

DWD

AMTLICHES GUTACHTEN

**Windverhältnisse im Raum Germering
Auswertung der Windmessungen**

- Aktualisierung des DWD-Gutachtens vom 07.09.1998 -



Deutscher Wetterdienst

**München
November 2022**

DEUTSCHER WETTERDIENST

Abteilung Klima- und Umweltberatung



AMTLICHES GUTACHTEN

Windverhältnisse im Raum Germering Auswertung der Windmessungen

- Aktualisierung des DWD-Gutachtens vom 07.09.1998 -

Auftraggeber:

Stadt Germering
Rathausplatz 1
82110 Germering

wissenschaftliche Bearbeitung:



München, den 15.11.2022



und



Gutachterin

Dieses Gutachten ist urheberrechtlich geschützt, außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist eine Vervielfältigung oder Weitergabe dieses Gutachtens an Dritte sowie die Mitteilung seines Inhaltes, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes gestattet.

Inhalt	Seite
1 Vorbemerkung	3
2 Einleitung und Aufgabenstellung	3
3 Windverhältnisse	4
3.1 Allgemeines	4
3.2 Windverhältnisse im Raum Germering	6
3.3 Strahlungswetterlagen	9
3.3.1 Häufigkeit windschwacher Strahlungsnächte	9
3.3.2 Strahlungstage	10
4 Auswertung der Windmessungen	11
4.1 Datenbasis und Messstandorte	11
4.1.1 Station 1 (Landsberger Straße)	12
4.1.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpfaffenhofen)	14
4.1.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)	16
4.2 Messergebnisse	17
4.2.1 Gesamtzeitraum	17
4.2.1.1 Station 1 (Landsberger Straße)	17
4.2.1.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpfaffenhofen)	19
4.2.1.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)	20
4.2.2 Tageszeitliche Unterschiede	22
4.2.2.1 Verhältnisse am Tag (Tagstunden)	22
4.2.2.2 Verhältnisse in der Nacht (Nachtstunden)	23
4.2.2.3 Vergleich von Tag und Nacht	24
4.2.3 Auswahl an Strahlungstagen	26
4.2.3.1 Station 1 (Landsberger Straße)	26
4.2.3.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpfaffenhofen)	27
4.2.3.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)	27
4.2.3.4 Vergleich von Tag und Nacht	28
4.2.4 Vergleich mit 1997/1998	30
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	33
7 Literatur	37
8 Abbildungsverzeichnis	38
9 Tabellenverzeichnis	39
10 Anhang	40



1 Vorbemerkung

Das vorliegende amtliche Gutachten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) über die Windverhältnisse im Raum Germering wurde in dessen Abteilung Klima- und Umweltberatung angefertigt. Für die Gutachtenerstellung und als Ansprechpartner für den Auftraggeber war dabei das Regionale Klimabüro (RKB) München zuständig, das mit dem Schreiben vom 31.07.2020 durch die Stadt Germering beauftragt wurde.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

Bei der Planung der baulichen Entwicklung der Großen Kreisstadt Germering sollen die Belange des Klimas Berücksichtigung finden. Da Wetter und Klima auf lokaler Ebene im großen Maße durch die Eigenschaften der Erdoberfläche geprägt werden, spielen Flächennutzungsänderungen sowie Siedlungsentwicklung und Bautätigkeit eine große Rolle.

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Flächennutzungsänderungen in Rahmen der Neuaufstellung und Änderung des Flächennutzungsplanes sowie von Planungen für die Bebauung von Teilflächen der Stadt wurde bereits im Jahr 1998 ein Gutachten über die Windverhältnisse im Raum Germering durch den Deutschen Wetterdienst erstellt (DWD, 1998). Auf der Grundlage von temporären Windmessungen an drei Messstandorten im Zeitraum vom März 1997 bis Mai 1998 wurden dabei insbesondere die bodennahen Winde im Raum Germering näher untersucht. Sie besitzen Einfluss auf die Durchlüftung der Stadt sowie die Zufuhr von Kaltluft und Frischluft aus dem Umland und können zu einer Minderung der bioklimatischen und lufthygienischen Belastungen in den Siedlungsbereichen führen.

Zur Aktualisierung des Windgutachten von 1998 wurden zwei gesonderte Gutachten erstellt. Zum einen wurde der Schwerpunkt auf Modellrechnungen und das nächtliche Kaltluftverhalten gelegt. Dazu wurden die lokalklimatischen Verhältnisse im Hinblick auf die nächtliche Kaltluftbildung und die Kaltluftströmungen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (SIEVERS, 2005) im Jahr 2021 untersucht (DWD, 2021) und so flächenhafte Aussagen gewonnen. Dabei wurden die wichtigen nächtlichen Kaltluftflüsse in Abhängigkeit von der Verteilung von Landnutzung und Geländehöhe für eine idealisierte Strahlungsnacht berechnet und ausgewertet. Mit der Simulation konnte auch der Ist-Zustand mit einer angenommenen oder geplanten Veränderung (Modell-Sollzustand) verglichen werden.

Zum anderen wurden erneute Windmessungen von Frühjahr 2021 bis Frühjahr 2022 an ähnlichen Standorten wie vor 25 Jahren durchgeführt, um die aktuellen Windverhältnisse in der Stadt und ihrem Umfeld zu erfassen und Veränderungen aufzuzeigen. Das vorliegende Gutachten dient der Auswertung dieser Windmessungen.

3 Windverhältnisse

3.1 Allgemeines

Unter Wind versteht man im allgemeinen Sprachgebrauch die vorwiegend in horizontaler Richtung verlaufende Luftbewegung. Sie entsteht als Folge des Ausgleichs von Luftdruckunterschieden in der Atmosphäre, die ihrerseits eine Folge der ungleichmäßigen Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung und der Erdrotation sind. Die Luft bewegt sich in der freien Atmosphäre annähernd parallel zu den Linien gleichen Luftdrucks (Isobaren). In Bodennähe bewirkt die Reibung an der Erdoberfläche, dass der Wind nicht parallel zu diesen Isobaren weht, sondern in einem Winkel aus einem Gebiet mit hohem Luftdruck in ein Gebiet tiefen Luftdrucks gerichtet ist.

Im Gegensatz zu anderen meteorologischen Parametern ist der Wind eine vektorielle Größe, die durch ihre Richtung und ihren Betrag – die Windgeschwindigkeit – beschrieben wird. Die Windrichtung ist dabei per Definition die Richtung, aus der der Wind weht.

Die allgemeine Windverteilung (Grundströmung) wird zwar von der großräumigen Luftdruckverteilung bestimmt, d. h. von der über Mitteleuropa herrschenden Großwetterlage. Sie wird aber durch lokale Einflüsse überlagert und damit modifiziert. Je nach Beschaffenheit können sie die Windrichtung ablenken und die Windgeschwindigkeit schwächen oder verstärken und damit das lokale Klima mitbestimmen. Die bodennahen Luftbewegungen stellen also ein komplexes System von sich gegenseitig überlagernden Windsystemen unterschiedlicher Ursache und Größenordnung dar.

Die Windverhältnisse beeinflussen sehr maßgebend das lokale und regionale Klima. Bebaute Flächen tragen viel zur Änderung des Windfeldes bei. Die Rauigkeit steigt gegenüber Feldern und Wiesen um ein bis zwei Größenordnungen an. Dies ändert das vertikale Windprofil auf mehrere hundert Meter über bebauten Arealen. Nahe der Erdoberfläche werden die Windgeschwindigkeiten um 10 bis 40 Prozent herabgesetzt. Die Struktur des bodennahen Windfeldes ist aber nicht nur von der Geländeform, der Bodenrauigkeit und vom horizontalen Luftdruckgefälle, dem Druckgradienten, abhängig, sondern auch vom vertikalen Temperaturprofil.

Lokale Windsysteme entstehen durch die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Erdoberfläche, wie die verschiedenen Landnutzungsarten, und durch die daraus resultierenden horizontalen Temperatur- und Luftdruckunterschiede. Sie sind damit die Folge einer unterschiedlichen Erwärmung oder Abkühlung benachbarter Flächen. Sie bilden sich insbesondere bei Wetterlagen, bei denen sich ein lokales Klima gut ausprägen kann, d. h. wenn die Luftdruckunterschiede sonst gering sind (gradientenschwache Wetterlagen) und die Einstrahlung durch die Sonne am Tag bzw. die langwellige nächtliche Ausstrahlung von der Erdoberfläche groß sind, d. h. bei windschwachen, wolkenarmen Verhältnissen (sogenannten Strahlungswetterlagen).

Solche thermisch induzierten, tageszeitabhängigen Windsysteme sind beispielsweise Hangab- und Hangaufwinde, Talab- und Talaufwinde (Berg- und Talwinde) sowie Land-Seewinde. Unter Hangabwinden versteht man das nächtliche Abfließen der über der Bodenerhebung abgekühlten Luft, tagsüber entsteht dagegen eine hangaufwärts gerichtete Strömung. Dabei bewegt sich die

Luft in Richtung der Hangneigung, d. h. bei Hängen, die ein Tal seitlich begrenzen, senkrecht zur Talachse. Bei den Berg- und Talwinden (Talab- und Talaufwinden) ist der Luftstrom nachts tal- (berg-)abwärts und am Tage tal- (berg-) aufwärts gerichtet. Zusätzlich spielen auch Flurwinde zwischen Bereichen mit unterschiedlicher Flächennutzung eine Rolle. Über den wärmeren Gebieten (wie z. B. der städtischen Bebauung) steigt die Luft auf und wird bodennah durch aus dem kühleren Umfeld nachströmende Luft ersetzt.

Bei der Einteilung der Windrichtungen ist es üblich, die Windrichtungen nach der 360°- Skala in 36 Sektoren zu je 10° Breite einzuteilen. Für viele Anwendungen werden die Windrichtungen auch in zwölf Sektoren zu je 30° Breite zusammengefasst (Abbildung 1). Bei der Einteilung der Richtung des Windes in zwölf Sektoren zu je 30° Breite entspricht einem Wind z. B. aus Norden der Richtungsbereich von 346° bis 15°. Die Sektormitte (in diesem Fall 360°) bezeichnet den jeweiligen Sektor.

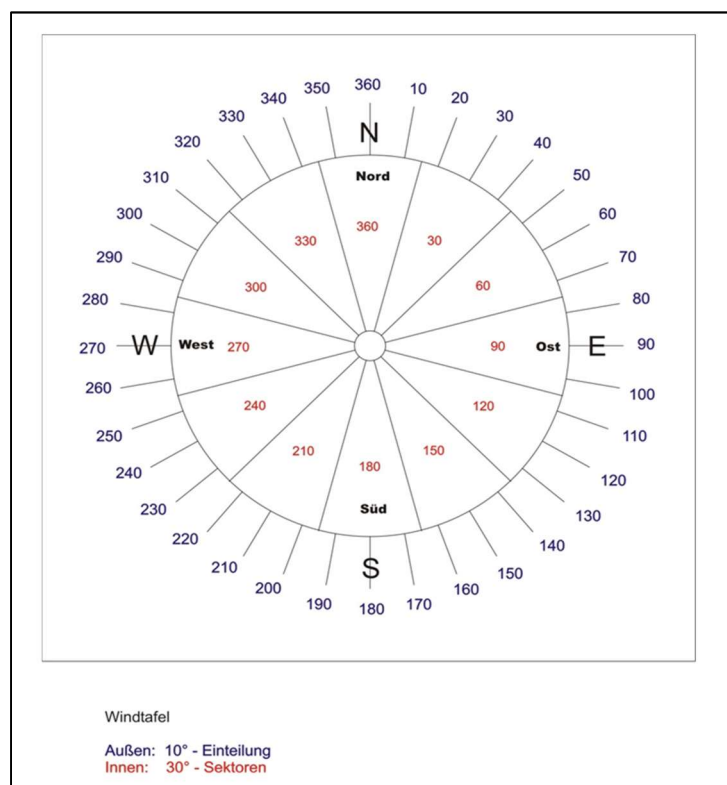


Abbildung 1: Windtafel, Angaben zu den Windrichtungsektoren in °

Die Windgeschwindigkeit ist hier die horizontale Verlagerungsgeschwindigkeit der Luftteilchen. Sie wird beim DWD und im Gutachten, wie in der Meteorologie üblich, in m/s angegeben. Im Anhang sind die Umrechnungsformeln in andere Maßeinheiten wie Kilometer pro Stunde (km/h) oder Knoten (kn) enthalten (Tabelle 2). Im Unterschied dazu bezeichnet die Windstärke den anhand der Auswirkungen des Windes auf eine größere Wasseroberfläche oder an Land auf Objekte in Bodennähe geschätzten Stärkewert. In der international vereinbarten 13-teiligen Beaufortskala (0 = Windstille bis 12 = Orkan) sind diesen Stärkewerten Geschwindigkeiten zugeordnet (Anhang Tabelle 2)

Die Messung des Windes erfolgt in der Regel in 10 Meter über Grund in einer möglichst hindernisfreien Umgebung, um vergleichbare Werte zu ermitteln. Um den Einfluss bodennaher Strömungen zu erfassen, wie bei nächtlichen Kaltluftflüssen und lokalen thermisch induzierten Windsystemen, ist aber auch eine Messhöhe in 2 Meter über Grund möglich.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden u. a. statistisch in Form von Häufigkeitsverteilungen ausgewertet, aus denen sich die charakteristischen Eigenschaften des Windfeldes ableiten lassen. Die sogenannten Stärkewindrosen stellen die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung aus Windrichtung und Windgeschwindigkeit grafisch dar. Umlaufende Winde haben eine Geschwindigkeit von weniger als 1,5 m/s und eine Schwankungsbreite der Richtung von mehr als 180°.

3.2 Windverhältnisse im Raum Germering

Die Windverhältnisse im Raum Germering werden neben den vorherrschenden Wetterlagen, der Verteilung der Hoch- und Tiefdruckgebiete, stark durch die topografischen Verhältnisse geprägt. Die Stadt Germering liegt im Westen des Ballungszentrums München und damit bei östlichen Winden im Lee der Großstadt (windabgewandte Seite bei einem Hindernis).

Die Große Kreisstadt Germering befindet sich nördlich des Kreuzlinger Forstes in etwa zwischen der Bundesautobahn A 96 im Süden und der Bundesstraße B 2 im Norden der Stadt. An die großflächigen Waldgebiete im Süden schließen sich nach Norden hin landwirtschaftliche Nutzflächen an, die das Stadtgebiet halbkreisförmig umgeben. Weiter im Norden und Nordosten folgen die Ausläufer des Dachauer Moos mit Wiesen und Moorebenen sowie der Auwald der Aubinger Lohe. Im Osten der Stadt verlaufen das inzwischen geschlossene Teilstück des westlichen Autobahnringes der Stadt München, der A 99, und die neuen Baugebiete bei Freiham und Neuaubing. Südwestlich, westlich und nordwestlich von Germering erstreckt sich der Höhenzug von Steinberg und Parsberg bis zum Lindbühl. Von der naturräumlichen Gliederung (BAYFORKLIM, 1996) befindet sich die Stadt im Bereich der nach Norden und Nordosten abfallenden, schiefen „Münchner Ebene“ mit dem Unterbezirk der „Isar-Inn-Schotterplatten“ (DWD, 2021).

Entsprechend der **großräumigen Windverteilung** in Bayern herrschen in der Region, insbesondere bei größeren Windgeschwindigkeiten in Verbindung mit Tiefdruckeinfluss oder der Lage auf einer Tiefdruckvorderseite, südwestliche bis westliche Windrichtungen vor. Ein zweites Richtungsmaximum ergibt sich vor allem am Rande von Hochdruckgebieten bei Nordost bis Ost.

