

Auswertung

des TEMPIS-Hangprofils Innsbruck

für das Jahr 2024

Durchführung

GeoSphere Austria
Regionalstelle Tirol und Vorarlberg
© GeoSphere Austria

Erstellt von
Dr. Susanne Drechsel
und
Dr. Johannes Vergeiner

Innsbruck, am 18.02.2025

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Stationen des Innsbrucker Hangprofils	3
3	Datenqualität und -verfügbarkeit im Jahr 2024	5
4	Auswertung der Temperatur im Jahr 2024	5
4.1	Temperaturprofile	7
4.2	Stabilität	8
4.3	Inversionen.....	11
4.4	Einordnung in die Innsbrucker TEMPIS-Reihe seit 1999	15
5	Auswertung der Feuchte im Jahr 2024	16
6	Auswertung des Windes im Jahr 2024.....	19
6.1	Windrichtung.....	19
6.2	Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind.....	20
6.3	Windgeschwindigkeiten: 2 Sekunden Böen.....	21
6.4	Kalmen	22
7	Zusammenfassung.....	24

1 Einleitung

Die Auswertung des TEMPIS Hangprofils für das Jahr 2024 liefert nun bereits den neunten Jahres-Überblick über die Temperatur- und Feuchteverteilung der Innsbrucker Talatmosphäre und die Windverhältnisse im Inntal. Neben den Stabilitäts- und Inversionsanalysen wurde auch die Gesamtreihe des Inversionsgeschehens in der Innsbrucker Talatmosphäre um das Jahr 2024 erweitert.

2 Stationen des Innsbrucker Hangprofils

Bei den Stationen gibt es keine Veränderungen zu den letzten 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 **TEMP**eratur-**Informations-System**s (TEMPIS) verwendet, die über das Stadtgebiet und in verschiedenen Höhenlagen der Nordkette verteilt sind: Hauptbahnhof (HBF), Olympisches Dorf (ODO), Alpencampus (ALP), Hungerburg (HBG), Rastlboden (RAS) und Höttinger Alm (HOE). Das Hangprofil wird ergänzt durch die teilautomatischen Stationen (TAWES) der GeoSphere Austria am Flughafen (FLH) und auf dem Patscherkofel (PAK), sowie der in Kooperation mit dem Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften 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 GeoSphere Austria (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 Datenqualität und -verfügbarkeit im Jahr 2024

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.

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 zur ehestmöglichen Reparatur oder einem Tausch des betroffenen Sensors. Im abgelaufenen Jahr war dies allerdings an der im August ausgefallenen Station Rastlboden bis über das Jahresende hinaus nicht möglich.

Die Datenverfügbarkeit für die verschiedenen Parameter im Jahr 2024 liegt großteils (FLH, UNI, ALP, HBG, PAK) zwischen 99,7 und 100 %. Auch an der Station ODO wurden Temperatur und Wind vollständig registriert, nur bei der Feuchte gab es Mitte Dezember einen rund 4,5 tägigen Ausfall. Am Hauptbahnhof gibt es im Wesentlichen einen längeren Messausfall (alle Parameter), und zwar von gut 9 Tagen ab dem 17. August. Die Station Höttinger Alm „leidet“ unter sehr vielen, meist aber eher kurzen Datenlücken. Die längste war Anfang Juli und beträgt 2,2 Tage am Stück, sodass für diesen Monat nur teilweise Auswertungen möglich sind. Über das gesamte Jahr 2024 summieren sich die Ausfälle auf rund 4 Wochen. Sehr gravierend ist die Situation für die Station Rastlboden. Hier gibt es im Prinzip ab dem 20. August keine verwertbaren Daten mehr.

4 Auswertung der Temperatur im Jahr 2024

Für die Auswertung ist eine Mindestverfügbarkeit von 80 % an 10-Minuten Daten im betrachteten Zeitintervall gefordert. Diese Voraussetzung wurde aufgrund der oben beschriebenen Ausfälle auf der Höttinger Alm im Juli nicht erfüllt, am Hauptbahnhof im August und am Rastlboden von August bis Dezember, wodurch hier auch keine Jahresauswertungen möglich sind.

Tabelle 2 zeigt die Monats- und Jahresmittel der Temperatur an allen betrachteten Stationen im Jahr 2024. Die Jahresmittelwerte lagen zwischen 11,5 °C (UNI) in der Talsohle und 2,5 °C auf dem Patscherkofel. Damit war es 2024 an allen Stationen (der Wert von 11,5 im ALP 2023 wurde aufgrund des gut zweiwöchigen Ausfalls im Winter hier nicht mit eingerechnet) wärmer als in allen anderen Jahren seit dem jeweiligen Messbeginn (FLH seit 1951, UNI seit 1877 und PAK seit 1940) unter Zuhilfenahme der Klimadatenreihe auf <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring>).

Bezogen auf das aktuelle Klimamittel 1991-2020 fielen sowohl an der UNI als am PAK die meisten Monate überdurchschnittlich warm aus. Im Tal lag nur der Dezember im langjährigen

Schnitt, am Patscherkofel war es der September unterdurchschnittlich temperiert (vergleiche Tabelle 3). Die größte Abweichung weist dabei der Februar auf, wo es über nahezu das gesamte Profil der wärmste Februar seit dem jeweiligen Messbeginn war, insbesondere in den Niveaus bis zur Hungerburg. Im Vergleich zum Klimamittel 1991-2010 war es an der Station UNI um 5,2 °C zu warm und am PAK um 4,2 °C. Ebenso fielen auch die Monate März, Juli, August und Oktober als deutlich überdurchschnittlich warm aus – mit Ausnahme des letzteren stellen sie zumindest im Talniveau bis zur Hungerburg die wärmsten der nun neunjährigen TEMPIS-Reihe dar.

NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
FLH	0,1	6,1	8,9	10,8	15,0	18,3	20,6	21,1	14,8	12,2	3,7	-0,5	10,9
UNI	0,8	6,7	9,4	11,5	15,4	18,7	21,2	21,8	15,3	12,7	4,3	0,2	11,5
HBF	1,2	6,9	9,4	11,4	15,2	18,4	20,9	NA	15,2	13,0	4,8	0,6	11,3
ODO	1,0	6,8	9,3	11,2	15,0	18,3	20,5	21,2	14,9	13,1	4,9	0,5	11,4
ALP	1,2	6,9	9,2	11,3	14,9	17,9	20,3	21,2	14,9	13,1	5,2	0,8	11,4
HBG	0,8	6,0	7,2	9,4	12,8	16,1	18,3	19,2	13,2	12,0	4,4	0,6	10,0
RAB	0,5	4,6	5,2	7,4	10,8	14,4	16,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
HOE	-0,3	2,9	2,8	4,9	8,3	12,6	NA	16,5	9,9	8,9	3,6	0,3	6,8
PAK	-4,6	-2,2	-2,6	-0,2	3,2	7,7	10,8	12,4	4,5	4,2	0,0	-3,7	2,5

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 2024. Sind im betrachteten Mittelungszeitraum weniger als 80 % an Daten verfügbar, wurde kein Mittel berechnet (NA). Die Farbcodierung der Zellen in „blau=kalt“ und „rot=warm“ soll eine schnelle Einordnung erleichtern. Zudem sind jene Werte fett rot (blau) formatiert, die auf eine Nachkommastelle berechnet - den bisherigen Maximalwert (Minimalwert) seit 2016 übertreffen (unterschreiten).

Abweichungen 2024 vom Klimamittel 1991 - 2020													
NAME	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
UNI	1,4	5,2	3,0	1,0	0,7	0,8	1,9	2,8	0,4	2,4	0,2	0,0	1,7
PAK	1,4	4,2	1,7	1,1	0,5	0,9	2,1	3,4	-0,5	1,9	2,2	1,5	1,7

Tabelle 3: Temperaturabweichungen 2024 in °C in den einzelnen Monaten und des Gesamtjahres vom Klimamittel 1991 - 2020. Quelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/>

Der Temperaturunterschied von 0,6 °C im Jahresschnitt zwischen den beiden gleich hoch gelegenen Stationen FLH und UNI war ähnlich wie in den Vorjahren. Der höhere Wert an der UNI rührt vom Stadteffekt her und ist nicht nur im Jahresmittel, sondern auch in allen einzelnen Monaten vorhanden. Details zum Stadteffekt sind im Bericht für 2020 in Abschnitt 4.5 zusammengefasst.

4.1 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 (links), sowie das Monatsmittel für Dezember 2024. Im Appendix sind in Abbildung A7 die Monatsmittel für Jänner und Februar 2024 zu sehen.

