

Messbericht

Grenzschichtprofil Linz

Standort 24er Turm

Messzeitraum 14.01.2022 bis 31.05.2022

Auftraggeber

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft

Abteilung Umweltschutz

Herr Mag. Stefan Oitzl

Goethestraße 86

4021 Linz

Sachbearbeiter/in

Dr. Kathrin Baumann-Stanzer

MSc. Alexander Hieden

Prüfer/in

Dr. Martin Piringer

Wien, am 9.8.2022

Unser Zeichen: 2021/UM/002732

www.zamg.at

1191 Wien, Hohe Warte 38
Tel +43 (0) 1 360 26 - 2403
Fax +43 (0) 1 360 26 - 74
E-Mail: umwelt@zamg.ac.at

Inhalt

Inhalt.....	3
1 Einleitung	5
2 Beschreibung des Standorts	5
3 Methodik.....	6
4 Meteorologie	9
5 Ergebnisse	10
5.1 Vergleich der Windmessungen in 10m über Grund	10
5.2 Windverhältnisse in verschiedenen Höhen über Grund	12
5.3 Witterungsverlauf.....	17
5.4 Zeitliche Variation der Feinstaubverhältnisse	20
5.5 Fallstudien.....	23
5.5.1 Frischluftzufuhr durch den Haselgrabenwind	23
5.5.2 Ansammlung lokaler Emissionsbeiträge in der nächtlichen Grenzschicht	25
5.5.3 Atmosphärische Grenzschicht am Tag und nächtliche Reservoirschicht	26
5.5.4 Saharastaubeintrag 15.4.2022.....	27
5.5.5 Feinstaubepisoden im Mai 2022	28
6 Zusammenfassung	29
7 Literatur und Quellen.....	31
8 Anhang: Rückstreuprofile aus Ceilometermessungen	32

1 Einleitung

Die Abteilung Umweltschutz der Oberösterreichischen Landesregierung hat die ZAMG mit dem temporären Betrieb eines Ceilometers vom Typ Vaisala CL51 und eines Windlidars vom Typ METEK Wind Ranger 200 am Standort 24er Turm im Norden von Linz über den Zeitraum von 4 Monaten beauftragt. Ziel dieser Messkampagne war, lokale Windsysteme zu untersuchen, die einen Einfluss auf die Luftqualität in der Stadt Linz haben.

2 Beschreibung des Standorts

Der Messstandort „24er Turm“ befindet sich im Nordteil der Stadt Linz, nahe dem nördlichen Donauufer. Unmittelbar nördlich der Voestbrücke befindet sich rechts der Fahrbahn das vorwiegend mit Wiese bewachsene Areal der ASFINAG, das von der Mühlkreisautobahn umschlossen wird. Der Standort ist nach dem Turm 24 („Ehrentrude“) der ehemaligen Stadtbefestigung von Linz benannt. Hier befindet sich auch die gleichnamige Luftgütestation des Landes Oberösterreich.



Abbildung 2-1: Standort bei der Luftgütemessstelle 24er Turm in Linz. Links: Foto der Messstation mit Ceilometer (links vor dem Messkontainer) und Windlidar (rechts), rechts: Landkarte mit Messstandort (roter Punkt). Bildquelle: DORIS, BEV

3 Methodik

Am 14. Jänner 2022 wurden von der ZAMG am Standort 24er Turm ein Ceilometer (Vaisala CL51) und ein Windlidar (Wind Ranger 200 der Firma METEK) installiert und kontinuierlich bis zum 30. Mai 2022 betrieben. Beide Systeme sind im linken Bild der Abbildung 2-1 neben dem Messkontainer (Ceilometer) beziehungsweise im Bildvordergrund (Windlidar) zu sehen.

Ein **Ceilometer** nutzt das LIDAR (*light detection and ranging*)-Verfahren als Messprinzip zur Erfassung der Vertikalstruktur der Aerosolverteilung in der Troposphäre. Dabei werden kurze LASER -Lichtimpulse senkrecht in die Atmosphäre emittiert und dort von Aerosolen zurückgestreut. Aus der Laufzeit und Intensität des rückgestreuten Lichtsignals kann auf Wolkenhöhen und Aerosolschichthöhen geschlossen werden.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten technischen Spezifikationen für die Ceilometermessung zusammengestellt.

Tabelle 3-1: Spezifikationen des Vaisala Ceilometers CL51

Vertikaler Messbereich des Rückstreuprofils	0 km bis 15 km über Grund
vertikale Auflösung	10 Meter
zeitliche Auflösung	6 Sekunden
Wellenlänge	910 nm
Größe des Systems gesamt	1531 × 335 × 324 mm
Gewicht	18,6 kg

Die Ergebnisse der Ceilometermessung für den gesamten Messzeitraum sind im Anhang (Kapitel 8) in Form von Zeit-Höhendiagrammen der Rückstreuintensität innerhalb der untersten 3 km über Grund jeweils für den Zeitraum von drei Tagen je Bild dargestellt.

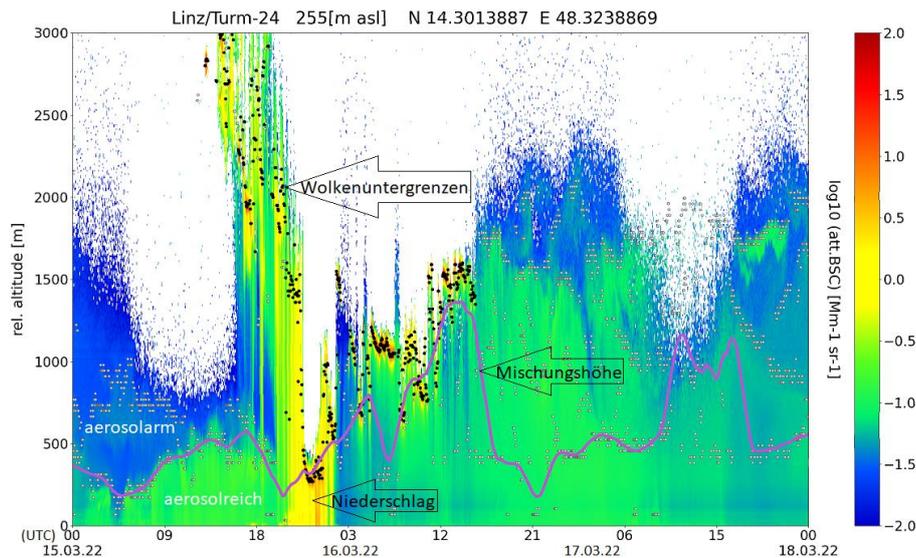


Abbildung 3-1: Beispiel eines Zeit-Höhendiagramms der Rückstreuintensität aus Ceilometermessungen mit Interpretationshinweisen

Die Rückstreuintensität steht in direktem Zusammenhang mit der Aerosolkonzentration und liefert Informationen über Höhe und Struktur von aerosolreichen Schichten (grün bis gelb) in der atmosphärischen Grenzschicht, die Höhe von Wolkenuntergrenzen (schwarze Punkte), Niederschlag (gelb bis rot) und eventuelle Aerosolwolken in der freien Troposphäre (z.B. Saharastaub oder Aschwolken infolge von Waldbrand oder Vulkanausbrüchen). Letztere lassen sich ebenfalls von der aerosolarmen Luft (blau) durch grüne bis gelbe Färbung deutlich unterscheiden. Starke negative Gradienten innerhalb der Rückstreuprofile werden als Obergrenzen von Aerosolschichten detektiert (weiße Punkte mit grauer Umrandung). Durch Verbinden der untersten dieser „Aerosolhöhen“ unter Berücksichtigung einer zu erwartenden zeitlichen Kontinuität wird näherungsweise aus den Ceilometermessungen eine Mischungshöhe (Obergrenze der bodennahen Grenzschicht) abgeleitet (lila Linie). Das Verfahren zur Bestimmung der Mischungshöhe nach Lotteraner und Piringer (2016) verwendet zusätzlich die in 10m über Grund gemessene Windgeschwindigkeit der nächsten meteorologischen Station zur Beschränkung der nächtlichen Mischungshöhe. Dieses Verfahren wurde ebenfalls angewendet und die Ergebnisse dem Auftraggeber als Wertetabelle zur Verfügung gestellt.

Das **Messsystem Wind Ranger 200** der Herstellerfirma METEK ist ein CW-Windlidar (CW steht für *continuous wave*) mit kontinuierlichem Sendesignal. Das Windlidar nutzt das LIDAR-Verfahren als Messprinzip zur Erfassung des dreidimensionalen Windes in ausgewählten Höhenniveaus in den untersten 200 m über Grund. Der dreidimensionale Windvektor wird aus

kontinuierlichen VAD-Scanmustern (*velocity-azimuth-display*) mit einem Zenitwinkel von 10° und einer maximalen Rotationsgeschwindigkeit von 2 Umdrehungen pro Sekunde. Das Messvolumen ist von der jeweils gewählten Fokussentfernung abhängig. Momentane Empfangsspektren werden mit einer Rate von 100 Hz und einer Winkelauflösung von 3,6° ermittelt. Die abgeleiteten Windwerte werden je nach Nutzereinstellung für Mittelungsintervalle zwischen 1 Sekunde und 30 Minuten bereitgestellt.

Die bei diesem Windlidartyp verwendete Frequenzmodulation der Laserfrequenz ermöglicht einen weiten Messbereich für die Windgeschwindigkeit sowie eine eindeutige, absolute Bestimmung der radialen Windkomponenten. Damit entfällt die Notwendigkeit einer zusätzlichen bodengestützten Windmessung, die sonst beim Einsatz von CW-Windlidars üblich ist. Die Frequenzmodulation sorgt für eine Unterscheidung zwischen dem gewünschten Nutzsignal aus dem gewählten Entfernungsbereich und anderen Signalanteilen aus größeren Entfernungen, wenn dort eine besonders hohe Reflektivität vorliegt (z.B. bei Vorliegen einer niedrigen Wolkendecke oder bei entfernten Hindernissen entlang der Blickrichtung des Laserstrahls). Ein weiterer Vorteil der Frequenzmodulation ist eine unabhängige, kontinuierliche Überprüfung und gegebenenfalls Korrektur der eingestellten Fokussentfernung.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten technischen Spezifikationen für die Windlidarmessung zusammengestellt.

Tabelle 3-2: Spezifikationen des METEK Wind Ranger 200

Vertikaler Messbereich des Rückstreuprofils	10 m bis 200 m über Grund
vertikale Auflösung	10 Meter
zeitliche Auflösung	0,5 Sekunden
Wellenlänge	1550 nm
Größe des Systems gesamt	620 mm x 530 mm x 340 mm
Gewicht	50 kg

4 Meteorologie

An der Luftgütestation erfolgt eine kontinuierliche Messung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit mittels eines Windgebers an einem 10m Windmast (zu sehen in Abbildung 2-1). Die Daten dieses Sensors wurden vom Land Oberösterreich für den Zeitraum vom 10. Februar bis 30. Mai 2022 als 10 Minutenwerte für Vergleichszwecke zur Verfügung gestellt.

Abbildung 4-1 zeigt links oben in Form einer Windrose die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen je Windrichtung. Rechts oben sind die Häufigkeiten der Windrichtungssektoren getrennt nach Tag und Nacht dem Gesamtzeitraum gegenübergestellt. Im Messzeitraum wurden Winde aus Nord und Nordnordwest am häufigsten verzeichnet, allerdings zumeist mit geringeren Windgeschwindigkeiten bis 4 m/s. Es ist deutlich zu erkennen, dass diese nur nachts auftreten und dem Kaltluftabfluss aus dem Haselgraben nördlich von Linz zuzuordnen sind. Höhere Windgeschwindigkeiten sind am häufigsten bei Westwind zu beobachten. Diese Windrichtung ist im Gesamtzeitraum infolge der typischen Wetterlagenverteilung die zweithäufigste Windrichtung. Wind aus Ostsüdost tritt am Tag deutlich häufiger auf als in der Nacht. Südlicher Wind ist am Standort selten.

