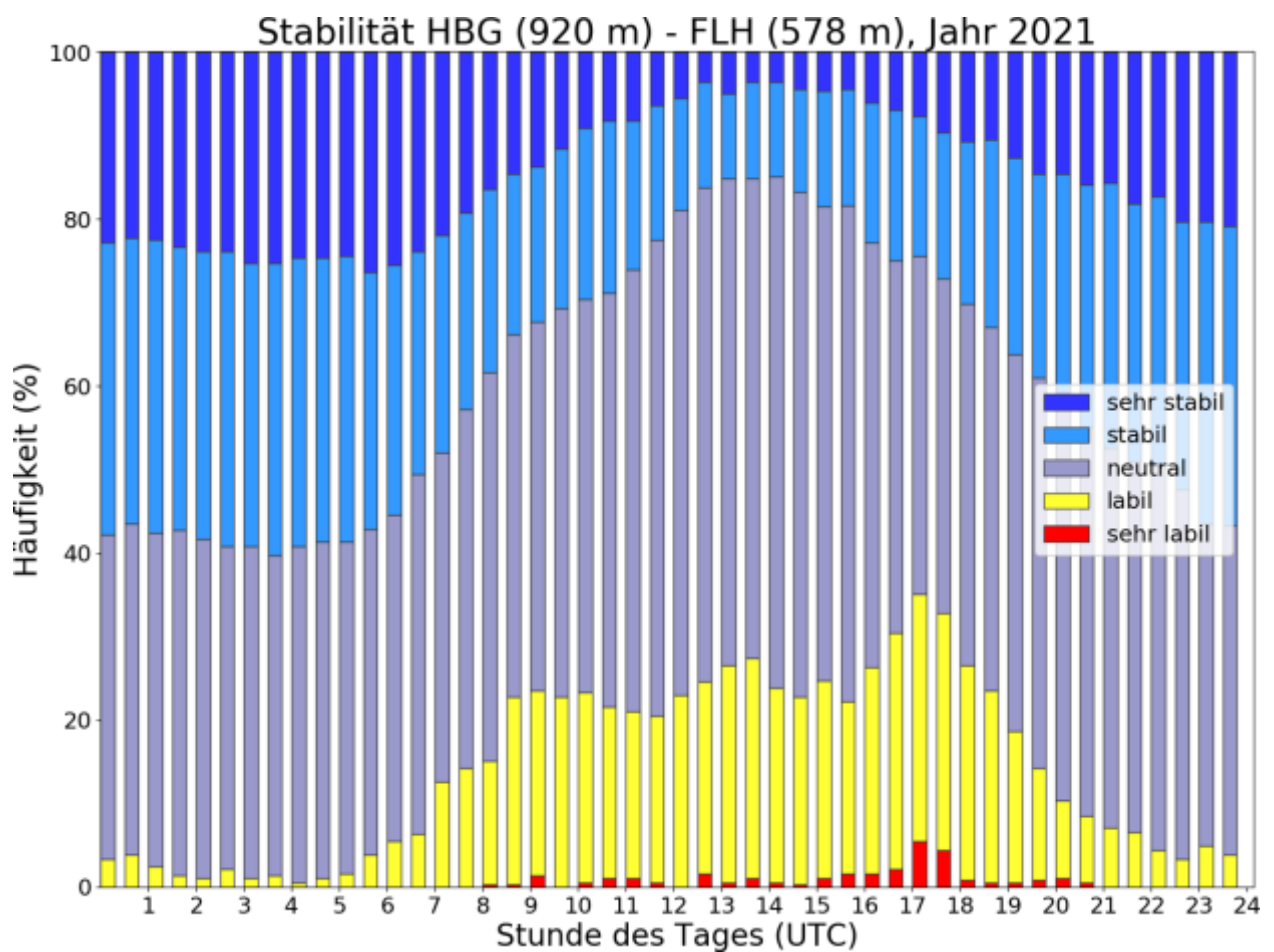


Abbildung 4: Tageszeitliche Verteilung der Stabilitätsklassen aus den halbstündlichen Temperaturmitteln in der 342 m dicken Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg im Jahr 2021.

Im Jahresschnitt dominierten nachts ab etwa 21 UTC bis in die Morgenstunden um ca. 7 UTC die (sehr) stabilen Verhältnisse (ca. 50 bis 60 %), ansonsten die neutrale Schichtung. Mit der Einstrahlung stieg die Häufigkeit der labilen Klasse vormittags auf über 20 %, den Maximalwert erreichte sie zwischen etwa 17 und 18 UTC mit etwa 37 %. Sehr labil war es zu keiner Tageszeit (selbst am Nachmittag weniger als 5 %). Die Lage der Station Hungerburg am Südhang sorgte

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, bedingt durch die begünstigte Sonneneinstrahlung.

In der Abbildung A9 im Appendix wird der Tagesgang der Monate August und Dezember exemplarisch gezeigt. Im August nahmen die labilen Schichtungsverhältnisse untertags aufgrund des hohen Strahlungsangebotes schnell zu, am Nachmittag überschritt ihre Häufigkeit die 50 % Marke. Die übrige Zeit dominierte die neutrale Schichtung, während es nur selten (nachts) stabil geschichtet war. Im Dezember hingegen ist kaum ein Tagesgang auszumachen und die stabilen Lagen dominierten den ganzen Tag über deutlich.

Neben der Häufigkeit kommt es in Bezug auf die Schadstoffkonzentration insbesondere auf die Dauer der stabilen Phasen an. Deshalb wurden (analog zur Auswertung der Kalmendauer in Abschnitt 6.4) für die Schicht Flughafen bis Hungerburg die verschiedenen Dauerstufen der stabilen bis sehr stabilen Phasen analysiert. Sie sind zusammen mit den Werten der Vorjahre in Tabelle 5 zusammengefasst.

HMW-Dauer		Anzahl						Gesamtdauer (Wochen)					
von	bis	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	2	258	347	331	296	295	265	0,9	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0
3	6	76	85	109	84	79	83	0,9	1,0	1,4	1,0	1,0	1,0
7	12	40	46	53	49	35	37	1,0	1,2	1,4	1,4	1,0	1,0
13	24	90	76	91	88	99	81	5,1	4,0	5,2	4,9	5,5	4,4
25	48	49	80	81	83	66	77	4,7	7,7	7,9	8,3	6,6	7,8
49	inf	16	13	14	16	23	22	6,3	4,4	3,9	4,0	8,3	5,6
SUMME								19,0	19,7	21,1	20,7	23,5	20,7

Tabelle 5: Häufigkeit verschiedener Dauerstufen mit (sehr) stabiler Schichtung zwischen Flughafen (578 m) und Hungerburg (920 m), sowie deren Gesamtdauer in den Jahren 2016 bis 2021. Wie in Tabelle 4 definiert, bedeutet (sehr) stabil eine Temperaturabnahme von höchstens 0,4 °C/100 m. HMW steht für Halbstundenmittelwert.