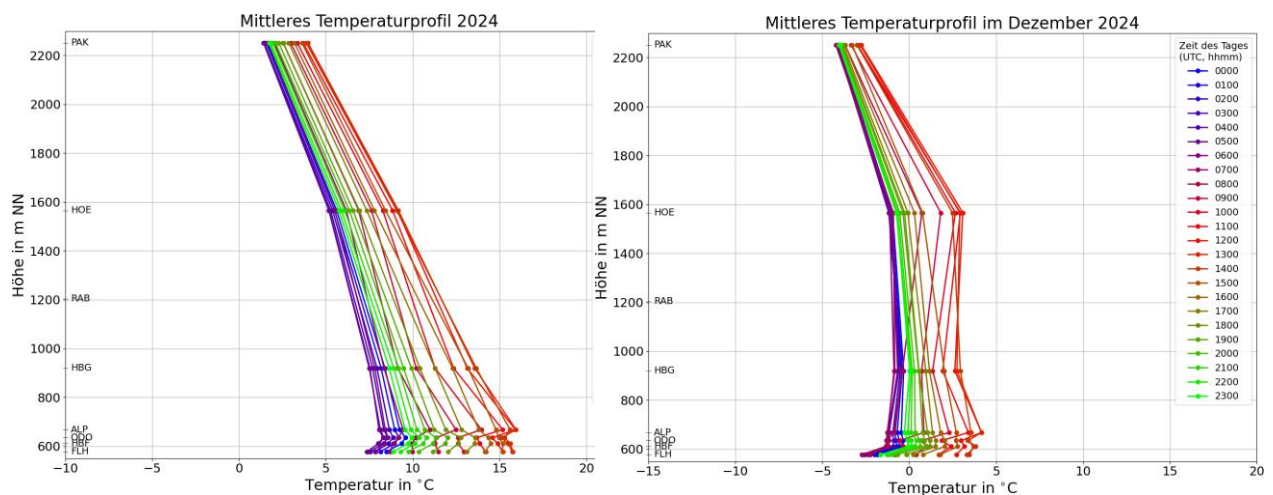


Abbildung 2: Mittlere stündliche Temperaturprofile im Jahresmittel (links) und für den Dezember (rechts) 2024. Die Skalen sind in beiden Abbildungen gleich groß, im Dezember ist sie aber um 5 °C nach links verschoben. Zur Umrechnung auf Mitteleuropäische Zeit (MEZ) ist eine Stunde zu addieren, 12 Uhr UTC entspricht also beispielsweise 13 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 also stabiler ist als tagsüber (rote und hellbraune Linien). Dies gilt sowohl für das Gesamtjahr (links), als auch für einzelne Monate wie hier z.B. im generell sehr stabil geschichteten Dezember (rechts). Der Grund dafür ist, dass der mittlere Tagesgang in den unteren Niveaus deutlich größer ist als weiter oben¹. Im Gesamtjahr liegt der Tagesgang an den Stationen FLH, HBF, ODO und ALP bei rund 9 Grad, an den Stationen HOE und PAK bei nur gut 3 Grad. Im Dezember fällt der Tagesgang zwar allgemein geringer aus, ist aber im Talniveau mit rund 6 Grad weiterhin deutlich stärker als auf Gipfelniveau mit rund 1,5 Grad. Im Dezember erkennt man zudem, dass zwischen Hungerburg und Höttinger Alm am Vormittag (zwischen 9 und 13 Uhr MEZ) eine Inversion entsteht, da die Erwärmung auf der Höttinger Alm stärker als auf der Hungerburg ist. Ähnlich sieht es auch im Jänner 2024 aus, während der stark

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.

überdurchschnittlich milde Februar tagsüber bereits deutlich labiler ausfällt (vgl. Abbildungen A7 im Appendix).

4.2 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.

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.

Die Stabilität und ihre zeitliche Entwicklung sind daher besonders im Hinblick auf Schadstoffkonzentrationen interessant. Die im Folgenden verwendeten Stabilitätsklassen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

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.

Jahr 2024 / Mittel 2016 - 2023					
Schicht	Häufigkeit (%)				
	sehr labil	labil	neutral	stabil	sehr stabil
FLH - HBG	0,6 / 0,6	15,3 / 15,0	44,8 / 44,7	21,4 / 24,0	17,9 / 15,7
HBG - RAB	1,0 / 0,9	22,2 / 16,7	53,6 / 51,2	19,2 / 24,6	4,2 / 6,7
RAB - HOE	1,3 / 0,9	19,8 / 15,8	47,2 / 44,8	27,9 / 33,2	3,9 / 5,3
HOE - PAK	0,3 / 0,5	20,0 / 17,8	68,7 / 71,9	10,8 / 9,7	0,2 / 0,0

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Stabilitätsklassen in den übereinanderliegenden Schichten im Jahr 2024 (linker Wert) sowie im Schnitt der achtjährigen Periode 2016 – 2023 (rechter Wert).

Tabelle 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Stabilitätsklassen für vier aufeinanderfolgende Schichten vom Talboden bis zum Patscherkofel im Jahr 2024 sowie im Schnitt der Jahre 2016 bis 2023. Zu beachten ist der Messausfall am Rastlboden ab 20. August 2024. Die Werte der

Schichten HBG-RAB und RAB-HOE sind daher nicht für die Bedingungen im gesamten Jahr repräsentativ. (Sehr) stabile Lagen kommen am häufigsten in der bodennahen Schicht FLH – HBG vor. In dieser Schicht war es 2024 insgesamt zu 39,1 % stabil oder sehr stabil geschichtet, das ist sehr nahe am 8-Jahresschnitt von 39,7 %. Mit zunehmender Höhe der Schicht über Grund ist es öfter neutral geschichtet. Der recht hohe Anteil an stabilen Lagen vom Rastlboden bis zur Höttinger Alm kommt – wie auch in den anderen Schichten - überwiegend aus den Nachtstunden (nicht gezeigt).

Die Stabilitätsverteilungen im Jänner und Mai sind der Abbildung A8 im Appendix zu entnehmen. Sie zeigen monatstypische Häufigkeiten. Im Jänner gibt es vor allem in Nähe des Talbodens viele stabile bzw. sehr stabile Lagen, bis zur Hungerburg sind es in Summe etwa 70 %. Aufgrund der noch schwach ausgeprägten Aufheizung der Luft durch die Sonnenstrahlung gibt es hingegen nur selten (sehr) labile Schichtungen. Je weiter man nach oben geht, desto häufiger gibt es neutrale Bedingungen. Im Mai ist die Sonneneinstrahlung schon deutlich kräftiger. Nun gibt es zu rund einem Viertel (25 %) labile Lagen, während es im Gegenzug deutlich seltener ist, dass (sehr) stabile Verhältnisse im Inntal vorherrschen. Die tageszeitliche Entwicklung der ausgewiesenen Stabilitätsklassen vom Flughafen bis zur Hungerburg in den beiden betrachteten Monaten Jänner und Mai kann der Abbildung A9 im Appendix entnommen werden.

Die mittlere tageszeitliche Verteilung der Stabilitätsklassen in der Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg im ganzen Jahr 2024 ist in Abbildung 3 dargestellt. Im Jahresschnitt dominierten nachts ab etwa 22 UTC bis in die Morgenstunden um ca. 7 UTC die (sehr) stabilen Verhältnisse (ca. 50 bis 55 %), ansonsten die neutrale Schichtung. Mit der Einstrahlung stieg die Häufigkeit der labilen Klasse vormittags auf über 20 %, den Maximalwert erreichte sie um die Mittagszeit sowie zwischen etwa 17 und 18 UTC mit gut 30 %. Die Abendspitze der labilen Werte ist wohl auf das späte Temperaturmaximum am Flughafen zurückzuführen, bedingt durch die begünstigte Sonneneinstrahlung. Die mittlere tageszeitliche Stabilitätsverteilung ist ähnlich zu jener der Vorjahre.