Die Stärkewindrosen für München-Flughafen und München-Stadt spiegeln die aktuellen mittleren Windverhältnisse in der Region wider mit einem Überwiegen von südwestlichen bis westlichen Winden und einem weiteren Maximum bei nordöstlichen bis östlichen Winden. Die Station in München-Flughafen in 445,5 m über NHN wird durch ihre freie Lage geprägt. Die Messhöhe beträgt 10 m über Grund. Die Station München-Stadt befindet sich etwa 13 km nordöstlich von Germering in 515 m über NHN innerhalb der städtischen Bebauung der Stadt München. Aufgrund der größeren Rauigkeit des Untergrundes beträgt die Messhöhe 28,5 m über Grund (bzw. 9 m über der Dachfläche). Windmessungen in Starnberg-Perchting wurden nur bis 2017 durchgeführt.

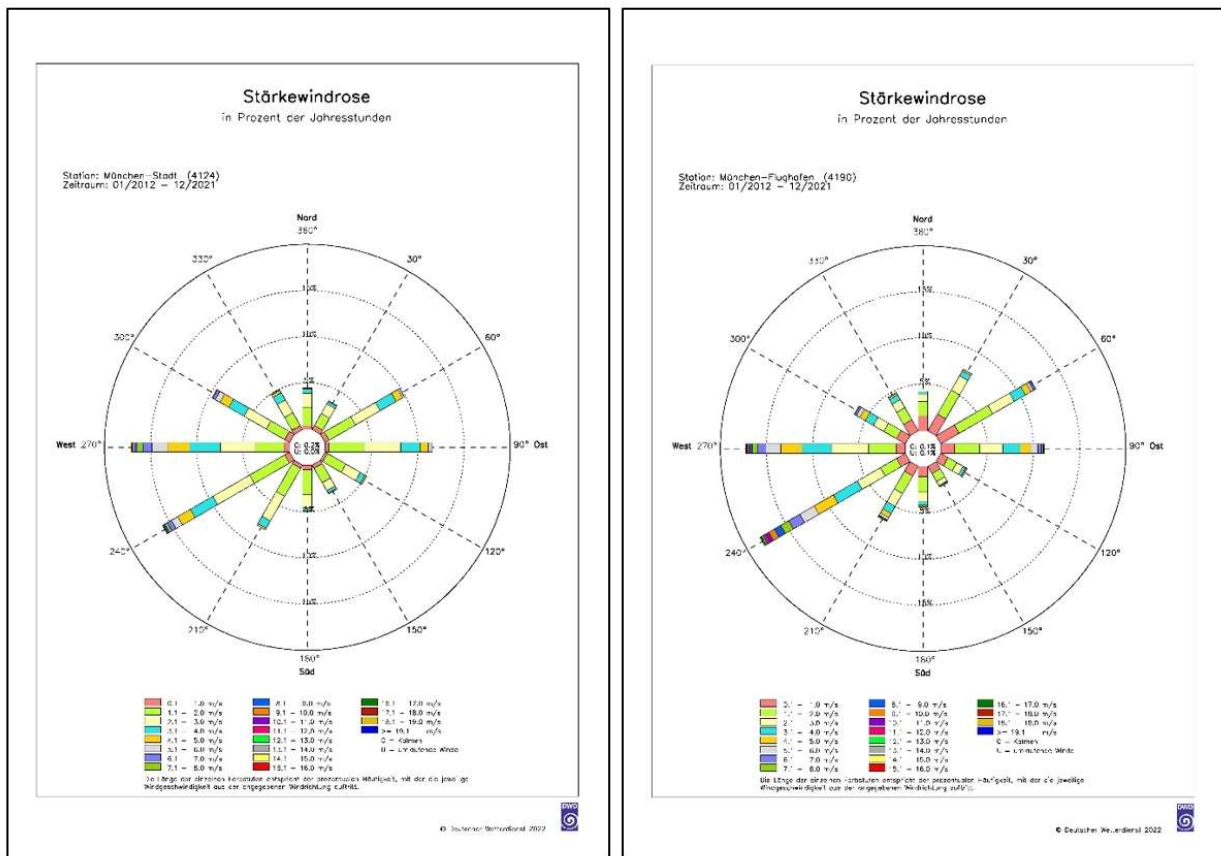


Abbildung 2: Stärkewindrosen in Prozent der Jahresstunden für 2012-2021 der DWD-Stationen München-Flughafen und München-Stadt

Zusätzlich zu den großräumigen Verhältnissen wird die Windrichtungsverteilung auch durch die Leitwirkung der Höhenzüge und Täler und deren Ausrichtung modifiziert. Hier unterstützt die Ausrichtung des Alpenrandes regional ebenfalls Südwest- und Nordostkomponenten des Windes im Alpenvorland. Auf lokaler Ebene spielt in Germering u. a. auch der westlich vorgelagerte Höhenrücken eine Rolle

Eine große Bedeutung besitzen thermisch induzierte, lokale und regionale Windsysteme, die sich durch die unterschiedliche Aufheizung bzw. Abkühlung der einzelnen Flächen bei wolkenarmen, windschwachen Hochdruckwetterlagen (starke Sonneneinstrahlung am Tage, kräftige Ausstrahlung nachts) als Folge der dadurch hervorgerufenen Temperatur- und Druckunterschiede ausbilden können.

Auf regionaler Ebene bildet sich im Untersuchungsgebiet bei entsprechenden Wetterlagen eine tageszeitabhängige **Regionalwindzirkulation** zwischen Alpen und Alpenvorland. Sie wird auch als „Alpines Pumpen“ bezeichnet und ist den sonst vorherrschenden Windverhältnissen überlagert. Nachts wehen südliche bis südwestliche Winde aus dem Alpenraum heraus ins Alpenvorland. Tagsüber ist die Luftströmung dagegen aus dem Alpenvorland in Richtung Alpen gerichtet und weist häufiger nördliche und nordöstliche Komponenten auf. Dabei sind die Windgeschwindigkeiten nachts in der Regel schwächer als am Tage (MÜHLBACHER et al., 2020).

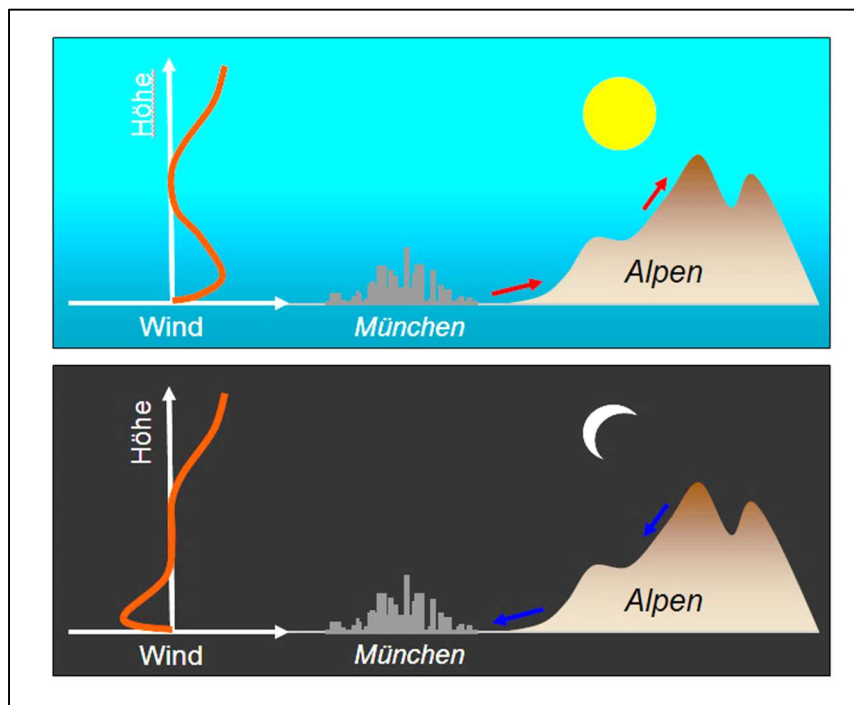


Abbildung 3: Schematische Darstellung der alpinen Regionalwindzirkulation (Quelle DWD)

Außerdem entstehen im Raum Germering **lokale Windsysteme** in Form von Hangab- und Hangaufwinden, wie an den Hängen des Parsberges und Lindbühels sowie Berg- und Talwinde entlang der Taleinschnitte, wie dem Holzbach.

Flurwinde bilden sich zwischen Bereichen mit unterschiedlicher Flächennutzung. Über den wärmeren Gebieten (wie z. B. der städtischen Bebauung) steigt die Luft auf und wird durch aus dem kühleren Umfeld nachströmende Luft ersetzt. Da die städtische Wärmeinsel sich bei entsprechenden Wetterlagen sowohl am Tage stärker aufheizt, als auch nachts schwerer abkühlt, sind diese Flurwinde vom Umland radial in Richtung Stadt gerichtet.

Eine große Rolle spielen auch **nächtliche Kaltluftflüsse**, die 2021 gesondert untersucht wurden (DWD, 2021). Dabei bildet sich in windschwachen wolkenarmen Strahlungsnächten durch die langwellige nächtliche Ausstrahlung von der Bodenoberfläche und die dadurch hervorgerufene Abkühlung der bodennahen Luftschicht über den Freiflächen, wie Wiesen und landwirtschaftlichen Nutzflächen, vermehrt Kaltluft, während dichter bebaute Gebiete keine Kaltluft produzieren und stattdessen, die am Tage gespeicherte Wärme wieder abgeben. Der Geländeneigung und Schwerkraft folgend entsteht dadurch nach Überwindung der Bodenrauigkeit ein abwärts gerichteter Kaltluftstrom. Dieser wird an Hindernissen abgebremst bzw. aufgestaut. Dabei werden die Hindernisse umströmt und mit Anwachsen der nächtlichen Kaltluftschicht schließlich überströmt. Bei Engstellen kann es durch den Bernoulli-Effekt (eine Abnahme des Querschnittes führt zu einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit) auch zu einer Beschleunigung der Strömung (Düsenwirkung) kommen.



Für **Germering** ergibt sich nach den Modellrechnungen (DWD, 2021) aufgrund der geneigten Münchner Schotterebene und der lokalen Topografie ein aus dem Hinterland kommender südlicher bis südwestlicher **Kaltluftstrom**, der durch die Hinderniswirkung des Stadtgebietes im Bogen um die Stadt herumgeführt wird. Dabei wird der Hauptstrom westlich um die Stadt herumgeführt, an der Engstelle zwischen Lindbühel, Puchheim Ort und dem Nordwesten von Germering beschleunigt. Nördlich der Stadt biegt er auf südwestliche bis westliche teils auch nordwestliche Richtungen um. Ein kleinerer Teil der Kaltluft wird dagegen östlich um Germering herumgelenkt. Die Kaltluftströmung von Süden wird über dem Kreuzlinger Forst durch die relativ große aerodynamische Rauigkeit stärker abgebremst. Auch die dicht bebaute Stadt fungiert als Hindernis und führt durch die größere Rauigkeit zu einer Abbremsung der Luftbewegung. Während der Hauptteil des Kaltluftstroms die Stadt umfließt, dringt ein Teil der Kaltluft im Laufe der Nacht von den Rändern her in das Stadtgebiet ein. Eine Rolle spielen hier, wie in den Modellrechnungen gezeigt, die großen Straßenzüge als Durchlüftungsschneisen. Mit dem Anwachsen der Kaltluftschicht im Laufe der Nacht wird das Stadtgebiet schließlich überströmt (DWD, 2021).

Im Alpenvorland in und südlich von München ist durch die oben beschriebenen Effekte zusätzlich zur großräumigen Windrichtungsverteilung auch der **Anteil von südlichen Winden** höher, wie an den früheren Windmessungen in Starnberg-Perchting zu sehen ist (DWD, 2021). Dazu trägt teilweise auch der Föhneinfluss bei. Dieser nimmt jedoch mit zunehmender Entfernung zum Alpenrand und damit auch Richtung Germering nach Norden hin deutlich ab.

3.3 Strahlungswetterlagen

Der großräumige Ablauf der Witterung ist in unseren Breiten durch die Zufuhr verschiedener Luftmassen bestimmt. Deutschland wird häufig von Tiefausläufern überquert, die in die großräumige Zirkulation eingebettet und oftmals mit auffrischenden, meist westlichen Winden verbunden sind. Derartige Wetterlagen kennzeichnen die allochthone, d. h. fremdbürtige Witterung, die die Ausbildung von lokalklimatischen Besonderheiten behindert bzw. unterdrückt.

Ein eigenständiges (autochthones) Lokalklima, bei dem sich örtliche Besonderheiten stärker ausprägen, entwickelt sich insbesondere im Zusammenhang mit windschwachen und wolkenarmen Strahlungswetterlagen. Hier können sich lokale Besonderheiten, wie thermisch induzierte tageszeitabhängige Windsysteme, besonders gut ausprägen.

3.3.1 Häufigkeit windschwacher Strahlungsnächte

Für die Auswahl von Strahlungstagen, im Gutachten von 1998 auch Schönwettertage genannt, gibt es verschiedene Ansätze zu deren Festlegung. Die unterschiedlichen Strahlungseigenschaften der Erdoberfläche können nur dann die horizontale Verteilung der Lufttemperatur und des Windes stärker beeinflussen, wenn die Ausstrahlungsbedingungen gut und die horizontale Durchmischung gering sind. Betrachtet man vor allem die Nacht, dann kann man sogenannte windschwache Strahlungsnächte auswählen, bei denen eine geringe Windgeschwindigkeit und wenig Bewölkung vorhanden sind.

Die mittlere jährliche Häufigkeit von Strahlungsnächten in den letzten zehn Jahren wurde aus Daten des Deutschen Wetterdienstes ermittelt. Dabei wurden stündliche Werte für die Parameter Windgeschwindigkeit und Bedeckung des Himmels mit Wolken verwendet. Eine Nacht wurde im Berechnungsschema als windschwache Strahlungsnacht gewertet, wenn während der Nacht in mindestens 50% der Gesamtzeit zusammenhängende Stunden oder mindestens 80% nicht zusammenhängende Stunden auftraten, die das Kriterium einer Windgeschwindigkeit kleiner oder gleich 2,6 m/s und eines Bedeckungsgrades des Himmels mit Wolken kleiner oder gleich 4 Achtern erfüllten. Der Zeitraum der Nacht wurde durch die Bedingung Sonnenhöhe unter 5° festgelegt.

Tabelle 1: Mittlere Anzahl windschwacher Strahlungsnächte für München-Flughafen (2012-2021) und Weihenstephan-Dürnast (2014-2021)

Anzahl der Tage	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
München-Flughafen	2	4	8	7	7	9	11	10	10	5	2	2	78
Weihenstephan-D.	2	4	6	6	6	8	10	9	8	4	3	2	66

Danach ergeben sich für die letzten 10 Jahre in der Region im Mittel etwa 70 bis 80 so definierte windschwache Strahlungsnächte pro Jahr. Die Häufigkeit solcher Nächte ist aber nicht gleichförmig über das Jahr verteilt, sondern zeigt deutlich höhere Werte von März bis September (ca. 6 bis 11 Nächte pro Monat) mit einem Maximum im Juli und August. Von Jahr zu Jahr kann diese Anzahl zusätzlich erheblich schwanken. Für den betrachteten Zeitraum der Windmessungen in Germering von März 2021 bis März 2022 waren es in München-Flughafen und Weihenstephan rund 80 bzw. 60 solcher Nächte pro Jahr.

3.3.2 Strahlungstage

Betrachtet man statt der Nacht eher die Bedingungen am Tag, dann spielt die solare Einstrahlung eine wichtige Rolle. In Anlehnung an Untersuchungen von LUGAUER und WINKLER (2005) und die Stadtklimauntersuchung des Deutschen Wetterdienstes für München (MÜHLBACHER et al., 2020) wurden daher Mindestwerte für die Tagessumme der Globalstrahlung ($\geq 2.000 \text{ J/cm}^2$ bzw. $\geq 20 \text{ MJ/m}^2$) vorgeben. Damit konnten Tage mit besonders günstigen Bedingungen für die Ausbildung thermisch induzierter Windsysteme sowie das Auftreten der Regionalwindzirkulation zwischen Alpen und Alpenvorland (Alpines Pumpen) identifiziert werden. Als Zusatzbedingung sollte die Tagessumme des Niederschlags gleich Null sein. Für die Tagessumme der Globalstrahlung wurden Strahlungsmessungen der Station Weihenstephan-Dürnast in 477 m über NHN herangezogen, für die Tagesumme des Niederschlags die Klima-Station in Maisach-Galgen in 531 m über NHN verwendet sowie zur Ergänzung Daten der DWD-Niederschlagsstation in Krailling in 553 m über NHN, für die im Beurteilungszeitraum Tageswerte bis zum 03.02.2022 vorlagen.