Die Gesamtdauer aller (sehr) stabilen Phasen war 2021 mit 20,7 Wochen vergleichbar mit jener der Jahre 2018 und 2019 und markant kürzer als im Vorjahr. Damit ist 2021 hinsichtlich der Häufigkeit stabiler Lagen als durchschnittliches Jahr in der vorhandenen Datenreihe zu klassifizieren.

## 4.4 Inversionen

Ein Spezialfall bei der Stabilität ist die Inversion, hier nimmt die Temperatur mit der Höhe zu. Die Atmosphäre ist damit bei Inversionslagen sehr stabil geschichtet. 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 zeigt die Verteilung der Inversionshäufigkeit in den aufeinanderfolgenden Schichten FLH-HBG, HBG-RAB, RAB-HOE und HOE bis PAK im Jahr 2021. Die sehr dünnen Schichten unterhalb der Hungerburg, die bis 2018 ausgewertet wurden, wurden durch die Gesamtschicht zwischen FLH und HBG ersetzt. Im Großen und Ganzen nahm die Inversionshäufigkeit mit der Höhe ab. Die Ausnahme war die Schicht Rastlboden bis Höttinger Alm, da sich in diesem Höhenbereich – wie bereits im Abschnitt 4.3 erwähnt – ein wenig öfter abgehobene Inversionen bildeten. Im Jahr 2021 kamen Inversionen in der untersten Schicht zu 25 % vor, bei (gut) 12 bzw. 15 % in den beiden folgenden Schichten und nur zu rund 1 % der Zeit herrschten in der Schicht zwischen Höttinger Alm und Patscherkofel Inversionsbedingungen. Wenig überraschend kam eine Temperaturzunahme mit der Höhe mehrheitlich nachts (hier definiert als Zeit von 18 bis 07 Uhr UTC) vor.

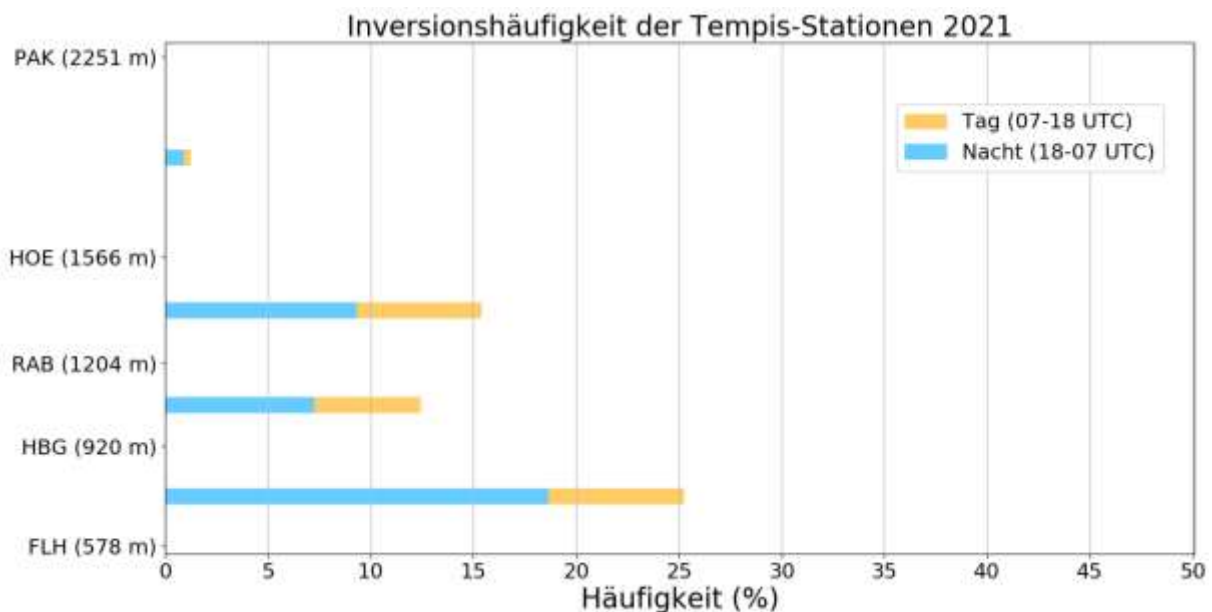


Abbildung 5: Häufigkeit der Inversionen in den verschiedenen Schichten im Jahr 2021. Gelbe Balken stehen dabei für den Anteil zwischen 7 und 18 UTC (8 und 19 MEZ), blau für den Anteil zwischen 18 und 7 UTC (19 und 8 MEZ), vereinfacht also für den Tages- und Nachtanteil.

In Abbildung 6 wird der zeitliche Verlauf der Inversionen im Jahr 2021 monatsweise gezeigt. Ausgewertet wurden die Schichten Flughafen – Hungerburg (Schichtdicke: 340 m), Hungerburg – Rastlboden (320 m) und Rastlboden – Patscherkofel (1010 m). Die Inversionsstärke wird über die in der Legende gezeigte Farbkodierung in Schritten von 0,5 °C/100 m ausgedrückt. Fehlzeiten (bzw. Tage, die es in einem Monat nicht gibt) werden über einen grauen Balken sichtbar

gemacht. Über jeder Monatsabbildung sind Föhnzeiten im Wipptal in orange angegeben. Diese wurden direkt aus den Messungen am Sattelberg und in Ellbögen abgeleitet, daher gibt es hier auch Fehlzeiten, die als graue Punkte bzw. Balken gekennzeichnet sind.

Der saisonale Verlauf der Inversionen tritt klar zu Tage. Bis Ende Februar und ab Ende Oktober gab es längere stabile Phasen, die Inversionen reichten in der Mehrzahl bis zum Rastlboden hinauf. Von März bis September waren deutlich weniger Inversionen zu verzeichnen und diese beschränkten sich überwiegend auf Nachtzeiten. Gleichzeitig kann eine Abnahme der Inversionsstärke (ausgedrückt durch die Farbe) festgestellt werden. Wenn der Föhn im Wipptal weht, so baut er Inversionen oberhalb der Hungerburg meist ab. Dass es Ausnahmen gibt, kann man beispielsweise an den beiden Föhnphasen im November erkennen.

