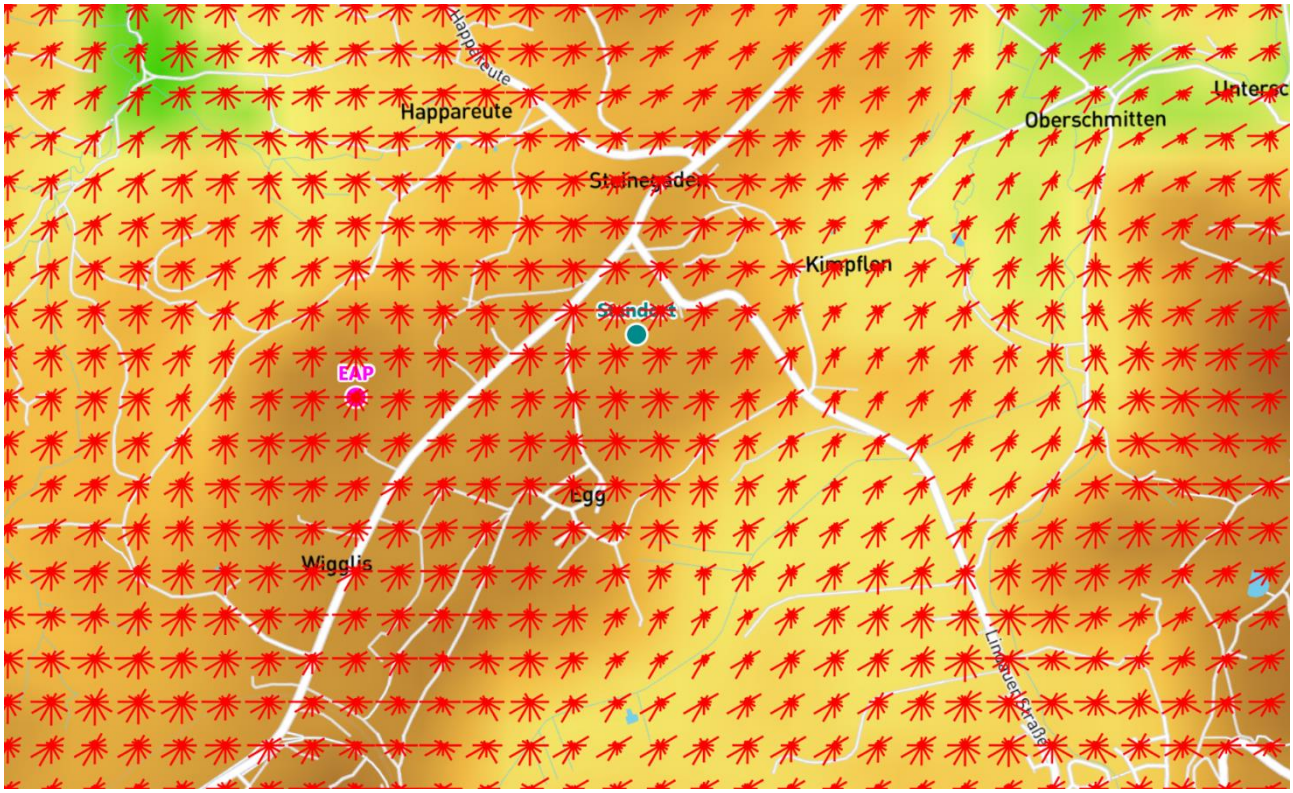
IFU GmbH
PRIVATES INSTITUT FÜR ANALYTIK

Bereitstellung modellierter meteorologischer Daten nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 für Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft

an einem Anlagenstandort bei Steinegaden



Auftraggeber:	Hoock & Partner Sachverständige PartG mbB – Beratende Ingenieure Immissionsschutz – Bauphysik – Akustik Am Alten Viehmarkt 5 84028 Landshut	Tel.: 0871 9656373-43
Bearbeiter:	Dipl.-Phys. Thomas Köhler Tel.: 037206 8929-44 Email: Thomas.Koehler@ifu-analytik.de	Dr. Hartmut Sbosny Tel.: 037206 8929-43 Email: Hartmut.Sbosny@ifu-analytik.de
Aktenzeichen:	Modelliert.20240318-01	
Ort, Datum:	Frankenberg, 10. April 2024	
Anzahl der Seiten:	39	
Anlagen:	-	

IFU GmbH
Privates Institut für Analytik
An der Autobahn 7
09669 Frankenberg/Sa.

tel +49 (0) 37206.89 29 0
fax +49 (0) 37206.89 29 99
e-mail info@ifu-analytik.de
www.ifu-analytik.de

HRB Chemnitz 21046
USt-ID DE233500178
Geschäftsführer Axel Delan

iban DE27 8705 2000 3310 0089 90
bic WELADED1FGX
bank Sparkasse Mittelsachsen

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 4
1 Aufgabenstellung 5
2 Beschreibung des Anlagenstandortes 6
2.1 Lage 6
2.2 Landnutzung 7
2.3 Orographie 9
3 Modellierung der Meteorologie im Untersuchungsgebiet 12
3.1 Modellansatz 12
3.2 Bestimmung der Ersatzanemometerposition 15
3.2.1 Hintergrund 15
3.2.2 Verfahren zur Bestimmung der Ersatzanemometerposition 15
3.2.3 Bestimmung der Ersatzanemometerposition im konkreten Fall 16
3.3 Ergebnisse der Windfeldmodellierung im Untersuchungsgebiet 18
3.4 Räumliche Repräsentativität der modellierten Daten 21
4 Bestimmung eines repräsentativen Jahres 23
4.1 Bewertung der vorliegenden Datenbasis und Auswahl eines geeigneten Zeitraums 23
4.2 Analyse der Verteilungen von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Ausbreitungsklasse sowie der Nacht- und Schwachwinde 28
4.3 Prüfung auf Plausibilität 30
5 Beschreibung der Datensätze 35
5.1 Rechnerische Anemometerhöhen in Abhängigkeit von der Rauigkeitsklasse 35
5.2 Ausbreitungsklassenzeitreihe 35
6 Hinweise für die Ausbreitungsrechnung 36
7 Zusammenfassung 37
8 Prüfliste für die Übertragbarkeitsprüfung 38
9 Schrifttum 39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Ortschaft Steinegaden in Bayern....6
Abbildung 2: Lage des Standortes bei Steinegaden....7
Abbildung 3: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank....8
Abbildung 4: Luftbild mit der Umgebung des Standortes....9
Abbildung 5: Orographie um den Standort....11
Abbildung 6: Ablauf der Erzeugung modellierter Daten in Bezug auf regionale, lokale und zeitliche Repräsentativität....12
Abbildung 7: Sequenzieller Ablauf bei der Erzeugung modellierter Daten....14
Abbildung 8: Flächenhafte Darstellung des Gütemaßes zur Bestimmung der Ersatzanemometerposition....17
Abbildung 9: Ersatzanemometerposition im Relief um den Standort....18
Abbildung 10: Modellierung der Windrichtungsverteilung mit Standort und EAP im Untersuchungsgebiet....19
Abbildung 11: Windrichtungsverteilung der modellierten Daten....20
Abbildung 12: Windgeschwindigkeitsverteilung der modellierten Daten....21
Abbildung 13: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Windrichtungsverteilung....25
Abbildung 14: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Windgeschwindigkeitsverteilung....26
Abbildung 15: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Verteilung der Ausbreitungsklasse....27
Abbildung 16: Gewichtete χ^2-Summe und Einzelwerte als Maß für die Ähnlichkeit der einzelnen Testzeiträume zu je einem Jahr (Jahreszeitreihe) mit dem Gesamtzeitraum....30
Abbildung 17: Vergleich der Windrichtungsverteilung für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum....31
Abbildung 18: Vergleich der Windgeschwindigkeitsverteilung für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum....32
Abbildung 19: Vergleich der Verteilung der Ausbreitungsklasse für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum....33
Abbildung 20: Vergleich der Richtungsverteilung von Nacht- und Schwachwinden für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum....34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes 7
Tabelle 2: UTM-Koordinaten der ermittelten Ersatzanemometerposition.....16
Tabelle 3: Rechnerische Anemometerhöhen in Abhängigkeit von der Rauigkeitsklasse 35

1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft in einem Untersuchungsgebiet nahe der Ortschaft Steinegaden, einem Gemeindeteil der Gemeinde Röthenbach (Allgäu) im bayerisch-schwäbischen Landkreis Lindau (Bodensee) im Freistaat Bayern.

Bei der in den Ausbreitungsrechnungen betrachteten Anlage handelt es sich um eine Deponie. Die Quellen liegen bodennah bis maximal 10 m über Grund.

Die TA Luft sieht vor, meteorologische Daten für Ausbreitungsrechnungen von einer Messstation (Bezugswindstation) auf einen Anlagenstandort (Zielbereich) zu übertragen, wenn am Standort der Anlage keine Messungen vorliegen.

Bei komplexen Geländesituationen am Standort kann aber auch die Verwendung modellierter meteorologischer Daten anstelle übertragener Daten erwogen werden, was VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 ermöglicht.

Die vom Auftraggeber gewünschte Bereitstellung modellierter Daten für diesen Standort bei Steinegaden wird im vorliegenden Dokument dokumentiert.

2 Beschreibung des Anlagenstandortes

2.1 Lage

Der untersuchte Standort, für den modellierte Daten erstellt werden sollen, befindet nahe bei der Ortschaft Steinegaden in Bayern. Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Standortes.

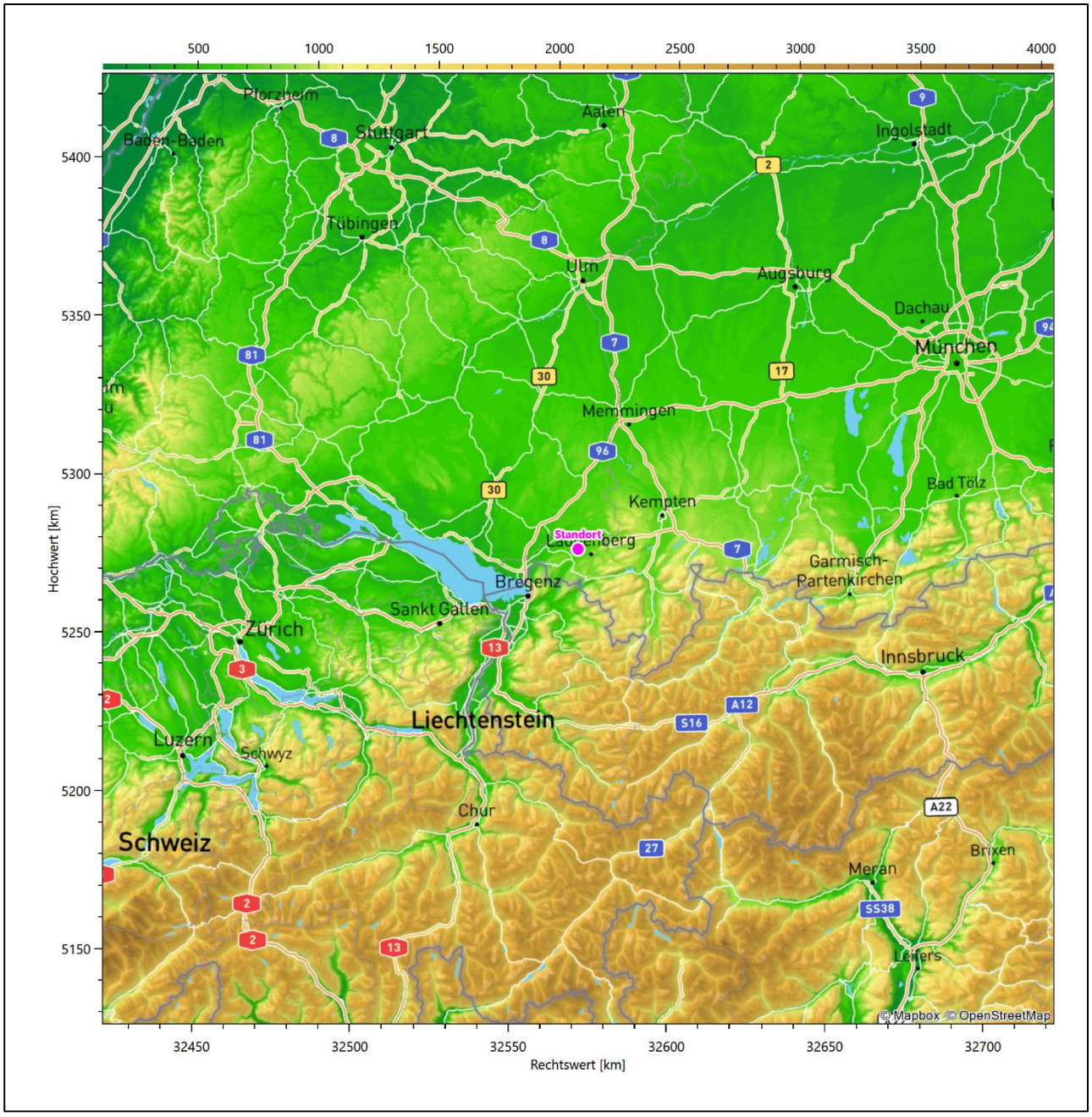


Abbildung 1: Lage der Ortschaft Steinegaden in Bayern

Die genaue Lage des untersuchten Standortes bei Steinegaden ist anhand des folgenden Auszuges aus der topographischen Karte ersichtlich.