Die tageszeitliche Variation der Windgeschwindigkeitsverteilung im unteren Bild der Abbildung 4-1 lässt erkennen, dass insbesondere Windgeschwindigkeiten zwischen 2m/s und 6m/s am Tag deutlich häufiger gemessen wurden als in der Nacht. Mit zunehmender Stabilität der atmosphärischen Schichtung in den Abendstunden nimmt die Windgeschwindigkeit ab. Erwartungsgemäß sind Kalmen (bis 0,5 m/s) und windschwache Situationen (bis 1 m/s) in den frühen Morgenstunden am häufigsten.

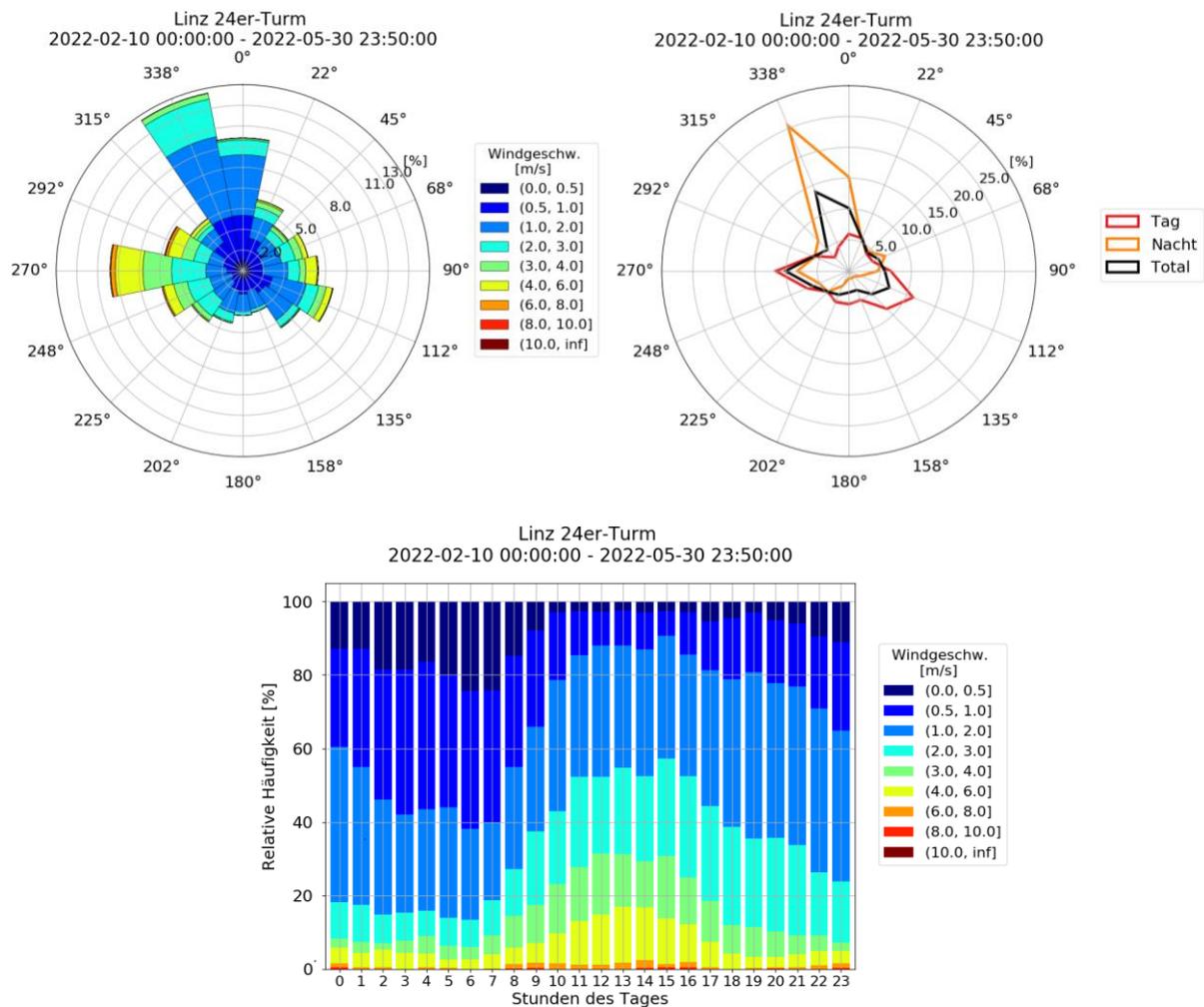


Abbildung 4-1: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit (links oben) und Häufigkeitsverteilung der Windrichtung getrennt für Tag/Nacht und gesamt (rechts oben), Tagesgang der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (unten) aus Messungen des Windsensors der Luftgütestation 24er Turm der Oberösterreichischen Landesregierung

5 Ergebnisse

5.1 Vergleich der Windmessungen in 10m über Grund

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Windlidars in 10m über Grund mit jenen des Windgebers am Windmast der Luftgütestation verglichen. Es ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Messungen die Windverhältnisse in einem etwas unterschiedlichen Luftvolumen repräsentieren, da es sich beim Windgeber um eine in situ-Messung (nahezu eine Punktmessung), beim Windlidar um ein Fernerkundungssystem handelt. Abbildung 5-1 links zeigt eine Gegenüberstellung der gleichzeitig mit Windgeber und Windlidar in 10m über Grund gemessenen Windgeschwindigkeiten, wobei jeder Punkt einem 10 Minuten-Mittelwert entspricht. Die Trendlinie (schwarz) zeigt, dass die mit dem Windlidar gemessene Windgeschwindigkeit bei höheren Windgeschwindigkeiten etwas unter, bei niedrigen Werten

etwas über jenen des Windgebers liegt. Der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden Windgeschwindigkeitsreihen ist aufgrund der großen Streuung mit 0,46 relativ gering, ist aber wegen der überwiegend geringen Windgeschwindigkeiten nicht überraschend. Werden hingegen die nach Größe aufsteigend sortierten Windgeschwindigkeitswerte verglichen (Quantilplot in Abbildung 5-1 rechts), so ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung.

Ebenso bestätigen die Histogramme in Abbildung 5-2, dass beide Messreihen eine sehr ähnliche Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für diesen Standort ergeben.

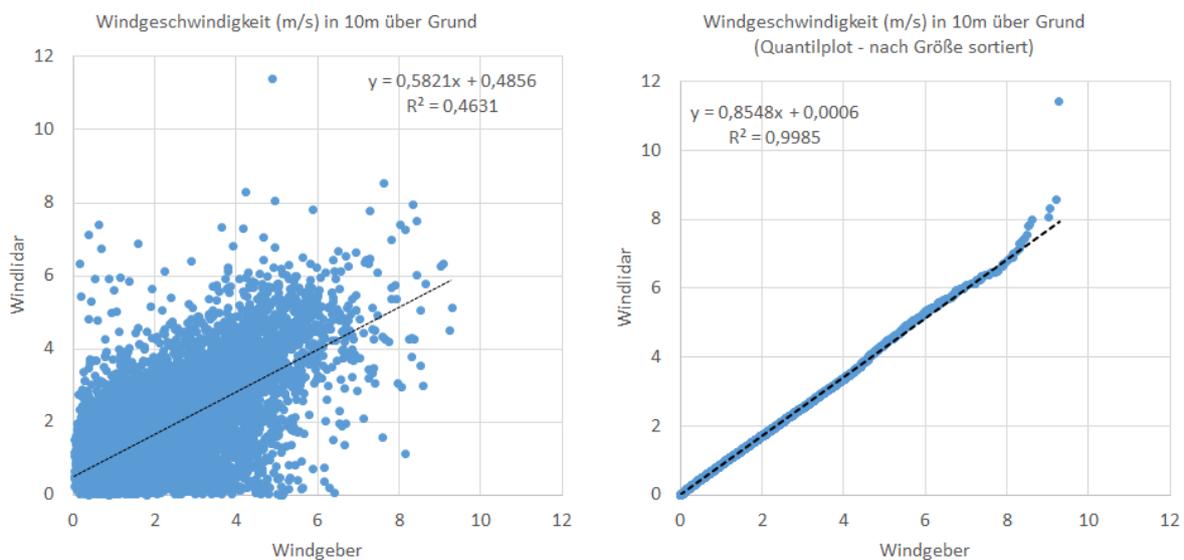


Abbildung 5-1: Vergleich gleichzeitiger Werte der Windgeschwindigkeit (links) und Vergleich der nach Größe sortierten Windgeschwindigkeitswerte (rechts) gemessen mit Windgeber der Luftgütestation und mittels Windlidar in 10m über Grund

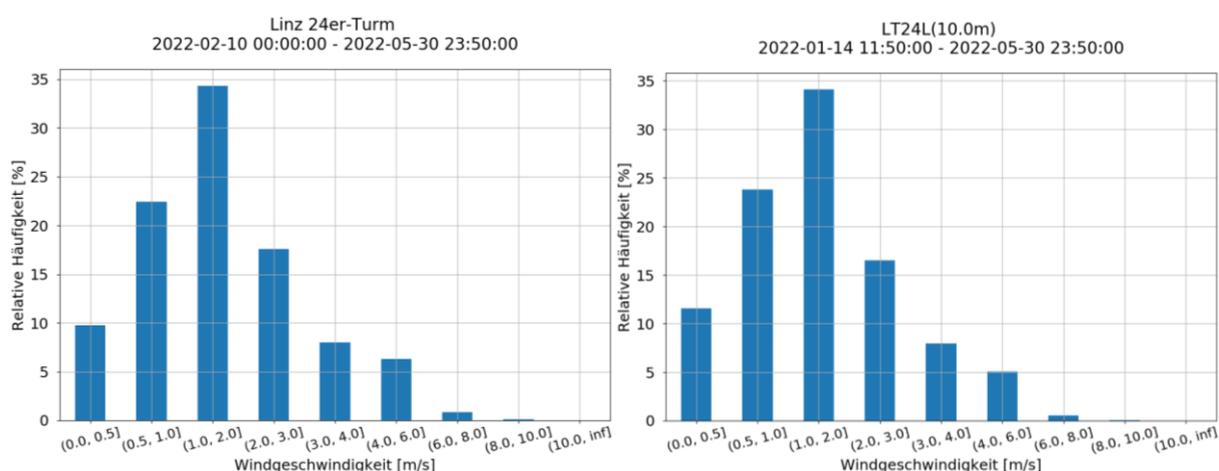


Abbildung 5-2: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen gemessen mit Windgeber der Luftgütestation (links) und mittels Windlidar in 10m über Grund (rechts)

Die Gegenüberstellung der Windrichtungswerte in Abbildung 5-3 ergibt eine relativ gute Übereinstimmung, wobei bei der Interpretation des Streudiagramms (linkes Bild) zu

berücksichtigen ist, dass nördliche Windrichtungen mit Werten nahe 0° und Werten nahe 360° als ähnlich zu interpretieren sind. Die Windrosen im rechten Bild der Abbildung 5-3 zeigen beide die häufigsten Windrichtungen aus Nordnordwest. Die südöstlichen Winde wurden mit dem Windlidar etwas seltener gemessen als mit dem Windgeber, die westlichen deutlich häufiger.