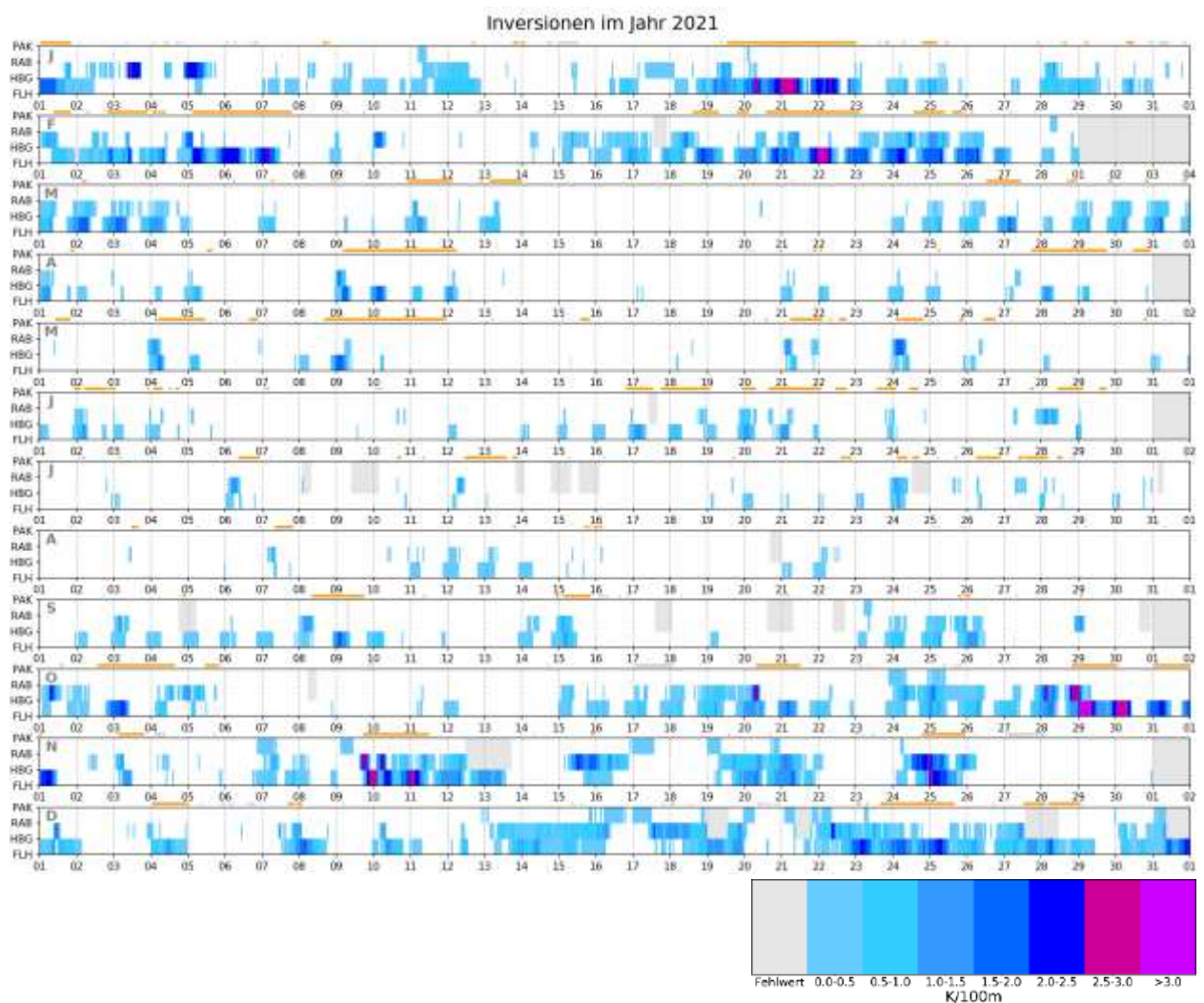


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Inversionen im Jahr 2021 in den Schichten FLH – HBG, HBG – RAB und RAB – PAK auf Basis von Halbstundenmittelwerten samt Legende mit Zuordnung der Farbskala (rechts unten). Weitere Erklärungen sind dem Text zu entnehmen.

Betrachtet man für das Inversionsgeschehen nicht die aufeinanderfolgenden Schichten, sondern verwendet für alle die gleiche Basisstation, ergeben sich weitere Einblicke. Tabelle 6 fasst die monatlichen bzw. jährlichen Inversionshäufigkeiten für 2021 und die Vorjahre zusammen. Die

Tabelle enthält im Sinne der Vollständigkeit auch die sehr dünnen Schichten unterhalb der HBG. Deren Absolutzahlen<sup>2</sup> ist zwar nicht allzu hohe Bedeutung zuzumessen, die zeitliche Entwicklung seit 2016 ist dennoch von Interesse.

Wie gehabt konzentrierten sich die Inversionen ganzjährig auf die Schicht unterhalb der Hungerburg und waren in der kalten Jahreszeit (Oktober bis Feber) erwartungsgemäß häufiger als in der warmen. Ab der Hungerburg nahm die Häufigkeit der Inversionen mit zunehmender Schichtdicke stark ab. Von April bis August gibt es in der gesamten Schicht vom Talboden bis zum Patscherkofel so gut wie keine Inversionen, wie die jeweils unterste Spalte der Jahresauswertungen seit 2016 zeigt.

	$\Delta z$	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2021														
HBF	33	77	75	58	55	52	58	51	45	62	67	52	74	60,5
ODO	57	65	69	47	42	36	46	40	35	54	62	50	70	51,2
ALP	90	71	76	54	52	38	51	37	32	58	64	52	70	54,3
HBG	342	42	52	25	14	7	13	4	6	20	38	32	53	25,2
RAB	626	29	47	20	7	5	7	2	2	13	34	32	46	20,1
HOE	988	25	39	18	4	2	3	3	1	10	28	35	45	17,7
PAK	1673	3	10	5	0	0	0	0	0	1	10	14	17	5,0
2020														
HBF	33	92	75	59	72	55	59	66	67	65	60	79	82	69,0
ODO	57	79	64	46	59	39	41	49	51	47	48	71	70	55,3
ALP	90	86	59	57	72	42	37	47	48	48	47	78	73	57,8
HBG	342	76	42	22	30	12	8	9	12	13	25	62	52	30,1
RAB	626	72	34	13	19	5	4	4	7	9	24	62	50	24,9
HOE	988	65	28	10	13	2	1	2	5	9	14	62	37	20,6
PAK	1673	39	11	1	0	0	0	0	0	1	4	36	12	8,7
2019														
HBF	33	64	79	57	52	46	69	71	76	74	69	72	76	68,8
ODO	57	46	69	50	48	40	58	53	52	51	56	63	67	54,3
ALP	90	48	68	43	36	27	42	46	46	50	54	60	66	48,8
HBG	342	24	48	23	14	5	16	13	11	19	38	40	44	24,4
RAB	626	23	49	17	10	3	12	6	9	14	37	35	45	21,3
HOE	988	16	48	15	6	1	8	3	5	7	26	23	37	16,0
PAK	1673	2	22	5	0	0	0	0	0	1	7	1	18	4,5
2018														
HBF	33	81	56	54	67	49	53	58	60	64	70	70	74	63,0
ODO	57	75	41	48	67	49	43	51	55	53	63	64	65	56,4
ALP	90	73	51	51	66	51	48	54	56	58	62	66	65	58,5
HBG	342	55	15	24	26	13	6	9	12	17	34	40	36	23,9
RAB	626	48	17	18	17	7	1	2	6	14	29	45	36	20,0

<sup>2</sup> Wegen des Stadteffekts kommt es bei Verwendung des FLH als Basisstation in den dünnen Schichten unterhalb der HBG zu einer (deutlichen) Überschätzung der Inversionshäufigkeit.