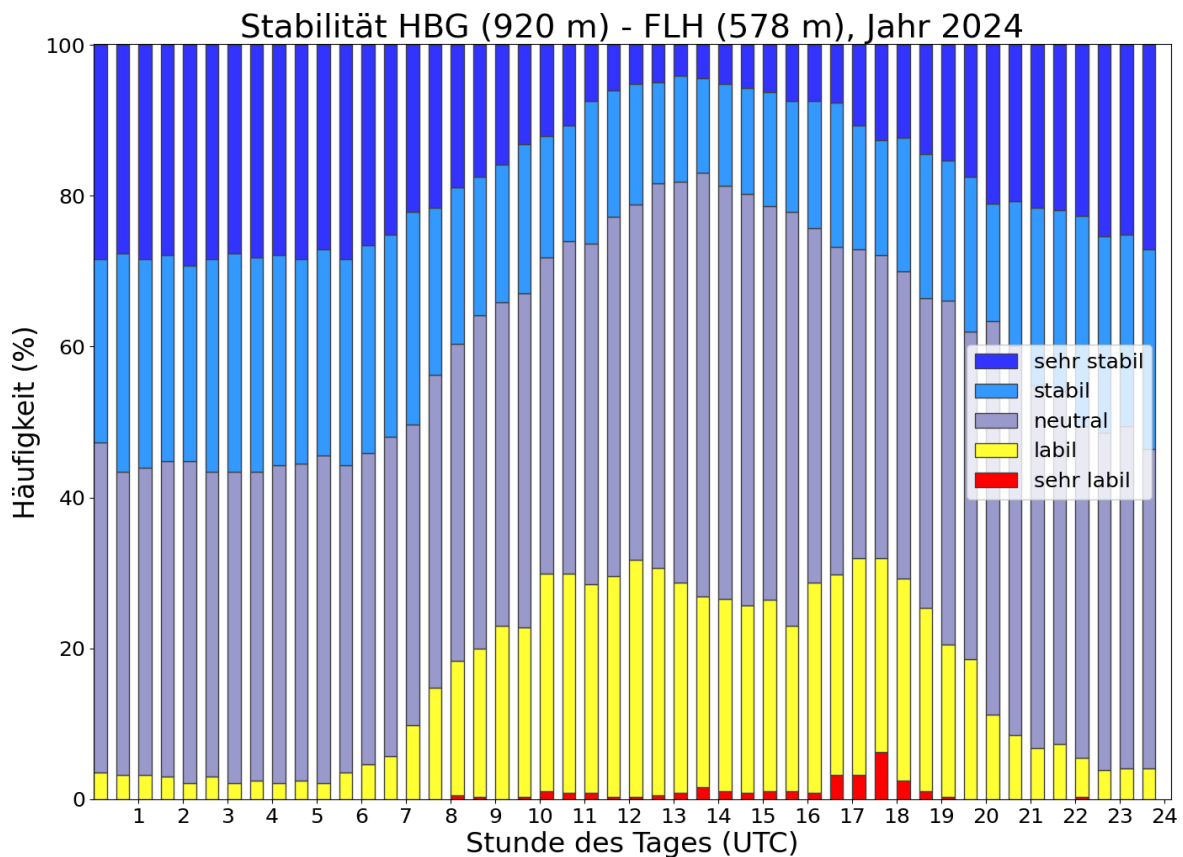


Abbildung 3: Tageszeitliche Verteilung der Stabilitätsklassen aus den halbstündlichen Temperaturmitteln in der 342 m dicken Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg im Jahr 2024.

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 6 zusammengefasst.

HMW-Dauer	Anzahl								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1-2	258	347	331	296	295	265	285	245	281
3-6	76	85	109	84	79	83	69	96	88
7-12	40	46	53	49	35	37	36	58	49
13-24	90	76	91	88	99	81	101	69	67
25-49	49	80	81	83	66	77	83	86	76
≥ 49	16	13	14	16	23	22	13	8	17
SUMME (Wochen)	19,0	19,7	21,1	20,7	23,5	20,7	21,2	19,3	20,5

Tabelle 6: Anzahl verschiedener Dauerstufen mit (sehr) stabiler Schichtung zwischen Flughafen (578 m) und Hungerburg (920 m) in den Jahren 2016 bis 2024, sowie deren Gesamtdauer in Wochen. 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 lag 2024 mit 20,5 Wochen ziemlich genau im Schnitt der acht Vorjahre, der 20,65 Wochen beträgt, wobei die Bandbreite von 19,0 im Jahr 2016 bis 23,5 im Jahr 2020 reicht.

4.3 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, die auf die kalte Jahreszeit beschränkt sind. Wenn eine bodennahe Kaltluftschicht ausgeprägt ist, ist auch der Heizbedarf groß. Die Schadstoffe von diesem Hausbrand sowie von Verkehr und Industrie sammeln sich in der relativ dünnen bodennahen Inversionsschicht an. Wenn wie im Inntal das Gebirge auch horizontalen Austausch einschränkt, kommt es zu hohen Schadstoffkonzentrationen bzw. -belastungen.

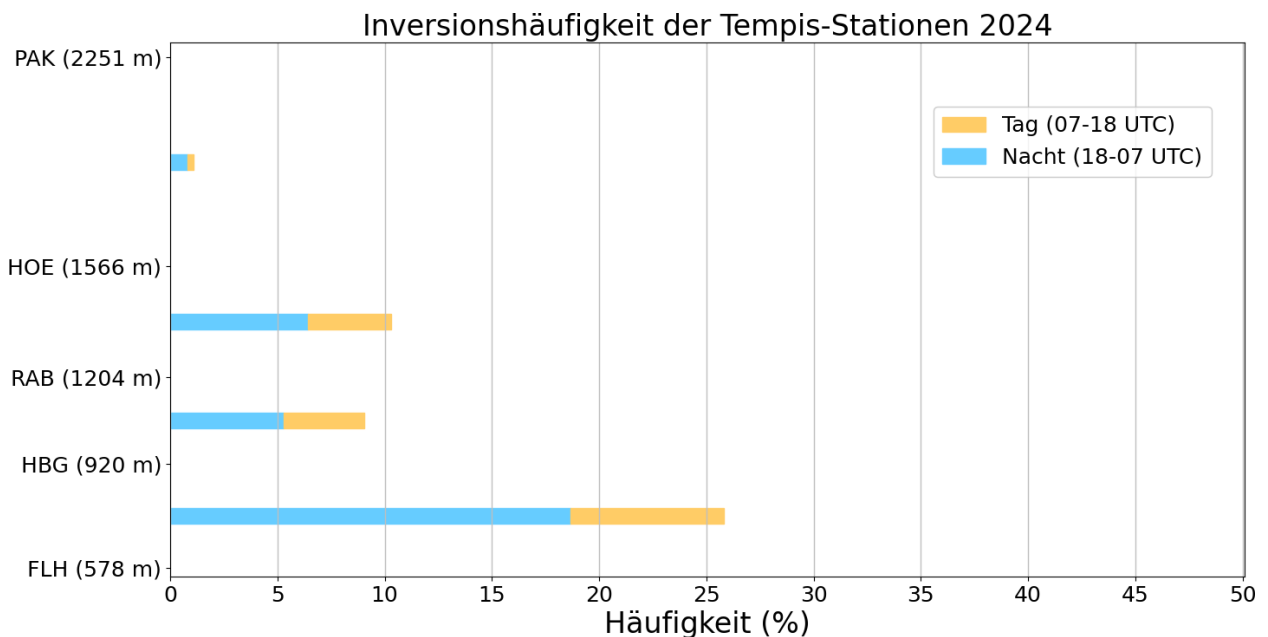


Abbildung 4: Häufigkeit der Inversionen in den verschiedenen Schichten im Jahr 2024. Gelbe Balken stehen dabei für den Anteil zwischen 7 und 18 UTC (8 und 19 MEZ), blau für den Anteil zwischen 18 und 7 UTC (19 und 8 MEZ), vereinfacht also für den Tages- und Nachtanteil.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Inversionshäufigkeit in den aufeinanderfolgenden Schichten FLH-HBG, HBG-RAB, RAB-HOE und HOE bis PAK im Jahr 2024. Im Großen und Ganzen nahm die Inversionshäufigkeit wie auch in den Vorjahren mit der Höhe ab. Die Ausnahme war – wie schon in den vergangenen Jahren – die Schicht Rastlboden bis Höttinger Alm, da sich in diesem Höhenbereich etwas gehäuft abgehobene Inversionen bilden. Im Jahr 2024 kamen Inversionen in der untersten Schicht zu 26 % vor, lagen bei etwa 10 % in den beiden folgenden Schichten und nur zu ~ 1 % der Zeit herrschten in der Schicht zwischen Höttinger Alm und Patscherkofel Inversionsbedingungen. Wenig überraschend kam eine Tempe-

raturzunahme mit der Höhe mehrheitlich nachts (hier definiert als Zeit von 18 bis 07 Uhr UTC) vor. Erwähnt sei hier noch einmal, dass die Daten am Rastlboden nur bis 20. August 2024 vorhanden sind.

In Abbildung 5 wird der zeitliche Verlauf der Inversionen im Jahr 2024 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 an den Stationen der Universität Innsbruck am Sattelberg und in Ellbögen abgeleitet, daher gibt es hier auch Fehlzeiten, die als graue Punkte bzw. Balken gekennzeichnet sind.