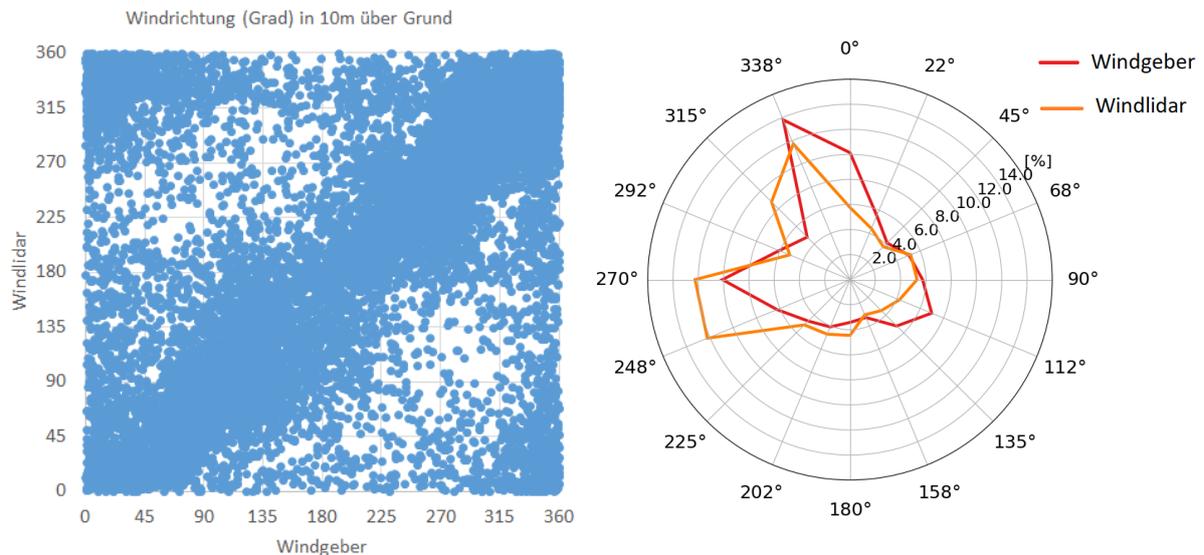


Abbildung 5-3: Vergleich gleichzeitiger Werte der Windrichtung (links) und der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (rechts) gemessen mit Windgeber der Luftgütestation und mittels Windlidar in 10m über Grund

5.2 Windverhältnisse in verschiedenen Höhen über Grund

Abbildung 5-4 gibt einen Überblick über die mit dem Windlidar gemessene Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsverteilung im gesamten Messzeitraum in ausgewählten Höhen zwischen 10m und 170m über Grund. Erwartungsgemäß nehmen die Windgeschwindigkeiten tendenziell mit der Höhe zu. Der dominante Windrichtungssektor Nordnordwest, der auf das häufige Auftreten der nächtlichen Kaltluftströmung aus dem Haselgraben hinweist, ist in 10m und 30m über Grund ausgeprägt, in 50m über Grund abgeschwächt und in den höheren Messniveaus erwartungsgemäß nicht mehr zu erkennen. Die Windrichtungsverteilungen getrennt für Tag und Nacht für die verschiedenen Messniveaus in Abbildung 5-6 lassen dies noch deutlicher erkennen. Die Windrosen der höheren Messniveaus werden durch die großräumigen Strömungsbedingungen bestimmt und weisen daher für den Messzeitraum die Hauptwindsektoren West und Nordost auf.

Der Tagesgang der Windgeschwindigkeit mit nächtlich häufiger schwächeren und um Mittag stärkeren Windgeschwindigkeiten ist in allen Messhöhen zu sehen (Abbildung 5-5). Erwartungsgemäß sollte die Amplitude des Tagesganges mit der Höhe abnehmen und sich oberhalb der städtisch beeinflussten Grenzschicht sogar umkehren, da der dämpfende Einfluss der stabilen atmosphärischen Temperaturschichtung nachts auf die Strömung in ein- bis zweihundert Meter über Grund geringer ist als in Bodennähe. Vermutlich ist das in Linz erst in größeren Höhen der Fall.

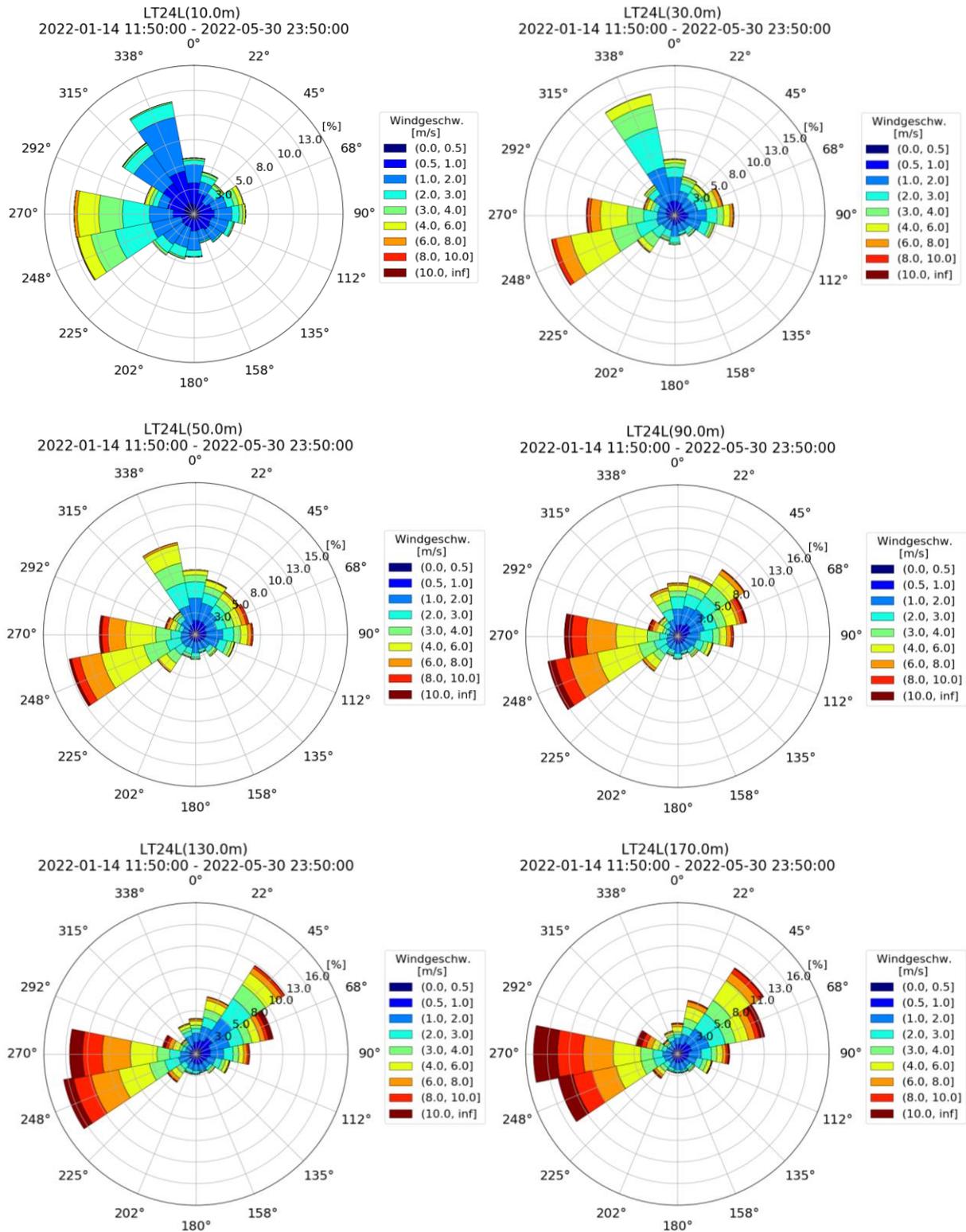


Abbildung 5-4: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung in ausgewählten Messhöhen des Windlidars

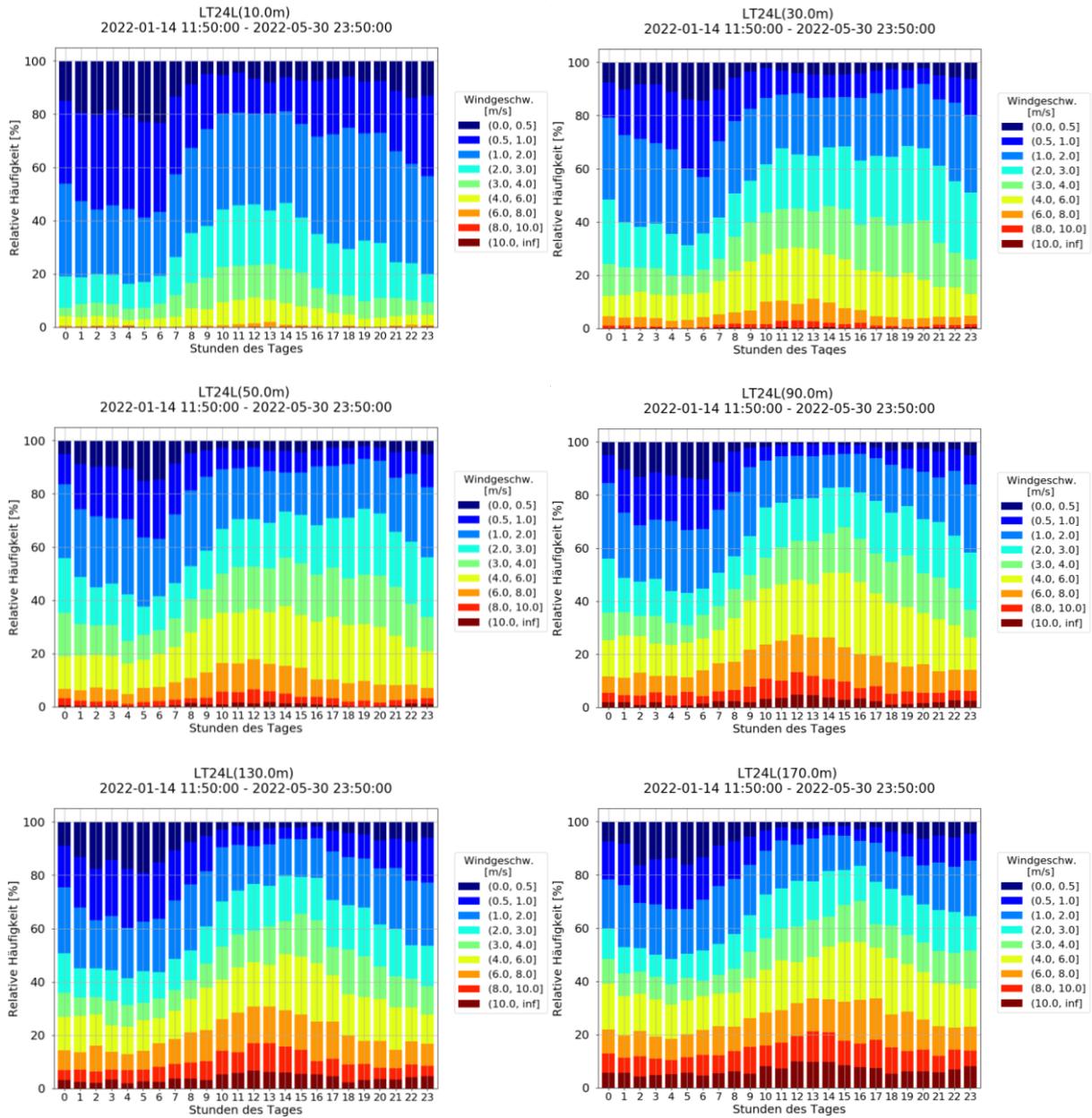


Abbildung 5-5: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit je Tageszeit in ausgewählten Messhöhen des Windlidars