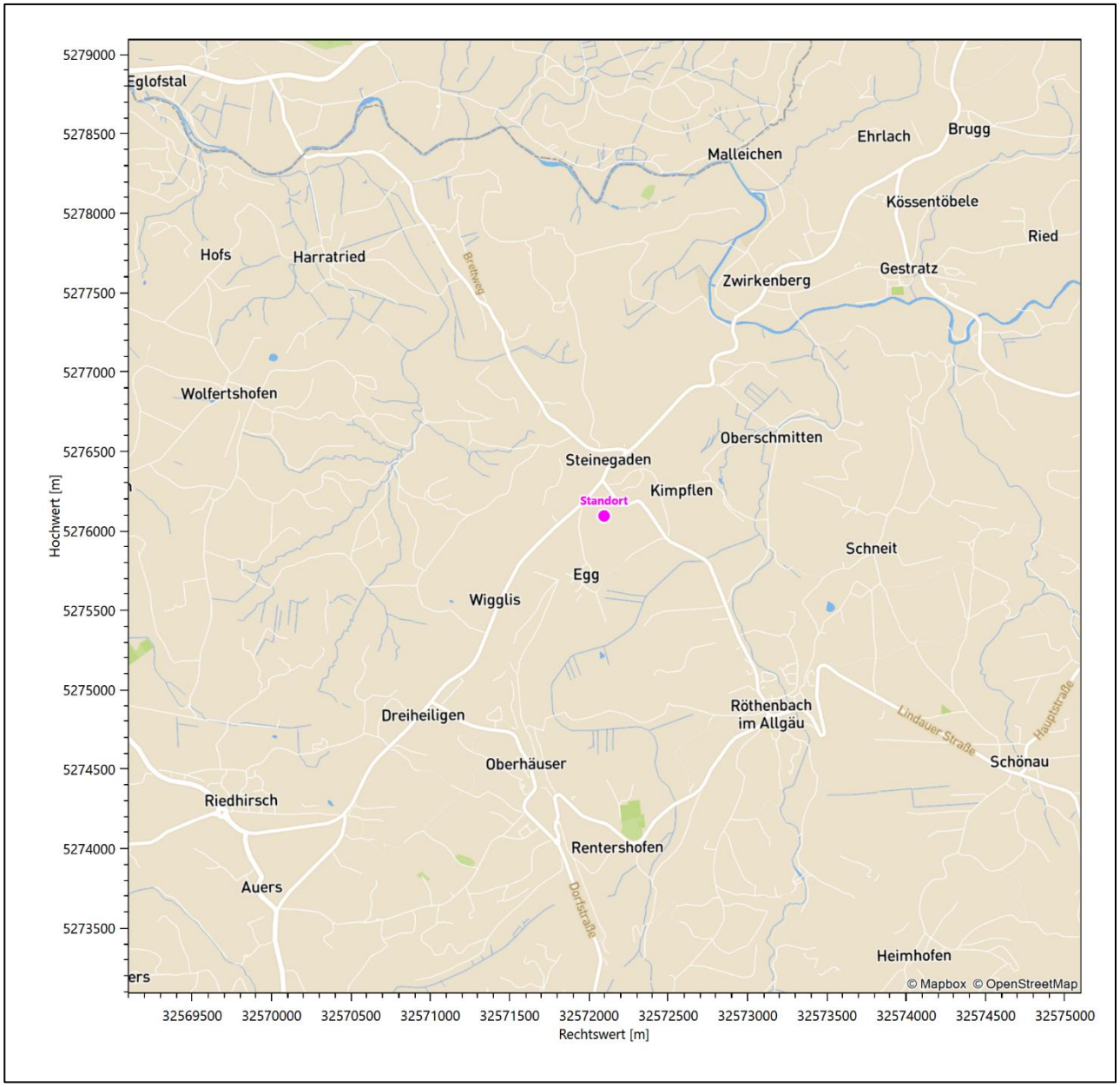


Abbildung 2: Lage des Standortes bei Steinegaden

In der folgenden Tabelle sind die Koordinaten des Standortes angegeben.

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes

Rechtswert	32572095
Hochwert	5276094

2.2 Landnutzung

Der Standort selbst liegt im südlichen Anschluss an die kleine Ortschaft Steinegaden, auf dem Gelände einer Deponie. Die Umgebung des Standortes ist durch eine wechselnde Landnutzung geprägt. Unterschiedlich dicht bebautes Siedlungsgebiet wechselt sich mit Waldgebieten, landwirtschaftlichen Flächen,

Wasserflächen (Schwarzenbach, Röthenbach, Harratrieder Bach, Obere Argen mittelbar) und einer vor Ort ländlichen Verkehrswegeinfrastruktur ab.

Eine Verteilung der Bodenrauigkeit um den Standort ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich. Die Daten wurden dem CORINE-Kataster [1] entnommen.

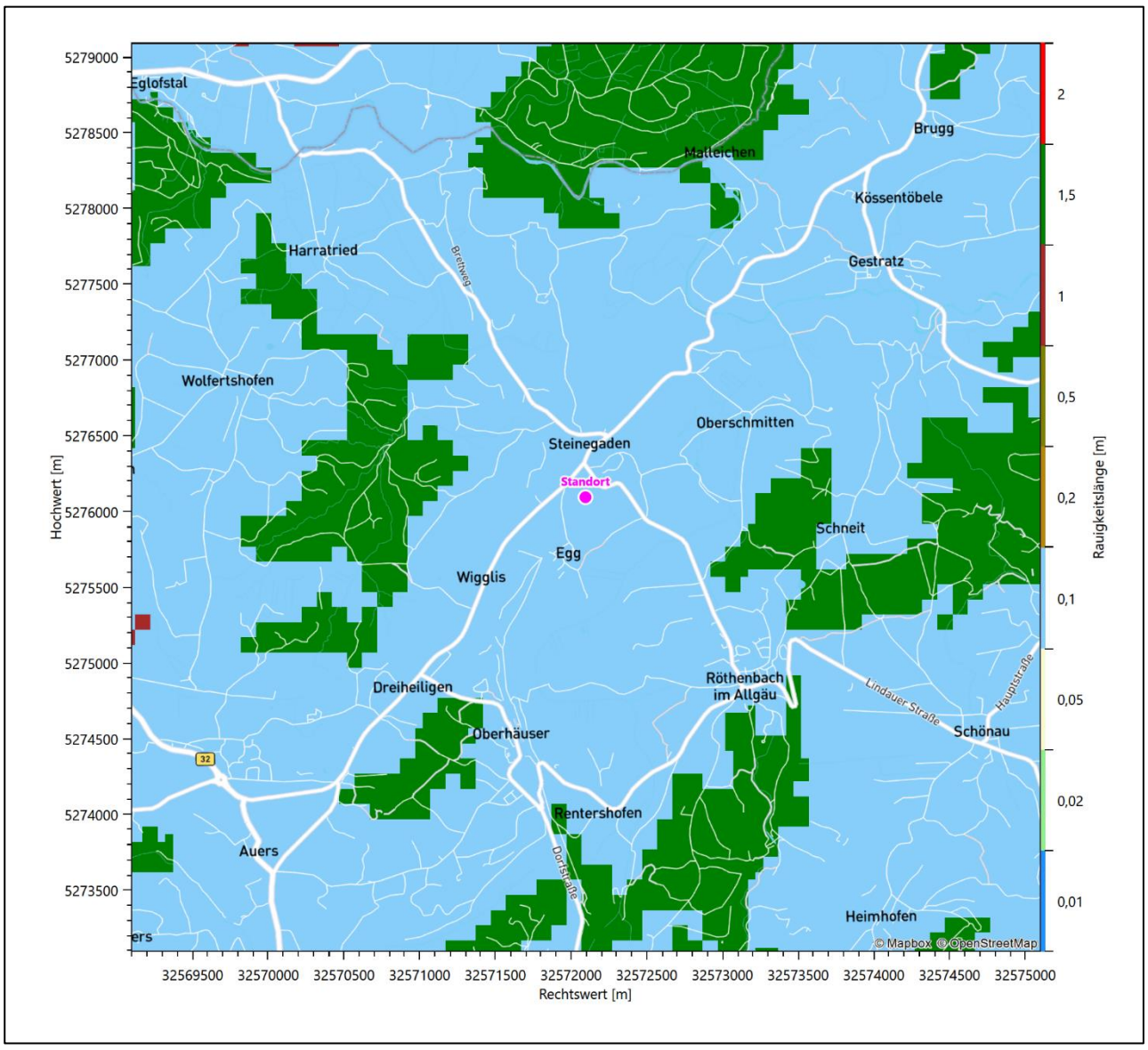


Abbildung 3: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank

Das folgende Luftbild verschafft einen detaillierten Überblick über die Nutzung um den Standort.

Abbildung 4: Luftbild mit der Umgebung des Standortes

2.3 Orographie

Der Standort liegt auf einer Höhe von etwa 693 m über NHN. Die Umgebung ist orographisch moderat gegliedert. Naturräumlich liegt Steinegaden in einem südöstlichen Ausläufer des *Westallgäuer Hügellandes*.

Das Westallgäuer Hügelland ist Teil der von Vorlandgletschern geprägten Jungmoränenlandschaft des Südwestdeutschen Hügellandes. Das von eiszeitlichen Ablagerungen und Relieferscheinungen geprägte Gebiet wird im Norden durch eine Endmoräne und im Westen durch das Bodenseebecken begrenzt. Innerhalb der Landschaft wechseln sich Drumlins, Riede und Moore, Moränenwälle und dazwischenliegende Seen ab. Ehemalige Schmelzwasserrinnen und die Täler der Oberen und Unteren Argen gliedern die Landschaft zusätzlich.

Das Hügelland erstreckt sich über eine Höhe von 500 bis 700 m über NHN. Der ausgeprägte Offenlandcharakter wird gebietsweise durch Wälder unterbrochen.

Abbildung 10 zeigt den Standort, auf einem NO-SW-streichenden Höhenrücken liegend. Am äußersten nördlichen Bildrand sind gerade noch die Niederungen der Oberen Argen, einem der beiden Quellflüsse der Argen, zu erahnen, die hier großräumiger gemittelt eine OSO-WNW-Orientierung einnimmt.600 m südöstlich des Standortes fließt der Schwarzenbach nach Nordosten. Aus ähnlicher Richtung kommend, entwässert der Röthenbach 1,6 km nordöstlicher Distanz in die Obere Argen; dies auf einem Niveau von nur noch 623 m über NHN. Auf der westlichen Seite des Höhenzugs strebt der Harratrieder Bach nach Nord-Nordwesten der Oberen Argen zu. Der Höhenrücke steigt nach Südwesten leicht an. Den größten Geländeabfall gibt es zur Oberen Argen hin. Abbildung 10 vermittelt für das abgebildete Gebiet Höhenunterschiede von 140 m.

Die nachfolgende Abbildung verschafft einen Überblick über das Relief.

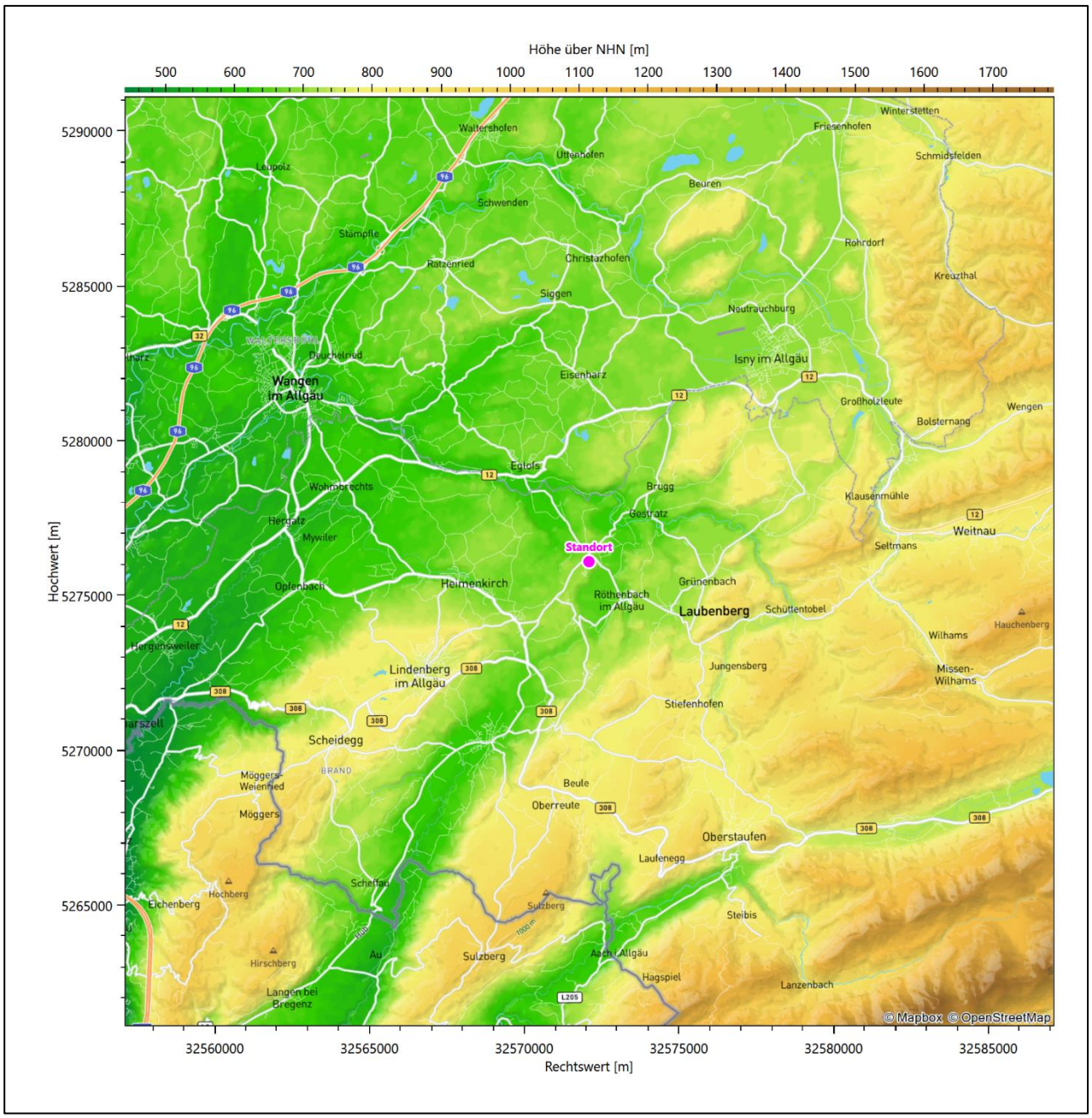


Abbildung 5: Orographie um den Standort

3 Modellierung der Meteorologie im Untersuchungsgebiet

3.1 Modellansatz

Zur Modellierung der Daten wurde ein zweistufiges Verfahren verwendet, dessen prinzipielle Eignung beispielsweise mit dem LUBW in Baden-Württemberg und dem LfULG in Sachsen abgestimmt wurde. Dieses Verfahren verwendet die REA6-Reanalysedaten des Deutschen Wetterdienstes (Schritt 1) als Antriebsdaten für eine genestete prognostische Windfeldmodellierung (Schritt 2). Die Reanalysedaten werden dabei weiterverarbeitet, wobei durch die prognostische Modellierung im wesentlich feiner aufgelösten Gitter von Orographie und Landnutzung sich auch eine verbesserte räumliche Repräsentativität der dabei erhaltenen Daten ergibt. Je nach Art der prognostischen Modellierung können die modellierten Daten auch lokale Kaltluft abbilden und sind damit lokal repräsentativ.