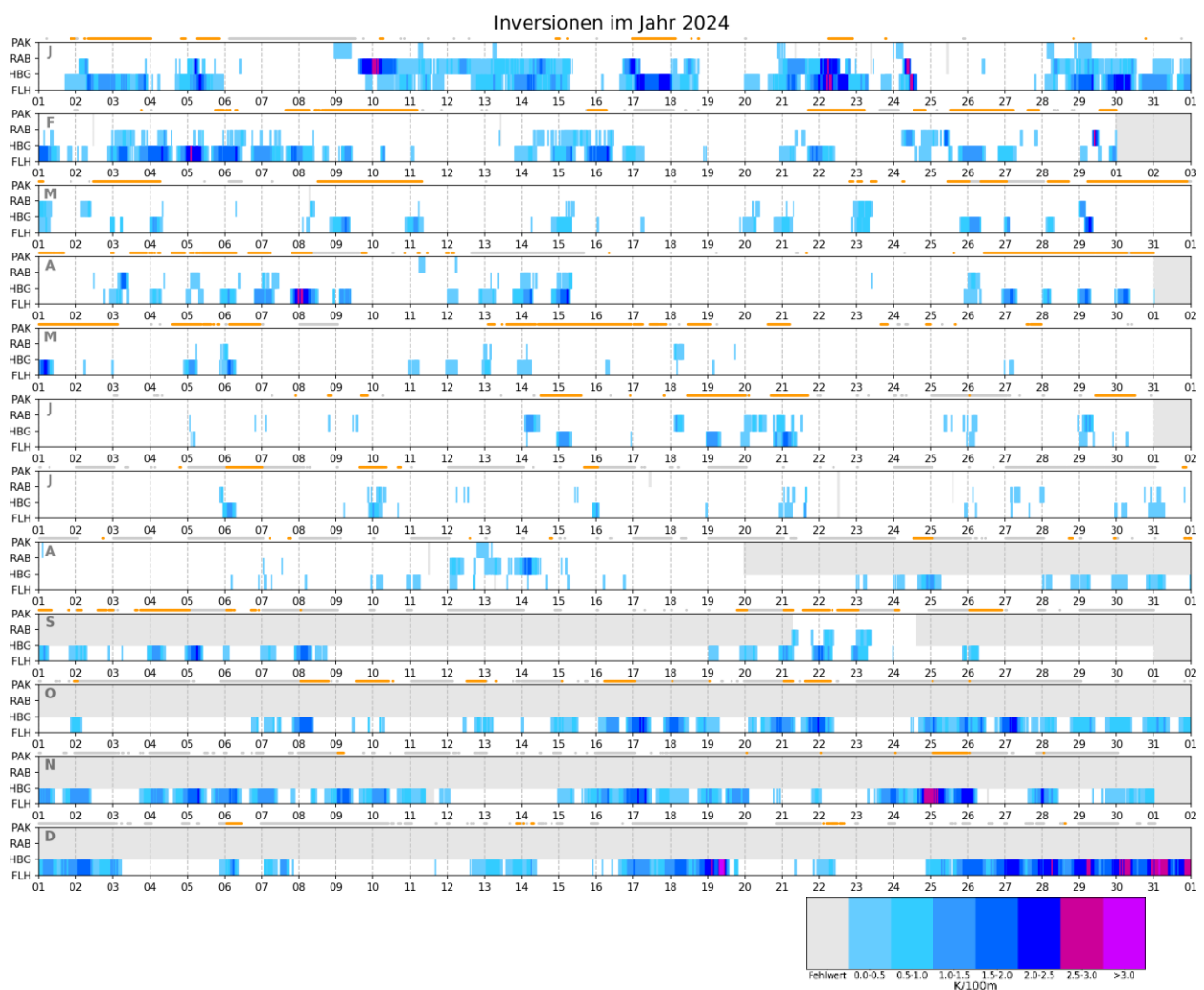


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Inversionen im Jahr 2024 in den Schichten FLH – HBG, HBG – RAB und RAB – PAK auf Basis von Halbstundenmittelwerten samt Legende mit Zuordnung der Farbskala (rechts unten). Weitere Erklärungen sind dem Text zu entnehmen.

Der saisonale Verlauf der Inversionen tritt klar zu Tage. Länger anhaltende und stark ausgeprägte Inversionslagen sind auf die Monate Oktober bis Februar beschränkt. Die längste durchgehende Periode wurde am Ende des Jahres registriert, die bodennahe Inversion dauerte eine Woche lang an. Aber auch im Jänner und Februar gab es längere stabile Phasen, in denen die Inversion untertags nur kurz „aufgebrochen“ wird. Die Identifikation dieser Zeiten ist wichtig, da sie einen großen (negativen) Einfluss auf die Luftqualität im Inntal haben. Im Frühjahr und Sommer sind die Zeiten mit Inversionen typischerweise auf die Nacht und hier vor allem die zweite Nachthälfte beschränkt. Wenn der Föhn im Wipptal weht, so baut er Inversionen oberhalb der Hungerburg meist ab. Die bodennahe Inversion wird durch die darüber fließende warme Luft gleichzeitig verstärkt. Dabei kann verstärkter Westwind für Frischluftzufuhr und damit einhergehend eine verbesserte Luftqualität trotz Inversion sorgen. Dies wurde in der Auswertung für das Jahr 2022 im Abschnitt 6.5 genauer analysiert.

Betrachtet man für das Inversionsgeschehen nicht die aufeinanderfolgenden Schichten, sondern verwendet für alle die gleiche Basisstation, ergeben sich weitere Einblicke.

Tabelle 7 fasst die monatlichen bzw. jährlichen Inversionshäufigkeiten für 2024 mit der Basisstation Innsbruck Flughafen im Vergleich zum Schnitt der Vorjahre zusammen. Die Tabelle enthält im Sinne der Vollständigkeit auch die sehr dünnen Schichten unterhalb der HBG.

Betrachtet man die Farbkodierung der Inversionshäufigkeit, so sticht die Bogenform ins Auge. Im Spätherbst und Winter reichen die Inversionen auch öfter bis zur Höttinger Alm, im Jahr 2024 lag deren Häufigkeit beispielsweise im Jänner, November und Dezember nur knapp unter 50 %. Zwischen März und September sind die Inversionen meist jedoch auf die untersten 100 m beschränkt, d. h. sie reichen oft noch bis zum Alpenzoo aber nicht mehr bis zur Hungerburg. Die Verhältnisse im Jahr 2024 lagen überwiegend innerhalb der beobachteten Bandbreite der Vergleichsperiode 2016 – 2023. Im Juni und Juli war die Häufigkeit von bodennahen Inversionen etwas geringer als das bisher registrierte Minimum, das wird über die rote Farbgebung der Werte hervorgehoben.

Erwartungsgemäß waren Inversionen wie in den Vorjahren nachts (18 bis 7 UTC, Tabelle A2 im Appendix) deutlich 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 mit ganz wenigen Ausnahmen ab. Tagsüber sind die ‚künstlichen‘ Inversionen bis zum Alpenzoo aufgrund der Überwärmung in der Südhanglage augenscheinlich, sodass die Häufigkeiten jene der vertikal weniger ausgedehnten Schicht bis zum Olympischen Dorf in der Regel übersteigt.

	Δz	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2024														
HBF	33	75	70	60	61	54	53	56	71	52	71	76	77	64
ODO	57	64	60	52	53	43	41	38	49	42	67	72	67	54
ALP	90	67	58	45	54	36	24	32	49	39	58	77	69	51
HBG	342	51	39	15	20	7	6	5	9	17	39	53	49	26
RAB	626	48	30	9	14	4	6	3	3	NA	NA	NA	NA	NA
HOE	988	45	21	5	8	0	0	3	7	6	21	49	47	18
PAK	1673	17	6	0	1	0	0	0	0	0	1	28	34	7

	Δz	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Schnitt 2016-2023														
HBF	33	74	67	56	54	51	58	60	62	65	67	65	76	63
ODO	57	64	58	48	46	41	45	46	49	52	59	57	68	53
ALP	90	67	62	52	50	39	42	43	46	51	58	57	69	53
HBG	342	46	38	22	16	9	9	8	11	17	34	36	51	25
RAB	626	42	31	16	10	5	5	4	6	13	31	35	49	20
HOE	988	35	29	12	7	1	3	2	5	9	24	30	42	17
PAK	1673	16	10	2	0	0	0	0	0	1	7	10	19	5

	Δz	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Minimum 2016-2023														
HBF	33	54	56	48	34	38	53	48	45	47	60	52	65	55
ODO	57	46	41	37	28	32	36	40	35	42	48	48	62	49
ALP	90	48	51	42	31	27	31	36	32	32	47	43	59	48
HBG	342	24	15	13	4	5	3	4	6	11	20	25	36	22
RAB	626	23	7	8	1	2	1	2	2	8	16	18	34	17
HOE	988	16	13	7	0	0	0	2	1	5	13	11	25	15
PAK	1673	2	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	10	3