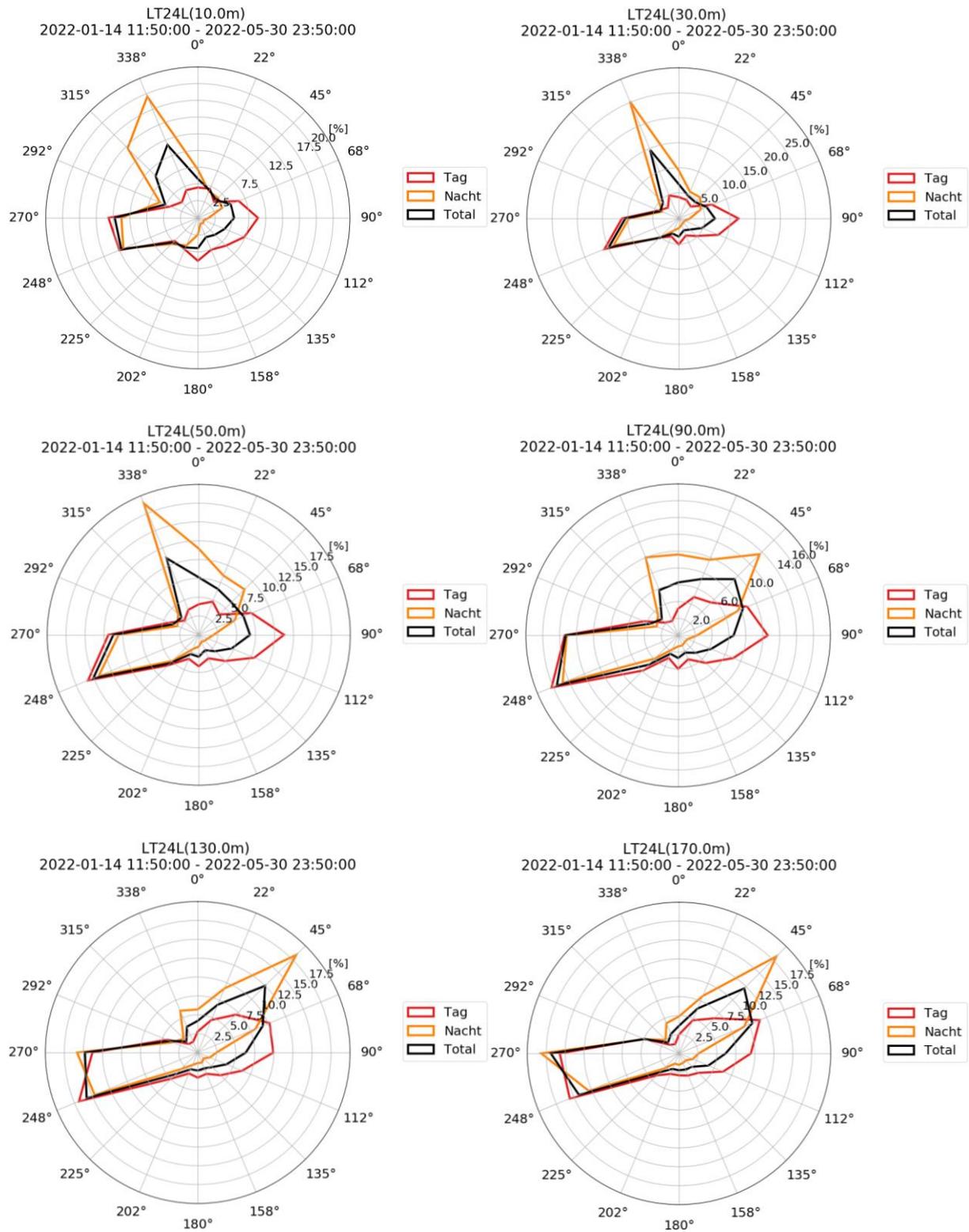
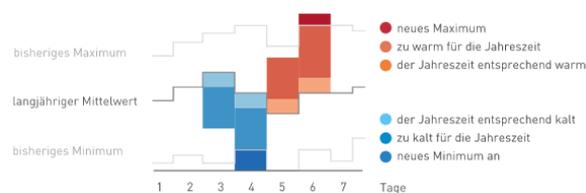


Abbildung 5-6: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung getrennt für Tag, Nacht und Gesamtzeitraum in ausgewählten Messhöhen des Windlidars

5.3 Witterungsverlauf

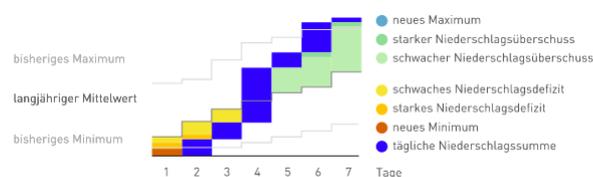
Im Folgenden wird der Witterungsverlauf im Messzeitraum anhand eines Vergleichs der Tagesmittelwerte für Temperatur und Niederschlag mit dem dreißigjährigen Klimamittelwert monatsweise betrachtet. Im Weiteren werden die monatlichen Zeitreihen der Feinstaubmessungen an der Luftgütestation 24er Turm gezeigt. Anhand dieser Datengrundlagen erfolgt die Auswahl einiger Fallstudien.

Liegt der Temperaturwert eines Tages in Abbildung 5-7 unter dem langjährigen Mittelwert des angegebenen Bezugszeitraumes (z. B. 1981–2010), ist der Abstand zum langjährigen Mittelwert als bläuliche Fläche, liegt er darüber, ist der Abstand als rötliche Fläche dargestellt. Zusätzlich sind die bisher eingetretenen Minima und Maxima der Tagesmitteltemperatur eingetragen.



Legende zu Abbildung 5-7

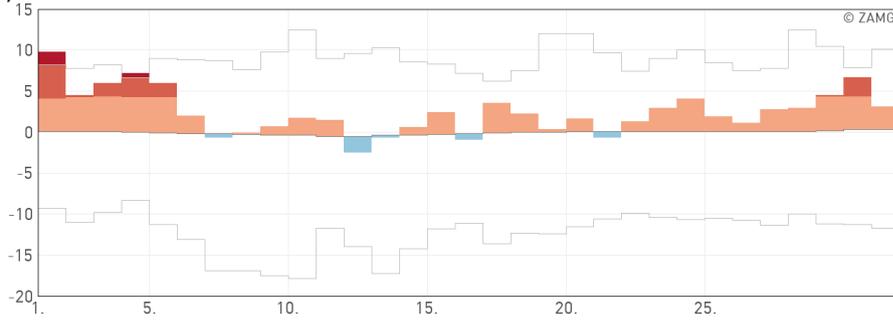
Wie sich die täglichen Niederschlagssummen im Klimamittel des Bezugszeitraumes steigern, zeichnet in Abbildung 5-8 die schräg verlaufende, dunkelgraue Linie nach. Die beiden hellgrauen Linien darunter bzw. darüber geben über die Extremfälle des (bis zum jeweiligen Tag) trockensten bzw. nassesten Jahres Auskunft. Fällt das aktuelle Jahr niederschlagsarm aus, ist der Abstand zum Klimamittel in braunen Farben, fällt es niederschlagsreich aus, ist der Abstand in grünen Farben dargestellt.



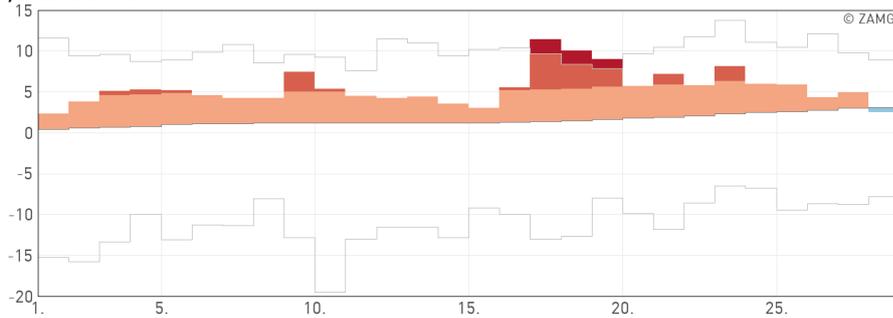
Legende zu Abbildung 5-8

Die Monate Jänner bis März sowie Mai 2022 waren in Linz durchwegs wärmer als im langjährigen Mittel. Nur im April 2022 wechselten sich wärmere und kühlere Episoden ab (Abbildung 5-7). Die Monate Jänner, März und Mai 2022 waren trockener als im langjährigen Mittel, Februar und April wiesen durchschnittliche Niederschlagsmengen aus. Der März 2022 war sogar deutlich trockener als im langjährigen Mittel (Abbildung 5-8).