HOE	988	37	13	11	11	1	0	2	3	13	23	35	30	15,1
PAK	1673	8	3	2	1	0	0	0	0	5	2	7	10	3,2

2017														
HBF	33	82	70	61	52	64	63	60	66	60	75	69	74	66,4
ODO	57	71	58	50	39	48	45	43	49	46	62	50	62	51,8
ALP	90	79	64	56	46	48	49	38	46	41	61	50	60	53,1
HBG	342	51	38	21	13	11	9	5	12	11	34	25	37	22,2
RAB	626	50	40	13	8	5	3	3	9	8	30	24	34	18,6
HOE	988	44	31	12	4	3	2	3	9	5	29	25	25	15,8
PAK	1673	30	7	0	0	0	0	0	0	0	12	9	13	5,8

2016														
HBF	33	80	65	51	53	56	57	68	71	75	61	60	90	65,6
ODO	57	62	52	37	40	42	36	46	50	58	48	49	83	50,2
ALP	90	61	52	42	44	39	31	40	48	59	48	44	94	50,1
HBG	342	39	33	13	16	11	3	5	9	24	20	26	85	23,6
RAB	626	36	25	8	12	9	2	2	3	19	16	27	81	19,9
HOE	988	32	17	10	15	2	2	2	4	13	13	21	76	18,2
PAK	1673	14	5	0	0	0	0	0	1	0	2	4	45	6,1

Tabelle 6: Die Inversionshäufigkeit (in %) zwischen Flughafen und der jeweiligen Station in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2021 (oben) und den Jahren davor seit 2016. Unter  $\Delta z$  ist die Schichtdicke (in m) angegeben. Die Häufigkeiten sind farbkodiert – je dunkler der Zellhintergrund, umso höher die Häufigkeit. Zahlen in weißer Schrift zeigen an, dass die Inversionshäufigkeiten aufgrund von Stationsausfällen nur für den Anteil der vorhandenen Daten bestimmt werden konnten.

Erwartungsgemäß waren Inversionen nachts (18 bis 7 UTC, Tabelle A2 im Appendix) sehr viel häufiger als tagsüber (7 bis 18 UTC, Tabelle A3 im Appendix). Mit zunehmender Schichtdicke vom Talboden in größere Höhen über Grund nahm die Häufigkeit nachts in allen Einzelmonaten ab. Tagsüber sind die ‚künstlichen‘ Inversionen am Alpenzoo aufgrund der Überwärmung in der Südhanglage erkennbar, sodass die Häufigkeiten zumindest jene der Schicht bis zum Olympischen Dorf immer übertrafen.

#### 4.5 Einordnung in die Innsbrucker TEMPIS-Reihe seit 1999

In einem Projekt der ZAMG, das vom Land Tirol unterstützt wurde, konnten alte TEMPIS Daten beginnend mit dem Jahr 1999 digitalisiert, kontrolliert und analysiert werden. Im Zusammenhang mit dem hier vorliegenden Bericht eignen sich die Stationen Hungerburg (HBG) und Rastlboden (RAB) für Stabilitätsvergleiche, da sie im Laufe der Jahre nur geringfügig verändert wurden. Beide Stationen haben sich schon vor 2015 auf den ortsfest gebliebenen Stützen 1 und 2 der Nordkettenbahn befunden. HBG war um rund 15 m höher montiert, RAB sogar gute 20 m höher. Beide Temperatursensoren waren vor 2015 nicht ventiliert, so dass man bei den älteren Daten von etwas höheren Temperaturen ausgehen muss, was die größere Messhöhe aber ein wenig ausgleichen dürfte. Abzüglich jener Jahre mit zu großen Ausfällen liegen aus diesem Projekt bis inklusive 2021 für die Hungerburg 19 Jahre an Temperaturdaten vor und für den Rastlboden 18.

In Abbildung 7 ist die langjährige Entwicklung der Inversionshäufigkeiten in den Schichten Flughafen bis Hungerburg, Rastlboden und Patscherkofel zu sehen. In der untersten Schicht FLH bis HBG schwankt die Inversionshäufigkeit zwischen 22 und 36 %, bis zum RAB zwischen 19 und 31 % und bis zum PAK zwischen 2 und 11 %. Inversionen kommen in allen Monaten vor (nicht gezeigt), der Schwerpunkt ist zwischen Oktober und Februar zu finden, mit doch deutlich wechselnden Anteilen von Jahr-zu-Jahr.

Im vergangenen Jahr 2021 war die Inversionshäufigkeit in allen drei Schichten vergleichbar mit jenen der Jahre 2016 bis 2019 und deutlich geringer als im Vorjahr, in dem die höchsten Werte seit der Neuaufstellung der Stationen (also seit 2016) verzeichnet wurden. Insgesamt ist seit 1999 kein signifikanter Trend bei den Inversionen beobachtbar.