Für den Auswertezeitraum von März 2021 bis März 2022 ergeben sich bei Einhaltung nur des Strahlungskriteriums 78 Tage bzw. 76 Tage pro Jahr. Mit der Zusatzbedingung kein Niederschlag

erhält man im Auswertezeitraum 50 Tage bzw. 48 Tage pro Jahr. Die Auswertung der Windmessungen wurde im Folgenden für den Gesamtzeitraum durchgeführt und für die Auswahl dieser Strahlungstage mit sehr günstigen Bedingungen für das Auftreten thermisch induzierter tageszeitabhängiger Windsysteme wiederholt.

4 Auswertung der Windmessungen

4.1 Datenbasis und Messstandorte

Neben Daten des DWD-Messnetzes wurden temporäre Windmessungen mit einem Sondermessnetz für die Dauer von etwa einem Jahr durchgeführt, um die lokalen Besonderheiten aufzuzeigen und die vorausgegangenen Modellrechnungen (DWD, 2021) zu verifizieren. Dabei sollten auch die Messergebnisse der etwa 25 Jahre zurückliegenden Messreihe von März 1997 bis Mai 1998 aktualisiert werden.

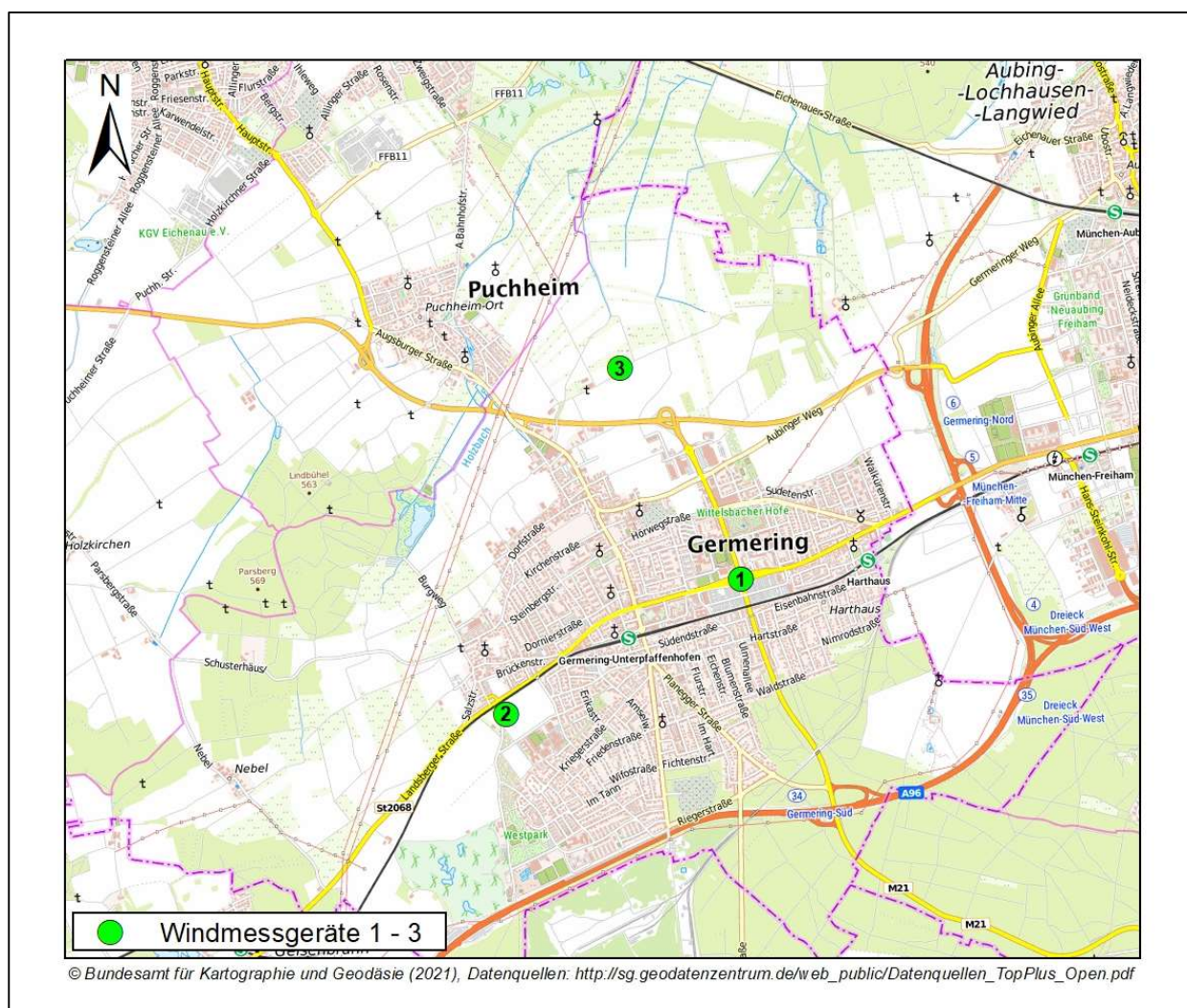


Abbildung 4: Germering - Lage der Windmessstandorte 2021/2022



Daher wurden die Messstandorte so gewählt, dass sie zum einen repräsentativ, zum anderen gut mit den früheren Stationen vergleichbar sind. Sie sollten aber auch den veränderten Bedingungen Rechnung tragen. Da der ehemalige Standort von Station 3 durch die Ausdehnung der Bebauung von Germering nach Nordosten nicht mehr so frei liegt, wie damals, musste er ein Stück nach Norden verlegt werden, um auch die Bedingungen des Umlandes zu erfassen. Abbildung 4 zeigt die Lage der Standorte 2021/2022. Im Anhang ist auch die Karte mit den früheren Messstationen enthalten (Abbildung 24).

Die Messhöhe beträgt analog zu den historischen Messungen (DWD 1997) ca. 2,50 Meter. Die Daten wurden als 10 Minuten-Mittelwerte per Funk übermittelt. Für die Windgeschwindigkeit wurden die skalaren Mittel (Mittelwert des Betrags) verwendet, für die Windrichtung die vektoriellen Mittel. Für die Auswertung in den Stärkewindrosen wurden aus den 10-Minutenwerten Stundenwerte gebildet. Alle Zeitangaben im Gutachten beziehen sich auf Mitteleuropäische Zeit MEZ. Für die Mitteleuropäische Sommerzeit muss man eine Stunde hinzuaddieren (MESZ = MEZ + 1 Stunde). Die Messwerte wurden auf Ausfälle und Plausibilität geprüft. Die Messreihe begann im Februar 2021 und dauerte bis Anfang April 2022. Um vollständige Monate zu erhalten und Datenausfälle im Februar 2022 auszugleichen, wurde der Zeitraum vom 01.03.2021 bis 31.03.2022 ausgewertet.

4.1.1 Station 1 (Landsberger Straße)

Diese Station befand sich an nahezu demselben Standort wie 1997/1998 an der Hauptkreuzung im Stadtzentrum auf der Nordseite der Brücke der Staatsstraße St 2068 (Landsberger Straße) über die Staatsstraße St 2544. Dabei ist die Straßenkreuzung (vgl. Abbildung 4) gegenüber der Nord-Süd- bzw. West-Ost-Richtung um ca. 15 Grad gedreht Richtung Nordnordwest bzw. Südsüdost und Westsüdwest bzw. Ostnordost. Abbildung 5 zeigt den Blick nach Norden bzw. Nordnordwesten mit der vorgelagerten Fußgängerbrücke, Abbildung 6 den Blick nach Osten/Ostsüdosten entlang der Landsberger Straße. Die Station dient, wie bei den historischen Messungen, der Erfassung der innerstädtischen Verhältnisse und der Bedeutung der großen Straßenachsen als Durchlüftungsschneisen. Sie erfasst u. a. auch die aus Norden bis Nordwesten bis in die Stadt eindringenden Windströmungen.



Abbildung 5: Station 1 - Landsberger Straße (Kreuzung), Blick nach Norden



Abbildung 6: Station 1 - Landsberger Straße (Kreuzung), Blick nach Osten

4.1.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpfaffenhofen)

Auch die Station 2 bei der Feuerwehr Unterpfaffenhofen befindet annähernd am alten Standort. Die Gebäude der Feuerwehr wurden etwas erweitert. Die Station wurde aktuell gegenüber dem früheren Standort leicht versetzt an die Südostecke des Grundstücks, um die hier wichtigen Südwest- und Nordostwinde gut erfassen zu können. Sie liegt damit auch am Rand der Freifläche des Kreuzlinger Feldes und beschreibt die Verhältnisse in den westlichen Bereichen von Germering.



Abbildung 7: Station 2 - Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Südosten über das Kreuzlinger Feld Richtung Alfons-Baumann-Straße



Abbildung 8: Station 2 - Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Nordosten über das Kreuzlinger Feld Richtung S – Bahntrasse



Abbildung 9: Station 2 – Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Süden und Südwesten

4.1.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)

Der frühere Standort der Station 3, im Gutachten von 1998 als Anwesen Mayer bzw. Mayerhof bezeichnet, liegt durch die Ausdehnung der Bebauung und der Gewerbegebiete nicht mehr so frei, wie vor 25 Jahren. Daher wurde er jetzt ein Stück nach Norden und Westen verlagert und befand sich, umgeben von landwirtschaftlichen Nutzflächen, ca. 400 Meter nördlich der Bundesstraße B 2 am westlichen Rande eines mit einzelnen Bäumen bestandenen Grundstücks.



Abbildung 10: Station 3 – Nördlich der B2, Blick nach Süden Richtung Germering



Abbildung 11: Station 3 – Nördlich der B2, Blick nach Nordwesten Richtung Puchheim



4.2 Messergebnisse

Zur Auswertung der aktuellen Windmessungen im Zeitraum vom 01.03.2021 bis 31.03.2022 wurden zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen für Stundenwerte von Windgeschwindigkeit und Windrichtung erzeugt und in Form von Stärkewindrosen dargestellt. Dabei wurde die Windrichtungen in zwölf 30°-Sektoren aufgeteilt. In der Regel wird die Richtung der Sektormitte angegeben. Die Einteilung der Windgeschwindigkeitsklassen orientiert sich an der Zuordnung von Windgeschwindigkeitsbereichen zu den Windstärkeangaben nach der sogenannten Beaufort-Skala (siehe Tabelle 2 im Anhang). Dabei wurden Windgeschwindigkeiten ab 0,1 m/s berücksichtigt. Angegeben werden die relativen Häufigkeiten in Prozent.

Es wurde zum einen der Gesamtzeitraum ausgewertet, zum anderen eine Auswahl von Einzeltagen, sogenannten Strahlungstagen (im Gutachten von 1998 auch Schönwettertage genannt) mit besonders günstigen Bedingungen für die Ausbildung lokaler und regionaler thermischer Windsysteme. Zum Vergleich mit den früheren Messungen wurden die Auswertungen auch für die damalige Klasseneinteilung durchgeführt.

4.2.1 Gesamtzeitraum

4.2.1.1 Station 1 (Landsberger Straße)

Abbildung 12 auf der Folgeseite zeigt die Verhältnisse für Station 1 für den Gesamtzeitraum und alle Stunden des Tages. An dieser Station ist der Einfluss der städtischen Bebauung am größten. Die großräumig und regional vorherrschenden häufigsten Windrichtungen werden durch die Ausrichtung der großen Straßentrassen und deren Leitwirkung modifiziert. Dabei sind die Straßenachsen gegenüber den Hauptrichtungen Nord, Ost, Süd und West leicht gedreht und haben in diesem Bereich etwa eine Richtung von 345°, 75°, 165° und 255°. Eine Rolle spielen auch die Freiflächen, die von Nordwesten und Norden her in die Stadt hineinreichen.

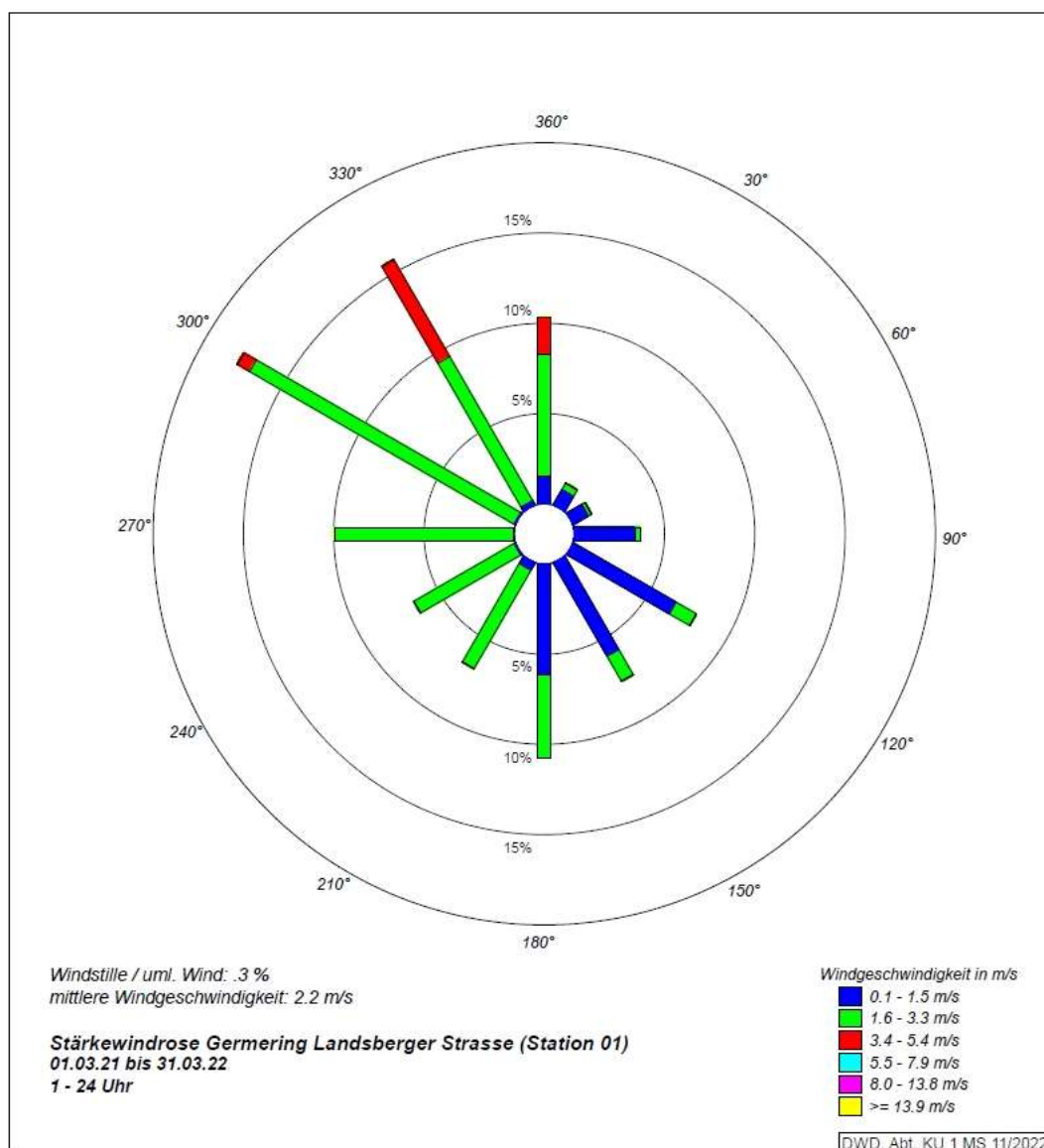


Abbildung 12: Stärkewindrose Station 1 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ)

Am häufigsten weht der Wind aus den Sektoren um 300° (Westnordwest) und 330° (Nordnordwest) mit einer relativen Häufigkeit von 18% bzw. 16%. Die benachbarten Sektoren Nord (360°) und West (270°) weisen noch eine Häufigkeit von ungefähr 10% auf. Ein zweites, sekundäres Maximum besteht bei Süd (um 180°) mit etwa 11%. Südöstliche Richtungen (120° - Südsüdost und 150° - Ostsüdost) treten noch in 8% der Stunden auf. Nordöstliche Winde sind aufgrund der Abschirmung durch die Bebauung dagegen deutlich seltener. Damit ergibt sich an dieser Station insgesamt eine Bevorzugung der nordwestlichen bis nördlichen und südöstlichen bis südlichen Richtungen entsprechend den Straßenachsen und Freiflächen. Auch die Westrichtung ist vertreten. Die Ostrichtung ist dagegen weniger häufig und schwächer.