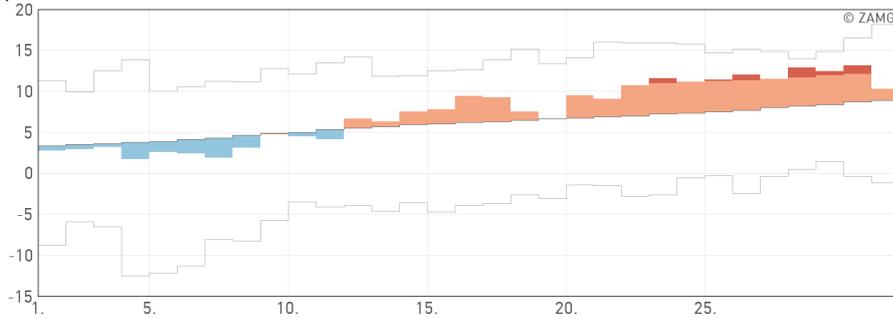
a) Jänner 2022



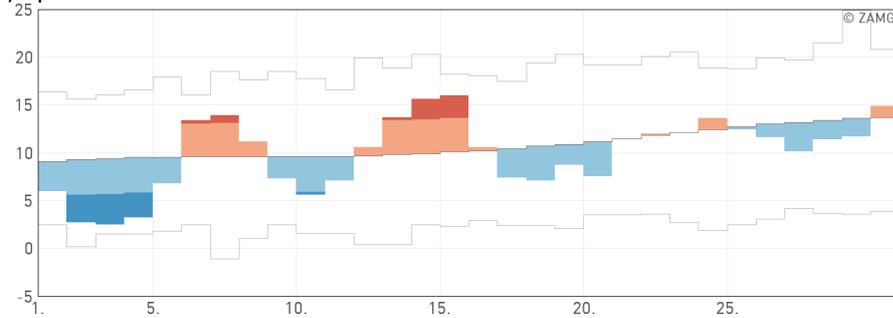
b) Februar 2022



c) März 2022



d) April 2022



e) Mai 2022

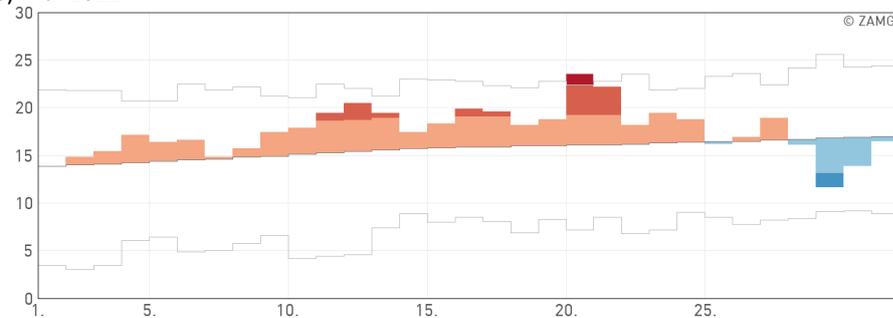
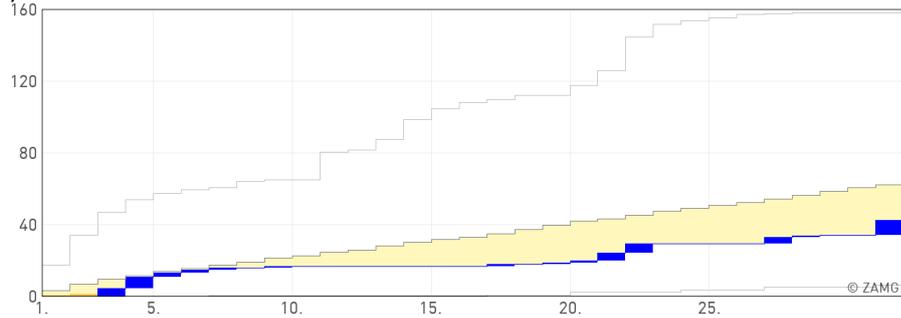
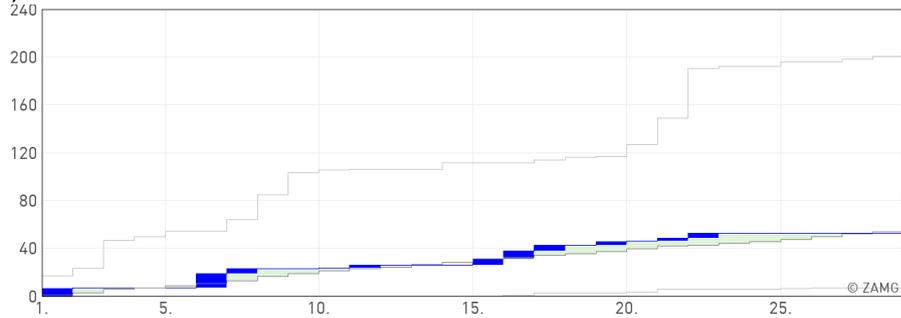


Abbildung 5-7: Tagesmittelwerte der Lufttemperatur für Linz-Stadt im Vergleich zum langjährigen Mittelwert (1981 – 2010)

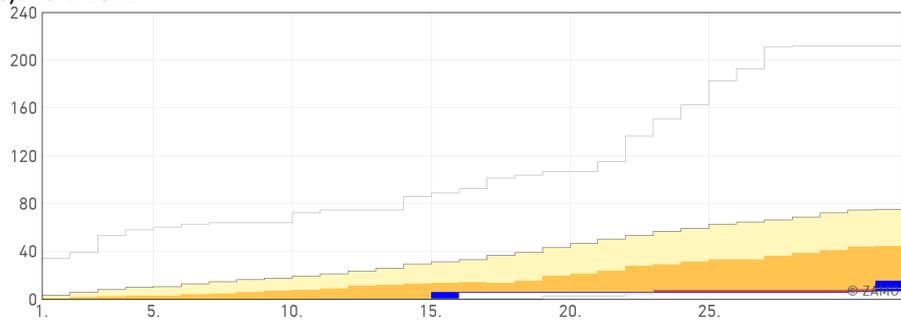
a) Jänner 202



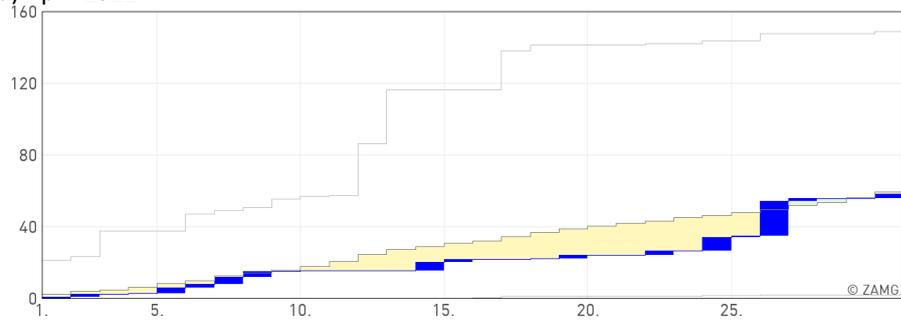
b) Februar 2022



c) März 2022



d) April 2022



e) Mai 2022

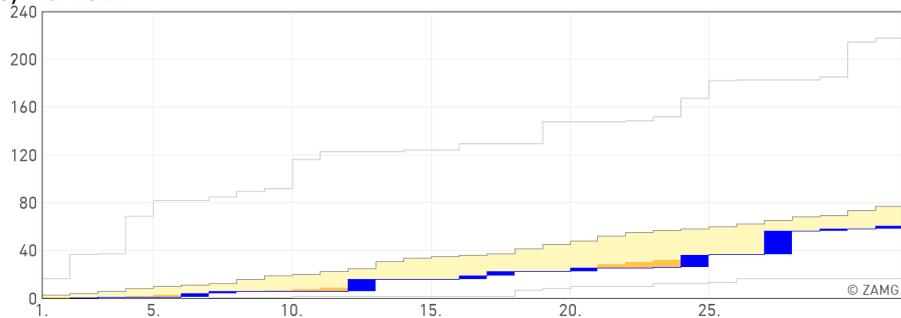
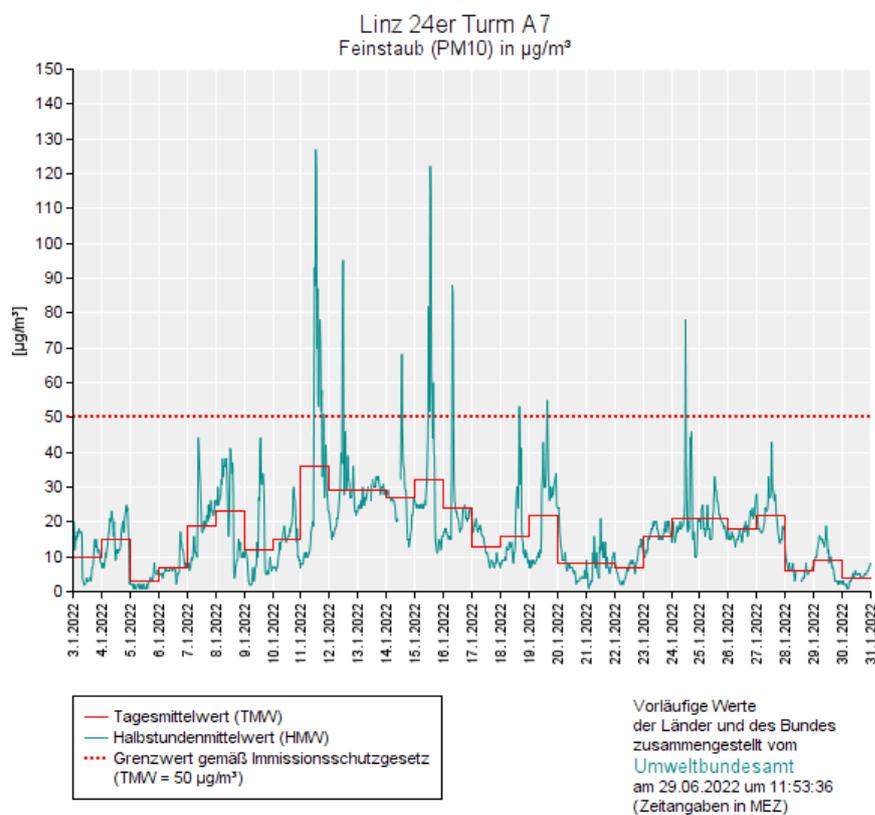


Abbildung 5-8: Aufsummierte Tagessummen des Niederschlags für Linz-Stadt im Vergleich zum langjährigen Mittelwert (1981 – 2010)

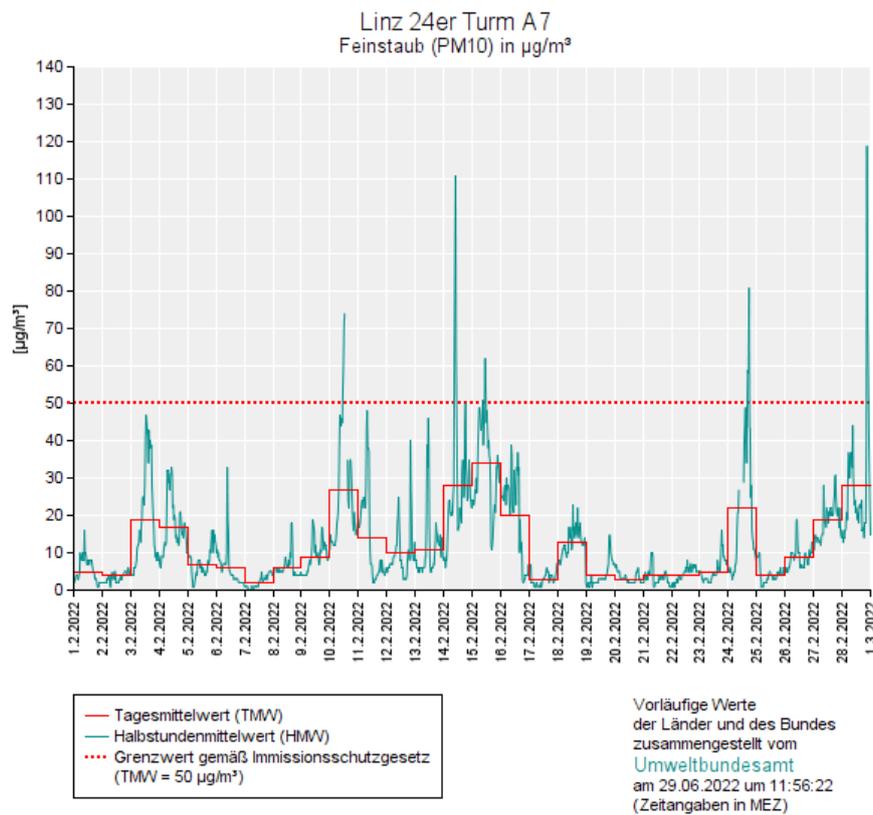
5.4 Zeitliche Variation der Feinstaubverhältnisse

In Abbildung 5-9 sind monatsweise die Zeitverläufe der an der Luftgütestation gemessenen PM10-Konzentrationswerte zu sehen. Vorsicht: Die Skalierung der y-Achse ist an die monatlich unterschiedlichen Konzentrationsniveaus angepasst! Im Jänner 2022 sind am 11./12.1., von 14. bis 16.1., am 18./19.1. und am 24.1. kurzfristig erhöhte PM10-Werte aufgetreten. In allen Fällen lagen jedoch die Tagesmittelwerte deutlich unter dem Grenzwert nach IG-L. Im Februar 2022 waren im Halbstundenmittel am 10.2., am 14./15.2. und am 24.2. höhere Werte zu verzeichnen. Im März 2022 wurden am 9.3., 14.3. und 22.3. besonders hohe PM10-Halbstundenmittelwerte gemessen, weitere erhöhte Kurzfristwerte traten am 1.3., vom 3. bis 4.3., vom 8. bis 10.3., vom 14. bis 18.3. und im Zeitraum 21. bis 29.3. auf. Am 15.3. lag der PM10-Tagesmittelwert knapp über dem Grenzwert, am Monatsende an einigen Tagen nahe dran. Im April 2022 waren die PM10-Immissionswerte an der Luftgütestation witterungsbedingt (normales Niederschlagsniveau, etliche zu kühle Phasen) sehr niedrig. Im Mai 2022 sind die Tage 4.5. und 11./12.5. aufgrund etwas erhöhter PM10-Werte zu erwähnen, die übrige Zeit, besonders zum Ende des Monats, waren die PM10-Immissionswerte entsprechend der Jahreszeit sehr gering.