	Δz	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Maximum 2016-2023														
HBF	33	92	79	61	72	64	69	71	76	75	76	79	90	69
ODO	57	79	69	60	67	49	58	53	55	61	68	71	83	56
ALP	90	86	76	66	72	51	51	54	56	59	64	78	94	59
HBG	342	76	52	34	30	13	16	13	13	26	40	62	85	30
RAB	626	72	49	23	19	9	12	6	9	19	41	62	81	25
HOE	988	65	48	18	15	3	8	3	9	14	34	62	76	21
PAK	1673	39	22	5	1	0	0	0	1	5	12	36	45	9

Tabelle 7: Inversionshäufigkeit (in %) zwischen Flughafen und der jeweiligen Station in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2024 (oben), gefolgt vom Durchschnitt bzw. minimalen und maximalen Werten zwischen 2016-2023. Mit Δz ist die Schichtdicke ausgehend von der Seehöhe des Flughafens (in m) angegeben. Die Häufigkeiten sind farbkodiert – je dunkler der Zellhintergrund, umso höher die Häufigkeit. Im obersten Abschnitt „2024“ sind zudem jene Werte fett blau (rot) formatiert, die den bisherigen Maximalwert (Minimalwert) übertreffen (unterschreiten).

4.4 Einordnung in die Innsbrucker TEMPIS-Reihe seit 1999

In einem Projekt der ZAMG (durch die Zusammenlegung mit der GBA seit 1.1.2023 GeoSphere Austria), das vom Land Tirol unterstützt wurde, konnten alte TEMPIS Daten beginnend mit dem Jahr 1999 digitalisiert, kontrolliert und analysiert werden. Diese Reihe wird nun laufend ergänzt. Im Zusammenhang mit dem hier vorliegenden Bericht eignen sich die Stationen Hungerburg (HBG) und Rastlboden (RAB) für Stabilitätsvergleiche, da deren Standorte 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 mittlerweile für die Hungerburg 22 Jahre an Temperaturdaten vor, für den Rastlboden 20 und für den Patscherkofel alle 26.

In Abbildung 6 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 22,2 und 36,2 %, bis zum RAB zwischen 16,8 und 31,1 % und bis zum PAK zwischen 1,8 und 10,8 %.

Im Jahr 2024 lag die Inversionshäufigkeit bis zur Hungerburg bei 25,8 % und bis zum Patscherkofel bei 7,2 %. Durch den Messausfall des Temperatursensors am Rastlboden ab August 2024 kann in der Schicht bis zu dieser Station für 2024 kein repräsentativer Wert ermittelt werden. In den Schichten Flughafen – Hungerburg und Flughafen – Patscherkofel gab es nur einmal in der neuen Reihe ab 2016 mehr Inversionen. Das war im Jahr 2020 mit 30,1 % in der unteren Schicht bzw. 8,7 % in der gesamten Talatmosphäre. In diesem Jahr nahm die Temperatur doch deutlich öfter mit der Höhe zu. Insgesamt ist aber seit 1999 kein signifikanter Trend nachweisbar, die witterungslagenabhängige Variabilität dominiert.

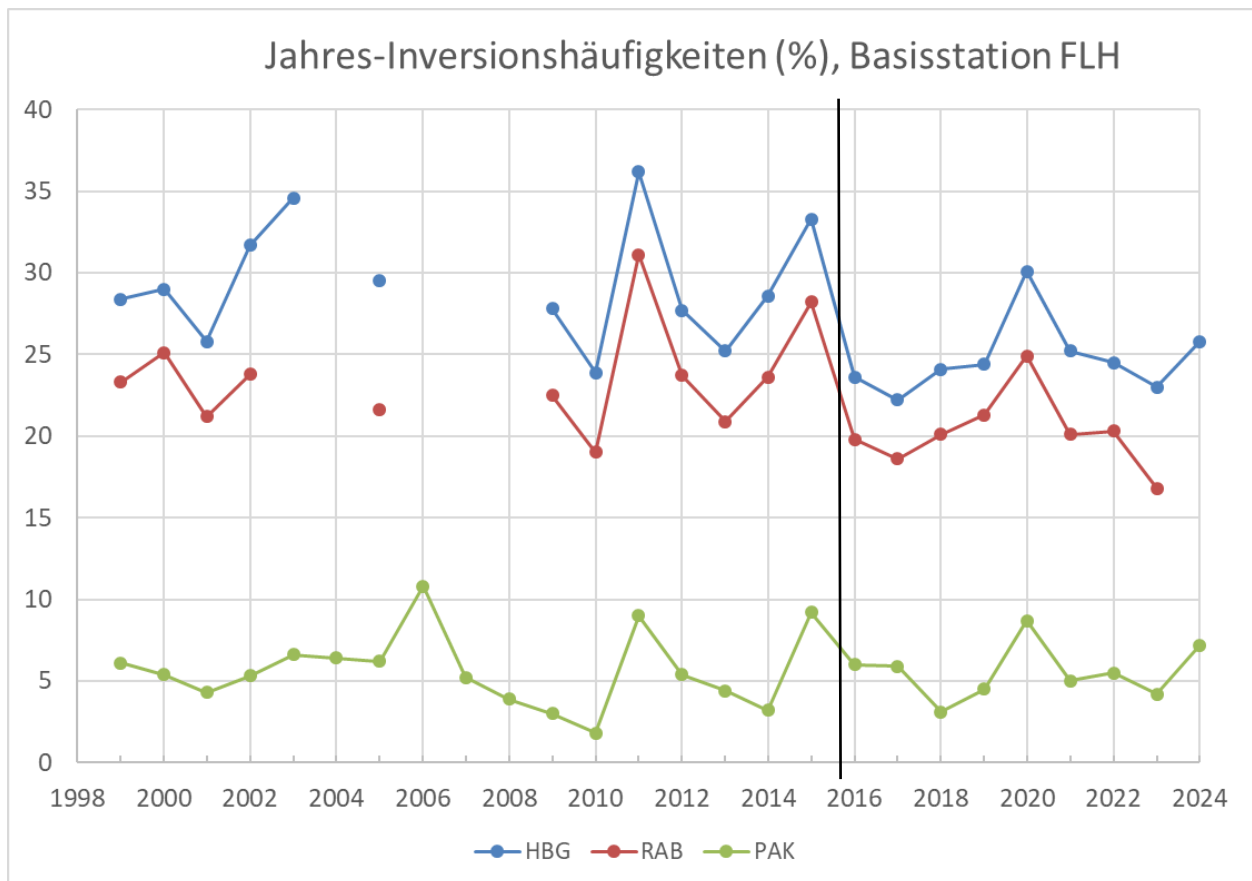


Abbildung 6: Jahres-Inversionshäufigkeiten der langjährigen TEMPIS-Reihen von 1999 bis 2024 (bis 2018 basierend auf 30-Minuten-Daten, ab 2019 auf 10-Minuten-Daten) für die Schichten zwischen Flughafen und Hungerburg (blau), Rastlboden (rot) und Patscherkofel (grün). Der schwarze Trennstrich markiert die Grenze zwischen altem und neuem Hangprofil.

5 Auswertung der Feuchte im Jahr 2024

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 % (solange genügend Kondensationskerne vorhanden sind, was in der Troposphäre fast immer der Fall ist). 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.

Tabelle 8 zeigt die Feuchteverteilung über die Talatmosphäre in den einzelnen Monaten und im Jahresmittel 2024 (oben). Um die Werte einordnen zu können, folgen in den drei Tabellenabschnitten darunter Durchschnitt bzw. minimale und maximale Werten zwischen 2016-2023.

Fett blau (rot) gedruckte Werte aus dem Jahr 2024 bedeuten, dass sie den bisherigen Maximalwert (Minimalwert) übertreffen (unterschreiten).

Übers Jahr gerechnet lag die relative Feuchte 2024 an allen Stationen im Bereich von 70-77 %. Wie auch in den Vorjahren ist der höchste Wert auf dem PAK zu finden, welcher häufig in Wolken steckt und die Feuchte dann 100 % erreicht. In der Reihung folgt dann bereits der FLH mit 76 % (RAB, der normalerweise einen ähnlichen Wert aufweist, konnte aufgrund des langen Ausfalls nicht analysiert werden). In den unteren Niveaus bis zur Hungerburg gehört 2024 zu den eher feuchteren Jahren, im ODO ist es sogar das feuchteste in der Reihe seit 2016. Auf der Höttinger Alm reiht es sich unter den trockensten ein, am PAK ist es ein durchschnittlich feuchtes Jahr. Die Schwankungsbreite liegt dabei über die Jahre hinweg zwischen 3 und maximal 6 Prozentpunkten.