Betrachtet man die Windgeschwindigkeit, dann fällt auf, dass auch sie richtungsabhängig ist. Schwache Winde (0,1-1,5 m/s - blaue Einfärbung) mit Stärke 1 Beaufort (Bft) kommen vor allem aus der Osthälfte (rechte Seite der Grafik). Winde mit Geschwindigkeiten der Stärke 2 (1,6-

3,3 m/s - grüne Einfärbung) aus der Westhälfte und noch etwas aus Südosten. Bei Süd sind beide Klassen vorhanden, bei Nord vor allem, die etwas stärkeren Winde. Eine mögliche Ursache könnte neben der Häufigkeit der Großwetterlagen im Messzeitraum und der städtischen Bebauung von Germering auch die Lage im Lee der Großstadt München sein.

Stundenwerte der mittleren Windgeschwindigkeit von 3,4 bis 5,4 m/s (Windstärke 3) konzentrieren sich hier vor allem auf den Sektor um 330° und die beiden benachbarten Bereiche (um 300° und um 360°) und damit auf die Nordwest- und Nordrichtung. Höhere mittlere Windgeschwindigkeiten treten in Mitteleuropa bevorzugt in Verbindung mit Tiefdrucktätigkeit und atlantischen Tiefausläufern (Wetterfronten) auf, sogenannten Westwetterlagen. Hier spielen wahrscheinlich zusätzlich die Leitwirkung der Höhenzüge im Westen und Nordwesten der Stadt sowie die räumliche Verteilung der Siedlungsflächen, wie von Eichenau, Puchheim-Ort und Puchheim-Bahnhof eine Rolle. Auch der Siedlungsrand im Nordwesten von Germering besitzt eine ähnliche Orientierung.

4.2.1.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpfaffenhofen)

Die Verhältnisse an der Feuerwehr in Unterpfaffenhofen (Station 2) sind für den Gesamtzeitraum auf der Folgeseite in Abbildung 13 dargestellt. Auch hier erkennt man eine Konzentration der geringeren Geschwindigkeiten (Stärke 1 Bft.) auf die Osthälfte (blaue Farbgebung) und der etwas höheren Windgeschwindigkeiten (Stärke 2 Bft.) auf die Westhälfte (grüne Farbgebung). Höhere mittlere Windgeschwindigkeiten, meist Stärke 3 Bft., treten auch hier bevorzugt bei Nordnordwest (um 330°) auf.

Bezüglich der Windrichtung ist an Station 2 die Konzentration auf einzelne Sektoren noch deutlicher ausgeprägt. Am häufigsten treten Windrichtungen um 240° (Westsüdwest) und um 210° (Südsüdwest) auf mit einer relativen Häufigkeit von ca. 32% bzw. 20%, d. h. in etwa der Hälfte aller Stunden (rund 50%) kommt der Wind aus diesen Richtungen. Winde aus West (270°) und Nordnordwest (330°) haben noch eine Häufigkeit von 9% bzw. 8%, aus Westnordwest (300°) und Nord (360°) von 6% und 5%. Die Anteile der übrigen Sektoren liegen unter 5%.

Ursachen hierfür sind die Lage am westlichen Ortsrand, die Ausprägung der bereits beschriebenen Windsysteme und der 2021 modellierten Kaltluftflüsse (DWD, 2021). Eine große Rolle spielt die Orientierung der Freiflächen in diesem Bereich sowie westlich und südwestlich davon und, wie bereits 1998 ausgeführt (DWD, 1998), die Leitwirkung der großen Straßen und der S - Bahntrasse.

Vor allem bei nordöstlichen, östlichen und südöstlichen Windrichtungen liegt die Station 2 dagegen im Lee der städtischen Bebauung von Germering, was zu einer Abschwächung der Windgeschwindigkeiten aus diesen Richtungen führt bzw. zu einer geringeren Häufigkeit dieser Windrichtungssektoren (siehe Abb. 13 auf der Folgeseite). Dabei sind die Häufigkeiten bei südöstlichen Richtungen stärker reduziert als bei nordöstlichen.

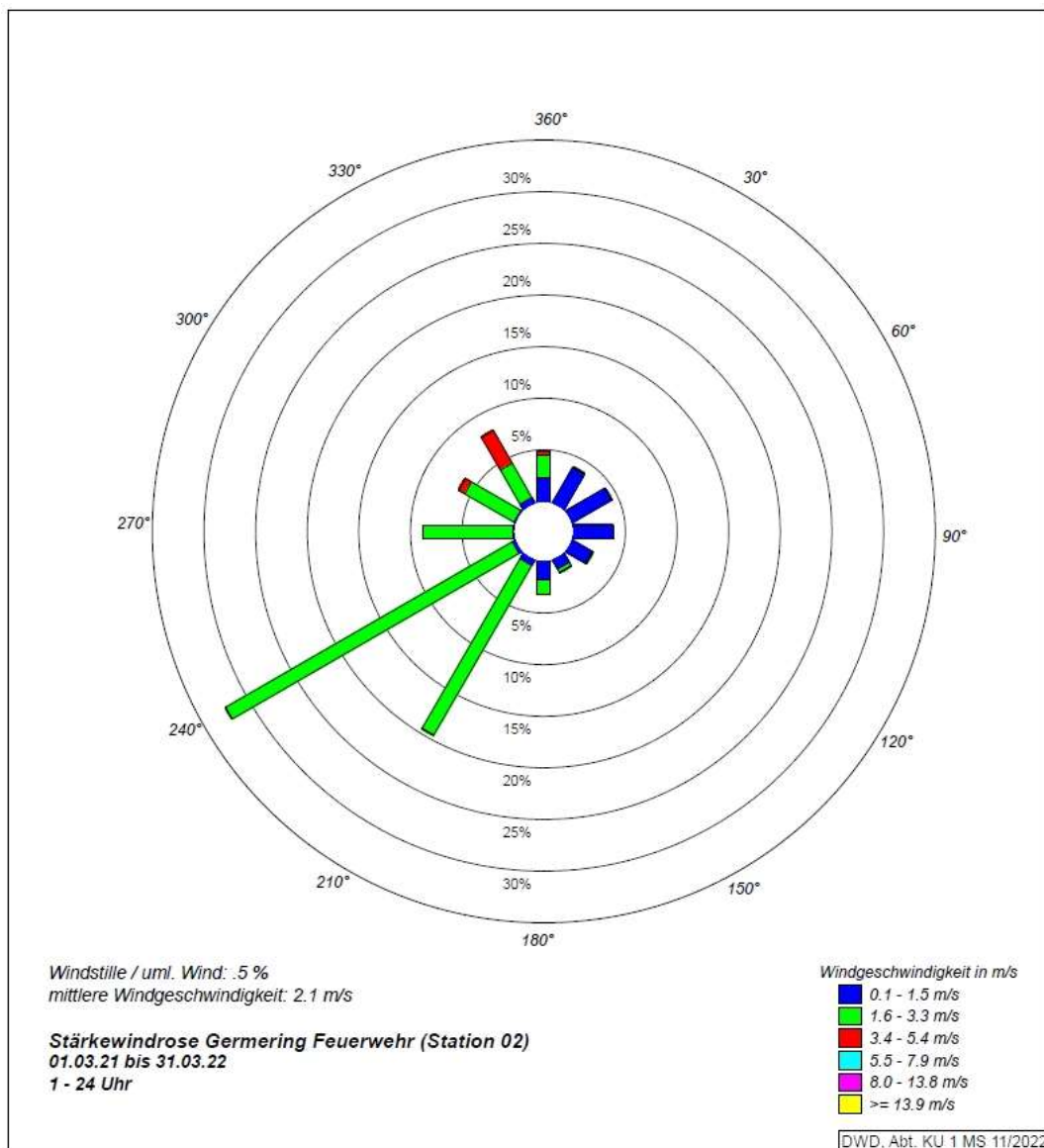


Abbildung 13: Stärkewindrose Station 2 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ)

4.2.1.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)

Bei Station 3 im nördlichen Umland von Germering sind die Verhältnisse ähnlich zu Station 2. Allerdings entspricht die Windrichtungsverteilung mit Ausnahme der Ostrichtung mehr den großräumig und regional zu erwartenden Verhältnissen. Die Süd- und Südost-Richtung sind durch die vorgelagerte Stadt Germering und südlich davon den Kreuzlinger Forst reduziert, die Ostrichtung neben der Beeinflussung durch die jeweilige Großwetterlage wahrscheinlich auch durch die Stadt München ist Osten.

Der Anteil der Sektoren 240° und 210° ist zusammen mit rund 40% etwas geringer als bei Station 2. Dafür sind Westwinde (um 270°) an Station 3 mit 16% häufiger als an Station 2, wo der

Anteil bei 9% lag. Das gilt in abgeschwächter Form auch für Westnordwestwinde (um 300°) mit 9% an Station 3 gegenüber 6% an Station 2. Auch nordöstliche Winde sind ein wenig häufiger.

Leichte Unterschiede gibt es auch bei dem Anteil der etwas stärkeren Mittelwinde mit Windstärke 3 (von 3,4 bis 5,4 m/s – rote Einfärbung) im Sektor um 330°. Hier liegt der Anteil dieser Geschwindigkeitsklasse bei Station 3 mit 2% geringfügig niedriger als an Station 2 mit 4%.

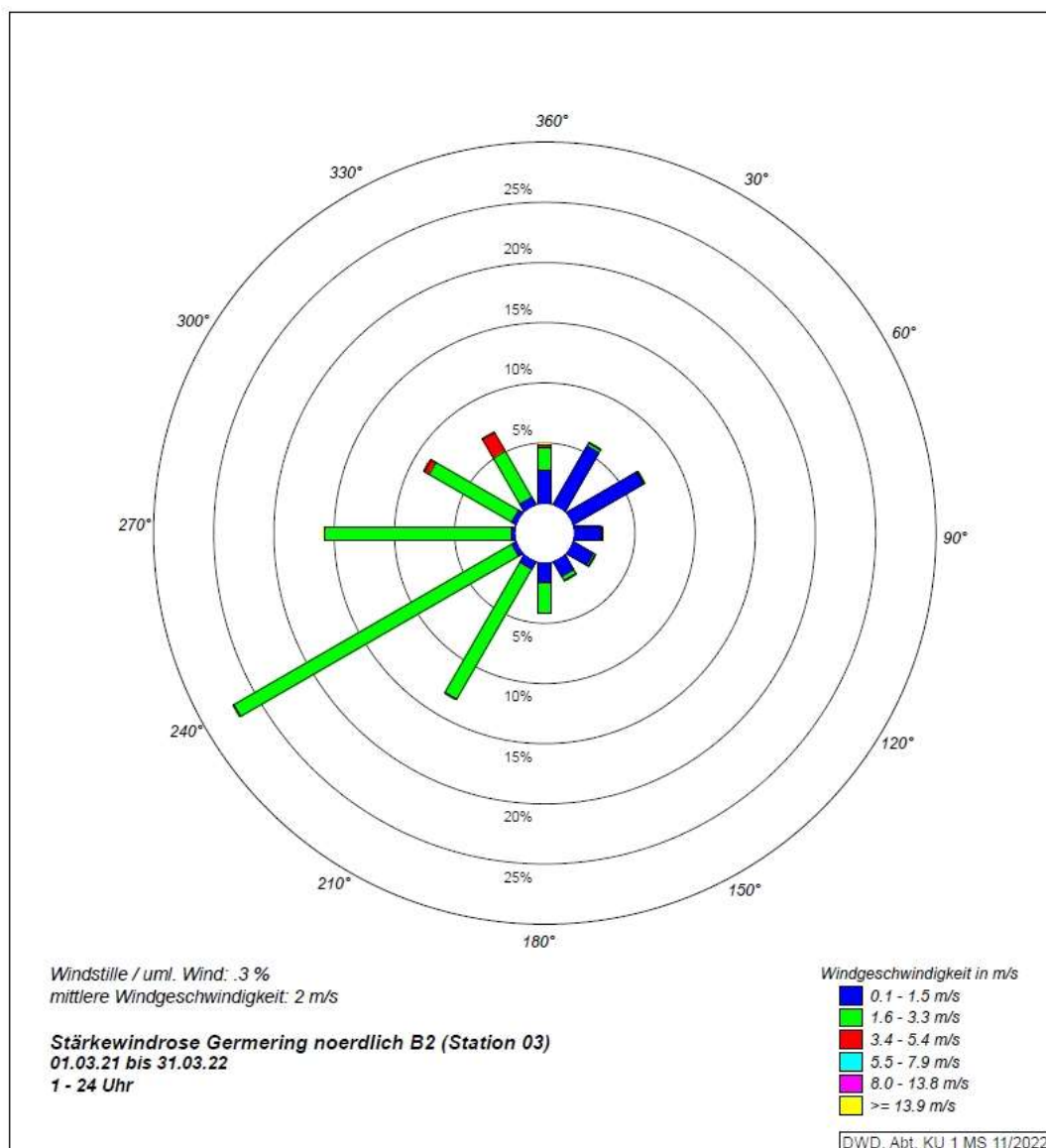


Abbildung 14: Stärkewindrose Station 3 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ)

4.2.2 Tageszeitliche Unterschiede

Zur Betrachtung tageszeitlicher Unterschiede, die sich u. a. aus den tageszeitabhängigen Windsystemen ergeben können, wurden zum einen die Tagstunden von 7 bis 18 Uhr (MEZ) und die Nachtstunden von 19 bis 6 Uhr (MEZ) untersucht.

4.2.2.1 Verhältnisse am Tag (Tagstunden)

Die Stärkewindrosen für den Gesamtzeitraum und die Tagstunden von 7 bis 18 Uhr (MEZ) sind in Abbildung 15 für die drei Stationen gegenübergestellt.

Bei **Station 2** (Bildmitte) an der Feuerwehr in Unterpfaffenhofen überwiegen tagsüber Windrichtungen aus der Nordhälfte der Sektoren sowie aus Südwesten. Dabei fallen die nordöstlichen bis östlichen Richtungen in die unterste Geschwindigkeitsklasse mit 0,1 bis 1,5 m/s. Die nordwestlichen Richtungen in die Geschwindigkeitsklassen 2 und 3 mit 1,6 bis 3,3 m/s und 3,4 bis 5,4 m/s. Die der großräumigen Windverteilung und der Orientierung der Freiflächen entsprechenden West- und Südwestwinde liegen in der Geschwindigkeitsklasse 2.

Bei den westlichen bis nordwestlichen Winden ist eine Leitwirkung und Kanalisierung durch die Engstellen möglich, im Vorfeld zwischen Alling und Eichenau und zwischen Eichenau und Puchheim und im weiteren Verlauf zwischen Lindbühl, Puchheim-Ort und Germering. Zusätzlich heizt sich das grüne Umland tagsüber weniger auf als die Stadt, so dass bei entsprechenden Wetterlagen auch aus dem kühleren Umland Flurwinde in Richtung Stadt entstehen, bei Station 2 aus Richtung Südwest, West und Nordwest.

Für **Station 3** (rechts in der Abbildung) ist die Windrichtungsverteilung ähnlich wie für Station 2. Aufgrund der freien Lagen nördlich der Stadt ist die Westkomponente größer und der Anteil an Nordnordwestwinden (um 330°) geringer. Es treten auch schwache nordöstliche Winde auf. Ost- bis Südwinde sind relativ selten. Die Station liegt bei diesen Richtungen im Lee von Germering und München.