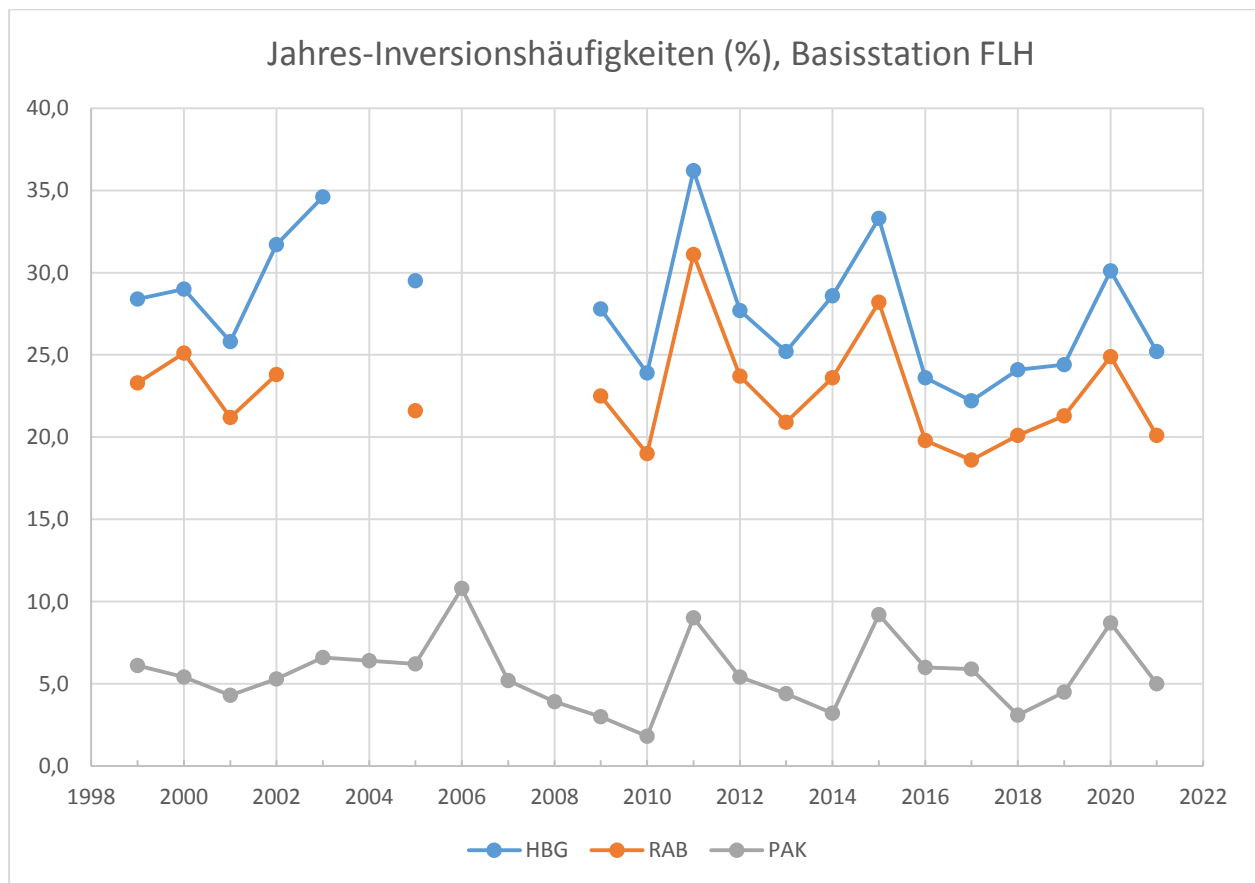


Abbildung 7: Jahres-Inversionshäufigkeiten der langjährigen TEMPIS-Reihen von 1999 bis 2021 (bis 2018 basierend auf 30-Minuten-Daten, ab 2019 auf 10-Minuten-Daten) für die Schichten zwischen Flughafen und Hungerburg (blau), Rastlboden (orange) und Patscherkofel (grau).

## 5 Auswertung der Feuchte im Jahr 2021

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 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
2021													
FLH	81	72	68	60	66	65	74	78	76	76	85	88	74
UNI	77	66	63	55	62	62	72	75	72	73	82	84	71
HBF	78	66	63	55	63	62	70	73	70	70	84	87	70
ODO	78	66	65	56	64	NA	72	75	72	70	84	87	71
ALP	79	67	67	58	69	68	80	84	77	73	85	87	75
HBG	79	64	67	61	71	69	82	87	NA	74	85	82	75
RAB	77	63	68	65	73	70	81	86	79	72	82	79	75
HOE	74	58	66	69	76	70	80	84	76	66	74	70	72
PAK	81	63	70	81	86	77	86	88	79	69	75	71	77

Tabelle 7: Relative Feuchte in % an den TAWES und TEMPIS-Stationen in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2021. Die Häufigkeiten sind farbkodiert, wobei braune Farben für eher trockene Verhältnisse stehen, blaue für feuchtere. In den Monaten mit weniger als 80 % an verfügbaren Daten wurden keine Mittel bestimmt, sie sind mit „NA“ gekennzeichnet.

Übers Jahr gerechnet lag die relative Feuchte 2021 zwischen 70 % am HBF und 77 % auf dem PAK (Tabelle 7). Die starke Flächenversiegelung und das Fehlen von größeren Grünanlagen in der Nähe sind die Ursache für den niedrigen Wert am HBF. Baum- bzw. strauchreiche Vegetation samt ausreichendem Niederschlag vom Alpenzoo aufwärts sorgen abseits vom Stadtgebiet für höhere Werte. Der höchste Jahreswert wird am Patscherkofel erreicht, welcher aufgrund seiner Höhe bereits oft in Wolken steckt.

In Tallagen ist im Winter die relative Feuchte tendenziell höher als in den wärmeren Jahreszeiten<sup>3</sup>. Mit Ausnahme des Jänners war es in der ersten Jahreshälfte 2021 aufgrund unterdurchschnittlicher Niederschläge eher trocken. Wie schon häufiger in den Vorjahren, wurde der Höhepunkt bis zur HBG im April verzeichnet, mit Werten zwischen 55 und 61 %. Darüber war es im Feber mit 58 bzw. 63 % relativer Feuchte am trockensten. Ab Juli wurde es mit häufigeren Niederschlägen allgemein wieder feuchter, in den unteren Schichten war es im Dezember am feuchtesten, ab dem Rastlboden im August.

<sup>3</sup> Betrachtet man die absolute Feuchte, ist diese in der warmen Jahreszeit höher, da wärmere Luft mehr Feuchte fassen kann.

In der Talsohle ist der Tagesgang der relativen Feuchte stärker ausgeprägt als in höheren Niveaus. Dies lässt sich deutlich aus dem Vergleich für den Juli 2021 an den Stationen Alpenzoo und Höttinger Alm in Abbildung 8 erkennen. Tagsüber war es im Jahresschnitt (und an den meisten Tagen) durch die Temperaturzunahme sowie die vertikale Durchmischung trockener als nachts.