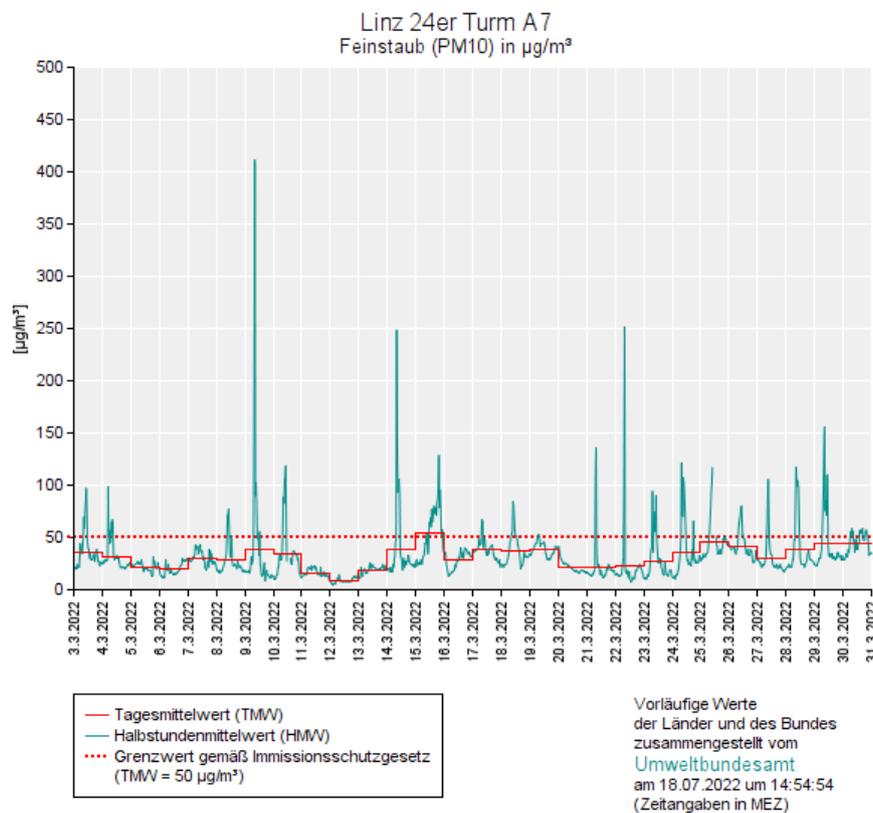
a) Jänner 2022



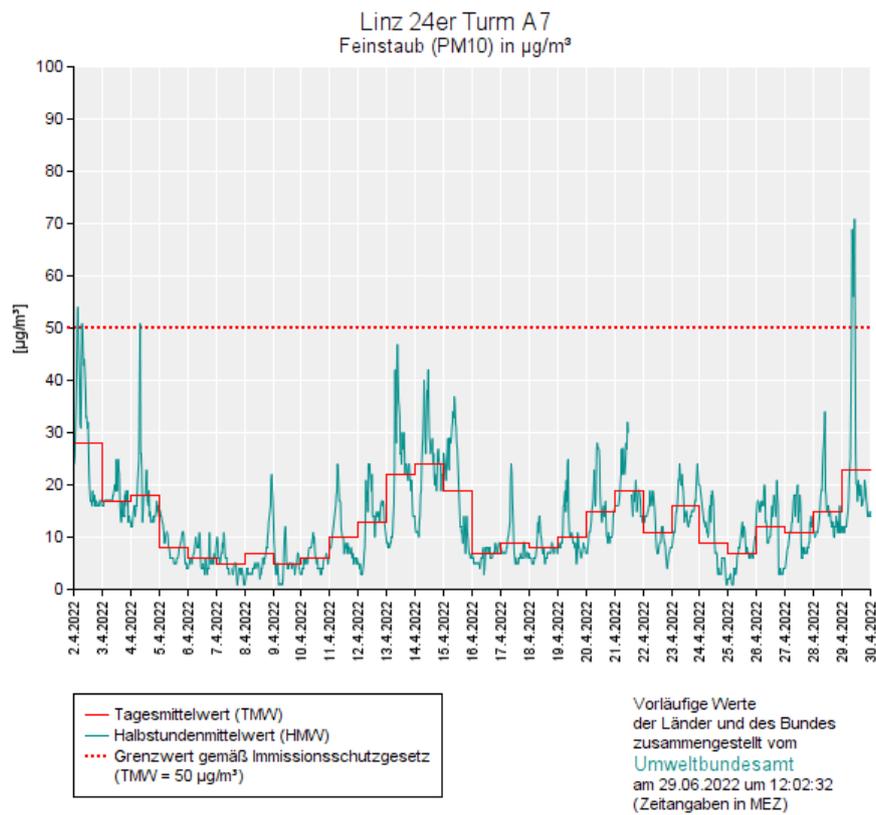
b) Februar 2022



c) März 2022



d) April 2022



e) Mai 2022

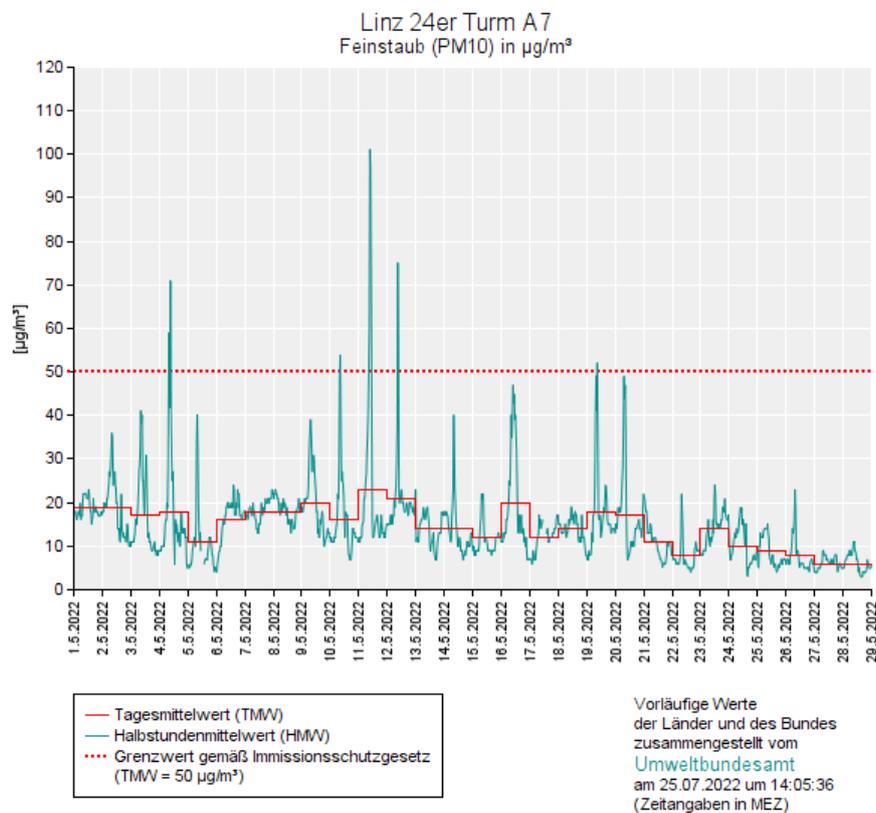


Abbildung 5-9: Zeitreihe von PM10, gemessen an der Luftgütestation 24er Turm

5.5 Fallstudien

Die Auswahl der im Folgenden untersuchten Perioden erfolgte in erster Linie anhand der PM10-Immissionsmessungen (Kapitel 5.4).

5.5.1 Frischluftzufuhr durch den Haselgrabenwind

Am zweiten Tag der Messkampagne, am 15.1.2022, wurden am Standort tagsüber erhöhte Feinstaubkonzentrationen mit Spitzen im Halbstundenmittel bis rund $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 gemessen (Abbildung 5-9). Anhand der Rückstreuprofile des Ceilometers ist zu erkennen, dass sich innerhalb der Mischungsschicht (unterhalb der lila Linie in Abbildung 5-10) bereits im Laufe der Nacht vom 14.1. auf den 15.1. aerosolreiche Luft (hellgrün) angesammelt hat. Bis Mittag des 15.1. wird die mit Aerosolen angereicherte Grenzschicht durch eine Wolkenschicht in etwa 700 m über Grund nach oben begrenzt. Der Wind wehte schwach (weniger als 1m/s) aus variablen Richtungen (Abbildung 5-10 Mitte und unten). Zwischen 15 und 16 Uhr MEZ (in Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11 durch roten Pfeil markiert) tritt ein Wechsel der Windrichtung auf Nordnordwest auf (Haselgrabenwind). Mit auffrischendem Wind (1,5 m/s) wird die aerosolreiche Luft am Standort sehr rasch durch deutlich staubärmere Luft (blau im Rückstreuprofil) ersetzt. Die höchsten Windgeschwindigkeiten dieser Strömung sind in 30m bis 70m über Grund zu sehen. Darüber wechselt die Strömungsrichtung auf Nordost entsprechend der großräumigen Strömungslage an diesem Termin.

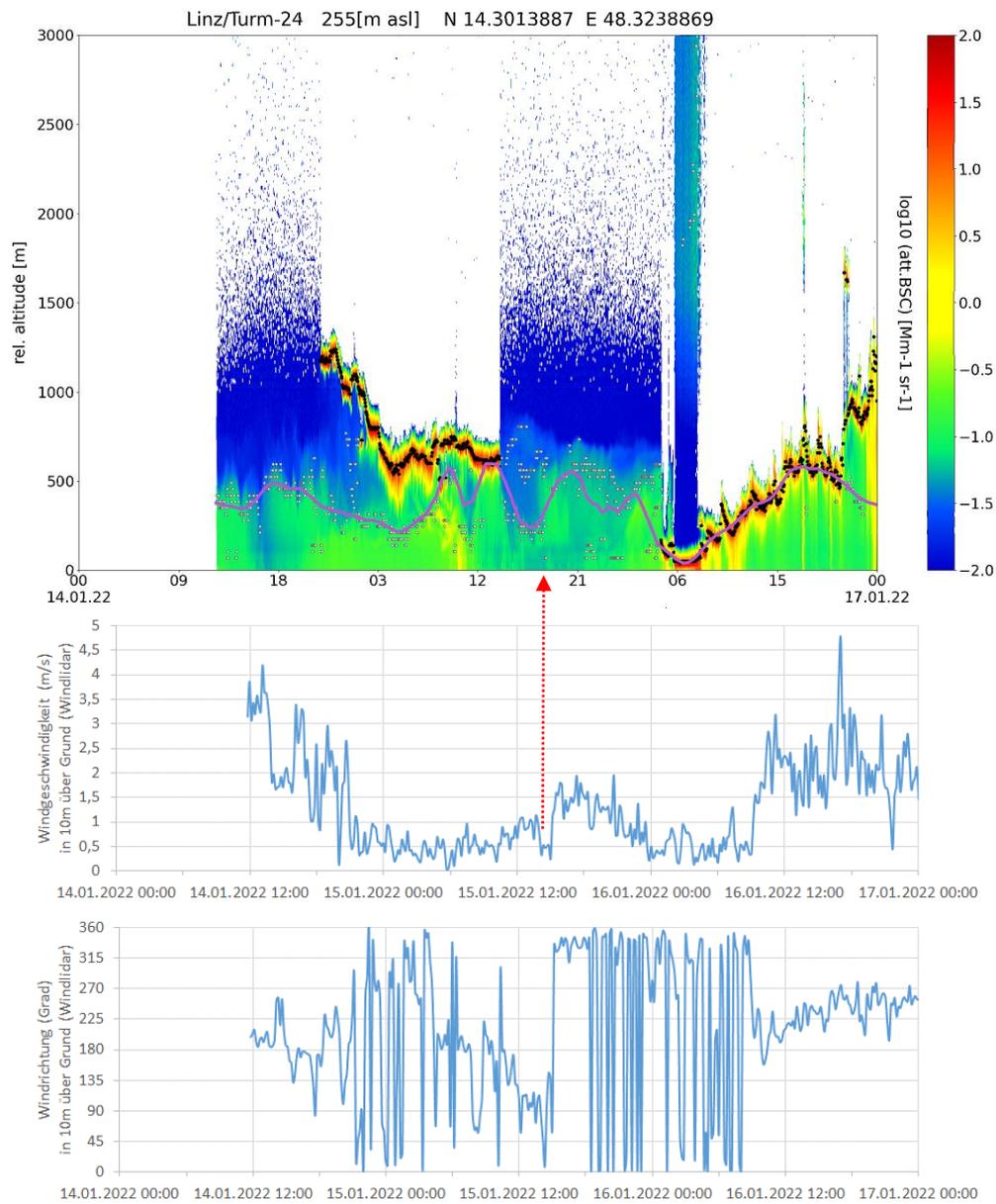


Abbildung 5-10: Zeit-Höhenverlauf der Rückstreuintensität (oben), der Windgeschwindigkeit in 10m über Grund (Mitte) und der Windrichtung in 10m über Grund (unten) von 14.1. 00 UTC bis 17.1.2022 00 UTC