Die auf diese Weise erhaltenen lokal und räumlich repräsentativen Daten werden danach einer zeitlichen Betrachtung unterzogen um sicherzustellen, dass der letztlich erzeugte Datensatz (Ausbreitungsklassenzeitreihe oder Ausbreitungsklassenstatistik) auch zeitlich repräsentativ ist.

Die folgende Grafik zeigt den prinzipiellen Ablauf des Verfahrens in Bezug auf räumliche und zeitliche Repräsentativität.

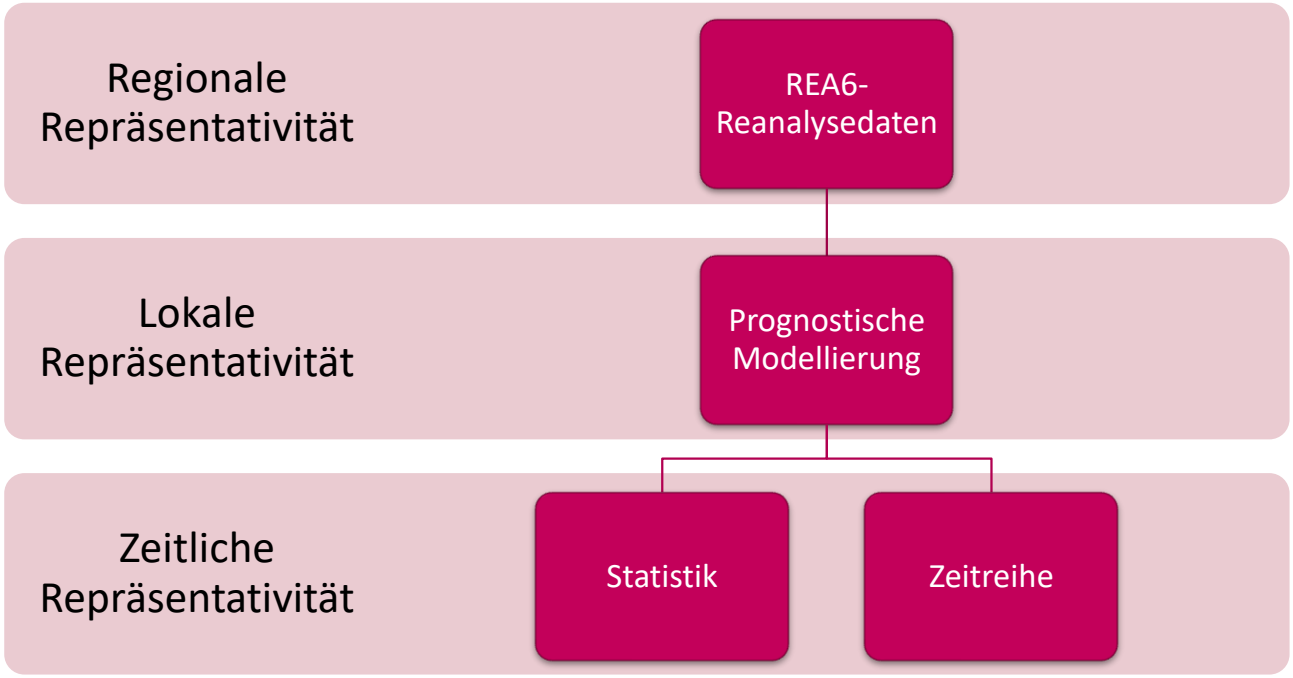


Abbildung 6: Ablauf der Erzeugung modellierter Daten in Bezug auf regionale, lokale und zeitliche Repräsentativität

Die einzelnen Verfahrensschritte sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die Ersatzanemometerposition (EAP) wird für die modellierten Daten nach dem im folgenden Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Verfahren der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 16 [2] bestimmt, wobei um den Standort ein kreisförmiges Gebiet ausgespart wird. Dies ist sinnvoll, da für Ausbreitungsrechnungen die EAP nicht im Einflussbereich von umströmten Hindernissen liegen soll, falls solche berücksichtigt werden.

Um den REA6-Reanalysedaten im hier vorgestellten Verfahren die lokale Beeinflussung aufzuprägen, wird eine prognostische Modellrechnung durchgeführt. Dabei dienen die REA6-Reanalysedaten als Antrieb für die genestete prognostische Modellrechnung. Auf diese Weise ist im Rahmen der Möglichkeiten einer prognostischen Modellierung sichergestellt, dass für die EAP die Windverhältnisse errechnet werden, die sich lokal bei einer durch die REA6-Reanalysedaten bestimmten regional repräsentativen Anströmung ergeben.

Die damit für die EAP lokal repräsentativ erhaltenen meteorologischen Daten werden zu einer Zeitreihe aneinandergefügt. Für die Erzeugung von modellierten meteorologischen Daten können zwei grundsätzliche Ansätze unterschieden werden:

1. Klassifizierung der meteorologischen Situationen und statistische Auswertung hin zu einer Ausbreitungsklassenstatistik
2. Zeitliche Aneinanderreihung der meteorologischen Situationen hin zu einer Ausbreitungsklassenzeitreihe

Für den ersten Fall wird eine Ausbreitungsklassenstatistik erzeugt, die Datensätze aus typischerweise zehn Jahren umfasst. Damit ist deren zeitliche Repräsentativität gegeben.

Für den zweiten Fall ist in Anlehnung an VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 [3] ein zusammenhängender Gesamtzeitraum von wenigstens fünf Jahren zu erzeugen, dessen Beginn nicht weiter als 15 Jahre zurückliegt. Aus diesem Gesamtzeitraum ist ein repräsentatives Jahr zu bestimmen.

Die einzelnen Abschnitte bei der Erzeugung modellierter meteorologischer Daten sind in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 7: Sequenzieller Ablauf bei der Erzeugung modellierter Daten

Eine ausführliche Verfahrensbeschreibung mit Aussagen auch zur Qualitätssicherung sowie zahlreichen Beispielen ist auf der Webseite der IFU GmbH zu finden.

3.2 Bestimmung der Ersatzanemometerposition

3.2.1 Hintergrund

Bei Ausbreitungsrechnungen in komplexem Gelände ist der Standort eines Anemometers anzugeben, wodurch die verwendeten meteorologischen Daten ihren Ortsbezug im Rechengebiet erhalten.

Um sicherzustellen, dass die modellierten meteorologischen Daten repräsentativ für das Rechengebiet sind, ist es notwendig, dass sich das Anemometer an einer Position befindet, an der die Orografie der Standortumgebung keinen oder nur geringen Einfluss auf die Windverhältnisse ausübt. Nur dann ist sichergestellt, dass sich mit jeder Richtungsänderung der großräumigen Anströmung, die sich in den regional repräsentativen REA6-Reanalysedaten widerspiegelt, auch der Wind an der Ersatzanemometerposition im gleichen Drehsinn und Maß ändert.

In der Vergangenheit wurde die EAP nach subjektiven Kriterien ausgewählt. Dabei fiel die Auswahl häufig auf eine frei angeströmte Kuppenlage, auf eine Hochebene oder in den Bereich einer ebenen, ausgedehnten Talsohle. Mit Erscheinen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 16 [2] wurde erstmals ein Verfahren beschrieben, mit dem die Position der EAP objektiv durch ein Rechenverfahren bestimmt werden kann. Dieses Verfahren ist im folgenden Abschnitt kurz beschrieben.

3.2.2 Verfahren zur Bestimmung der Ersatzanemometerposition

Ausgangspunkt des Verfahrens ist das Vorliegen einer Bibliothek mit Windfeldern für alle Ausbreitungsklassen und Richtungssektoren von 10° Breite. Die einzelnen Schritte werden für alle Modellebenen unterhalb von 100 m über Grund und jeden Modell-Gitterpunkt durchgeführt:

1. Es werden nur Gitterpunkte im Inneren des Rechengebiets ohne die drei äußeren Randpunkte betrachtet. Gitterpunkte in unmittelbarer Nähe von Bebauung, die als umströmtes Hindernis berücksichtigt wurde, werden nicht betrachtet.
2. Es werden alle Gitterpunkte aussortiert, an denen sich der Wind nicht mit jeder Drehung der Anströmrichtung gleichsinnig dreht oder an denen die Windgeschwindigkeit kleiner als 0,5 m/s ist. Die weiteren Schritte werden nur für die verbleibenden Gitterpunkte durchgeführt.
3. An jedem Gitterpunkt werden die Gütemaße g_d (für die Windrichtung) und g_f (für die Windgeschwindigkeit) über alle Anströmrichtungen und Ausbreitungsklassen berechnet, siehe dazu VDI-Richtlinie 3783 Blatt 16 [2], Abschnitt 6.1. Die Gütemaße g_d und g_f werden zu einem Gesamtmaß $g = g_d \cdot g_f$ zusammengefasst. Die Größe g liegt immer in dem Intervall [0,1], wobei 0 keine und 1 die perfekte Übereinstimmung mit den Daten der Anströmung bedeutet.
4. Innerhalb jedes einzelnen zusammenhängenden Gebiets mit gleichsinnig drehender Windrichtung werden die Gesamtmaße g aufsummiert zu G.
5. In dem zusammenhängenden Gebiet mit der größten Summe G wird der Gitterpunkt bestimmt, der den größten Wert von g aufweist. Dieser Ort wird als EAP festgelegt.

Das beschriebene Verfahren ist objektiv und liefert, sofern mindestens ein Gitterpunkt mit gleichsinnig drehendem Wind existiert, immer eine eindeutige EAP. Es ist auf jede Windfeldbibliothek anwendbar, unabhängig davon, ob diese mit einem prognostischen oder diagnostischen Windfeldmodell berechnet wurde.

3.2.3 Bestimmung der Ersatzanemometerposition im konkreten Fall

Für das in Abbildung 8 dargestellte Gebiet um den Anlagenstandort wurde unter Einbeziehung der Orographie mit dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM [4] eine Windfeldbibliothek berechnet. Auf diese Bibliothek wurde das in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Verfahren angewandt. In der Umgebung des Standortes wurde das Gütemaß g ausgerechnet. Die folgende Grafik zeigt die flächenhafte Visualisierung der Ergebnisse.

Es ist erkennbar, dass in ungünstigen Positionen das Gütemaß bis auf Werte von 0,66 absinkt. Maximal wird ein Gütemaß von 0,93 erreicht. Diese Position ist in Abbildung 8 mit EAP gekennzeichnet. Sie liegt etwa 680 m westlich des Standortes. Die genauen Koordinaten sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 2: UTM-Koordinaten der ermittelten Ersatzanemometerposition

Rechtswert	32571423
Hochwert	5275998

Für diese Position erfolgt im Weiteren die Berechnung der modellierten meteorologischen Daten.