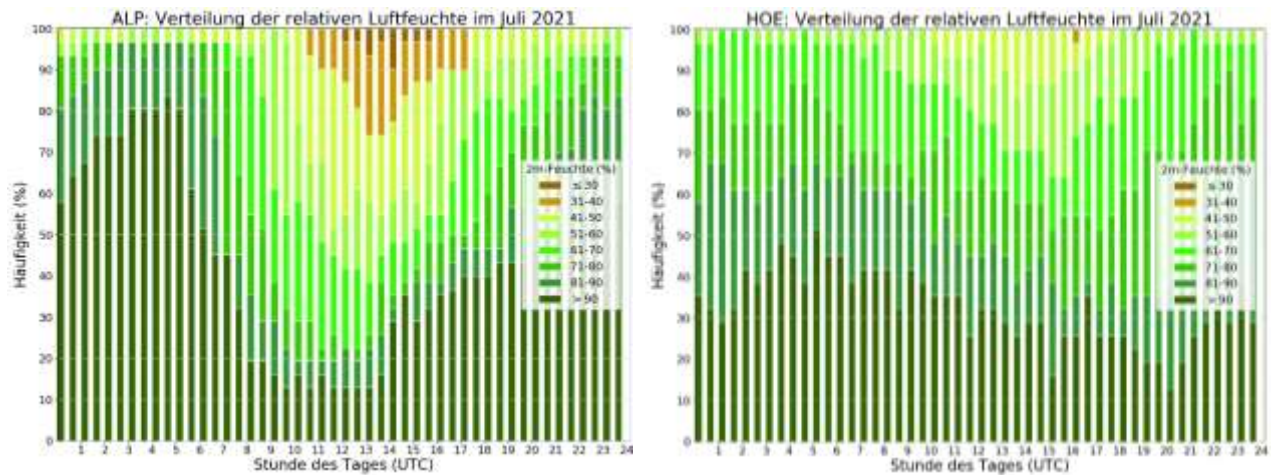


Abbildung 8: Tagesgang der Häufigkeitsverteilung der relativen Feuchte im Alpenzoo (links) und auf der Höttinger Alm (rechts) im Juli 2021.

## 6 Auswertung des Windes im Jahr 2021

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.

### 6.1 Windrichtung

Die auftretenden Windrichtungen im Bereich vom Talgrund sind maßgeblich von der Ausrichtung der Achse des Inntals in der Umgebung von Innsbruck (W bis WSW nach O bis ONO) geprägt.

Abbildung 9 zeigt die entsprechenden Jahreswindrosen für FLH, UNI, HBF und ODO. Neben der Talachse zeigen sich in den Verteilungen auch deutlich die Lage der Messstation bezüglich des Stadtrandes (FLH am Westrand, ODO am Ostrand), aus welcher Richtung der Wind ungehinderter durchgreifen kann, bzw. die innerstädtischen Stationen (v.a. HBF, aber auch UNI) am Ausgang des Wipptals. Beim thermisch induzierten Wind ist der nächtliche Talauswind in der Regel schwach, der Taleinwind fällt vor allem in der warmen Jahreszeit oft deutlich stärker aus. Starke bis sehr starke Winde werden im Zusammenhang mit Sturmtiefs (in der Regel aus der West- bis Nordrichtung), sowie Südföhnereignissen registriert. Dazwischen ist noch der als ‚vorföhniger West‘ bezeichnete Wind einzustufen, der bei Föhnlagen weht, wenn der eigentliche Föhn nicht bis zum Talboden durchgreifen kann. Dieser ist am FLH am stärksten ausgeprägt, aber auch an den anderen Stationen zu finden.

Da das Talwindssystem thermodynamisch angetrieben wird, ändern sich die Häufigkeiten von Talein- und Talauswind von Jahr zu Jahr nur wenig. Wie häufig der Südföhn bläst, ist hingegen stärker von Witterungslagen gekennzeichnet und damit variabler. Nachvollziehen lässt sich dies am Beispiel der Windrose der UNI, die im Appendix in der Tabelle A10 auch für die Jahre 2016 bis 2020 gezeigt wird.

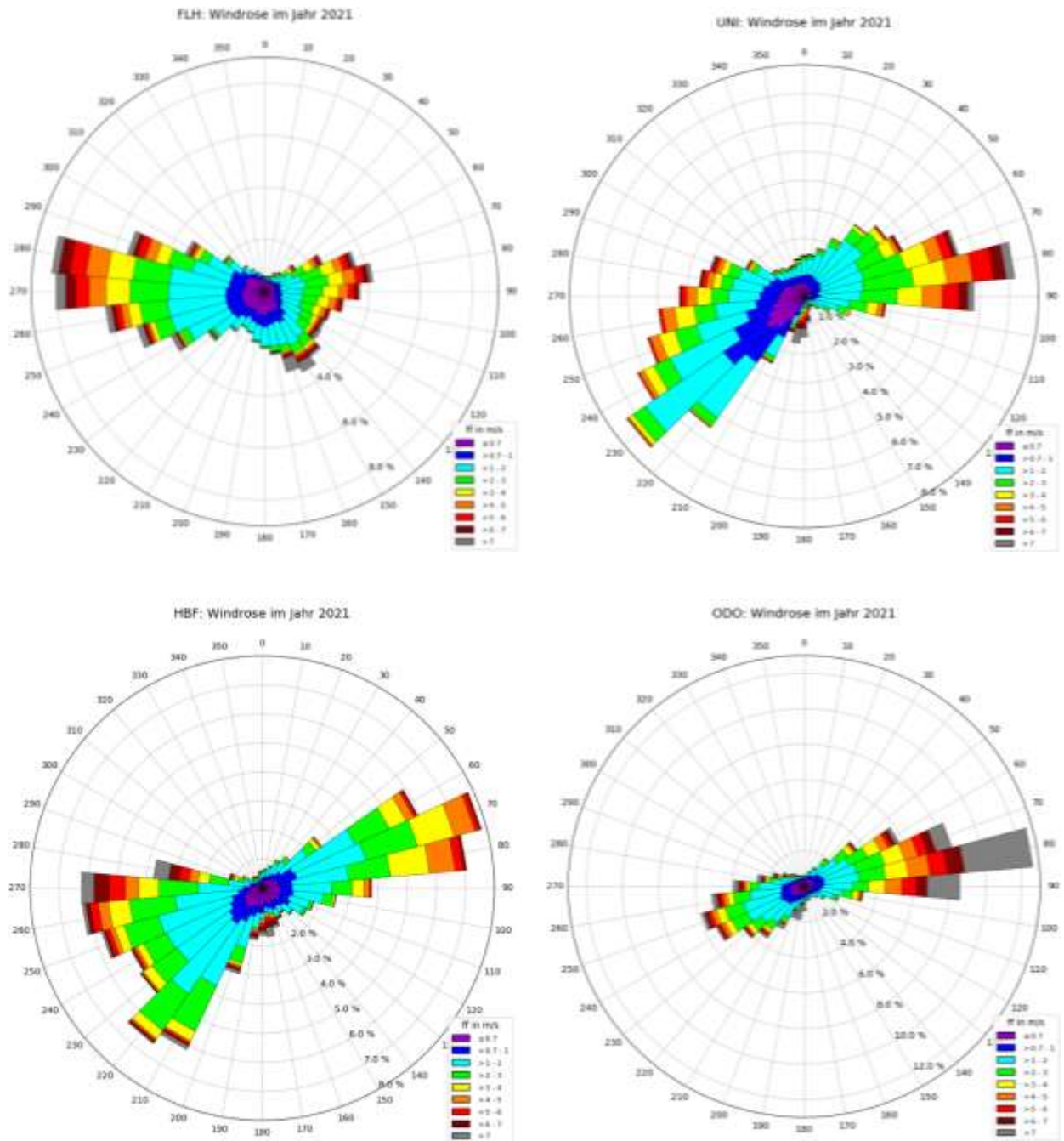


Abbildung 9: Windrosen, eingeteilt in 36 Richtungssektoren mit farbcodierten Geschwindigkeitsklassen am Flughafen (oben links), UNI (oben rechts), HBF (unten links) und ODO (unten rechts) für das Jahr 2021.