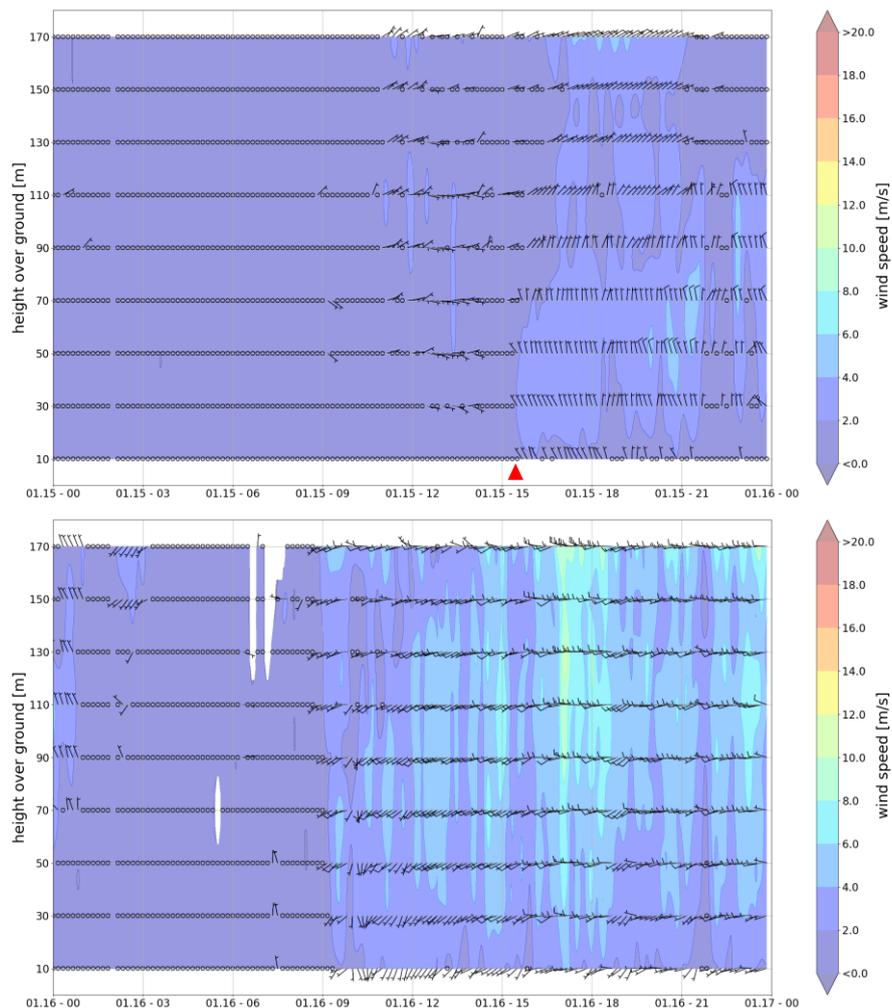


Abbildung 5-11: Zeit-Höhenverlauf des Horizontalwindes am 14.1., 15.1. und 16.1.2022 (Uhrzeit in MEZ)

5.5.2 Ansammlung lokaler Emissionsbeiträge in der nächtlichen Grenzschicht

In Abbildung 5-12 sind drei ausgewählte Beispiele zu sehen, in denen der zeitliche Verlauf der Ceilometer-Rückstreuprofile sehr gut die Ansammlung hoher Staubkonzentrationen nachts bzw. in den Vormittagsstunden innerhalb der stabil geschichteten Grenzschicht (Mischungshöhe von wenigen Hundert Metern) zeigt. Kurzzeitige und eher bodennahe Aerosolmaxima sind wohl eher auf lokale Quellen zurückzuführen. Die Fälle zeigen aber auch aerosolreiche Luft in darüber liegenden Schichten, die möglicherweise durch höhere Quellen oder regionalen Transport von Luftschadstoffen hervorgerufen wurden. Dies ist nur aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nicht näher bestimmbar.

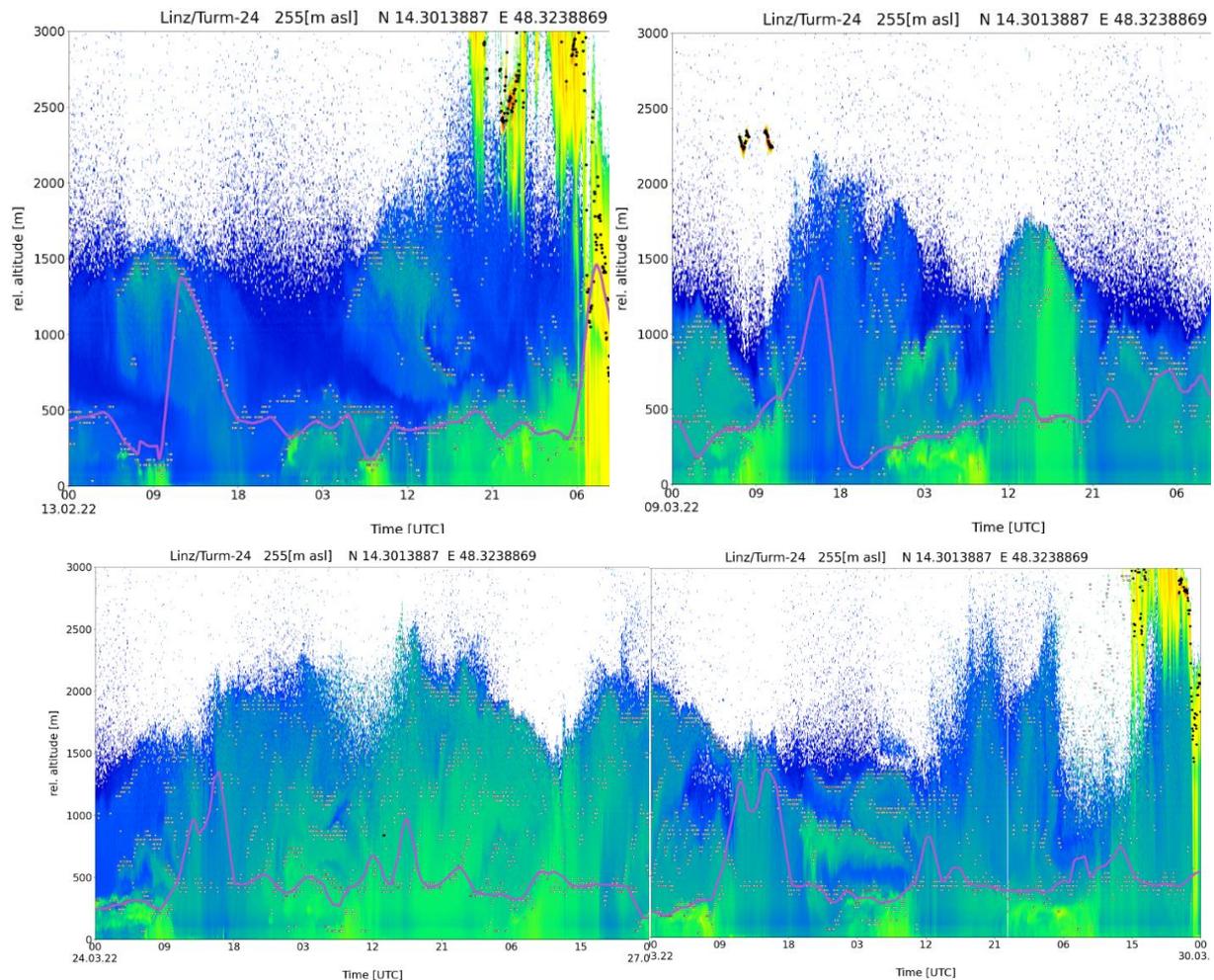


Abbildung 5-12: Zeit-Höhenverlauf der Rückstreuintensität am 14./15.2.2022, am 9./10.3.2022, am 24. bis 30.3.2022

5.5.3 Atmosphärische Grenzschicht am Tag und nächtliche Reservoirschicht

Die Ceilometermessungen in Abbildung 5-13 zeigen Tage mit staubreicher Luft in der atmosphärischen Grenzschicht, aber auch vergleichsweise große Mengen aerosolreicher Luft oberhalb der nächtlichen Mischungsschicht. Hierbei könnte es sich um schadstoffreiche Luft handeln, die aus der städtischen Grenzschicht stammt und in der Reservoirschicht oberhalb der sich nachts ausbildenden Inversionsschicht oder aus Einträgen aus regionalen Transportströmungen erhalten bleibt.

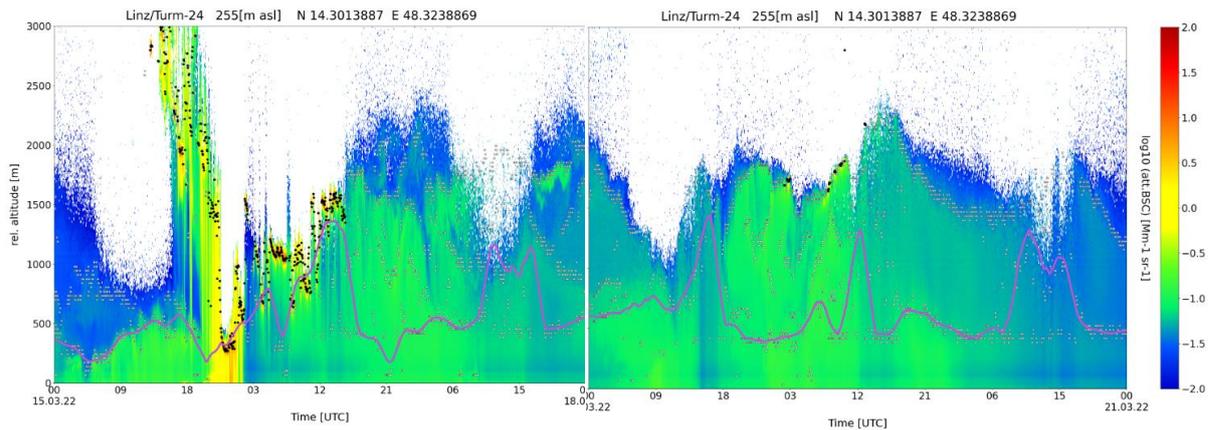


Abbildung 5-13: Zeit-Höhenverlauf der Rückstreuintensität von 15.3 bis 18.3.2022

5.5.4 Saharastaubeintrag 15.4.2022

Im Zeitraum 13.4. bis 15.4. wurden an der Luftgütestation Linz/24er Turm erhöhte Feinstaubwerte verzeichnet. Rückwärtsrechnungen mit dem Transportmodell FLEXPART, welche operationell für die österreichischen Bergstationen Sonnblick, Feuerkogel und Villacher Alpe durchgeführt werden (Beispiel in Abbildung 5-14 links), weisen auf einen Beitrag durch Wüstensandtransport aus der Sahara hin. Dieses Fallbeispiel wurde gewählt, um auch einen Vergleich der Ceilometermessungen beim 24er Turm mit jenen am Flughafen Linz zu zeigen.