Der Jahresverlauf ist wie üblich von Schwankungen geprägt: generell am trockensten war es dabei im November von der HOE aufwärts mit Werten von 56 bzw. 57 %. An den tieferen Stationen war es im April mit Werten zwischen 58 und 65 % am trockensten. Recht feucht war es in den Monaten Juni, Juli, Oktober und Dezember wobei es sich am FLH, im ODO und am RAB sogar um den feuchtesten Juli seit 2016 handelt. Interessanterweise war die Niederschlagsmenge im Juli dabei sogar unterdurchschnittlich (UNI -19 %, PAK -25 %). Eventuell dürfte es eine Folge des niederschlagsreichen Junis gewesen sein (UNI +57 %, PAK +42 %), wo es an rund der Hälfte der Tage geregnet hat.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2024													
FLH	86	77	69	65	70	74	76	76	76	83	80	84	76
UNI	78	69	62	58	64	69	69	69	70	76	75	81	70
HBF	79	70	62	58	64	70	71	NA	71	77	76	85	71
ODO	80	71	64	60	67	73	75	75	75	79	78	89	74
ALP	80	69	63	60	68	75	75	73	72	76	74	88	73
HBG	76	68	67	62	71	77	79	79	76	77	73	83	74
RAB	74	72	74	68	78	82	86	NA	NA	NA	NA	NA	NA
HOE	62	67	72	66	76	76	NA	77	74	75	57	64	70
PAK	66	79	84	75	87	85	83	78	85	84	56	65	77
Durchschnitt 2016-2023													
FLH	83	74	67	63	69	68	72	74	78	78	83	86	75
UNI	80	70	62	59	65	64	68	71	74	75	80	82	71
HBF	79	69	61	58	64	63	66	68	72	73	79	82	70
ODO	80	71	63	59	66	65	68	72	74	73	80	83	71
ALP	80	73	64	61	70	69	74	76	78	76	81	83	74
HBG	78	71	66	64	73	71	76	78	80	75	80	80	74
RAB	75	70	68	68	75	73	78	80	81	74	78	75	75
HOE	69	64	66	71	77	73	76	77	78	71	73	68	72
PAK	72	70	74	79	85	79	81	81	80	75	76	71	77

Minimum 2016-2023													
FLH	78	71	53	55	64	61	67	69	74	73	77	78	72
UNI	76	65	48	51	60	56	63	65	70	70	73	74	69
HBF	75	64	44	48	57	53	51	55	68	66	71	69	66
ODO	75	63	47	48	59	58	66	68	70	69	74	69	69
ALP	75	67	46	50	64	59	67	68	73	69	70	71	69
HBG	68	64	48	52	66	62	72	72	74	68	74	62	73
RAB	58	63	51	54	70	61	74	74	76	70	69	54	72
HOE	50	55	53	56	70	60	73	72	72	64	60	49	70
PAK	54	59	57	64	79	68	78	76	75	68	59	51	75

Maximum 2016-2023													
FLH	87	78	73	72	74	76	75	78	82	84	87	91	77
UNI	84	75	67	67	70	72	72	75	81	79	83	85	72
HBF	83	72	69	69	72	71	71	73	77	80	84	89	72
ODO	90	78	68	67	75	72	72	75	79	78	84	88	73
ALP	86	76	70	71	75	79	80	84	85	82	85	87	75
HBG	89	85	72	75	80	81	82	87	87	83	85	88	76
RAB	86	86	75	79	82	84	82	86	87	85	86	82	77
HOE	82	81	75	81	84	83	80	84	85	84	79	76	74
PAK	84	85	86	87	90	89	86	88	87	84	86	79	81

Tabelle 8: Relative Feuchte (in %) an den TAWES und TEMPIS-Stationen in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2024 (oben), gefolgt vom Durchschnitt bzw. minimalen und maximalen Werten zwischen 2016-2023. Die Häufigkeiten sind zur besseren Lesbarkeit auf ganze Werte gerundet und farbkodiert, wobei braun-rote Farben für eher trockene Verhältnisse stehen, blaue für feuchtere. In den Perioden mit weniger als 80 % an verfügbaren Daten wurden keine Mittel bestimmt, sie sind mit „NA“ gekennzeichnet. Im obersten Abschnitt „2024“ sind zudem jene Werte fett blau (rot) formatiert, die - auf eine Nachkommastelle berechnet - den bisherigen Maximalwert (Minimalwert) übertreffen (unterschreiten).

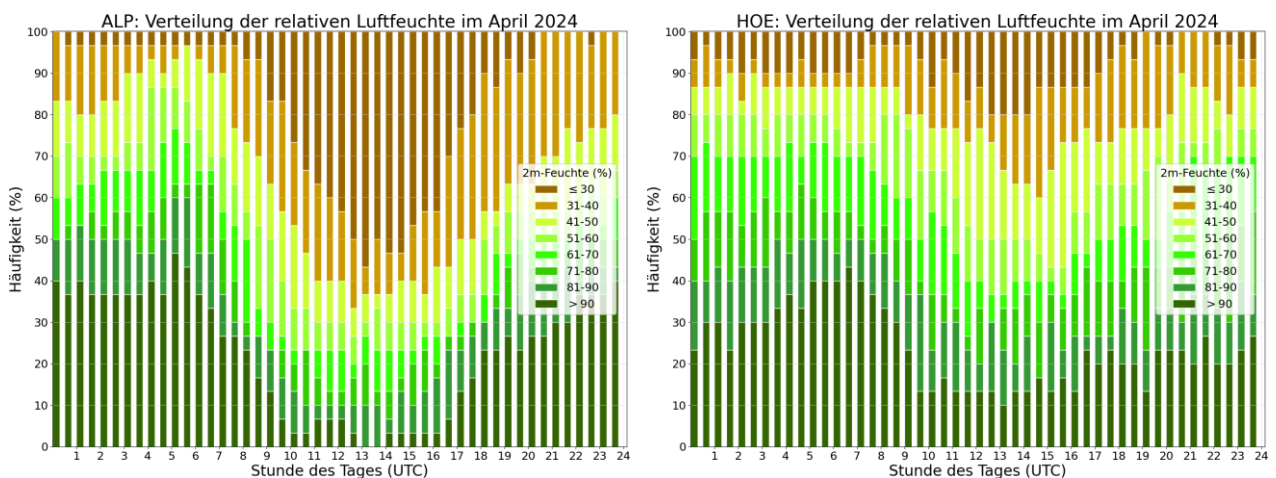


Abbildung 7: Tagesgang der Häufigkeitsverteilung der relativen Feuchte im Alpenzoo (links) und auf der Höttinger Alm (rechts) im April 2024.

In der Talsohle ist der Tagesgang der relativen Feuchte stärker ausgeprägt als in höheren Niveaus. Dies lässt sich deutlich aus dem Vergleich für den April 2024 an den Stationen Alpenzoo und Höttinger Alm in Abbildung 7 erkennen. Tagsüber war es im Jahresschnitt (und an den meisten Tagen) durch die Temperaturzunahme sowie die vertikale Durchmischung trockener als nachts.

6 Auswertung des Windes im Jahr 2024

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 zu Beschleunigungseffekten kommen. Im Raum Innsbruck ist hier vor allem der Südföhn durch das Wipptal zu nennen.

6.1 Windrichtung

Im heurigen Bericht soll der Fokus auf dem räumlichen Muster der Richtungsverteilung liegen. Dieses wird in Abbildung 8 gezeigt, indem die Jahreswindrosen auf den jeweiligen Mess-Standort projiziert werden.