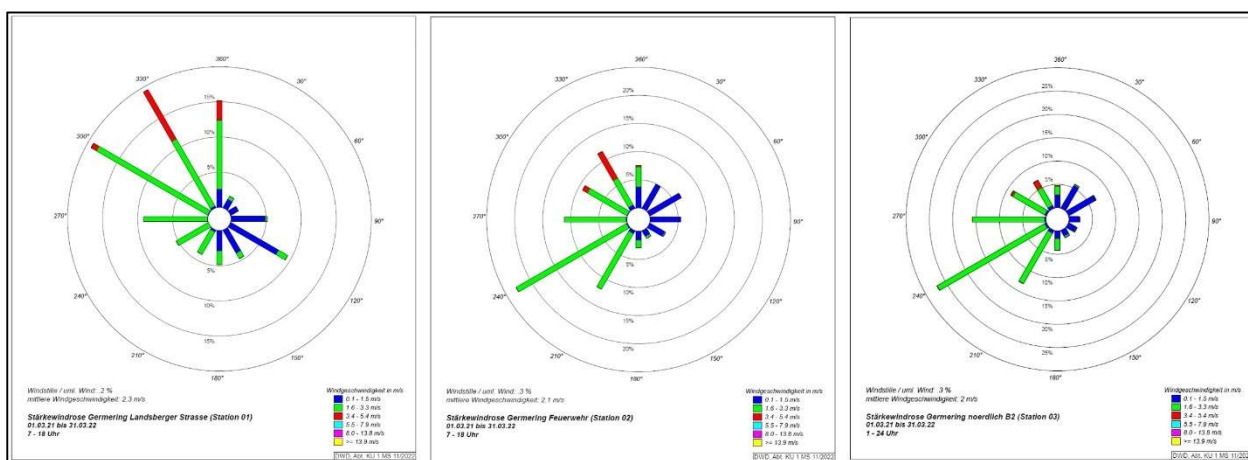


Abbildung 15 Stärkewindrose – Gesamtzeitraum, Tagstunden 7 – 18 MEZ, Station 1 bis 3 (von links nach rechts)

Station 1 (links in der Abbildung) weist noch einen höheren Anteil an Nordwest- und Nordwinden auf als Station 2 aufgrund der Kanalisierung durch die Straßentrasse und die Freiflächen. Die Sektoren 300° und 330° haben jeweils einen Anteil von ca. 19% und die Nordrichtung um 360° von 15%. Die Südwestwinde sind schwächer als an den anderen Standorten, dafür die südöstlichen Winde etwas häufiger. Der Sektor um 120° (Ostsüdost) hat noch einen Anteil von ca. 9%.

4.2.2.2 Verhältnisse in der Nacht (Nachtstunden)

Die Stärkewindrosen für den Gesamtzeitraum und die Nachtstunden von 19 bis 7 Uhr (MEZ) sind in Abbildung 16 für die drei temporären Windmessstationen in Germering zusammengestellt. Für **Station 2** an der Feuerwehr Unterpfaffenhofen bleiben in den Nachtstunden im Wesentlichen südwestliche Winde übrig. Westsüdwestwinde (um 240°) haben einen Anteil von 42%, Südsüdwestwinde (um 210°) einen von 27%. Westwinde (270°) treten noch in 6% der Fälle auf. Alle anderen Windrichtungssektoren sind selten mit nur 1% bis 4%.

Station 3 weist eine ähnliche Verteilung der Windrichtungen auf wie Station 2. Auch hier überwiegen nachts südwestliche Winde. Der Anteil der Sektoren um 240° und um 210° ist mit 32% bzw. 20% aber etwas geringer als bei Station 2. Dafür erreichen West- (270°) und Nordwestwinde (300°) mit 13% bzw. 7% etwas höhere relative Häufigkeiten. Wie in den Modellrechnungen (DWD, 2021) zu sehen war, biegt der nächtliche Kaltluftstrom, der im Westen um Germering herumgeführt wird, im Norden der Stadt teilweise auf West bis Nordwest um. Nordnordwestwinde (330°) und nordöstliche Winde (30° und 60°) haben noch einen Teil von 4%.

Bei **Station 1** bleibt auch nachts die durch die Stadt beeinflusste Bevorzugung der Nordwest-Südost-Richtung erhalten. Während tagsüber noch Nordwinde hinzukommen, sind es nachts eher Südwinde. Die größte Häufigkeit liegt nachts bei Süd (um 180°) mit 17% und Westnordwest (um 300°) mit 16% gefolgt von Nordnordwest (330°) mit 12% Anteil. Im Unterschied zum Tag steigt die Häufigkeit der schwachen südsüdöstlichen Winde (150°), die häufiger Stärke 1 erreichen als Stärke 2 und der südwestlichen Winde (210° und 240°), die meist in die zweite Windgeschwindigkeitsklasse fallen.

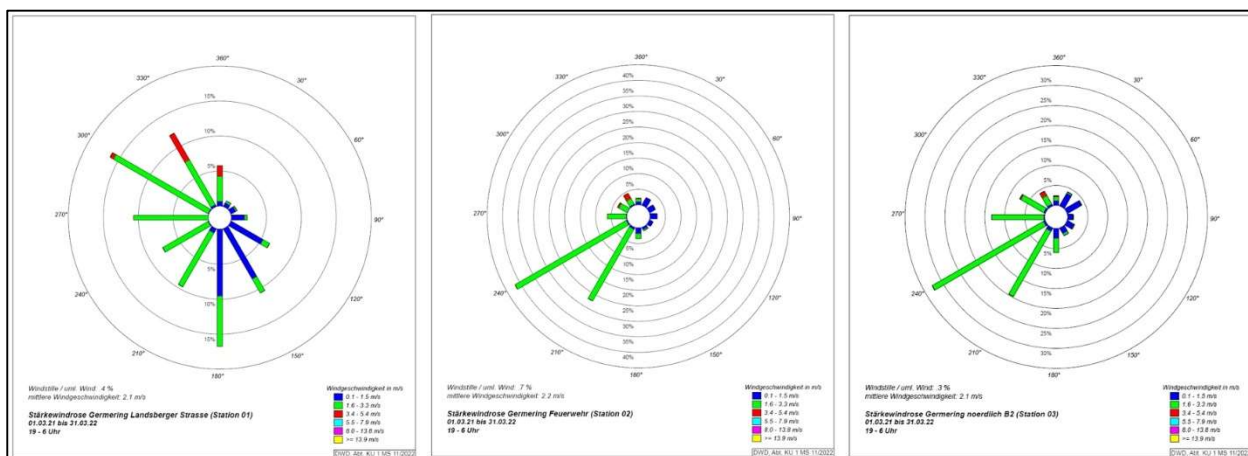


Abbildung 16: Stärkewindrose - Gesamtzeitraum, Nachtstunden 19 - 6 MEZ, Station 1 bis 3

Der Anteil der nordwestlichen Winde ist zwar nachts weiter hoch, aber etwas geringer als am Tag. Nordwinde (um 360°) kommen nachts seltener vor als am Tag

4.2.2.3 Vergleich von Tag und Nacht

Bei der Betrachtung des Gesamtzeitraums und damit aller Tage sind sowohl Wetterlagen mit günstigen Bedingungen für tageszeitabhängige Windsysteme enthalten, die durch die lokalen Gegebenheiten beeinflusst werden, als auch solche, die eher von den großräumigeren Verhältnissen, d.h. von der Großwetterlage abhängen. Der Einfluss wird daher hier an einer Verschiebung der Häufigkeitswerte sichtbar. In Abbildung 17 wurde die relativen Häufigkeitsverteilung ohne Unterscheidung der Windgeschwindigkeit für alle 3 Stationen zusammengefasst, um die Verhältnisse am Tag und in der Nacht besser vergleichen zu können. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass an allen drei Stationen tageszeitabhängige Unterschiede bestehen.

Tagsüber werden sie in einer Verschiebung der größeren relativen Häufigkeiten nach Norden und Nordwesten sichtbar werden, bei Station 2 und 3 auch nach Nordosten. Dagegen ist Station 1 nach Nordosten durch Bebauung abgeschirmt.

Nachts sind bei den Stationen 2 und 3 vor allem südwestliche Richtungen um 240° sehr häufig und etwas reduziert auch Windrichtungen um 210°. Bei Station 1 trifft das auf den breiteren Bereich von Südost, Süd und Südwest zu, mit einem Schwerpunkt bei Süd.

Das ist in etwa auch das, was für die Regionalwindzirkulation zwischen Alpen und Alpenvorland zu erwarten ist, mit südlichen Komponenten in der Nacht und nördlichen bis nordöstlichen am Tage. Hinzu kommen die Einflüsse der lokalen Windsysteme. Überlagert wird dieses durch die nächtlichen Kaltluftflüsse entlang des Geländegefälles der Münchner Schotterebene und im lokalen Umfeld, die nachts bei Station 2 und 3 eine starke Bevorzugung der Südwestrichtung hervorrufen. Bei Station 1 bewirkt die Ausrichtung der Staatsstraße nachts einen Schwerpunkt bei Süd.

Am Tag werden die tagsüber häufigeren nördlichen Winde durch die Verteilung der Höhenzüge und Siedlungsflächen/Bebauung als Hindernisse auch auf Nordwest abgelenkt. Nachts dringt die im Bogen um Germering herumgeführte Kaltluft von den Rändern her ins Stadtgebiet ein und bewirkt bei Station 1 durch die Ausrichtung der Freiflächen und die große Straßentrasse ebenfalls nordwestliche Komponenten, die aber weniger häufiger sind als am Tage.

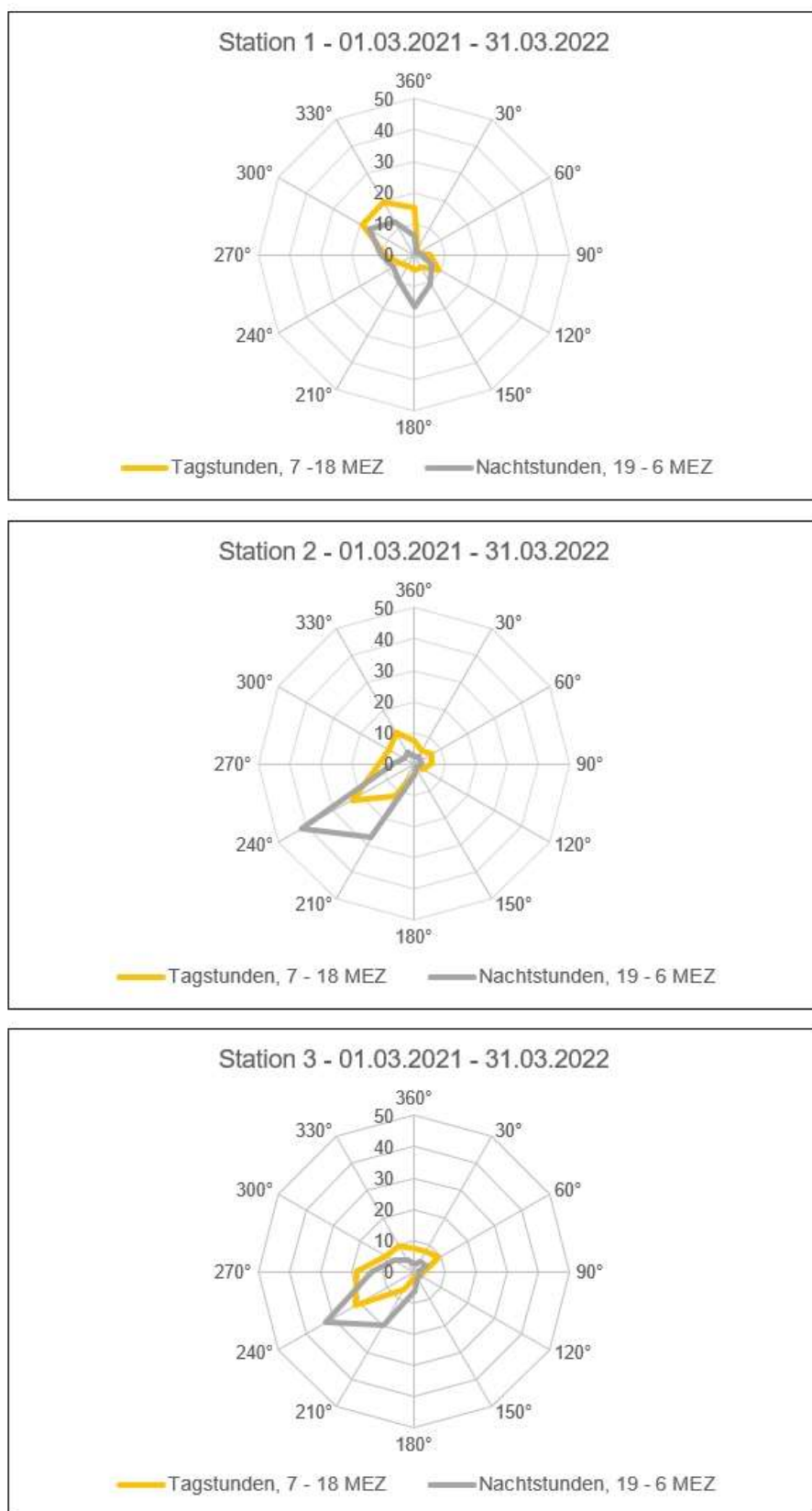


Abbildung 17: Stärkewindrose - Gesamtzeitraum, Germering Stationen 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent), Vergleich 7 - 18 Uhr und 19 - 6 Uhr (MEZ)

4.2.3 Auswahl an Strahlungstagen

Zur Betrachtung der thermisch induzierten Windsysteme wurden nach dem unter 3.3.2 beschriebenen Verfahren sogenannte Strahlungstage ausgewählt mit besonders günstigen Bedingungen für die Entstehung lokaler Windsysteme und der Regionalwindzirkulation zwischen Alpen und Alpenvorland. In Anlehnung an die Auswertungen im Gutachten von 1998 wurden wieder die Tagstunden von 7 bis 18 Uhr (MEZ) und die Nachtstunden von 19 bis 6 Uhr (MEZ) sowie alle Stunden von 1 bis 24 Uhr (MEZ) untersucht. Bei der Betrachtung der Strahlungswetterlagen werden die tageszeitlichen Unterschiede deutlicher als bei allen Wetterlagen (Abbildung 15 und Abbildung 16).

4.2.3.1 Station 1 (Landsberger Straße)

Tagsüber kommt der Wind bei den schwächeren Windgeschwindigkeiten vorwiegend aus Südost bis Ost. Der Sektor um 120° erreicht eine Häufigkeit von 19%, der benachbarte Sektor um Ost (90°) nur von 7%. Bei etwas stärkeren Winden mit Windstärke 2 und 3 überwiegt die Nordrichtung (360°) mit 25% gefolgt von Nordnordwest (330°) mit 15% und Westnordwest (300°) mit 8%. Damit schlägt hier vor allem die Richtung der großen Straßenzüge durch und die Bevorzugung nördlicher Windkomponenten im Alpenvorland am Tage. Durch die Hinderniswirkung der Bebauung sind es an dieser Station statt nordöstlichen Winden eher südöstliche. Die Häufigkeit von westlichen und südwestlichen Komponenten ist geringer als bei allen Wetterlagen.