Auf dem Patscherkofel (nicht gezeigt) besteht die Windrose hauptsächlich aus zwei Keulen: eine breite aus NW bis NO mit geringen Sektorenhäufigkeiten (ca. 3 bis 9%), und eine schmale aus SSO bis S. Dabei weist der 170°-Sektor mit ca. 21% (bei insgesamt 36 Richtungssektoren) eine sehr starke Kanalisierung auf, es ist die „klassische Föhnrichtung“ auf dem Innsbrucker Hausberg.

## 6.2 Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind

Wie anhand der Tabelle 8 ersichtlich ist, lagen 2021 die Monatsmittel der mittleren Windgeschwindigkeiten an den Stationen am Talgrund zwischen 1,5 m/s und 4,2 m/s. Die geringste mittlere Windgeschwindigkeit am Talboden wurde im November und Dezember gemessen, die höchste im April bzw. Mai. Im Jahresmittel war der Wind am Talboden ähnlich stark wie im Vorjahr sowie 2016 und 2017 und etwas schwächer als 2018 und 2019. Am Patscherkofel wehte der Wind – wie auch in den letzten Jahren - in der kalten Jahreszeit stärker als in der von Hochdruck dominierten warmen. Allerdings wehte auch hier der Wind im Mai stärker als in den Vergleichsjahren seit 2016.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
<b>2021</b>													
FLH	2,2	2,2	2,0	2,9	2,8	2,5	2,2	1,7	1,7	2,1	1,6	1,7	2,1
UNI	1,8	2,0	1,8	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8	2,0	1,5	1,5	2,0
HBF	2,2	2,5	1,9	2,7	2,6	2,3	2,0	1,8	1,9	2,3	1,7	1,7	2,1
ODO	2,5	2,7	2,6	3,7	4,2	NA	2,9	2,8	2,6	3,0	2,0	1,6	2,8
PAK	8,9	7,8	5,6	6,7	8,2	5,5	6,4	NA	4,5	8,7	7,1	6,7	6,8
<b>2020</b>													
FLH	1,3	3,2	2,7	2,2	2,2	2,4	1,8	2,0	1,5	2,2	1,3	2,4	2,1
UNI	1,1	2,4	2,5	2,1	2,4	2,3	2,0	1,9	1,6	1,9	1,2	1,9	1,9
HBF	1,3	2,7	2,6	2,3	2,2	2,3	1,9	2,0	1,6	2,2	1,4	2,1	2,0
ODO	1,6	2,9	4,0	3,1	3,6	3,5	3,1	2,7	2,2	2,9	2,3	2,4	2,9
PAK	7,5	9,0	6,3	5,1	5,7	5,5	3,9	4,7	5,0	8,5	5,2	9,2	6,3
<b>2019</b>													
FLH	2,1	1,8	2,5	3,1	2,0	2,7	2,0	2,0	1,7	2,4	2,7	2,4	2,3
UNI	1,6	1,5	2,3	2,6	1,9	2,5	2,0	1,9	1,7	2,0	2,1	2,0	2,0
HBF	1,6	1,7	2,4	NA	NA	2,7	2,0	1,9	1,8	2,1	2,5	2,4	2,1
ODO	2,0	2,3	3,1	4,6	2,7	4,2	2,9	2,6	2,3	3,3	3,2	3,2	3,0
PAK	7,9	7,3	7,7	9,3	5,7	6,8	4,2	5,3	5,1	10,1	12,3	10,3	7,7
<b>2018</b>													
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	NA	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
<b>2017</b>													
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



2016													
FLH	1,8	2,5	2,5	2,8	2,8	2,0	1,8	1,7	1,7	2,0	2,3	1,5	2,1
UNI	1,4	2,1	2,3	2,5	2,3	1,9	1,8	1,7	1,6	1,9	2,1	1,2	1,9
HBF	1,6	2,3	2,2	2,5	2,4	1,9	1,8	1,8	1,8	2,1	2,5	1,6	2,0
ODO	1,8	3,3	3,6	4,3	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,8	3,5	1,8	2,9
PAK	7,5	10,6	6,9	9,3	7,5	4,2	4,4	3,7	5,1	6,9	10,5	6,6	6,9

Tabelle 8: Monats- und Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/s an den Stationen mit Windmessung in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2021 (oben) und den Jahren davor seit 2016.

In Tabelle 9 sind die drei stärksten Windereignisse jeder Station gelistet.

Die höchsten 10-Minuten Mittel wurden 2021 am Flughafen und am Hauptbahnhof bei Südwest- bis Nordwestwind registriert. An der UNI wurde der stärkste Wind aus Nordwest kurz vor einem Frontdurchgang aufgezeichnet, an zweiter Stelle steht ein Föhnereignis und an dritter Stelle ein starker Taleinwind. An den Stationen ODO und PAK lösten Südlagen die höchsten Geschwindigkeiten aus. Keines der registrierten Ereignisse ist dabei als außergewöhnlich (stark) einzustufen.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd
1.	23.01.	17,4	236	05.04.	14,9	339	05.06.	14,2	253	30.10.	21,1	182	21.01.	34,2	168
2.	05.06.	16,4	250	03.02.	11,3	193	30.07.	13,1	265	09.05.	20,3	188	30.10.	33,4	170
3.	29.06.	16,1	235	03.04.	11,3	84	05.04.	12,9	328	03.10.	18,4	190	06.02.	31,7	170

Tabelle 9: Datum, Windgeschwindigkeit im 10-Minutenmittel (ff, in m/s) und Windrichtung (dd, in Grad) der jeweils drei stärksten Ereignisse im Jahr 2021.

### 6.3 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), deutlich kritischer ist aber der Schwellenwert von 8 Beaufort (=17,2 m/s). Tabelle 10 gibt eine Übersicht zur prozentuellen Überschreitungszeit der beiden Grenzwerte.