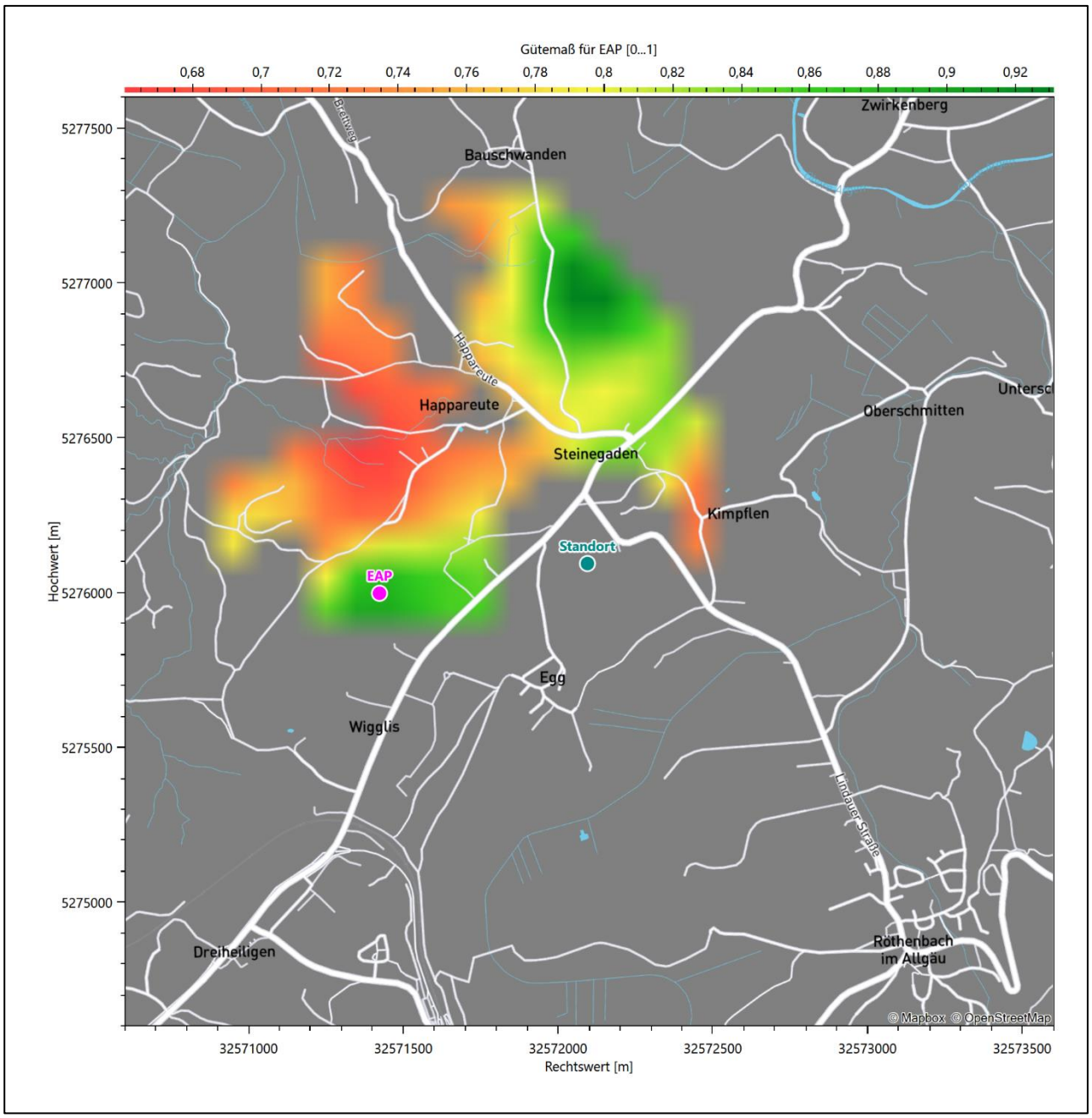


Abbildung 8: Flächenhafte Darstellung des Gütemaßes zur Bestimmung der Ersatzanemometerposition

Die zweidimensionale Darstellung bezieht sich lediglich auf die ausgewertete Modellebene im Bereich von 17 m, für welche die modellierten Daten berechnet werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Lage der bestimmten Ersatzanemometerposition im Relief um den Standort.

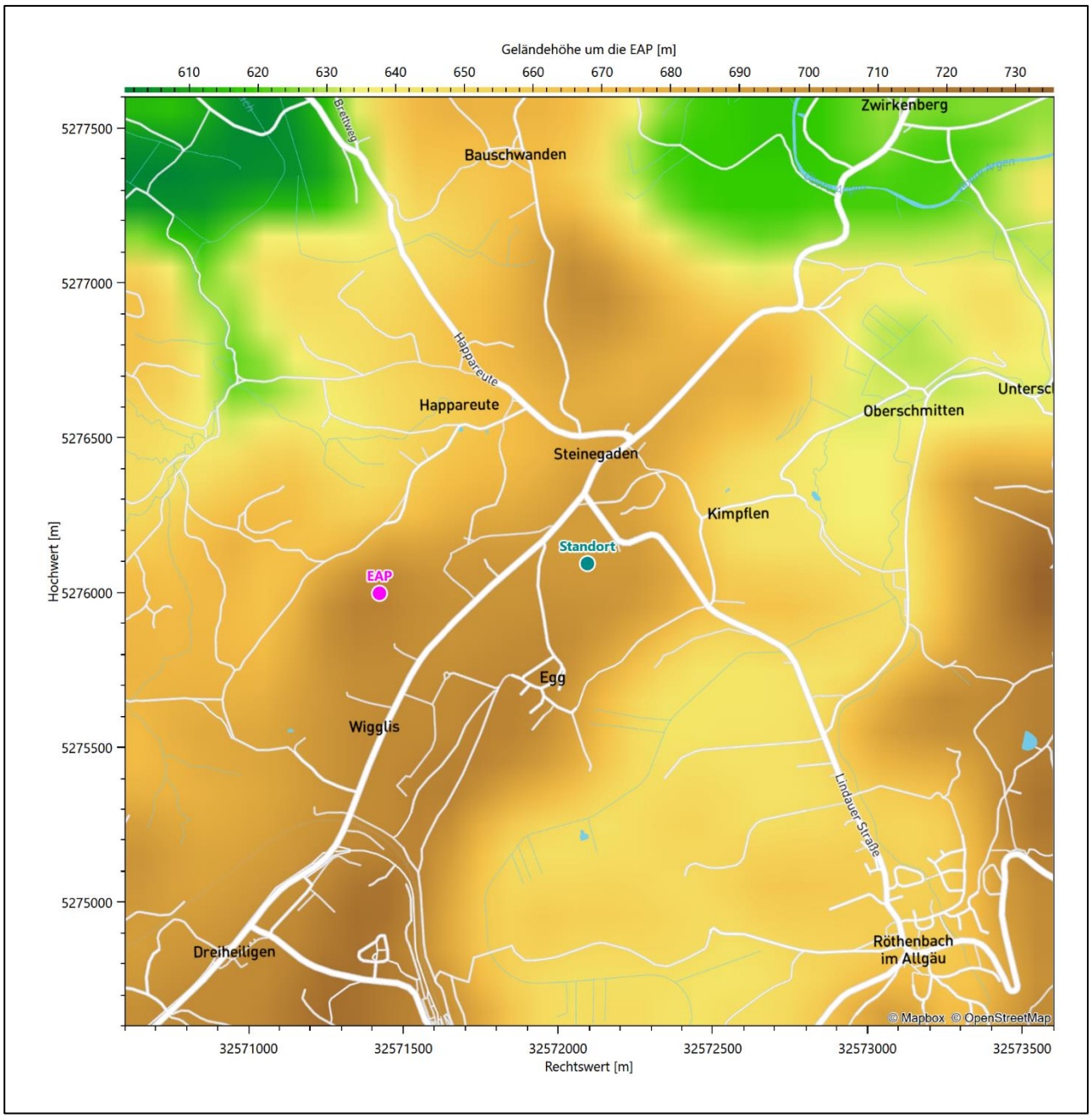


Abbildung 9: Ersatzanemometerposition im Relief um den Standort

3.3 Ergebnisse der Windfeldmodellierung im Untersuchungsgebiet

Die Modellierung der meteorologischen Situation wurde mit einer Gitterauflösung von 100 m durchgeführt. Für die Windrichtungsverteilung ergibt das im Untersuchungsgebiet das folgende Bild.

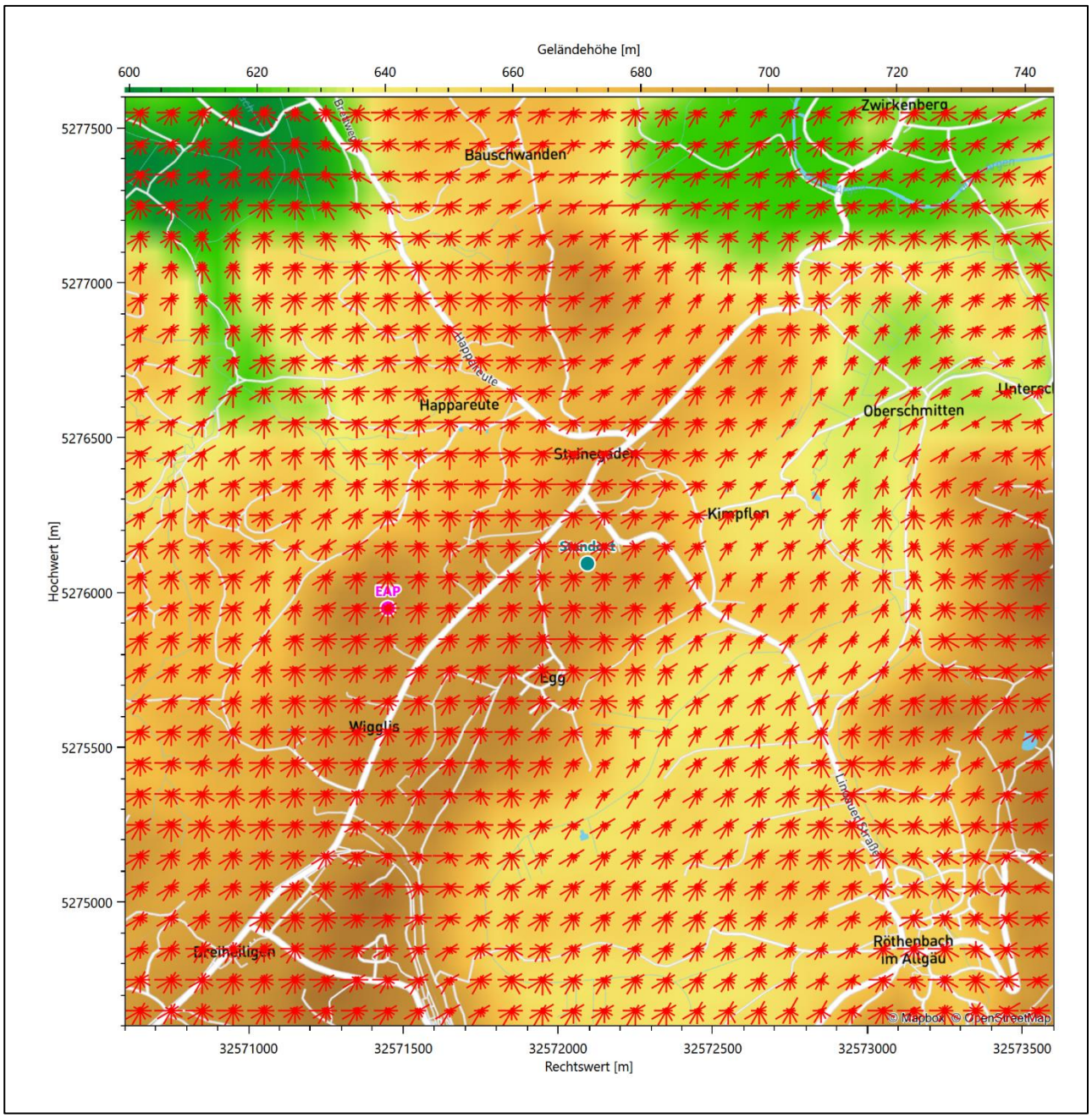


Abbildung 10: Modellierung der Windrichtungsverteilung mit Standort und EAP im Untersuchungsgebiet

Die Verteilungen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit der modellierten Daten an der EAP sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