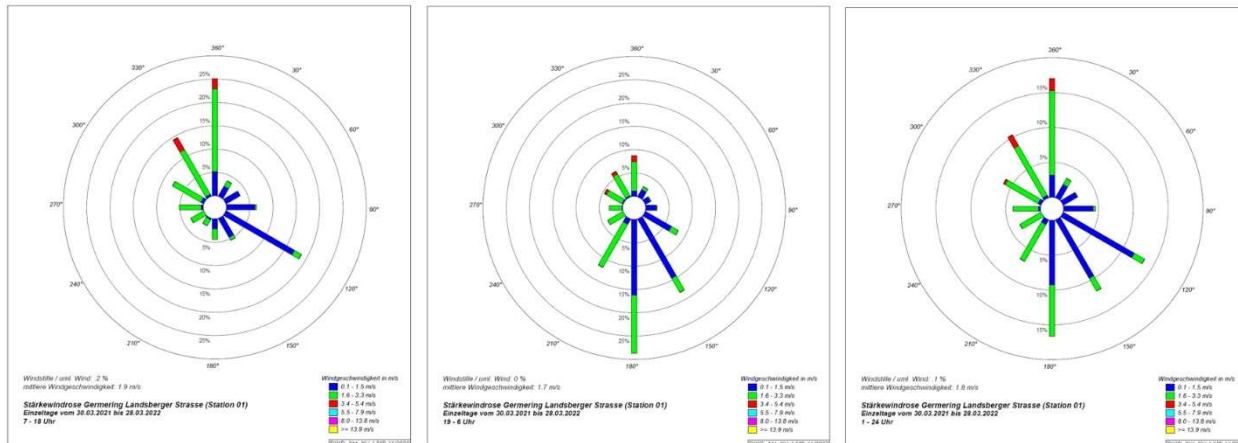


Abbildung 18: Stärkewindrosen Einzeltage, Station 1 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)

Nachts liegt der Fokus klar auf Südkomponenten mit einem Maximum bei 180° mit 29% gefolgt von Südsüdostwinden (150°) mit 18% sowie Südsüdwestwinden (210°) mit 12%. Dabei tritt Windstärke 2 vor allem bei Süd und Südsüdwest auf. Auch hier zeigt sich die nächtliche Bevorzugung der südlichen Komponenten und die Auswirkung der großen Straßenzüge.

4.2.3.2 Station 2 (Feuerwehr Unterpaffenhofen)

Am Tage weht der Wind bei den schwächeren Windgeschwindigkeiten vorwiegend aus Ost bis Nord mit einem Maximum um 60° mit 15%. Die beiden benachbarten Sektoren 90° und 30° haben noch 10% bzw. 7%. Das Hauptmaximum liegt aber bei Nordnordwest mit 19%. Hier tritt in 7% der Fälle auch Windstärke 3 auf. Auch Nordwinde sind häufig mit insgesamt 13 %. Im Vergleich zu allen Wetterlagen ist die Bevorzugung der Südwestrichtung hier nicht so ausgeprägt und der Anteil der nordwestlichen, nördlichen und nordöstlichen Komponenten höher. Damit stellen sich tagsüber die für das Alpenvorland typischen nördlichen Komponenten ein, sie nehmen hier vor allem Richtungen aus Nordnordwest bis Ost ein. Dazu trägt auch die Südwest-Nordost-Orientierung der Freifläche bei.

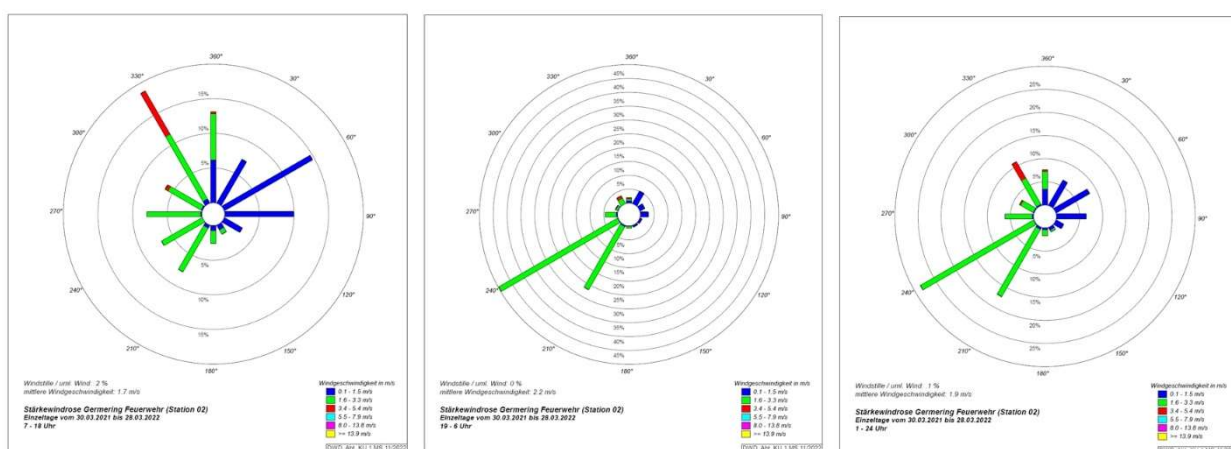


Abbildung 19: Stärkewindrosen Einzeltage, Station 2 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)

Nachts treten vorwiegend südwestliche Winde auf. Im Sektor um 240° wird ein Anteil von 50% erreicht, im Sektor um 210° von 27%. Diese nächtlichen Kaltluftflüsse fallen meist in die Geschwindigkeitsklasse 2 von 1,6 bis 3,3 m/s. Alle anderen Sektoren sind deutlich seltener mit nur wenigen Prozent. Dabei erreichen Westwinde (270°) und Nordnordostwinde (30°) noch jeweils etwa 5 %. Die Verteilung ist ähnlich wie bei allen Wetterlagen.

4.2.3.3 Station 3 (Umland nördlich der B2)

Bei Strahlungswetterlagen mit hoher solarer Einstrahlung **am Tage** (Abbildung 20 auf der folgenden Seite) liegt die größte Häufigkeit an der relativ frei gelegenen Station 3 bei Ostnordost (um 60°) mit ca. 20%, gefolgt von Nordnordwest (330°) mit 17%. Nord- (360°) und Nordnordostwinde (30°) weisen noch eine Häufigkeit von 14% bzw. 13%. auf. Auch hier überwiegen damit nördliche Komponenten am Tage. Durch die Verteilung von Siedlungsgebieten und Höhenrücken ist eine Kanalisierung der Strömung möglich, wie z. B. zwischen Aubing und Aubinger Lohe, Aubinger Lohe und Puchheim, Puchheim Bahnhof/Eichenau und Puchheim-Ort oder Puchheim-Ort, Lindbühl und Germering. Auch führt die größere Rauigkeit/Hinderniswirkung in deren Lee zu einer Abbremsung der Strömung. Im Vergleich zu allen Wetterlagen treten die Südwest- und Westwinde tagsüber an Station 3 bei Strahlungswetterlagen nicht in dem Maße auf. Bezüglich der

Windgeschwindigkeit sind die nordöstlichen Winde eher schwächer (Windstärke 1), die nordwestlichen Winde eher stärker mit Windstärke 2 bis 3.

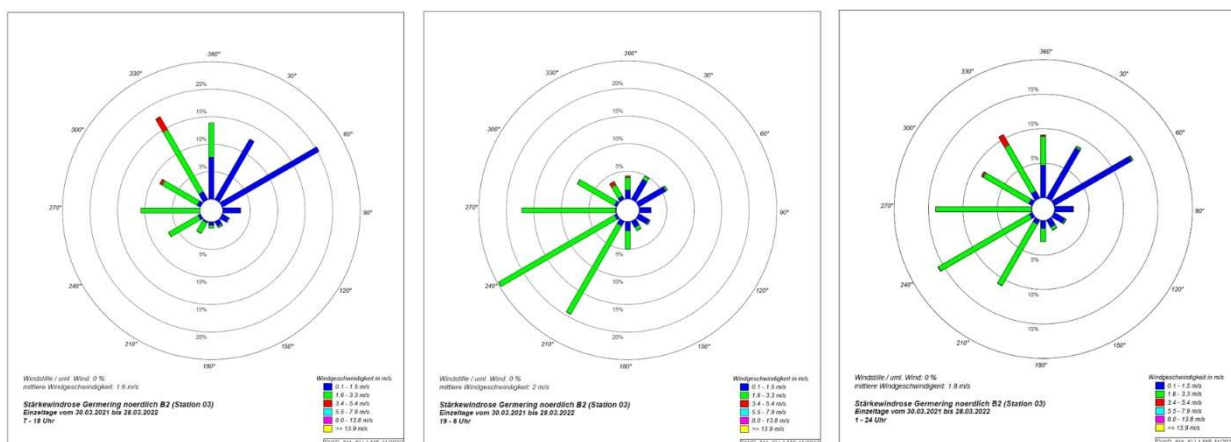


Abbildung 20: Stärkewindrosen Einzeltage, Station 3 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)

Nachts (Bildmitte) treten vorwiegend südwestliche, im Unterschied zu Station 2 auch westliche Winde auf. Die größten Häufigkeiten liegen bei Westsüdwest (240°) mit 25%, Südsüdwest (210°) mit 20% und West (270°) mit 17%. Auch Westnordwestwinde (300°) treten noch in 8% der Fälle auf. Der Anteil nordöstlicher Winde (60° und 30°) liegt bei 6% bis 5%. Entsprechend dem nachts im Bogen um Germering herumgeführten Kaltluftstrom ist der Windrichtungsbereich nachts an Station 3 etwas größer als bei Station 2 und umfasst neben südwestlichen auch West- und Westnordwestwinde.

4.2.3.4 Vergleich von Tag und Nacht

In Abbildung 21 sind die Verhältnisse ohne Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit für alle drei Stationen zusammengefasst. Deutlich ist der tageszeitliche Wechsel der Windrichtung zu sehen. Bei **Station 1** treten tagsüber Nord- bzw. Nordnordwestwinde (360° und 330°) sowie Ost-südostwinde (120°) am häufigsten auf. Nachts wechselt die Richtung auf Süd und die beiden benachbarten Sektoren (180°, 150° und 210°). Bei **Station 2** erfolgt der Wechsel zwischen Südwest (240° und 210°) nachts und Nordost (60° bzw. 30°) tagsüber. Hinzu kommen noch nördliche bis nordwestliche Komponenten am Tag (360° und 330°). Bei **Station 3**, die im nördlichen Umland der Stadt relativ frei liegt, sind die Sektorenbereiche breiter, mit vor allem 210° bis 270° (Südsüdwest bis West) in der Nacht und 60° bis 330° (Ostnordost bis Nordnordwest) am Tage.

Alle drei Stationen weisen bei Wetterlagen mit hoher Sonneneinstrahlung am Tage ohne Niederschlag und damit besonders günstigen Bedingungen für die Ausbildung lokaler Windsystem und der Regionalwindzirkulation zwischen Alpen und Alpenvorland (Alpines Pumpen) die für das Alpenvorland typischen Verhältnisse auf mit einer gewissen Abwandlung durch das Gelände vor Ort. Nachts überwiegen bei diesen Wetterlagen südliche bis südwestliche, tags meist nördliche bis nordöstliche Richtungen. Bei allen drei Stationen ist tagsüber auch der Sektor um 330° begünstigt, bei Station 1 wird die Nordostrichtung durch Bebauung abgeschirmt, dafür ist zusätzlich

der Sektor um 120° häufiger. An Station 2 und 3 sind nachts die Sektoren 240° und 210° mit Abstand am häufigsten, bei Station 1 ist das Richtung Süd gedreht und bei Station 3 Richtung West ausgeweitet.

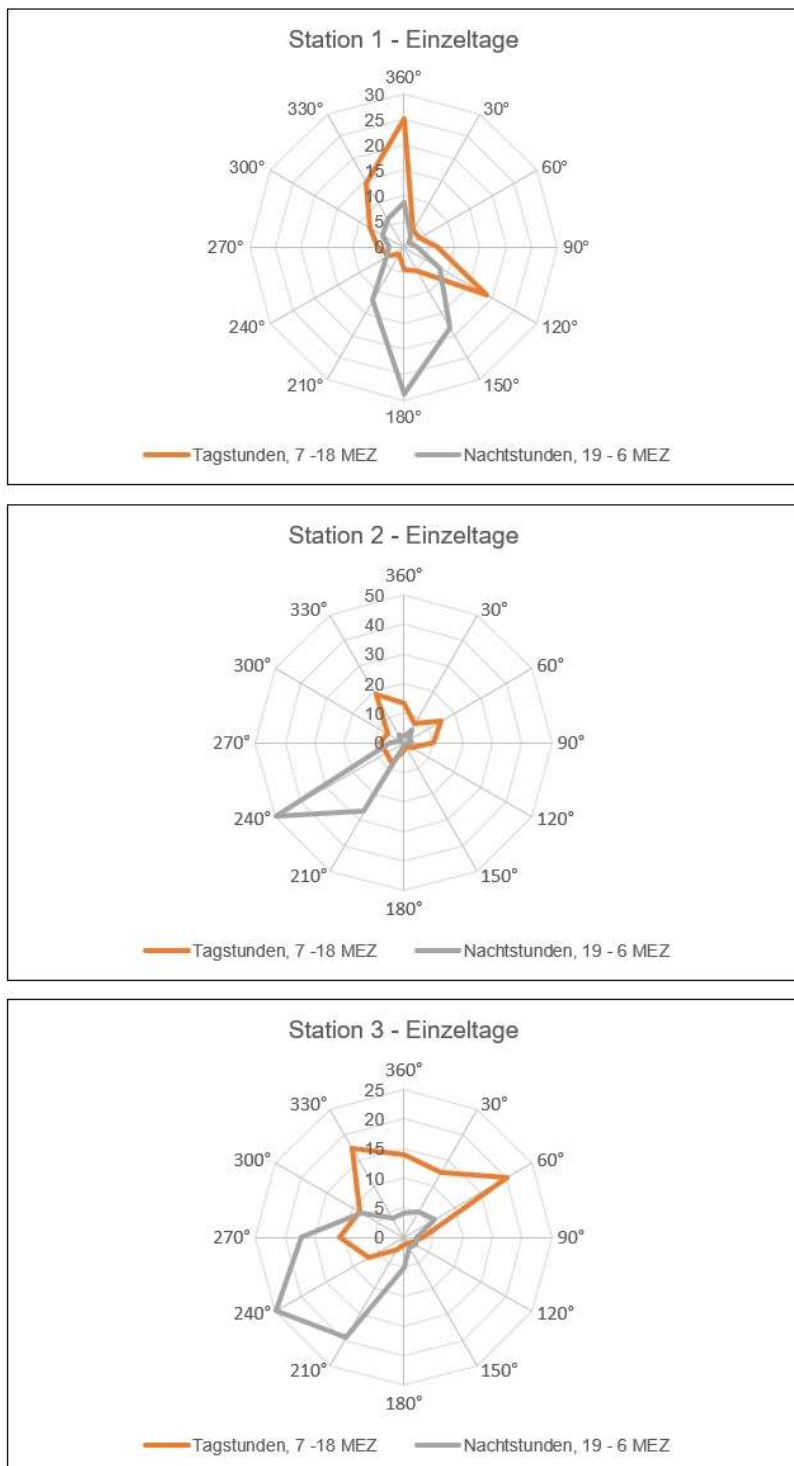


Abbildung 21: Stärkewindrosen - Auswahl Strahlungstage, Station 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent), Vergleich 7 - 18 Uhr und 19 - 6 Uhr (MEZ)

4.2.4 Vergleich mit 1997/1998

Um die Ergebnisse mit der Messreihe von März 1997 bis Mai 1998 vergleichen zu können, wurden die aktuellen Daten auch nach der damaligen Einteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ausgewertet und Windgeschwindigkeiten ab 0,5 m/s berücksichtigt.

Bei der Betrachtung der Unterschiede muss man beachten, dass die nahezu einjährigen Messungen nur eine Sichtprobe darstellen. Im Unterschied zum vieljährigen Mittel schwankt die Häufigkeit der Großwetterlagen von Jahr zu Jahr etwas und damit auch die Verteilung der Windrichtungen in den Einzeljahren. In Abbildung 22 sind die Verhältnisse für alle Stunden und den Gesamtzeitraum ohne Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit dargestellt. Dabei wurde die historische Messreihe (türkis) von März 1997 bis Mai 1998 mit der aktuellen Messreihe (schwarz) von März 2021 bis März 2022 verglichen.

Grundsätzlich fällt auf, dass bei der historischen Messreihe westliche und östliche Windrichtungen etwas häufiger sind, bei der aktuellen Messreihe dagegen nördliche und nordwestliche, bei Station 2 und 3 auch südwestliche. Mögliche Ursachen könnten in der unterschiedlichen Wetterlagenhäufigkeit in den verschiedenen Zeiträumen liegen. Aber auch Bautätigkeit und Flächennutzungsänderungen der letzten 25 Jahre im Großraum München und in Germering könnten eine Rolle spielen.