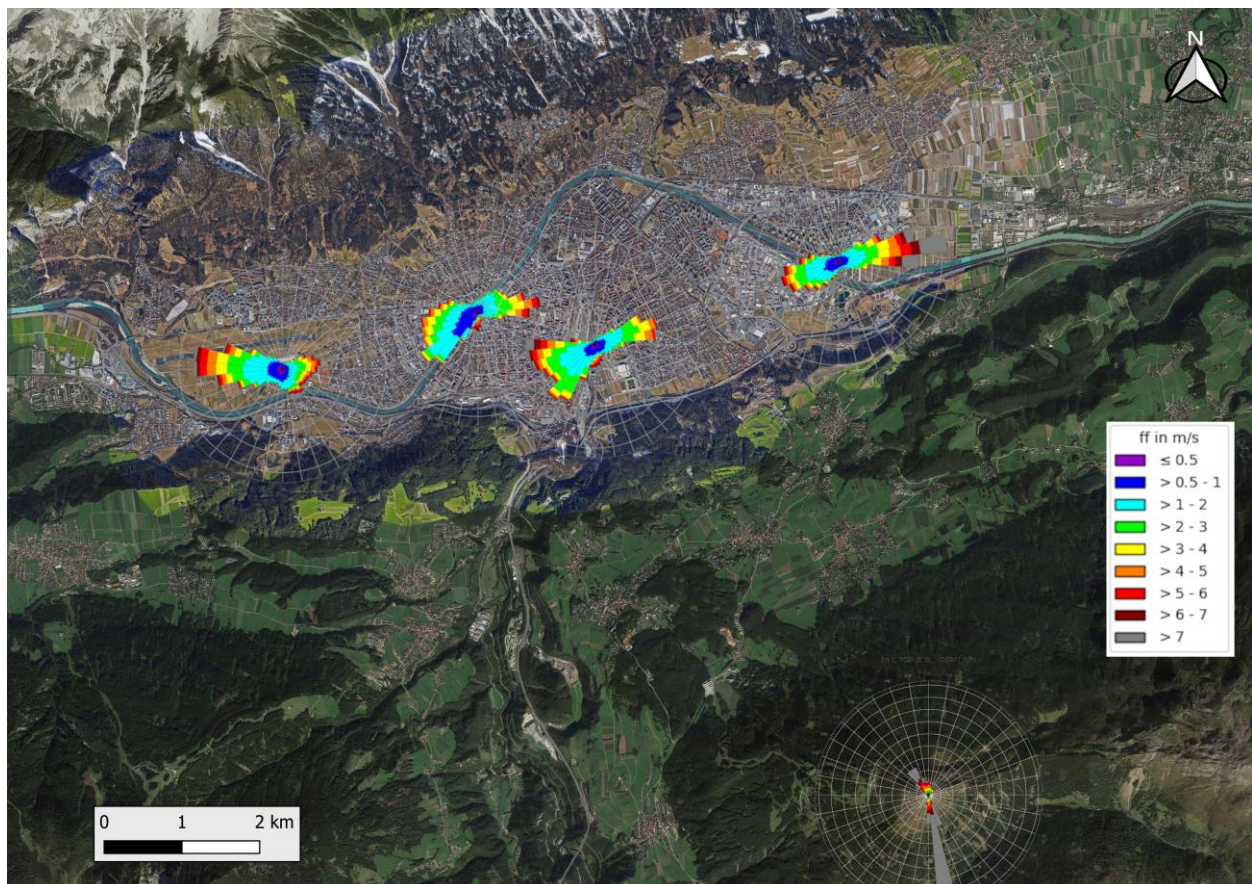


Abbildung 8: Räumliche Windverteilung an den Stationen mit Windmessung im Jahr 2024. An den Talstationen geht die radiale Skalierung einheitlich bis 11 %, am Patscherkofel bis 27 %.

Am Patscherkofel dominierte 2024 wie üblich die Anströmung aus Süd, gefolgt von Winden aus nordwestlicher Richtung. Sehr gut zu erkennen ist der Einfluss des Wipptales an der Station HBF am gehäuftem Auftreten von Winden aus Südwest. Diese spiegeln vorwiegend nächtliches Ausfließen wieder. An der UNI gibt es auch einen ausgeprägten Südwestast. Hier spielt wohl auch die Innschneise, die eine Leitwirkung für die Strömung ausübt, eine Rolle. Weiter westlich am FLH und östlich im ODO ist der Zufluss aus dem südlichen Seitental wegen der größeren Entfernung der Stationen zur Einmündung ins Inntal nicht mehr zu erkennen.

6.2 Windgeschwindigkeiten: 10 Minuten Mittelwind

Wie anhand der Tabelle 9 ersichtlich ist, lagen 2024 die Monatsmittel der mittleren Windgeschwindigkeiten an den Stationen am Talgrund zwischen 1,3 m/s und 4,8 m/s. Die geringste mittlere Windgeschwindigkeit am Talboden wurde in der kalten Jahreszeit registriert, konkret im Dezember an der Station UNI, die höchste im März an der Station ODO. Auffällig sind die – im Vergleich zum langjährigen Mittel – windreichen Monate März und September. Dadurch fällt auch das Jahresmittel relativ hoch aus. An den Stationen HBF, ODO und PAK ist es näher am Maximum der neuen Reihe als am Minimum.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
2024													
FLH	1,6	2,1	3,2	2,9	2,7	2,3	2,0	1,9	2,4	2,5	1,9	1,6	2,2
UNI	1,5	1,9	2,6	2,4	2,4	2,1	2,1	1,9	2,2	2,0	1,6	1,3	2,0
HBF	1,8	2,3	3,0	2,7	2,6	2,2	2,1	NA	2,3	2,5	2,3	1,6	2,3
ODO	2,1	2,9	4,8	3,5	3,5	3,2	3,3	2,9	3,2	2,6	2,3	1,7	3,0
PAK	7,4	9,9	11,6	8,6	6,8	7,0	5,3	5,0	8,7	9,1	6,3	6,0	7,6

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
8-Jahres-Schnitt 2016-2023													
FLH	2,0	2,4	2,5	2,7	2,4	2,3	2,0	2,0	1,7	2,1	2,0	2,0	2,2
UNI	1,6	2,0	2,2	2,5	2,3	2,3	2,0	1,9	1,7	1,8	1,8	1,6	2,0
HBF	1,9	2,2	2,4	2,5	2,3	2,3	1,9	2,0	1,8	2,1	2,0	1,9	2,1
ODO	2,0	2,8	3,3	3,8	3,3	3,4	2,9	2,8	2,4	2,7	2,6	2,2	2,8
PAK	7,9	8,0	7,1	7,4	6,1	5,3	4,7	4,8	5,0	8,4	8,7	8,2	6,8

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Minimum 2016-2023													
FLH	1,3	1,8	2,0	2,2	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,3	1,5	2,0
UNI	1,1	1,5	1,8	2,1	1,9	1,9	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	1,8
HBF	1,3	1,7	1,9	2,0	1,8	1,9	1,8	1,8	1,6	1,6	1,4	1,6	2,0
ODO	1,6	2,3	2,6	3,1	2,7	2,9	2,6	2,5	2,0	1,9	1,6	1,6	2,6
PAK	6,7	5,9	5,6	5,1	4,3	4,2	3,7	3,7	3,9	5,9	5,2	6,6	6,1

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Maximum 2016-2023													
FLH	2,6	3,2	2,7	3,5	2,8	2,7	2,2	2,4	1,8	2,5	2,7	2,4	2,4
UNI	2,1	2,4	2,5	2,9	2,7	2,5	2,1	2,2	1,8	2,1	2,2	2,0	2,1
HBF	2,6	2,7	2,9	3,5	2,6	2,7	2,0	2,3	2,0	2,4	2,5	2,4	2,4
ODO	2,6	3,3	4,0	4,6	4,2	4,2	3,1	3,1	2,6	3,3	3,5	3,2	3,1
PAK	10,3	10,6	8,6	10,5	8,2	6,8	6,4	6,0	5,6	10,1	12,3	10,3	7,7

Tabelle 9: Windgeschwindigkeit in m/s an den Stationen mit Windmessung in den einzelnen Monaten bzw. gesamt im Jahr 2024 (oben) gefolgt vom Durchschnitt bzw. minimalen und maximalen Werten zwischen 2016-2023. Im obersten Abschnitt „2024“ sind jene Werte fett rot formatiert, die - auf eine Nachkommastelle berechnet - den bisherigen Maximalwert übertreffen.

In Tabelle 10 sind die drei stärksten Windereignisse jeder Station gelistet. Am Talboden sind sie durchwegs bei Westwindlagen oder Südföhn aufgetreten. Im Olympischen Dorf ist der Wind schon aufgrund der Stationsaufstellung am Hochhausdach stärker als an den anderen Talstationen, zudem kommt der Föhn hier besser zur Geltung, weil die Station direkt im Föhnast liegt, der aus dem Wipptal kommt und Richtung Unterland weiterfließt. Im Stadtzentrum (UNI, HBF) sind die Geschwindigkeiten aufgrund der erhöhten Rauigkeit reduziert. Am Patscherkofel lösten – wie schon in den Vorjahren – durchwegs Südlagen die höchsten Geschwindigkeiten aus.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd	Datum	ff	dd
1.	01.08.	21,0	295	20.11.	12,4	325	25.11.	15,2	241	29.03.	23,6	180	10.03.	39,9	175
2.	21.07.	20,2	255	01.08.	12,2	287	12.08.	14,7	262	31.03.	21,2	179	01.04.	38,7	163
3.	16.04.	17,3	288	22.02.	11,6	181	21.07.	13,3	253	10.03.	20,9	184	27.03.	37,4	170

Tabelle 10: Datum, Windgeschwindigkeit im 10-Minutenmittel (ff, in m/s) und Windrichtung (dd, in Grad) der jeweils drei stärksten Ereignisse im Jahr 2024.