Alle Überschreitungshäufigkeiten des Jahres 2021 liegen innerhalb der Bandbreite der vorausgehenden 5 Jahre, mit Ausnahme der mit 0,5 % relativ seltenen Überschreitung von 8 Beaufort am HBF. Am Talboden sticht die Station ODO – wie jedes Jahr - mit höheren Werten hervor, das ist der Lage am Ausgang des Wipptales und der Positionierung auf dem Dach eines Hochhauses geschuldet. An den innerstädtischen Stationen UNI und HBF ist auch die abbremsende Wirkung der Bebauung zu erkennen.

>= 6 Beaufort						>= 8 Beaufort				
% Gesamtzeit						% Gesamtzeit				
	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
2021	5,1	4,6	5,3	9,4	28,7	1,0	0,7	0,5	1,7	11,9
2020	4,6	4,2	4,7	9,9	25,5	1,0	0,7	0,8	1,5	10,1
2019	6,9	5,5	6,0	10,4	35,2	1,4	0,9	0,7	3,8	16,2
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 10: Prozentuelle Überschreitungszeiten der Böen von 6 bzw. 8 Beaufort (mit Ausnahme der Station Patscherkofel farbkodiert) in den Jahren 2016 bis 2021 bezogen auf die gesamte Periode des jeweiligen Jahres für alle Stationen mit Windmessung.

In Tabelle 11 sind die drei stärksten Böenereignisse jeder Station gelistet. Spitzenreiter im Tal ist die Station Olympisches Dorf, mit einer Südföhnböe von 32,9 m/s bzw. 118 km/h. Die meisten Ereignisse sind auch hier mit Föhn (erkenntlich an den südlichen Richtungen im ddx) oder Frontalereignissen (mit Böen aus West bis Nordwest) verknüpft. Der 30. Oktober sticht als sehr windiger Föhntag ins Auge, einzig am Flughafen schaffte er es nicht in die Top 3.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx	Datum	ffx	ddx
1.	30.07.	30,0	279	05.04.	26,3	337	30.10.	26,5	163	30.10.	32,9	183	30.10.	41,7	151
2.	13.07.	27,8	209	30.10.	23,7	182	05.06.	24,6	252	09.05.	30,0	187	06.02.	40,2	165
3.	05.04.	26,7	302	09.05.	23,6	199	03.10.	23,9	159	07.08.	29,5	171	21.01.	39,1	168

Tabelle 11: Datum, Windgeschwindigkeit der 2-Sekunden Böe (ffx, in m/s) und dazugehörige Windrichtung (ddx, in Grad) der jeweils drei stärksten unabhängigen Ereignisse im Jahr 2021.

## 6.4 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 (HMW) mit Windgeschwindigkeiten von weniger als 0,8 m/s als Kalmen definiert.

Je länger die Kalmendauer, umso größer ist die Auswirkung auf die Schadstoffkonzentration. Tabelle 12 enthält die Übersicht zur Kalmen-Auswertung für 2021. Längere windstille Perioden wurden 2021 nicht verzeichnet. Kalmen länger als 12 Stunden (ab 25 HMW) traten wie schon in den Vorjahren gar nicht auf.

HMW-Dauer		ANZAHL PERIODEN				
von	bis	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
1	2	1650	1551	1241	1427	256
3	6	440	304	299	300	21
7	12	43	18	30	36	0
13	24	3	1	1	0	0
25	48	0	0	0	0	0
49	inf	0	0	0	0	0
Summe der HMW		4204	3221	2921	3218	393
Summe (%)		24.0	18.4	16.7	18.4	2.2

Tabelle 12: Häufigkeit verschiedener Klassen der Kalmendauer und Summe aller Halbstundenmittelwerte (HMW) an den verfügbaren Windstationen im Jahr 2021. Bei Kalmen liegt die Windgeschwindigkeit im HMW unter 0,8 m/s.

Eine Kalmendauer von 6,5 bis 12 Stunden (13 bis 24 HMW) wurde am Flughafen dreimal erreicht, sonst nur je einmal an UNI und HBF. Gesamt traten Kalmen am Flughafen in etwas weniger als einem Fünftel der Gesamtzeit auf (24,0 %), sonst im Bereich vom Talgrund mit 16,7 bis 18,4 %, und naturgemäß auf dem Patscherkofel selten mit rund 2,2 %. Der Grund, dass Kalmen an den Standorten in der Stadt grundsätzlich seltener sind als am relativ frei liegenden Flughafen, dürfte einerseits an der Höhe des Windsensors über Grund liegen<sup>4</sup> und andererseits daran, dass sich die Stadt mehr im Einflussbereich des Wipptals mit Föhn und nächtlichem Ausfließen befindet als der Flughafen. Für die Stationen am Talgrund sind in der Tabelle 13 die prozentuellen Kalmenhäufigkeiten seit 2016 (gerundet auf ganze Prozent) zusammengefasst. Die Häufigkeiten im Jahr 2021 liegen innerhalb der Bandbreite der Vorjahreswerte. An den Stationen FLH, UNI und HBF gab es etwas weniger windschwache Situationen als 2020, im ODO waren es etwa gleich viele.

	Kalmenhäufigkeit (% Gesamtzeit)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
FLH	23	24	21	24	25	24
UNI	20	20	17	18	21	18
HBF	17	17	14	15	18	17
ODO	18	20	16	17	18	18

Tabelle 13: Kalmenhäufigkeit in % der Gesamtzeit (auf Basis HMW) für die Jahre 2016 bis 2021.

<sup>4</sup> 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.

## 7 Fazit

Auch im Jahr 2021 konnte bei den TEMPIS-Stationen eine hohe Messqualität erreicht werden. Defekte Kabel bzw. Sensoren verursachten im Lauf des Jahres Ausfälle von bis zu elf Tagen einzelner, teils auch aller Parameter bei den Stationen Olympisches Dorf, Hungerburg und Patscherkofel.

Das Jahr 2021 war im langjährigen Hinblick wieder sehr warm, wenn auch in der seit 2016 erneuerten TEMPIS-Reihe das kühlsste.

Die Charakteristika der Stabilität (Häufigkeit und Andauer) waren 2021 vergleichbar mit jenen der Jahre 2018 und 2019. Das Vorjahr war hingegen untypisch in der Reihe seit 2016 mit größerer Häufigkeit stabiler Schichtungen und auch längerer Gesamtdauer derselben. Damit ist 2021 hinsichtlich der Stabilitätsverhältnisse im Inntal als durchschnittliches Jahr zu klassifizieren. Wie gehabt konzentrierten sich die Inversionen ganzjährig auf die Schicht unterhalb der Hungerburg und waren in der kalten Jahreszeit (Oktober bis Feber) erwartungsgemäß häufiger als in der warmen. Oberhalb der Hungerburg nahm die Häufigkeit der Inversionen mit zunehmender Schichtdicke stark ab.