Betrachtet man die Stationen einzeln, dann besteht bei **Station 2** eine relativ gute Übereinstimmung bei den beiden Messreihen. Westwinde (270°) sowie Ost- und Nordostwinde (90° , 60° und 30°) sind aktuell weniger häufig als 1997/1998. Dafür ist bei der neuen Messreihe 2021/2022 der Anteil der Südwestwinde (240° und 210°) sowie der Nordnordwestwinde (330°) etwas häufiger.

Auch bei **Station 3** ist die grundsätzliche Ausrichtung noch relativ ähnlich. Hier waren 1997/1998 Winde aus Ostsüdost bis Nordnordost (120° bis 30°) häufiger und auch Westwinde (270°) geringfügig mehr. Dafür ist 2021/2022 der Anteil der Westsüdwestwinde (240°) höher und auch etwas der der Sektoren um 270° (West) und 330° (Nordnordwest). Bei dieser Station muss beachtet werden, dass sie sich nicht am gleichen Standort befand. Bei der zurückliegenden Messreihe war sie etwas weiter östlich, aktuell etwas weiter westlich.

Am größten sind die Unterschiede bei **Station 1**, wo die Windrichtungen stark durch die sich kreuzenden Straßentrassen beeinflusst werden. Auch an dieser Station ist der Ost- und Westanteil aktuell geringer. Der Süd- bis Ostanteil und der Nord- bis Nordwestanteil war auch bei den zurückliegenden Messungen schon etwas vorhanden, aktuell ist er aber deutlich größer. Insgesamt ist an dieser Station eine Drehung der Hauptachse auf Südost bis Süd und Nordwest bis Nord zu sehen.

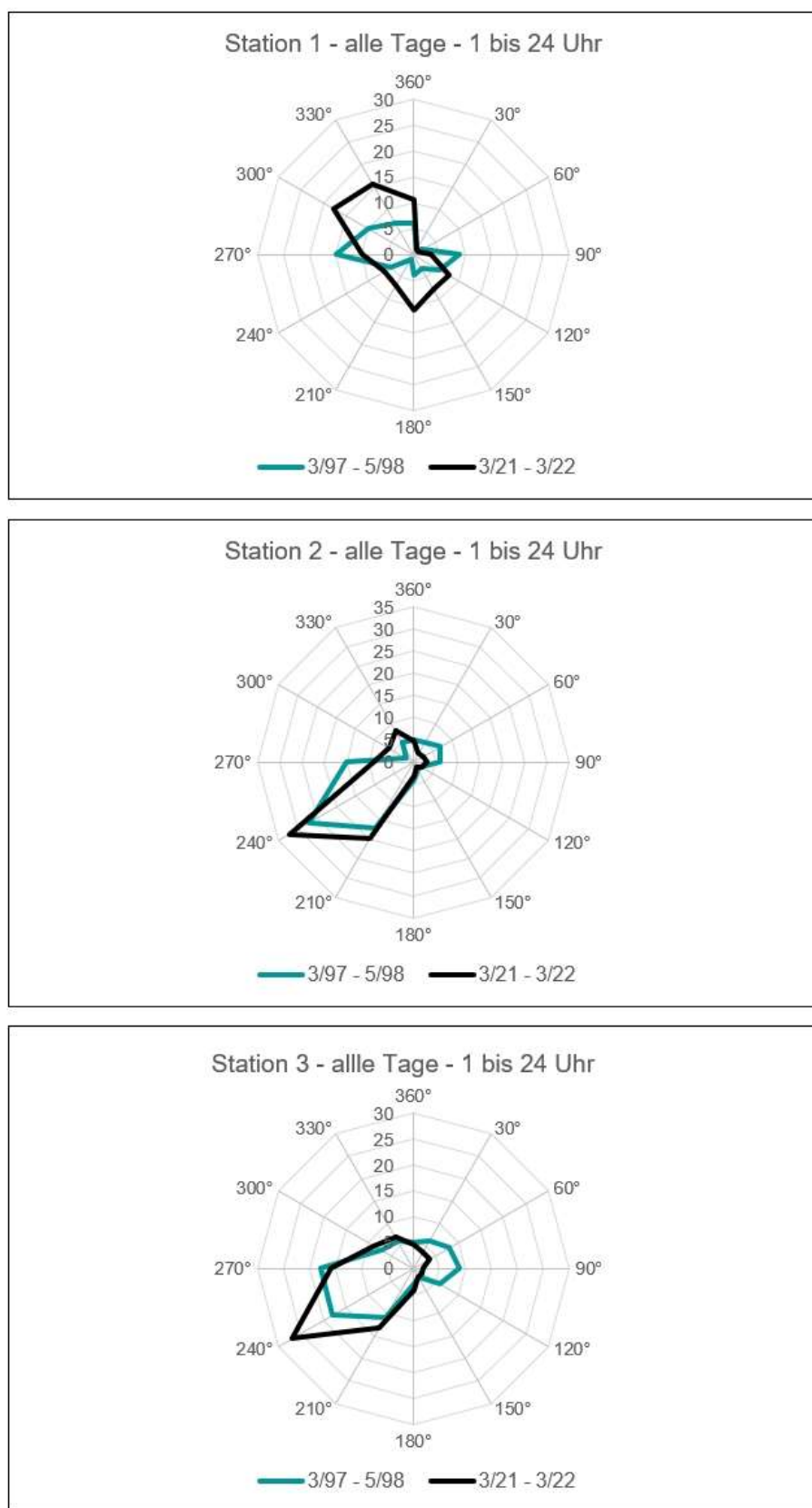


Abbildung 22: Stärkewindrosen ab 0,5 m/s - Gesamtzeitraum, alle Tage und alle Stunden, Station 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent)

Um zu klären, inwieweit diese Unterschiede mit einer unterschiedlichen Häufigkeit der verschiedenen Großwetterlagen in Mitteleuropa zu erklären sind, wurde auch die Stärkewindrose für München Flughafen für beiden Zeiträume und Windgeschwindigkeiten ab 0,5 m/s ausgewertet.

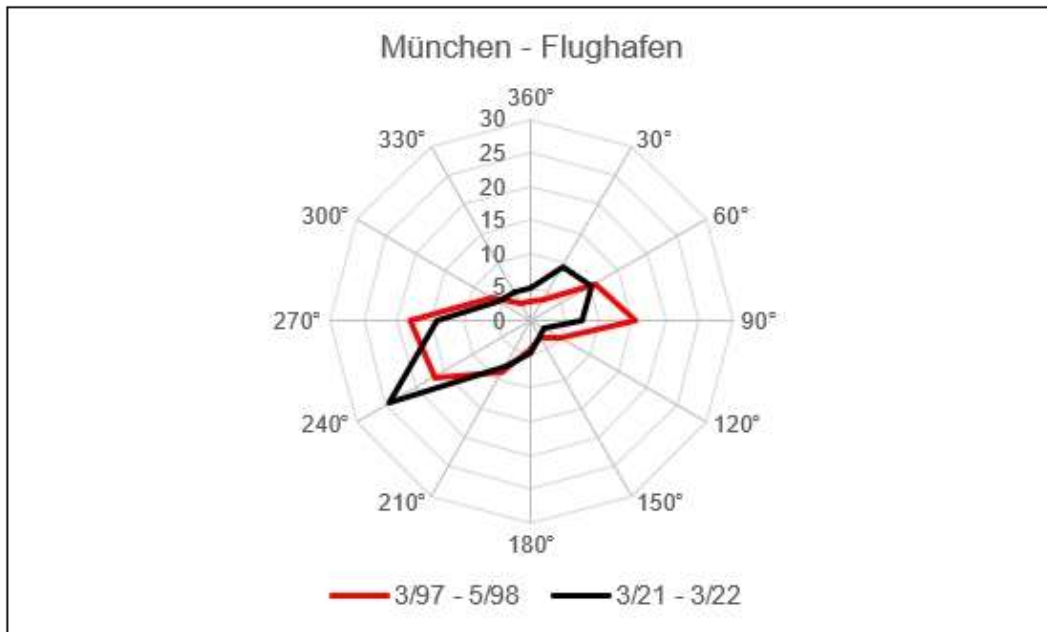


Abbildung 23: Stärkewindrosen (Relative Häufigkeit in Prozent) München–Flughafen ab 0,5 m/s, Vergleich der Zeiträume 3/97 - 5/98 und 3/21 – 3/22

Die Stärkewindrose für München-Flughafen weist im Vergleich der beiden Zeiträume ähnliche Unterschiede auf wie Germering, insbesondere Station 2. Auch in München-Flughafen waren im zurückliegenden Zeitraum West- und Ostwinde häufiger. Aktuell sind dafür Westsüdwestwinde (um 240°) und Nordnordostwinde (um 30°) häufiger vertreten. Die größere Häufigkeit der Nordnordostwinde findet sich in Germering nicht wieder. Stattdessen sind in Germering aber Nord- und Nordwestwinde stärker vertreten.

Die Verteilung der Hoch- und Tiefdruckgebiete über Mitteleuropa führt zu einem unterschiedlichen Wettergeschehen. Zur Einschätzung der Wetterlagenmuster kann man sie für Mitteleuropa in sogenannte Großwetterlagen einteilen, z. B. nach Hess/Brezowski (GERSTENGARBE und WERNER, 1993). Diese Großwetterlagen kann man wiederum zu Großwetterlagentypen zusammenfassen. Auch kann man eine Unterscheidung treffen nach zonalen Wetterlagen (der Westwinddrift in unseren Breiten entsprechende Lagen) bzw. meridionale Wetterlagen (eher Nord-Süd-ausgerichteten Typen) sowie einem Übergangstyp zwischen beiden. Ein Vergleich der beiden Messzeiträume von März 1997 bis März 1998 sowie von März 2021 bis März 2022 ergibt, dass im neueren Zeitraum Westwetterlagen deutlich seltener waren als im alten Zeitraum. Das Gleiche gilt auch für zonale Wetterlagen. Diese waren im neueren Zeitraum seltener, dafür meridionale Wetterlagen häufiger. Zusätzlich könnten auch durch Bautätigkeit im Raum München und in Germering in den letzten 25 Jahren die östlichen und nordöstlichen Winde abgeschwächt worden sein.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Untersuchung der Verhältnisse im Raum Germering wurden gut einjährige Windmessungen an drei Standorten in der Stadt und im Umland durchgeführt und für den Zeitraum vom 01.03.2021 bis 31.03.2022 ausgewertet. Neben der Aktualisierung des DWD-Windgutachtens von 1998 sollten die besonderen lokalen Windverhältnisse herausgestellt werden.

Die **Messstationen** wurden so gewählt, dass sie mit den früheren Messungen vom 01.03.1997 bis 31.05.1998 gut verglichen werden können. Dabei repräsentiert der Standort an der Feuerwehr in Unterpfaffenhofen (Station 2) die Verhältnisse in den westlichen Bereichen der Stadt und insbesondere am Rande des Kreuzlinger Feldes. Der Standort an der Kreuzung der Landsberger Straße mit der Staatsstraße St 2544 (Station 1) spiegelt die Verhältnisse in der Innenstadt wieder und soll außerdem die Bedeutung der großen Straßenzüge als Durchlüftungsachsen aufzeigen. Beide Stationen befanden sich nahezu an den gleichen Standorten wie vor 25 Jahren. Zur Erfassung der Verhältnisse im Umland dient die Station 3. Sie lag damals beim Anwesen Mayer in Nordosten der Stadt relativ frei. Da sich die Bebauung inzwischen in diese Richtung ausgedehnt hat, wurde sie ein Stück weit nach Norden und Westen verlegt. Sie befand sich für die aktuelle Messreihe etwa 400 Meter nördlich der B2 und repräsentiert die Verhältnisse im Umland und den nördlichen Teilen von Germering. Da die bodennahen Luftströmungen erfasst werden sollten, war die Messhöhe, wie 1997/1998, bei 2,5 Metern.

Bei der Auswertung der Daten wurden vor allem zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit betrachtet. Damit ergeben sich für den Raum Germering folgende **Windverhältnisse**. Großräumig betrachtet sind in Südbayern vorherrschend südwestliche bis westliche Windrichtungen zu erwarten, vor allem in Verbindung mit Tiefdrucktätigkeit oder auf der Vorderseite von Tiefdruckgebieten, insbesondere bei Hochdruckwetterlagen aber auch noch ein zweites Maximum bei Nordost bis Ost hinzu

In Germering werden die Windverhältnisse durch die lokalen Bedingungen wie Topographie und Flächennutzung stärker modifiziert. Dabei ist die Stadt durch die Lage im Alpenvorland und in gegliedertem Gelände begünstigt. Bei entsprechenden windschwachen Wetterlagen mit einer hohen Einstrahlung durch die Sonne am Tage und einer kräftigen langwelligen Ausstrahlung in wolkenarmen Nächten bilden sich durch die unterschiedliche Aufheizung und Abkühlung der einzelnen Flächen regionale und lokale thermische induzierte Windsysteme. Die Stadt Germering profitiert bei diesen Wetterlagen von der Alpenen Regionalwindzirkulation. Nachts wehen südliche Winde aus den Alpen heraus ins Alpenvorland, tagsüber nördliche Winde aus dem Alpenvorland Richtung Alpen. Hinzu kommen lokale Windsysteme und vor allem nächtliche Kaltluftabflüsse aus Süden und Südwesten infolge der geneigten Münchner Schotterebene.

Für die **Windverteilung im Gesamtzeitraum** bei allen Wetterlagen bedeutet das für den westlichen und nördlichen Ortsrand (Station 2 und 3) ein deutliches Überwiegen der Winde aus südwestlichen Richtungen (um 240° und um 210°). Etwas häufiger sind auch noch westliche und nordwestliche Winde sowie nördliche und nordöstliche Richtungen. Deutlich zu sehen ist die windabschwächende Wirkung durch die Stadt im Südosten und Osten.

Auch bei der Windstärke bestehen typische Unterschiede, während die Sektoren aus der Westhälfte meist Windstärke 2 Beaufort erreichen und bei nordwestlichen Richtungen im Mittel sogar Windstärke 3, sind die Windgeschwindigkeiten bei Südost, Ost und Nordost deutlich abgeschwächt. Das liegt zum einen daran, dass diese östlichen Komponenten am Rande von Hochdruckgebieten ohnehin schwächer sind, zum anderen ist die Stadt Germering bei diesen Richtungen im Lee der Bebauung der Großstadt München gelegen.

Bei Station 1 im Stadtzentrum ist diese Verteilung der Windgeschwindigkeiten ebenfalls zu finden. Hier ist der Einfluss der städtischen Bebauung am größten und die Windrichtungsverteilung durch den Verlauf der Straßenzüge und die von Norden und Nordwesten nach Germering hineinreichenden Freiflächen aber gedreht. Bevorzugt treten dort nordwestliche bis nördliche Richtungen (Sektoren 300° bis 360°) und südliche bis südöstliche Richtungen (Sektoren 180° bis 120°) auf. Vor allem im Nordosten macht sich die abschirmende Wirkung der Bebauung bemerkbar.

Zusätzlich wurde eine **Auswahl an Einzeltagen**, sogenannte **Strahlungstage** (1998 auch als Schönwettertage bezeichnet) betrachtet und die Abhängigkeit von der Tageszeit untersucht. Grundsätzlich konnten so tageszeitabhängige Windsysteme nachgewiesen werden und der Einfluss des Alpinen Pumpens mit eher südlichen und südwestlichen Richtungen in der Nacht sowie Winden aus Nordnordwest bis Ostnordost am Tage, bei Station 1 auch Ostsüdost. Dabei fällt eine starke Bündelung auf einzelne Sektoren auf.