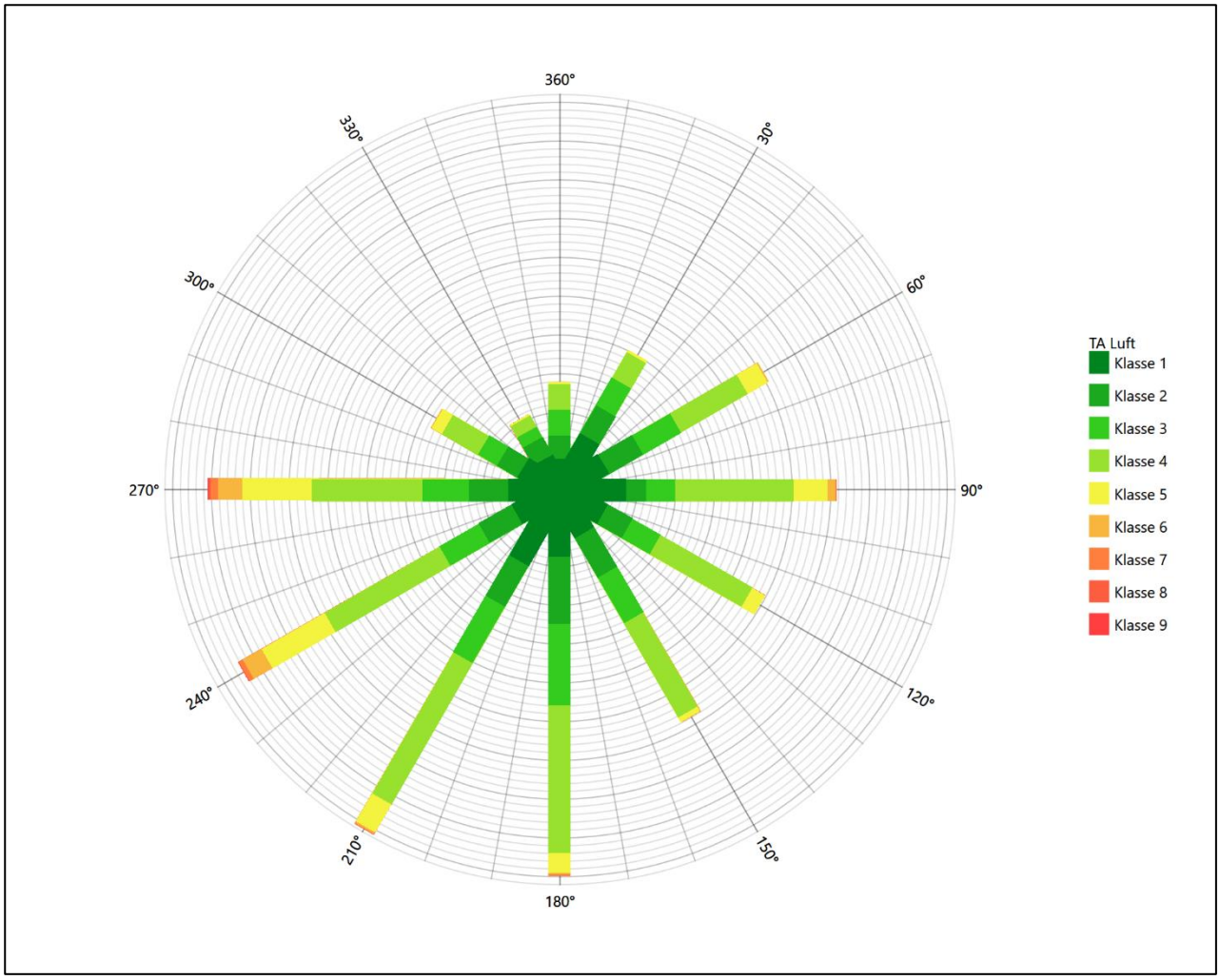


Abbildung 11: Windrichtungsverteilung der modellierten Daten

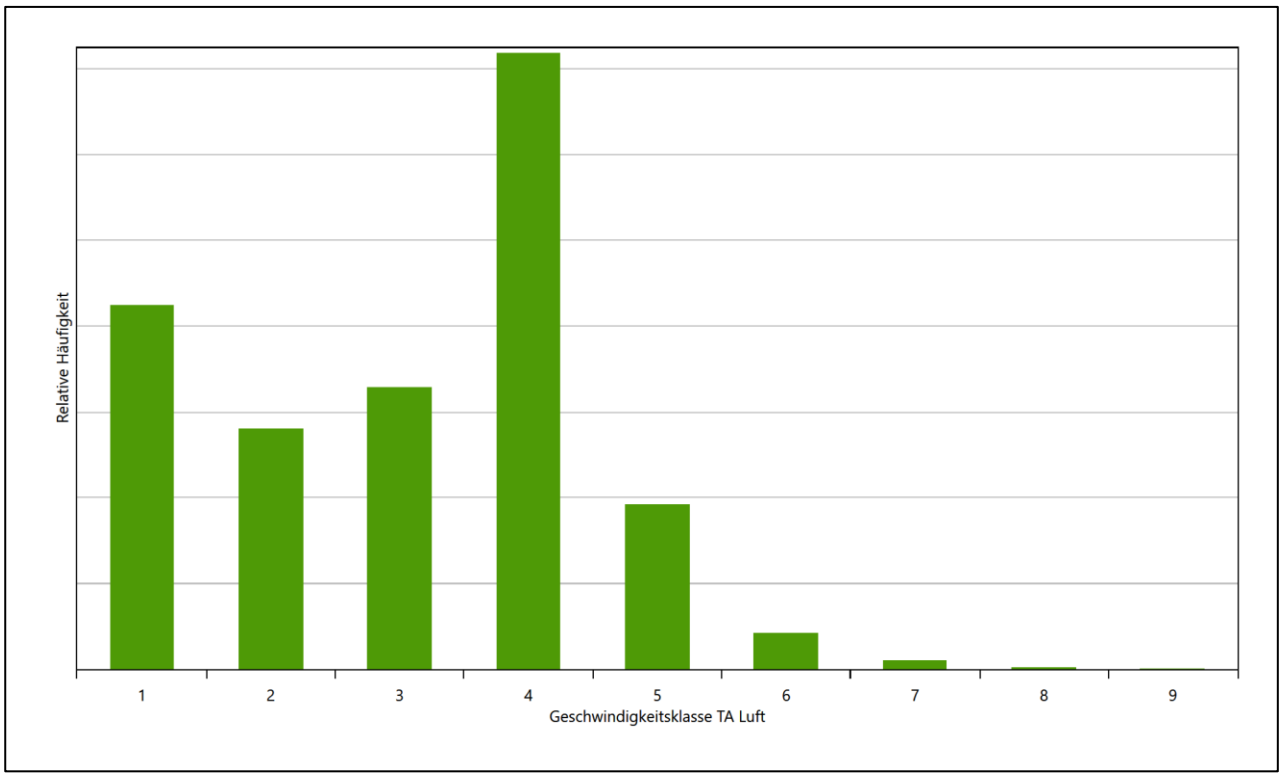


Abbildung 12: Windgeschwindigkeitsverteilung der modellierten Daten

Bei einer späteren Ausbreitungsrechnung muss sichergestellt werden, dass das vorgeschaltete Windfeldmodell den Einfluss der Orographie im dann verwendeten Rechengebiet korrekt abbildet. Das könnte in einem relativ homogenen Bereich um die EAP mit einem diagnostischen Windfeldmodell geschehen. Für größere Bereich, in denen gemäß Abbildung 10 die Inhomogenitäten zunehmen, empfiehlt sich eine prognostische Windfeldmodellierung. Dazu wären die Bestimmungen der TA Luft in Anhang 2 zur Berücksichtigung von Geländeunebenheiten zu beachten.

3.4 Räumliche Repräsentativität der modellierten Daten

Es muss geprüft werden, ob die modellierten meteorologischen Daten für die gewählte EAP räumlich repräsentativ sind. Eine Möglichkeit dafür ist zu prüfen, ob sich in den räumlich aufgelöst dargestellten Windrosen markante Geländestrukturen in einer erwartbaren Weise abbilden.

Wie in Kapitel 2.3 bereits geschrieben, liegt der Standort auf einem NO-SW-streichenden Höhenrücken. Östlich davon streben der Schwarzenbach und der Röthenbach der Oberen Argen zu, westlich dann der Harratrieder Bach ebenso. Die Obere Argen hat sich deutlich eingetieft. Wie Abbildung 10 vermittelt, treten in der mittelbaren Standortumgebung Höhendifferenzen von etwa 140 m auf, der steilste Abfall ist zur Oberen Argen hin orientiert.

Das hier verwendete modellierte Windrosenfeld arbeitet dabei die Umströmung dieser kleinskaligen topografischen Gegebenheiten deutlich heraus. Auch ist die Kanalisierung des Windes durch Täler, wie es z.B. in den oben beschriebenen Bachtälern geschieht, klar zu erkennen. Bemerkenswert ist auch, wie in der Argenniederung leeseitig die Rosen deutlich orientierungsloser erscheinen.

Es ist also davon auszugehen, dass die modellierten Daten hinsichtlich der lokalen Einflüsse räumlich repräsentativ sind.

4 Bestimmung eines repräsentativen Jahres

Neben der räumlichen Repräsentativität der meteorologischen Daten ist auch die zeitliche Repräsentativität zu prüfen. Bei Verwendung einer Jahreszeitreihe der meteorologischen Daten muss das berücksichtigte Jahr für den Anlagenstandort repräsentativ sein. Dies bedeutet, dass aus einer hinreichend langen, homogenen Zeitreihe (nach Möglichkeit 10 Jahre, mindestens jedoch 5 Jahre) das Jahr ausgewählt wird, das dem langen Zeitraum bezüglich der Windrichtungs-, Windgeschwindigkeits- und Stabilitätsverteilung am ehesten entspricht.

Im vorliegenden Fall geschieht die Ermittlung eines repräsentativen Jahres in Anlehnung an das Verfahren AKJahr, das vom Deutschen Wetterdienst verwendet und in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 [3] veröffentlicht wurde.

Bei diesem Auswahlverfahren handelt es sich um ein objektives Verfahren, bei dem die Auswahl des zu empfehlenden Jahres hauptsächlich auf der Basis der Resultate zweier statistischer Prüfverfahren geschieht. Die vorrangigen Prüfkriterien dabei sind Windrichtung und Windgeschwindigkeit, ebenfalls geprüft werden die Verteilungen von Ausbreitungsklassen und die Richtung von Nacht- und Schwachwinden. Die Auswahl des repräsentativen Jahres erfolgt dabei in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten. Diese sind in den folgenden Abschnitten erklärt.

4.1 Bewertung der vorliegenden Datenbasis und Auswahl eines geeigneten Zeitraums

Um durch Einflüsse wie z. B. durch ungeeignete Eingangsdaten oder Modellartefakte hervorgerufene Unstetigkeiten innerhalb der betrachteten Datenbasis weitgehend auszuschließen, werden die Zeitreihen zunächst auf Homogenität geprüft. Dazu werden die Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse herangezogen.

Für die Bewertung der Windrichtungsverteilung werden insgesamt 12 Sektoren mit einer Klassenbreite von je 30° gebildet. Es wird nun geprüft, ob bei einem oder mehreren Sektoren eine sprunghafte Änderung der relativen Häufigkeiten von einem Jahr zum anderen vorhanden ist. „Sprunghafte Änderung“ bedeutet dabei eine markante Änderung der Häufigkeiten, die die normale jährliche Schwankung deutlich überschreitet, und ein Verbleiben der Häufigkeiten auf dem neu erreichten Niveau über die nächsten Jahre. Ist dies der Fall, so wird im Allgemeinen von einer Inhomogenität ausgegangen und die zu verwendende Datenbasis entsprechend gekürzt.

Eine analoge Prüfung wird anhand der Windgeschwindigkeitsverteilung durchgeführt, wobei eine Aufteilung auf die Geschwindigkeitsklassen der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 6 erfolgt. Schließlich wird auch die Verteilung der Ausbreitungsklassen im zeitlichen Verlauf über den Gesamtzeitraum untersucht.

Im vorliegenden Fall sollte ein repräsentatives Jahr ermittelt werden, für das auch Niederschlagsdaten aus dem RESTNI-Datensatz des Umweltbundesamtes zur Verfügung stehen. Ziel des Projektes RESTNI (Regionalisierung stündlicher Niederschläge zur Modellierung der nassen Deposition) an der Leibniz Universität Hannover war es gewesen, räumlich hochaufgelöste, modellierte Niederschlagsdaten für ganz Deutschland bereitzustellen. Diese Daten existieren derzeit noch nur für die Jahre 2006 bis 2015 („UBA-Jahre“). Nur aus diesem Zeitraum konnte das repräsentative Jahr gewählt werden.

Weil der UBA-Zeitraum mittlerweile schon länger zurückliegt, wurde das Verfahren wie folgt modifiziert: Es wird zwischen dem Auswahlzeitraum und dem Repräsentationszeitraum unterschieden. Der Auswahlzeitraum ist derjenige, aus dem das repräsentative Jahr ausgewählt werden kann; dieses ist hier der UBA-Zeitraum. Der Repräsentationszeitraum ist derjenige, anhand dessen die langjährig gemittelten Zielgrößen bestimmt werden, denen das repräsentative Jahr dann möglichst nahekommen soll. Also derjenige Zeitraum, den das repräsentative Jahr dann repräsentiert. Beider Anfang wird hier identisch gewählt, aber der Repräsentationszeitraum dann so weit als möglich bis in die Gegenwart verlängert. Das auf diese Weise ermittelte Jahr repräsentiert dann einen aktuelleren Gesamtzeitraum als nur den UBA-Zeitraum.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Test auf Homogenität der modellierten Daten über die letzten Jahre für den betrachteten Aufpunkt.

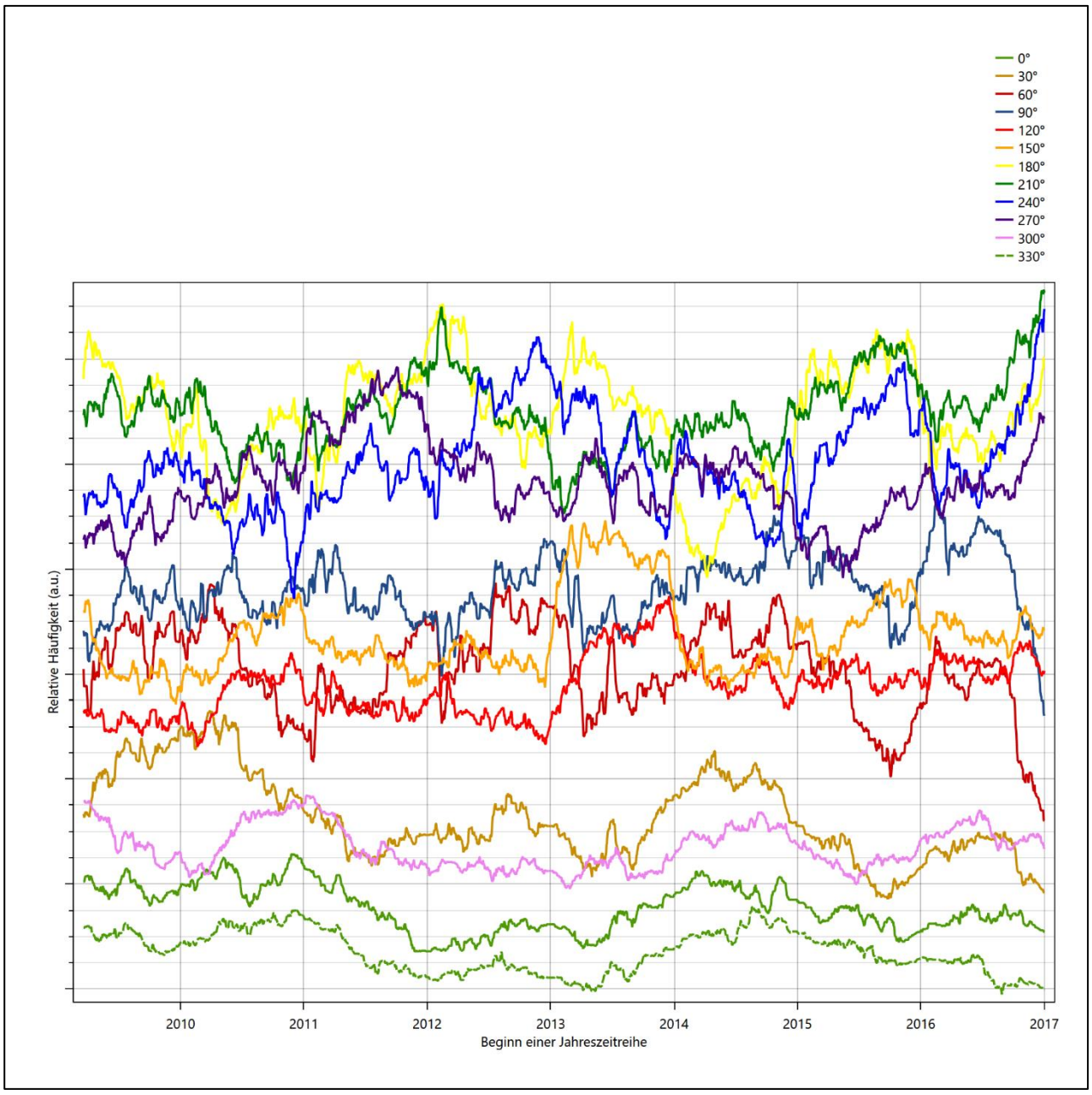


Abbildung 13: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Windrichtungsverteilung