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 11 gibt eine Übersicht zur prozentuellen Überschreitungszeit der beiden Grenzwerte.

Die Überschreitungshäufigkeiten des Jahres 2024 liegen an der Obergrenze dessen, was in den letzten Jahren beobachtet wurde, teilweise sogar darüber. Besonders am HBF wurden seit Einführung des neuen Hangprofiles noch nicht so viele Zeiten mit Böen über 6 bzw. 8 Beaufort registriert. 2024 ist somit ein Jahr, in dem es oft ausgeprägte Windspitzen gab.

	% Gesamtzeit					% Gesamtzeit				
	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK	FLH	UNI	HBF	ODO	PAK
2024	6,7	6,2	8,2	10,9	34,2	1,4	1,1	1,4	3,7	14,9
2023	4,7	3,8	4,2	8,1	27,9	0,9	0,3	0,3	1,0	10,2
2022	3,9	3,5	3,8	6,9	25,3	0,9	0,2	0,3	0,7	8,3
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 11: Prozentuelle Überschreitungszeiten der Böen von 6 bzw. 8 Beaufort (mit Ausnahme der Station Patscherkofel farbkodiert) in den Jahren 2016 bis 2024 bezogen auf die gesamte Periode des jeweiligen Jahres für alle Stationen mit Windmessung.

In Tabelle 12 sind die drei stärksten Böenereignisse jeder Station gelistet. Generell zeigt sich das bekannte Bild, dass die stärksten Winde in Innsbruck bei West-, Nordwest- bzw. Südlagen auftreten (vgl. Abschnitt 6.2). Dabei können diese in allen Jahreszeiten auftreten. Ein besonders erwähnenswertes Ereignis gab es 2024 nicht.

	FLH			UNI			HBF			ODO			PAK		
	Dat	ffx	ddx	Dat	ffx	ddx	Dat	ffx	ddx	Dat	ffx	ddx	Dat	ffx	ddx
1.	01.08.	34,2	275	01.08.	25,8	292	29.03.	27,8	173	10.03.	35,4	182	29.03.	47,5	167
2.	21.07.	30,2	288	26.03.	25,5	176	22.02.	27,3	173	29.03.	34,3	175	21.11.	46,8	171
3.	23.03.	29,9	254	29.03.	25,1	179	27.03.	26,4	148	26.09.	31,8	187	10.03.	46,3	177

Tabelle 12: Datum, Windgeschwindigkeit der 2-Sekunden Böe (ffx, in m/s) und dazugehörige Windrichtung (ddx, in Grad) der jeweils drei stärksten unabhängigen Ereignisse im Jahr 2024.

6.4 Kalmnen

Windstille und sehr schwacher Wind werden als Kalmnen bezeichnet. In Gebieten mit Schadstoffeintrag führen (längere) Perioden mit Kalmnen 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 Kalmnen definiert.

Je länger die Kalmendauer, umso größer ist die Auswirkung auf die Schadstoffkonzentration. Tabelle 13 enthält die Übersicht zur Kalmnen-Auswertung für 2024. Längere windstille Perioden wurden 2024 nicht verzeichnet. Es gab nur eine Periode mit Kalmnen länger als 12 Stunden (ab 25 HMW), und zwar am Flughafen. Eine Kalmendauer von 6,5 bis 12 Stunden (13 bis 24 HMW) wurde auch nur maximal fünfmal im gesamten Jahr (am Hauptbahnhof) erreicht.

Am Flughafen traten Kalmen zu 23,0 % der Gesamtzeit auf (Vorjahr: 22,8 %), an den Stationen UNI, HBF und ODO, bei denen der Windgeber in größerer Höhe montiert ist, mit 16,6 bis 18,6 % signifikant seltener.

HMW-Dauer	Anzahl der Kalmen-Perioden 2024				
	von	FLH	UNI	HBF	ODO
1-2	1613	1594	1251	1453	234
3-6	409	281	270	313	17
7-12	38	22	26	25	1
13-24	4	1	5	3	1
25-49	1	0	0	0	0
≥ 49	0	0	0	0	0
SUMME der HMW	4042	3240	2911	3266	369
SUMME (%)	23,0	18,4	16,6	18,6	2,1

Tabelle 13: Häufigkeit verschiedener Klassen der Kalmendauer und Summe aller Halbstundenmittelwerte (HMW) an den verfügbaren Windstationen im Jahr 2024. Bei Kalmen liegt die Windgeschwindigkeit im HMW unter 0,8 m/s.

Für die Stationen am Talgrund sind in der Tabelle 14 die prozentuellen Kalmenhäufigkeiten seit 2016 (gerundet auf ganze Prozent) zusammengefasst. Im Jahr 2024 lag die Häufigkeit windschwacher Situationen bei allen vier Talstationen innerhalb der Bandbreite der vergangenen Jahre und sehr nahe an den Werten von 2023. Hinsichtlich der Kalmen ist 2024 also als normales Jahr einzustufen.

	Kalmenhäufigkeit (% Gesamtzeit)								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
FLH	23	24	21	24	25	24	25	23	23
UNI	20	20	17	18	21	18	19	18	18
HBF	17	17	14	15	18	17	19	18	17
ODO	18	20	16	17	18	18	20	19	19

Tabelle 14: Kalmenhäufigkeit in % der Gesamtzeit (auf Basis HMW) für die Jahre 2016 bis 2024.

7 Zusammenfassung

Das TEMPIS-Profil liefert auch im Jahr 2024 zusammen mit den TAWES Messungen wertvolle Einblicke zu den Temperatur-, Feuchte- und Windverhältnissen der Talatmosphäre zwischen Innsbruck und dem Patscherkofel. Die Zeitreihe, die seit 2016 in dieser Form besteht, setzt die frühere, teils aber lückenhafte Reihe seit 1999 fort. Dies ermöglicht Aussagen zu etwaigen Trends bei den genannten Parametern, sowie der für die Luftqualität maßgeblichen Stabilität in den Schichten oberhalb der Stadt. Hinsichtlich der Datenverfügbarkeit gibt es 2024 eine schwerwiegende Einschränkung an der Station Rastlboden, die nur bis zum 20. August brauchbare Werte geliefert hat.

Mit elf von zwölf überdurchschnittlich (im Vergleich zur Klimaperiode 1991-2020) warmen Monaten war 2024 das wärmste Jahr an der seit 1877 bestehenden Station Innsbruck Universität und an der seit 1967 geführten Messreihe auf dem Patscherkofel.

Hinsichtlich der Häufigkeiten der (sehr) stabilen Schichtungen bzw. Inversionen ordnet sich 2024 im Mittelfeld der letzten acht Jahre ein. In der für die Luftqualität maßgeblichen Schicht zwischen Flughafen und Hungerburg herrschten während 23 % der Gesamtzeit Inversionsbedingungen. Im Jahr 2024 lag die Inversionshäufigkeit bis zur Hungerburg bei 25,8 % und bis zum Patscherkofel bei 7,2 %. Durch den Messausfall des Temperatursensors am Rastlboden ab August 2024 kann in der Schicht bis zu dieser Station für 2024 kein repräsentativer Wert ermittelt werden. In den Schichten Flughafen – Hungerburg und Flughafen – Patscherkofel gab es nur einmal in der neuen Reihe ab 2016 mehr Inversionen, nämlich 2020 mit 30,1 % in der unteren Schicht bzw. 8,7 % in der gesamten Talatmosphäre. In diesem Jahr nahm die Temperatur doch deutlich öfter mit der Höhe zu. Insgesamt ist aber seit 1999 kein signifikanter Trend nachweisbar, die witterungslagenabhängige Variabilität dominiert.

Für die Analyse der Windrichtungsverteilung wurde heuer das räumliche Muster in den Vordergrund gerückt. Interessant fanden die Autoren, dass man an der UNI am ausgeprägten Südwestast wohl die Innschneise, die eine Leitwirkung für die Strömung ausübt, erkennt. Die Windstärke war 2024 eher überdurchschnittlich. Auffällig sind die – im Vergleich zum langjährigen Mittel - windreichen Monate März und September. Das Jahresmittel ist an allen Stationen näher am Maximum der neuen Reihe seit 2016 als am Minimum. Dass es öfter starken Wind gab gilt auch für die Böen und kann ebenso an den relativ hohen Überschreitungshäufigkeiten von Starkwindereignissen mit 6 bzw. 8 Beaufort abgelesen werden.