Bei **Station 1** sind dies tagsüber überwiegend Winde aus Nord, Nordnordwest (360°, 330°) und Ostsüdost (150°), nachts überwiegen die Richtungen Süd (180°), Südsüdost (150°) und Südsüdwest (210°). Bei **Station 2** ist die Bevorzugung der Südwestrichtung nachts sehr deutlich ausgeprägt, mit ca. 50% im Sektor um 240° und 27% im Sektor um 210°. Am Tage sind zwar südwestliche Winde noch etwas vorhanden. Am häufigsten sind Winde aus Nordnordwest (330°), wahrscheinlich begünstigt durch die Umströmung des Germering westlich vorgelagerten Höhenrückens sowie die Freiflächen zwischen Stadt und Höhenzug. Entsprechend der Orientierung des Kreuzlinger Feldes treten tagsüber auch Winde aus Nordost bis Ost (30° bis 90° Sektor) häufiger auf. Bei **Station 3** ist die tageszeitabhängige Windrichtungsverteilung am Tage ähnlich zu Station 2. Die freie Lage im Norden der Stadt führt dazu, dass an dieser Station tagsüber die Ostnordostwinde (um 60°) überwiegen. Häufig sind auch nördliche Komponenten (330° bis 30°). Wie an Station 2 werden nachts südwestliche Winde bevorzugt. Da der nächtliche Kaltluftstrom nach den Modellrechnungen (DWD 2021) die Stadt als Hindernis nachts im Bogen umströmt, ist an Station 3 der Westwindanteil höher als an Station 2.

Zusätzlich wurden ein **Vergleich** der Ergebnisse für die aktuelle Messreihe mit früheren Auswertungen für die **Messungen 1997/1998** (DWD, 1998) durchgeführt. Bei Station 2 und 3 sind die Verhältnisse ähnlich mit einer Bevorzugung der Südwest-Nordost-Richtung. Dabei sind die Unterschiede bei Station 3 etwas größer als an Station 2, was u. a. an dem geänderten Messstandort liegen kann.

Grundsätzlich waren bei der historischen Messreihe West- und Ostwinde sowie nordöstliche Komponenten häufiger, bei den Messungen 2021/2022 sind dagegen südwestliche Winde häufiger vertreten und teilweise auch nordwestliche Winde. Bei Station 1 sind die Unterschiede am

größten. Hier ist die Richtungsverteilung auf eine Nordwest- bis Nord- und Süd- bis Südost-Ausrichtung gedreht.

Als mögliche Ursache kann die unterschiedliche Wetterlagenhäufigkeit in den einzelnen Jahren genannt werden. Im Messzeitraum 2021/2022 waren Westwetterlagen bzw. zonale Wetterlagen seltener als 1997/1998 und auch als im vieljährigen Mittel. Auch in München-Flughafen traten 2020/2021 weniger Ost- und Westwinde, dafür aber mehr Südwest- und Nordostwinde auf. Eine Zunahme der Nordostwinde im Vergleich beider Zeiträume konnte in Germering nicht festgestellt werden. Eine mögliche Ursache könnte die Ausdehnung der Bebauung im Großraum München und auch in Germering selbst sein.

Beim **Stadtklima** wird das lokale Klima vor allem durch die **Bebauung** und Emissionen gegenüber dem Umland verändert. Durch die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften heizt sich die Stadt tagsüber stärker auf als das Umland, nachts kühlt sie schlechter ab. Teilweise wird sogar Wärme abgegeben. Über Kaltluft- bzw. Frischluftschneisen wird kühlere oder schadstoffärmere Luft aus dem Umland bis in die Stadt transportiert und kann dort zu einer Verbesserung der Verhältnisse führen.

Im vorliegenden Gutachten wurden die Hauptwindrichtungen identifiziert. Aus den Windverhältnissen ergibt sich auch die Bedeutung der großen Straßentrassen für das Eindringen des Windes bis in das Stadtzentrum. Daher sollten bei künftiger Bebauung Kaltluft- und Frischluftschneisen freigehalten werden und sich in der Ausrichtung an den Hauptwindrichtungen orientieren. Die Wirkung dieser Schneisen wird verbessert, wenn sie durchgängig sind und nicht durch Richtungsänderungen oder Hindernisse unterbrochen oder geschmälert werden. Bei der Bepflanzung mit Bäumen sollten diese daher den Querschnitt der Durchlüftungssachse nicht stärker reduzieren.

Auch bei der Geometrie von geplanten Gebäuden ist eine Ausrichtung in Hauptwindrichtung sinnvoll. Wegen der windabbremsenden Wirkung sollte die Bebauungshöhe die der benachbarten Gebiete möglichst nicht übersteigen.

Durch eine ausreichende Luftzufuhr wird Luftstagnation vermieden und bioklimatisch das Wärmeempfinden, die Wärmebelastung vermindert. Auf der anderen Seite können stärkerer Wind und niedrige Temperaturen zu einer Verstärkung des Kälteempfindens führen. Daher sollten bei der Gebäudeanordnung Düseneffekte vermieden werden.

Grundsätzlich bewirkt eine Verringerung der Versiegelung und stärkere Be- und Durchgrünung sowie Fassaden- und Dachbegrünung nicht nur eine Verringerung der Aufheizung und des Wärmeinseleffektes der Stadt. Die Schaffung von Grünfläche und ihre Vernetzung untereinander und mit dem Umland fördert auch wieder den Luftaustausch, wenn diese als Frischluft- und Kaltluftschneisen dienen können. Derartige Maßnahmen gewinnen durch den Klimawandel zunehmend an Bedeutung in einem wärmer werdenden Klima. Den Auswirkungen einer Zunahme von Starkregenereignissen und Trockenperioden kann durch eine Entsiegelung und verbesserte Versickerungs- und Wasserspeichermöglichkeiten entgegengewirkt werden (Stichwort Schwammstadt). Wenn diese dann in Trockenperioden Feuchtigkeit an die Grünflächen abgeben,

verbessert sich dadurch nicht nur deren Wasserversorgung, sondern auch ihre kühlende Wirkung.

Bezüglich der Emissionen kann die Windrichtungsverteilung ebenfalls helfen, emissionsintensive Betriebe nicht im Einzugsbereich der Wohngebiete anzusiedeln.



7 Literatur

BAYFORKLIM, 1996: Klimaatlas von Bayern. Bayerischer Klimaforschungsverbund. Verlag Hanns Linder München.

DWD, 1997: Amtliches Gutachten. Zwischenbericht über die Windmessungen in Germering. Deutscher Wetterdienst München.

DWD, 1998: Amtliches Gutachten über die Windmessungen in Germering. Deutscher Wetterdienst München.

DWD, 2021: Beurteilung des nächtlichen Kaltluftverhaltens mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des DWD im Raum Germering. Deutscher Wetterdienst München.

GERSTENGARBE, F.-W.; C. P. WERNER, 1993: Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmut Brezowski 1881-1992. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 113. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes Offenbach am Main.

MEYNEN, E., J. SCHMITHÜSEN, J. GELLERT, E. NEEF, H. MÜLLER-MINY UND J. H. SCHULTZE., 1962: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Selbstverlag Bad Godesberg.

MÜHLBACHER, G., M. KOSSMANN, K. SEDLMEIER UND K. WINDERLICH, 2020: Stadtklimatische Untersuchung der sommerlichen Temperaturverhältnisse und des Tagesgangs des Regionalwindes („Alpines Pumpen“) in München. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 252. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes Offenbach am Main.

VDI, 2003: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b.

VDI, 2015: VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie – Klima- und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen. Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Windtafel, Angaben zu den Windrichtungsektoren in °	5
Abbildung 2:	Stärkewindrosen in Prozent der Jahresstunden für 2012-2021 der DWD-Stationen München-Flughafen und München-Stadt	7
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der alpinen Regionalwindzirkulation (Quelle DWD).....	8
Abbildung 4:	Germering - Lage der Windmessstandorte 2021/2022.....	11
Abbildung 5:	Station 1 - Landsberger Straße (Kreuzung), Blick nach Norden	13
Abbildung 6:	Station 1 - Landsberger Straße (Kreuzung), Blick nach Osten	13
Abbildung 7:	Station 2 - Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Südosten über das Kreuzlinger Feld Richtung Alfons-Baumann-Straße	14
Abbildung 8:	Station 2 - Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Nordosten über das Kreuzlinger Feld Richtung S – Bahntrasse.....	15
Abbildung 9:	Station 2 – Feuerwehr Unterpfaffenhofen, Blick nach Süden und Südwesten	15
Abbildung 10:	Station 3 – Nördlich der B2, Blick nach Süden Richtung Germering.....	16
Abbildung 11:	Station 3 – Nördlich der B2, Blick nach Nordwesten Richtung Puchheim.....	16
Abbildung 12:	Stärkewindrose Station 1 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ).....	18
Abbildung 13:	Stärkewindrose Station 2 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ).....	20
Abbildung 14:	Stärkewindrose Station 3 - gesamter Zeitraum, alle Stunden 01 bis 24 Uhr (MEZ).....	21
Abbildung 15:	Stärkewindrose – Gesamtzeitraum, Tagstunden 7 – 18 MEZ, Station 1 bis 3 (von links nach rechts)	22
Abbildung 16:	Stärkewindrose - Gesamtzeitraum, Nachtstunden 19 - 6 MEZ, Station 1 bis 3	23
Abbildung 17:	Stärkewindrose - Gesamtzeitraum, Germering Stationen 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent), Vergleich 7 - 18 Uhr und 19 - 6 Uhr (MEZ)	25

Abbildung 18:	Stärkewindrosen Einzeltage, Station 1 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)	26
Abbildung 19:	Stärkewindrosen Einzeltage, Station 2 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)	27
Abbildung 20:	Stärkewindrosen Einzeltage, Station 3 für 7 - 18 Uhr, 19 - 6 Uhr und alle Stunden (von links nach rechts)	28
Abbildung 21:	Stärkewindrosen - Auswahl Strahlungstage, Station 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent), Vergleich 7 - 18 Uhr und 19 - 6 Uhr (MEZ)	29
Abbildung 22:	Stärkewindrosen ab 0,5 m/s - Gesamtzeitraum, alle Tage und alle Stunden, Station 1 bis 3 (Relative Häufigkeit in Prozent)	31
Abbildung 23:	Stärkewindrosen (Relative Häufigkeit in Prozent) München-Flughafen ab 0,5 m/s, Vergleich der Zeiträume 3/97 - 5/98 und 3/21 – 3/22	32
Abbildung 24:	Lage der Messstandorte 1997/1998 (DWD, 1998)	41

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mittlere Anzahl windschwacher Strahlungsnächte für München-Flughafen (2012-2021) und Weihenstephan-Dürnast (2014-2021)	10
Tabelle 2:	Beaufortskala (Quelle DWD)	40

10 Anhang

Tabelle 2: Beaufortskala (Quelle DWD)

Deutscher Wetterdienst			
Beaufort-Skala der Windstärke			
Beaufort-Stufe	m/s ^{*)}	km/h ^{*)}	Beschreibung
0	0,0 – 0,2	<1	Windstille Rauch steigt senkrecht auf
1	0,3 – 1,5	1 – 5	leiser Zug Windrichtung wird nur durch Rauch angezeigt, nicht durch Windfahnen
2	1,6 – 3,3	6 – 11	leichter Wind Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich
3	3,4 – 5,4	12 – 19	schwacher Wind Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt Wimpel
4	5,5 – 7,9	20 – 28	mäßiger Wind Wind hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste
5	8,0 – 10,7	29 – 38	frischer Wind kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	10,8 – 13,8	39 – 49	starker Wind starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraf- und Stromleitungen, Regenschirme schwierig zu halten
7	13,9 – 17,1	50 – 61	steifer Wind ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind
8	17,2 – 20,7	62 – 74	stürmischer Wind Wind bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	20,8 – 24,4	75 – 88	Sturm Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern, (Rauchhauben und Dachziegel werden abgeworfen)
10	24,5 – 28,4	89 – 102	schwerer Sturm Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	28,5 – 32,6	103 – 117	orkanartiger Sturm Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	≥ 32,7	≥ 118	Orkan schwere Verwüstungen

Umrechnungen	
1 m/s	= 3,6 km/h
1 km/h	= 0,278 m/s
1 kn	= 1,852 km/h
1 kn	= 0,514 m/s

Beispiele:	17,2 m/s = 17,2 x 3,6 km/h = 61,92 km/h
	60 km/h = 60 x 0,278 m/s = 16,68 m/s

^{*)} Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über freiem Gelände

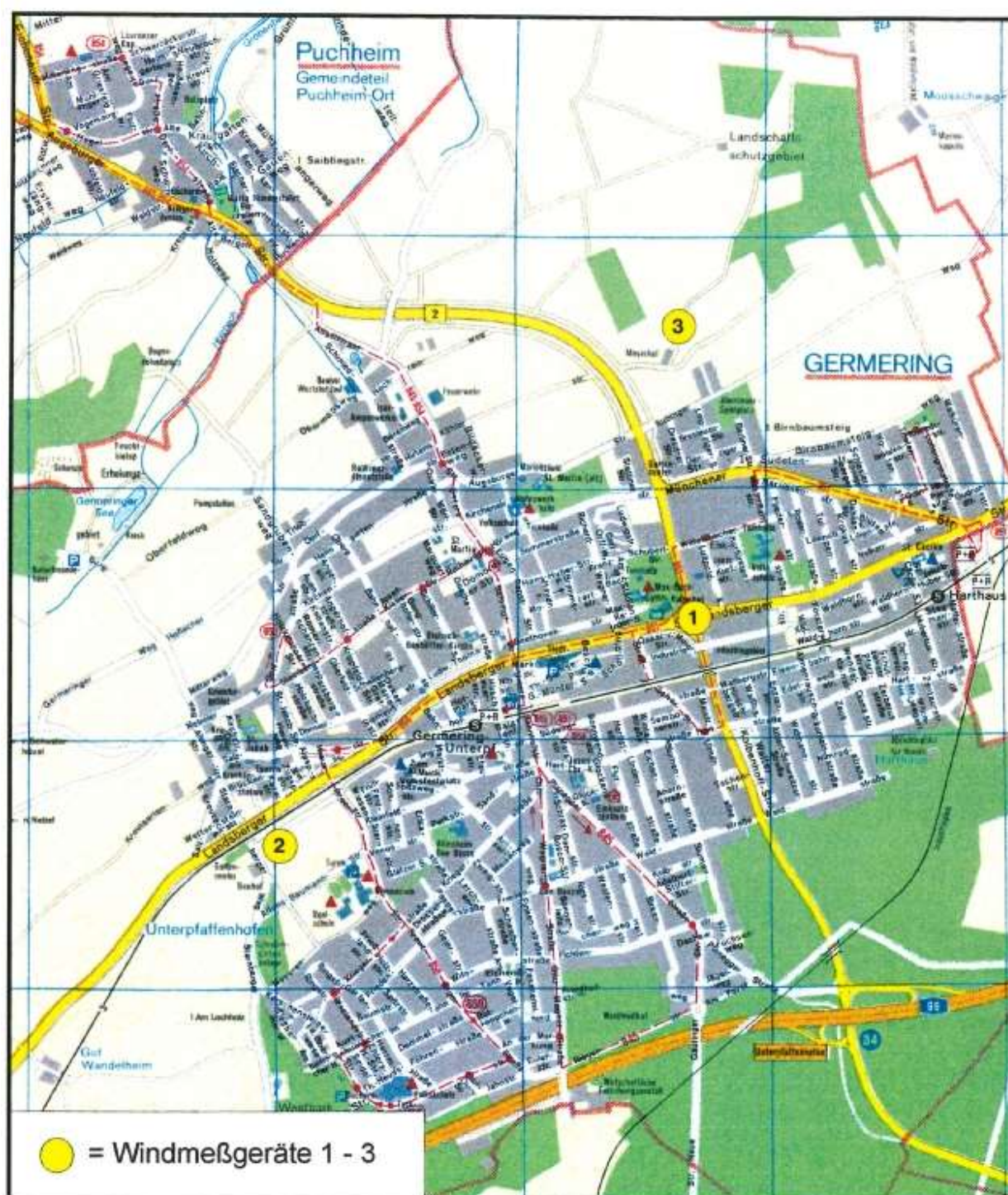


Abbildung 24: Lage der Messstandorte 1997/1998 (DWD, 1998)