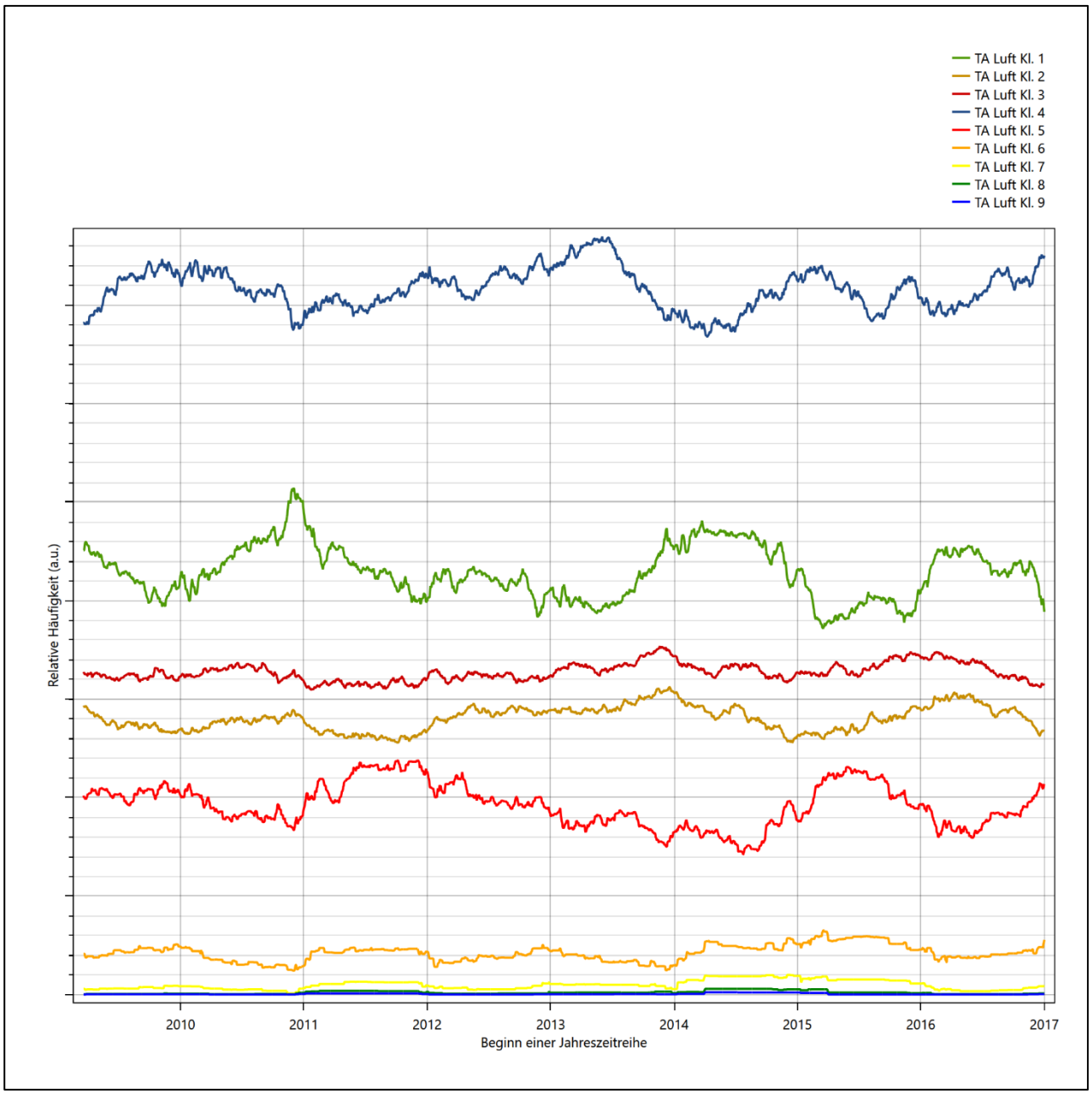


Abbildung 14: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Windgeschwindigkeitsverteilung

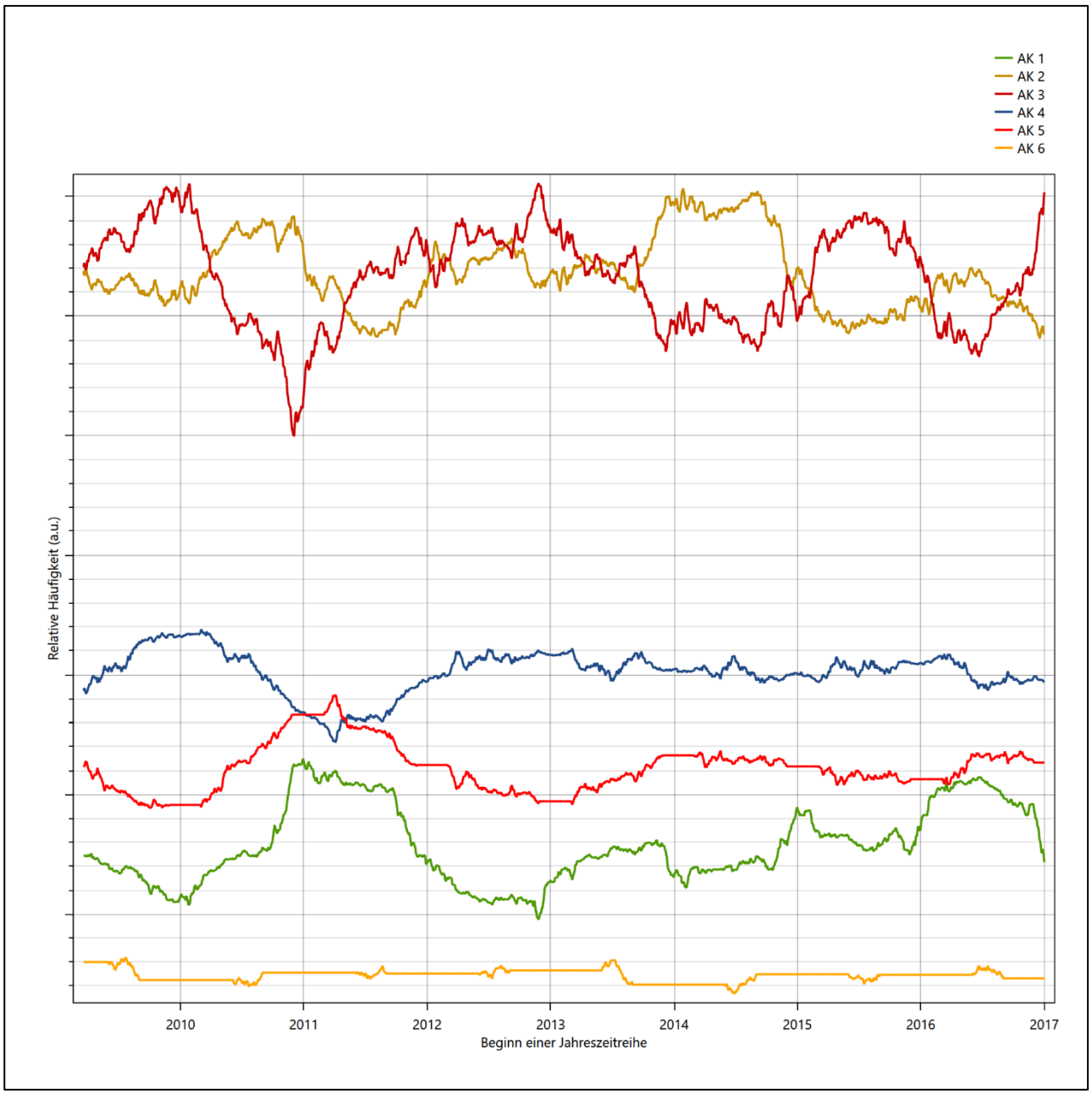


Abbildung 15: Prüfung auf vollständige und homogene Daten der modellierten Daten anhand der Verteilung der Ausbreitungsklasse

Für die Bestimmung eines repräsentativen Jahres werden Daten aus einem Gesamtzeitraum mit homogener Datenbasis vom 20.03.2009 bis zum 01.01.2018 verwendet.

Wie aus den Grafiken erkennbar ist, gab es im untersuchten Zeitraum keine systematischen bzw. tendenziellen Änderungen an der modellierten Windrichtungsverteilung und der Windgeschwindigkeitsverteilung. Die Datenbasis ist also homogen und lang genug, um ein repräsentatives Jahr auszuwählen.

4.2 Analyse der Verteilungen von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Ausbreitungsklasse sowie der Nacht- und Schwachwinde

In diesem Schritt werden die bereits zum Zwecke der Homogenitätsprüfung gebildeten Verteilungen dem χ^2-Test zum Vergleich empirischer Häufigkeitsverteilungen unterzogen.

Bei der Suche nach einem repräsentativen Jahr werden dabei alle Zeiträume untersucht, die an den einzelnen Tagen des Gesamtzeitraumes beginnen und jeweils 365 Tage lang sind. Die Einzelzeiträume müssen dabei nicht unbedingt einem Kalenderjahr entsprechen. Eine Veröffentlichung dazu [5] hat gezeigt, dass bei tageweise gleitender Auswahl des Testdatensatzes die Ergebnisse hinsichtlich der zeitlichen Repräsentativität besser zu bewerten sind als mit der Suche nur nach Kalenderjahren.

Im Einzelfall sollte im Hinblick auf die Vorgaben von TA Luft und BImSchG dabei geprüft werden, ob bei gleitender Auswahl ein Konflikt mit Zeitbezügen entsteht, die ausdrücklich für ein Kalenderjahr definiert sind. Für den Immissions-Jahreswert nach Kapitel 2.3 der TA Luft trifft dies nicht zu, er ist als Mittelwert über ein Jahr (und nicht unbedingt über ein Kalenderjahr) zu bestimmen. Hingegen sind Messwerte für Hintergrundbelastungen aus Landesmessnetzen oft für ein Kalenderjahr ausgewiesen. Diese Messwerte wären dann nicht ohne weiteres mit Kenngrößen vergleichbar, die für einen beliebig herausgegriffenen Jahreszeitraum berechnet wurden. Nach Kenntnis des Gutachters liegt ein solcher Fall hier nicht vor.

Bei der gewählten Vorgehensweise werden die χ^2-Terme der Einzelzeiträume untersucht, die sich beim Vergleich mit dem Gesamtzeitraum ergeben. Diese Terme lassen sich bis zu einem gewissen Grad als Indikator dafür ansehen, wie ähnlich die Einzelzeiträume dem mittleren Zustand im Gesamtzeitraum sind. Dabei gilt, dass ein Einzelzeitraum dem mittleren Zustand umso näherkommt, desto kleiner der zugehörige χ^2-Term (die Summe der quadrierten und normierten Abweichungen von den theoretischen Häufigkeiten entsprechend dem Gesamtzeitraum) ist. Durch die Kenntnis dieser einzelnen Werte lässt sich daher ein numerisches Maß für die Ähnlichkeit der Einzelzeiträume mit dem Gesamtzeitraum bestimmen.

In Analogie zur Untersuchung der Windrichtungen wird ebenfalls für die Verteilung der Windgeschwindigkeiten (auf die TA Luft-Klassen, siehe oben) ein χ^2-Test durchgeführt. So lässt sich auch für die Windgeschwindigkeitsverteilung ein Maß dafür finden, wie ähnlich die ein Jahr langen Einzelzeiträume dem Gesamtzeitraum sind.

Weiterhin wird die Verteilung der Ausbreitungsklassen in den Einzelzeiträumen mit dem Gesamtzeitraum verglichen.

Schließlich wird eine weitere Untersuchung der Windrichtungsverteilung durchgeführt, wobei jedoch das Testkollektiv gegenüber der ersten Betrachtung dieser Komponente dadurch beschränkt wird, dass ausschließlich Nacht- und Schwachwinde zur Beurteilung herangezogen werden. Der Einfachheit halber wird dabei generell der Zeitraum zwischen 18:00 und 6:00 Uhr als Nacht definiert, d.h. auf eine jahreszeitliche Differenzierung wird verzichtet. Zusätzlich darf die Windgeschwindigkeit 3 m/s während dieser nächtlichen Stunden nicht überschreiten. Die bereits bestehende Einteilung der Windrichtungssektoren bleibt hingegen ebenso unverändert wie die konkrete Anwendung des χ^2-Tests.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen stehen für die einzelnen Testzeiträume jeweils vier Zahlenwerte zur Verfügung, die anhand der Verteilung von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Ausbreitungsklasse und der Richtung von Nacht- und Schwachwinden die Ähnlichkeit des Testzeitraumes mit dem Gesamtzeitraum ausdrücken. Um daran eine abschließende Bewertung vornehmen zu können, werden die vier Werte gewichtet addiert, wobei die Windrichtung mit 0,36, die Windgeschwindigkeit mit 0,24, die Ausbreitungsklasse mit 0,25

und die Richtung der Nacht- und Schwachwinde mit 0,15 gewichtet wird. Die Wichtefaktoren wurden aus der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 [3] entnommen. Als Ergebnis erhält man einen Indikator für die Güte der Übereinstimmung eines jeden Testzeitraumes mit dem Gesamtzeitraum.

In der folgenden Grafik ist dieser Indikator dargestellt, wobei auch zu erkennen ist, wie sich dieser Wert aus den einzelnen Gütemaßen zusammensetzt. Auf der Abszisse ist jeweils der Beginn des Einzelzeitraums mit einem Jahr Länge abgetragen.