Im Zeitverlauf der Rückstreuprofile, die mit dem Ceilometer in Linz/24er Turm am 15.4.2022 gemessen wurden (Abbildung 5-14 rechts oben), sind in den ersten Tagesstunden Staubschichten und Wolken in 2 bis 2,5 km Höhe sowie bis etwa 1km Höhe zu erkennen. Schon in den vorangegangenen beiden Tagen dürfte Wüstensand die bodennahen Schichten erreicht haben. Um 3 UTC setzt Niederschlag aus der hohen Wolkenschicht ein. Am späten Vormittag ist in der Mischungsschicht noch aerosolreiche Luft (Staub und Wassertröpfchen) zu sehen, nicht mehr jedoch darüber. In Abbildung 5-14 rechts unten sind die Messergebnisse des Ceilometers am Flughafen Linz dargestellt. Dieses System älteren Typs zeigt ebenfalls die Bewölkung in über 2 km Höhe zu Tagesbeginn, deren Wolkenbasis mit einsetzendem Niederschlag bis auf etwa 500 m absinkt. Die aerosolreiche Schicht in 2 bis 2,5 km Höhe, die mit eintreffendem Wüstensand in Verbindung gebracht wird, ist in den Ergebnissen dieses Messsystems aufgrund geringerer Datenverfügbarkeit jedoch nicht zu erkennen. Die Abnahme der aerosolreichen Luft in den bodennahen Schichten zu Mittag wurde am Flughafen ähnlich verzeichnet. Am Standort 24er Turm wurden am Nachmittag noch zweimal kurzzeitige Niederschlagsereignisse beobachtet, die Linz Flughafen offensichtlich jedoch nicht erreichten.

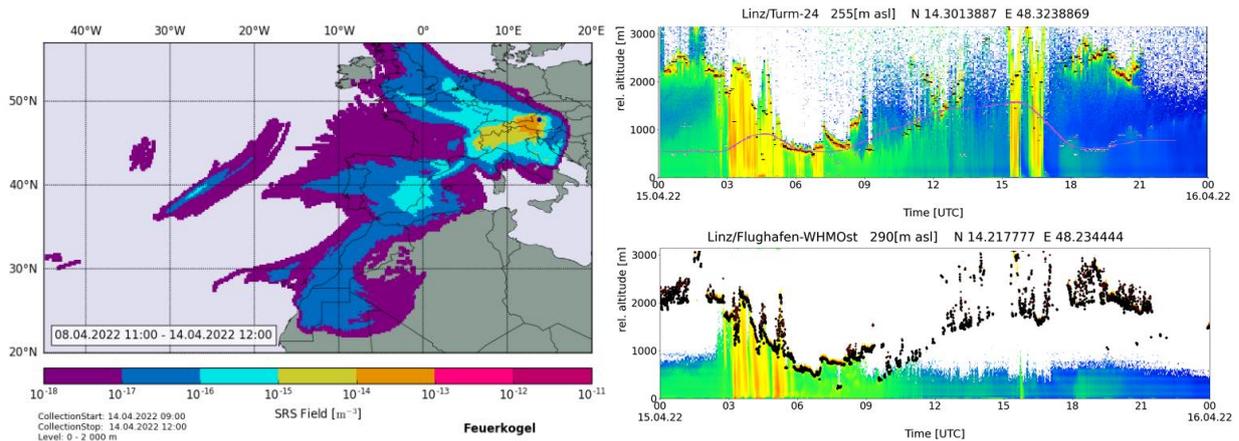


Abbildung 5-14: Herkunftsbereiche der Luft über die 6 vorangegangenen Tage in den bodennächsten 2 km über Grund für die Ankunftszeit am 14.4.2022 12 UTC (Ankunftspunkt Feuerkogel, links), Zeit-Höhenverlauf der Rückstreuintensität am 15.4. am Flughafen Linz (rechts unten) und am Standort Linz/24er Turm (rechts oben)

5.5.5 Feinstaubepisoden im Mai 2022

Die höchsten kurzzeitigen Feinstaubspitzenwerte im Mai 2022 wurden an der Luftgütestation Linz/24er Turm am 4., 11. und 12. gemessen (Abbildung 5-9). Abbildung 5-15 zeigt für die beiden Perioden jeweils die dreitägigen Zeitverläufe der Rückstreupprofile. Die roten Dreiecke markieren näherungsweise die Zeitpunkte des Auftretens der höchsten Feinstaubwerte. In allen drei Fällen lassen sich diese auf Ansammlungen von Staub in der nächtlichen, stabilen Grenzschicht zurückführen. Im linken Bild ist gut zu erkennen, dass sich auch in den beiden vorangegangenen Nächten bereits Feinstaub in der nächtlichen Grenzschicht angesammelt hatte, was durch die gemessenen, bereits leicht erhöhten Feinstaubwerte in Abbildung 5-9 (letztes Bild) bestätigt wird.

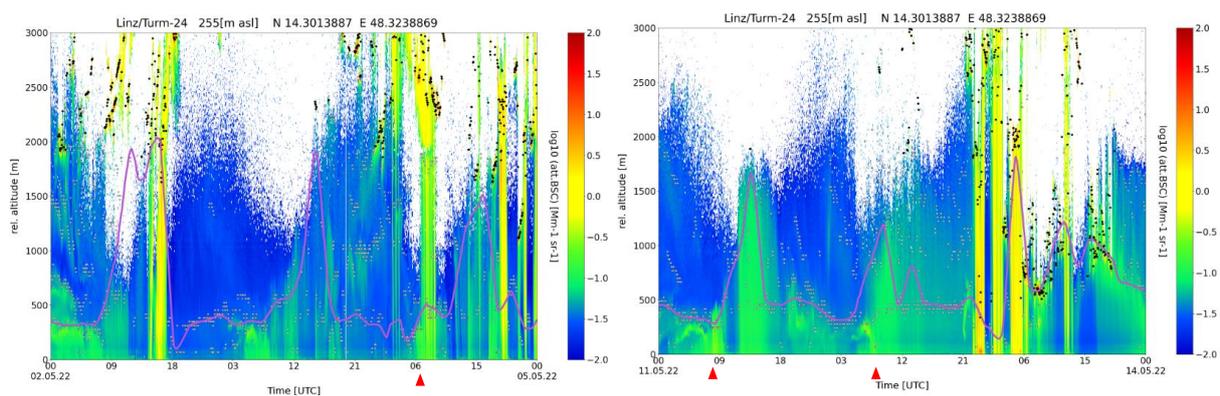


Abbildung 5-15: Zeit-Höhenverlauf des Horizontalwindes für Perioden mit aerosolreicher Luft in der Mischungsschicht (Feinstaubspitzen am 4.5.2022, 11.5. und 12.5.2022)

6 Zusammenfassung

Um zu verstehen, welche Faktoren die kleinräumigen Windsysteme beeinflussen, und um den Zusammenhang zwischen Feinstaub und Luftschichtung zu untersuchen, wurde von Jänner bis Mai 2022 eine Messkampagne mit einem Ceilometer und einem Windlidar am Standort der Luftgütemessstelle Linz/24er Turm durchgeführt.

Die nächtliche Frischluftzufuhr durch den Haselgrabenwind aus dem Mühlviertel konnte an einzelnen Tagen während des Messzeitraums sehr gut anhand der Messungen beobachtet werden. Der Vorteil gegenüber der Windmessung mittels eines konventionellen Windgebers bei der Luftgütestation ist, dass mit dem Windlidar nicht nur das Auftreten dieser nördlichen Strömung in einem Niveau, in 10 m über Grund erkannt wird, sondern auch die vertikale Ausdehnung und Ausprägung dieses Phänomens (in Einzelfällen bis etwa 80 m über Grund) untersucht werden kann.

Es wurden nicht nur Fallstudien betrachtet, sondern auch der gesamte Datensatz in Form von Windrosen in verschiedenen Messhöhen und Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit ausgewertet. Diese statistische Auswertung der von Jänner bis Mai 2022 erfassten Winddaten zeigt, dass die orographisch induzierte Strömung durch den Haselgraben nachts die Windrichtungsverteilung am Standort bis 50 m über Grund deutlich prägt, während in den darüber liegenden Höhen allmählich die typischen Windrichtungsverteilungen der großräumigen Wetterlagen prägend sind. Die genaue Kenntnis derartiger Strömungsmuster ist wichtig, um Modelle für das Mikroklima der Stadt und den Luftschadstofftransport in der Stadt zu verifizieren. Mit der zunehmend feineren räumlichen Auflösung der Wettervorhersagemodelle werden lokale Strömungsstrukturen auch durch diese immer besser erfasst. Da Verbauung und hoher Bewuchs bremsend und ablenkend auf lokale Windsysteme wirken, sind die Ergebnisse dieser Messung auch für die örtliche Raumplanung relevant.

Die Rückstreuprofile aus Ceilometermessungen ermöglichen, bei Episoden mit erhöhten Feinstaubmessungen an der Luftgütestation zwischen Ereignissen mit vorwiegend lokaler Emission und Eintrag aus Ferntransporten (z.B. Wüstensand) zu unterscheiden. Die Mischungshöhe, welche aus den Ceilometermessungen abgeleitet werden kann, visualisiert die Entwicklung der atmosphärischen Grenzschicht im Tagesverlauf und hilft bei der Interpretation der an der Luftgütestation gemessenen Immissionswerte. Dieses optische Fernerkundungsverfahren liefert darüber hinaus eine wesentliche Zusatzinformation zur

Qualitätsprüfung der Feinstaubmessung der Luftgütestation, da auch Nebel eindeutig identifiziert werden kann, welcher wiederum das optische Messverfahren der Station beeinträchtigt.

Durch Windlidar- und Ceilometermessungen an diesem Standort können somit wertvolle Informationen für die Stadtplanung und das Luftgütemonitoring des Landes Oberösterreich gewonnen werden.

Die im gegenständlichen Bericht dargestellte Messkampagne von Jänner bis Mai 2022 umfasste winterliche bis frühsummerliche Wettersituationen. Aufgrund des Klimawandels gewinnt die Frage, wann, woher und in welchem Ausmaß Frischluft in den städtischen Raum gelangt, in Hinblick auf die Hitzebelastung in der Stadt zunehmend an Bedeutung. Das orografische Windsystem des Haselgrabens trägt bekanntlich wesentlich zur Durchlüftung der Stadt Linz und somit zum Wohlbefinden der Stadtbevölkerung bei. Zur Verifikation bereits vorliegender oder neuer Simulationen der Kaltluftbildung und des lokalen Windfeldes wird die Durchführung einer kontinuierlichen Windlidarmessung am Standort Linz/24er Turm, zumindest über den Zeitraum eines Sommerhalbjahres oder über ein gesamtes Kalenderjahr empfohlen.

7 Literatur und Quellen

Lotteraner, Ch., M. Piringer, 2016: Mixing-Height Time Series from Operational Ceilometer Aerosol-Layer Heights. *Boundary-Layer Meteorology* 161, 265-287

METEK, 2021: Wind Ranger 100/200 Operational Manual VS. 03 2021-12-01

8 Anhang: Rückstreuprofile aus Ceilometermessungen