Endlich wird derjenige Testzeitraum gesucht, dessen gewichtete χ^2-Summe *innerhalb des UBA-Zeitraumes* den kleinsten Wert annimmt (vertikale Linie). Diese Jahreszeitreihe ist unter allen im UBA-Zeitraum verfügbaren als diejenige anzusehen, die dem gesamten Repräsentationszeitraum im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen am ähnlichsten ist. Sie beginnt im vorliegenden Fall am 26.07.2010 und läuft dann bis zum 25.07.2011. Das ist die hier ermittelte repräsentative Jahreszeitreihe.

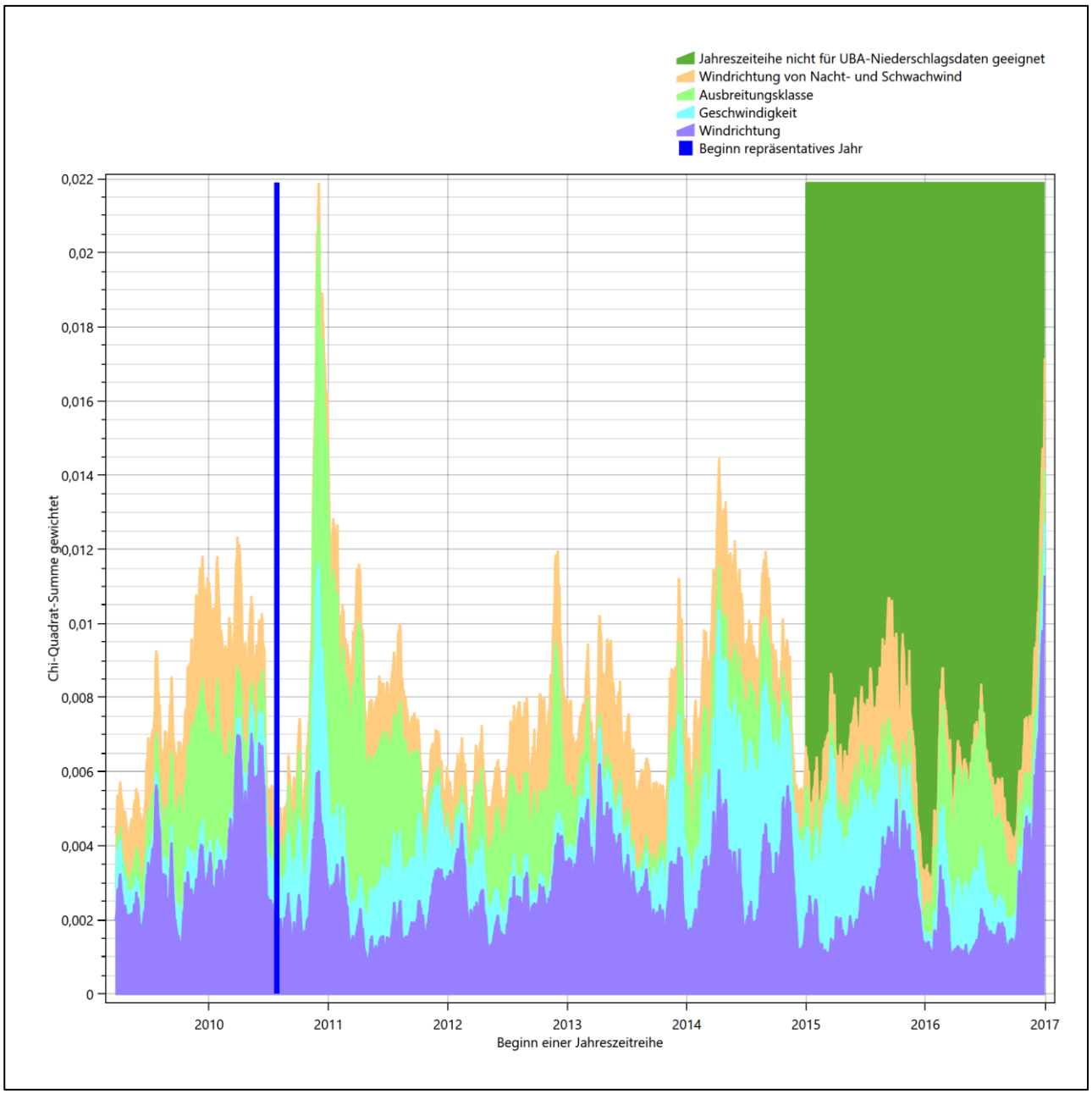


Abbildung 16: Gewichtete χ^2-Summe und Einzelwerte als Maß für die Ähnlichkeit der einzelnen Testzeiträume zu je einem Jahr (Jahreszeitreihe) mit dem Gesamtzeitraum

4.3 Prüfung auf Plausibilität

Der im vorigen Schritt innerhalb des UBA-Zeitraumes gefundene Testzeitraum mit der größten Ähnlichkeit zum Gesamtzeitraum erstreckt sich vom 26.07.2010 bis zum 25.07.2011. Inwieweit diese Jahreszeitreihe tatsächlich für den Gesamtzeitraum repräsentativ ist, soll anhand einer abschließenden Plausibilitätsprüfung untersucht werden.

Dazu sind in den folgenden Abbildungen die Verteilungen der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit, der Ausbreitungsklasse und der Richtung von Nacht- und Schwachwinden für die ausgewählte Jahreszeitreihe dem Gesamtzeitraum gegenübergestellt.

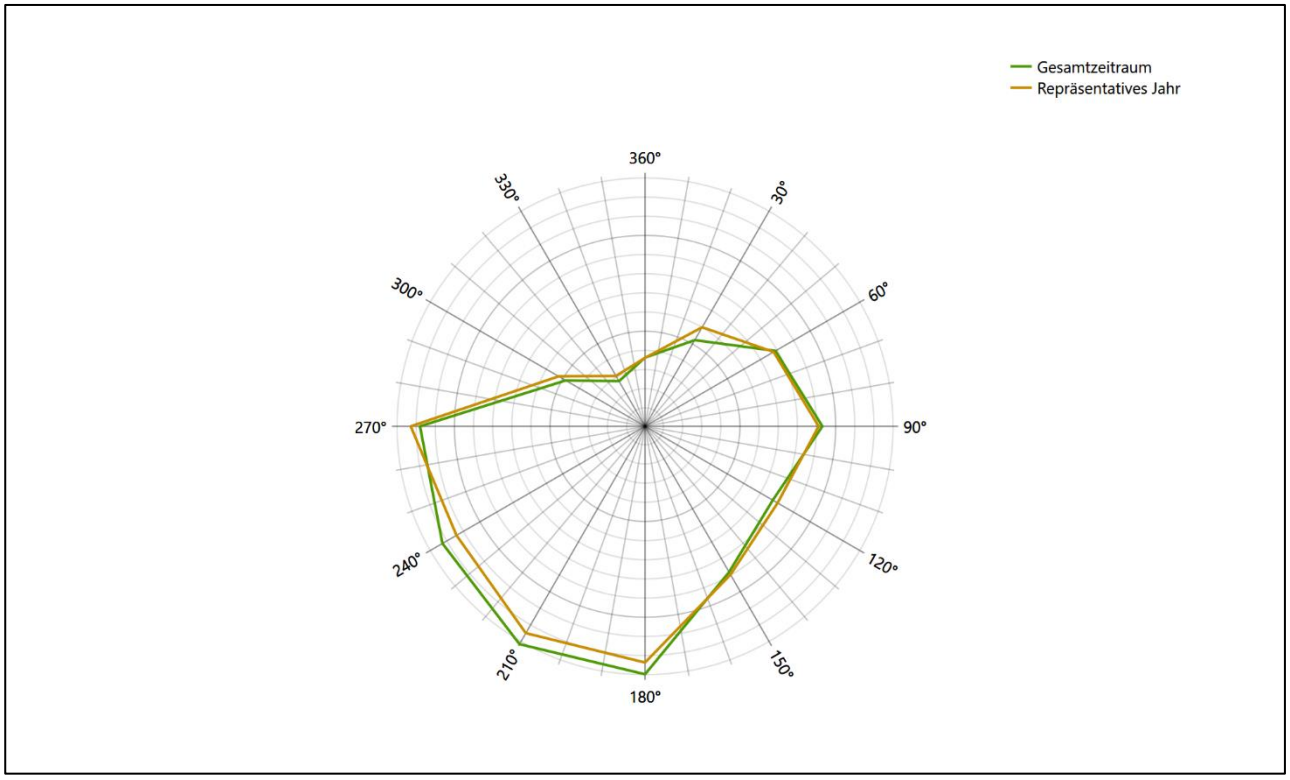


Abbildung 17: Vergleich der Windrichtungsverteilung für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum

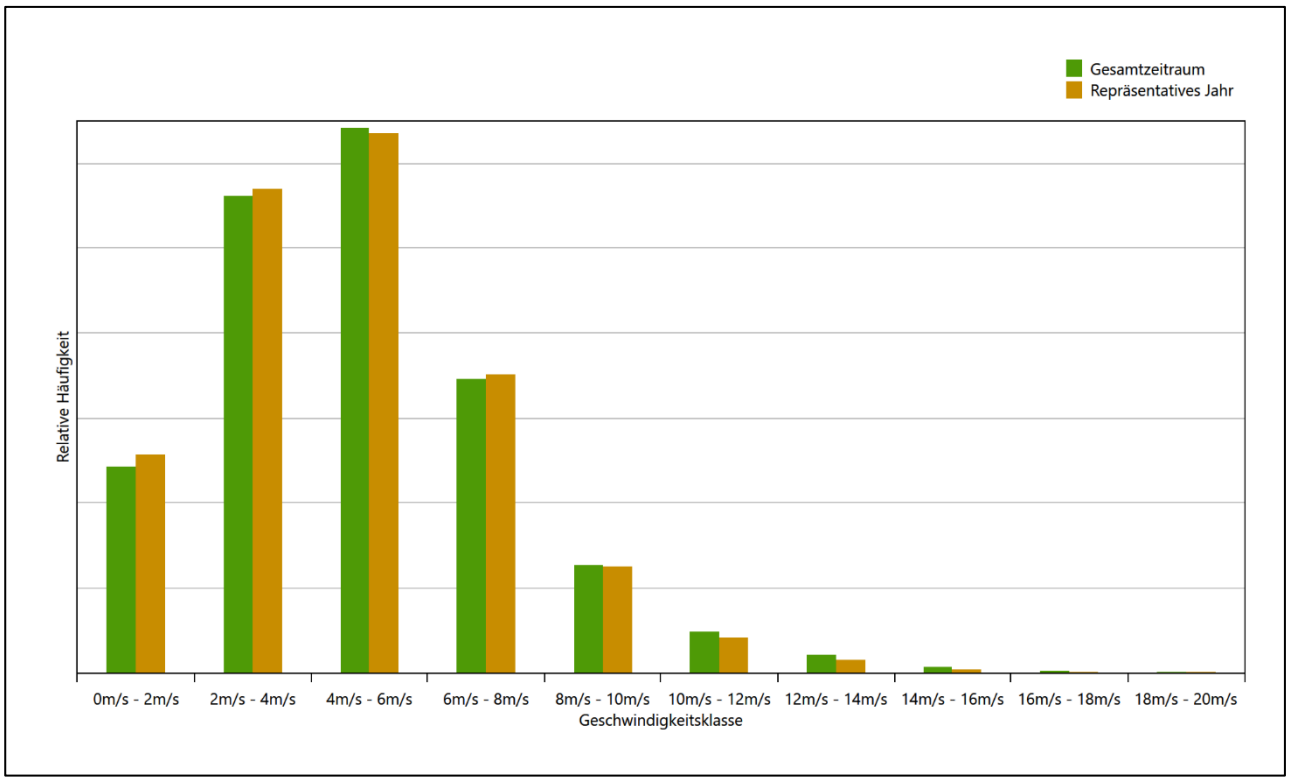


Abbildung 18: Vergleich der Windgeschwindigkeitsverteilung für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum

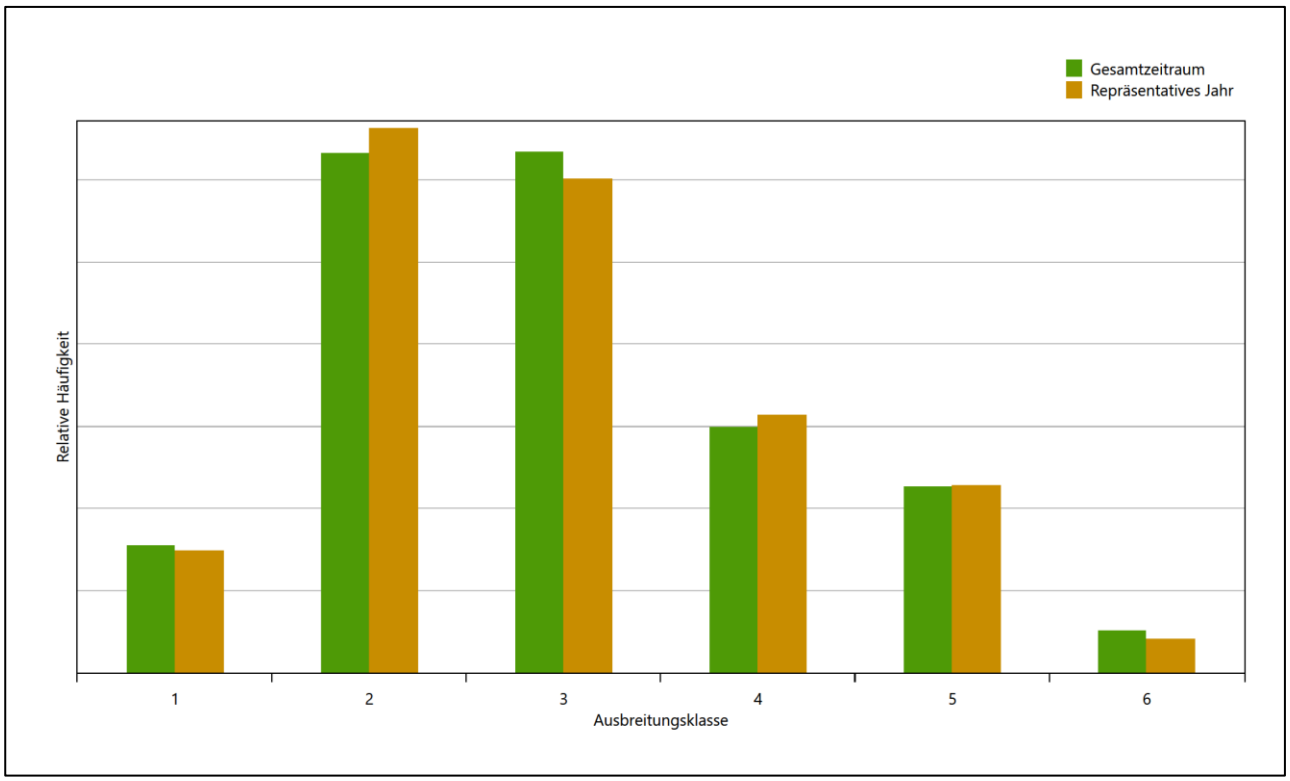


Abbildung 19: Vergleich der Verteilung der Ausbreitungsklasse für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum

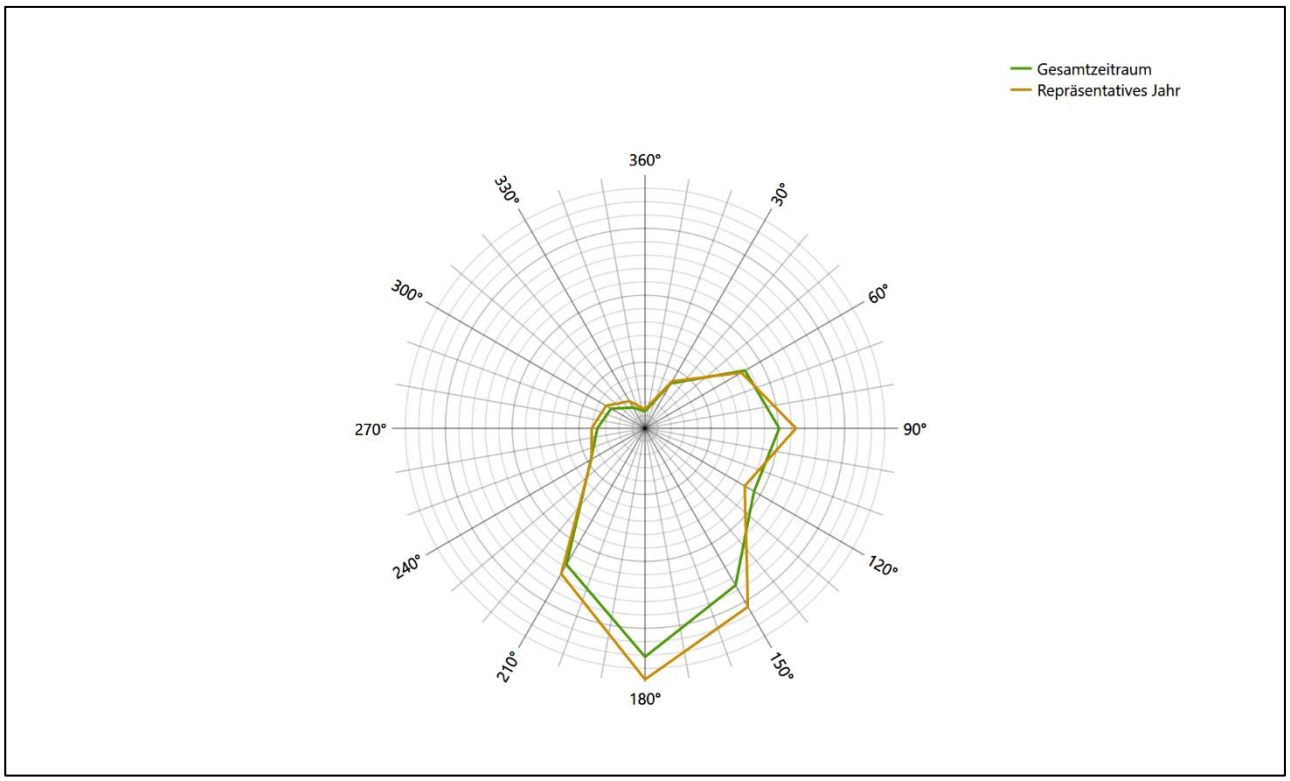


Abbildung 20: Vergleich der Richtungsverteilung von Nacht- und Schwachwinden für die ausgewählte Jahreszeitreihe mit dem Gesamtzeitraum

Anhand der Grafiken ist erkennbar, dass sich die betrachteten Verteilungen für die ausgewählte Jahreszeitreihe kaum von denen des Gesamtzeitraumes unterscheiden.

Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Zeitraum vom 26.07.2010 bis zum 25.07.2011 ein repräsentatives Jahr für den Aufpunkt im betrachteten Gesamtzeitraum vom 20.03.2009 bis zum 01.01.2018 ist.

5 Beschreibung der Datensätze

5.1 Rechnerische Anemometerhöhen in Abhängigkeit von der Rauigkeitsklasse

Die für Ausbreitungsrechnungen notwendigen Informationen zur Anpassung der Windgeschwindigkeiten an die unterschiedlichen mittleren aerodynamischen Rauigkeiten zwischen dem Aufpunkt der Datenmodellierung und der Ausbreitungsrechnung werden durch die Angabe von 9 Anemometerhöhen in der Zeitreihendatei gegeben.

Je nachdem, wie stark sich die Rauigkeit am Aufpunkt für die Modellierung von der für die Ausbreitungsrechnung am Standort verwendeten Rauigkeit unterscheiden, werden die Windgeschwindigkeiten implizit skaliert. Dies geschieht nicht durch formale Multiplikation aller Geschwindigkeitswerte mit einem geeigneten Faktor, sondern durch die Annahme, dass die modellierte Geschwindigkeit nach Übertragung an die EAP dort einer größeren oder kleineren (oder im Spezialfall auch derselben) Anemometerhöhe zugeordnet wird. Über das logarithmische Windprofil in Bodennähe wird durch die Verschiebung der Anemometerhöhe eine Skalierung der Windgeschwindigkeiten im berechneten Windfeld herbeigeführt.

Die aerodynamisch wirksame Rauigkeitslänge am Aufpunkt der Modellierung wurde über ein Gebiet mit Radius von 3 km ermittelt, wobei für jede Anströmrichtung die Rauigkeit im zugehörigen Sektor mit der relativen Häufigkeit der Anströmung aus diesem Sektor gewichtet wurde. Im vorliegenden Fall ergibt das im betrachteten Zeitraum einen Wert von 0,125 m. Daraus ergeben sich die folgenden, den Rauigkeitsklassen der TA Luft zugeordneten Anemometerhöhen. Das Berechnungsverfahren dazu wurde der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 8 [6] entnommen.

Tabelle 3: Rechnerische Anemometerhöhen in Abhängigkeit von der Rauigkeitsklasse

Rauigkeitsklasse [m]:	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	1,50	2,00
Anemometerhöhe [m]:	8,3	10,1	13,0	15,9	19,6	26,3	33,4	38,9	43,6

5.2 Ausbreitungsklassenzeitreihe

Aus den modellierten Werten für Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Bedeckung wurde eine Ausbreitungsklassenzeitreihe gemäß den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 6 erstellt. Die meteorologischen Daten werden als Stundenmittel angegeben, wobei die Windgeschwindigkeit vektoriell gemittelt wird. Die Verfügbarkeit der Daten soll nach TA Luft mindestens 100 % der Jahresstunden betragen. Im vorliegenden Fall wurde eine Verfügbarkeit von 100 % bezogen auf das repräsentative Jahr erreicht.

Die rechnerischen Anemometerhöhen wurden im Dateikopf hinterlegt.

6 Hinweise für die Ausbreitungsrechnung

Die Modellierung der meteorologischen Daten wurde für einen Aufpunkt etwa 680 m westlich des Standortes durchgeführt. Dieser Punkt wurde mit einem Rechenverfahren ermittelt, und es empfiehlt sich, diesen Punkt auch als Ersatzanemometerposition bei einer entsprechenden Ausbreitungsrechnung zu verwenden. Dadurch erhalten die meteorologischen Daten einen sachgerecht gewählten Ortsbezug im Rechengebiet der Ausbreitungsberechnung.

Bei der Ausbreitungsrechnung ist es wichtig, eine korrekte Festlegung der Bodenrauigkeit vorzunehmen, die die umgebende Landnutzung entsprechend würdigt. Nur dann kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Windgeschwindigkeiten sachgerecht auf die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet skaliert werden.

7 Zusammenfassung

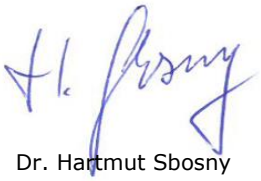
Für den zu untersuchenden Standort bei Steinegaden wurden modellierte meteorologische Daten bereitgestellt, die für eine Ausbreitungsberechnung nach Anhang 2 der TA Luft geeignet sind.

Der berechnete Satz modellierter Daten wurde für die UTM-Koordinaten 32571423, 5275998 erstellt.

Als repräsentatives Jahr für die modellierten meteorologischen Daten wurde aus einem Gesamtzeitraum der Zeitraum 26.07.2010 bis zum 25.07.2011 ermittelt.

Frankenberg, am 10. April 2024

Dipl.-Phys. Thomas Köhler
- erstellt -



Dr. Hartmut Sbosny
- freigegeben -

8 Prüfliste für die Übertragbarkeitsprüfung

Die folgende Prüfliste orientiert sich an Anhang B der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 [3] und soll bei der Prüfung des vorliegenden Dokuments Hilfestellung leisten.

Abschnitt in VDI 3783 Blatt 20	Prüfpunkt	Entfällt	Vorhanden	Abschnitt/ Seite im Dokument
5	**Allgemeine Angaben**			
	Art der Anlage		☒	1 / 5
	Lage der Anlage mit kartografischer Darstellung		☒	2.1 / 6
	Höhe der Quelle(n) über Grund und NHN		☒	1 / 5
6.4	**Repräsentatives Jahr**			
	Bei Auswahl eines repräsentativen Jahres: Auswahlverfahren dokumentiert und dessen Eignung begründet	☐	☒	4 / 23
	Bei Auswahl eines repräsentativen Jahres: Angabe, ob bei Auswahl auf ein Kalenderjahr abgestellt wird oder nicht (beliebiger Beginn der Jahreszeitreihe)	☐	☒	4.2 / 28
	Bei Auswahl eines repräsentativen Jahres: Messzeitraum mindestens 5 Jahre lang und bei Bearbeitungsbeginn nicht mehr als 15 Jahre zurückliegend	☐	☒	4.1 / 23
7.1	**Erstellung des Zieldatensatzes**			
	Anemometerhöhen in Abhängigkeit von den Rauigkeitsklassen nach TA Luft in Zieldatensatz integriert		☒	5.1 / 35
	Bei Verwendung von Stabilitätsinformationen, die nicht an der Bezugswindstation gewonnen wurden: Herkunft der Stabilitätsinformationen dokumentiert und deren Eignung begründet	☒	☐	
	Sonstiges			
7.2	Bei Besonderheiten im Untersuchungsgebiet: Hinweise für die Ausbreitungsrechnung und Angaben, unter welchen Voraussetzungen die Verwendung der bereitgestellten meteorologischen Daten zu sachgerechten Ergebnissen im Sinne des Anhangs zur Ausbreitungsrechnung der TA Luft führt	☐	☒	6 / 36

9 Schrifttum

[1] Statistisches Bundesamt, *Daten zur Bodenbedeckung für die Bundesrepublik Deutschland,* Wiesbaden.

[2] VDI 3783 Blatt 16 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeterorologie - Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle - Verfahren zur Anwendung in Genehmigungsverfahren nach TA Luft,* Berlin: Beuth-Verlag, vom März 2017; in aktueller Fassung.

[3] VDI 3783 Blatt 20 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeteorologie - Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten zur Anwendung im Rahmen der TA Luft,* Berlin: Beuth-Verlag, vom März 2017; in aktueller Fassung.

[4] D. Öttl, „Documentation of the prognostic mesoscale model GRAMM (Graz Mesoscale Model) Vs. 17.1," Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, 2017.

[5] R. Petrich, „Praktische Erfahrungen bei der Prüfung der Übertragbarkeit meteorologischer Daten nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 (E)," *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft,* pp. 311 - 315, 07/08 2015.

[6] VDI 3783 Blatt 8 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeterorologie - Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle (Entwurf),* Berlin: Beuth-Verlag, vom April 2017; in aktueller Fassung.

[7] VDI 3783 Blatt 10 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeteorologie - Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle - Gebäude und Hindernisumströmung,* Berlin: Beuth-Verlag, vom März 2010; in aktueller Fassung.

[8] VDI 3783 Blatt 13 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeterorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsprognose - Anlagenbezogener Immissionsschutz Ausbreitungsrechnungen gemäß TA Luft,* Berlin: Beuth-Verlag, vom Januar 2010; in aktueller Fassung.

[9] VDI 3783 Blatt 21 - Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung meteorolgischer Daten für die Ausbreitungsrechnung nach TA Luft und GIRL,* Berlin: Beuth-Verlag, vom März 2017; in aktueller Fassung.

[10] Deutscher Wetterdienst, „Climate Data Center, CDC-Newsletter 6," Offenbach, 2017.

[11] TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz,* vom 14. September 2021; in aktueller Fassung.