

# ENERGIESPEICHER RIEDL

**DONAU-  
KRAFTWERK  
JOCHENSTEIN  
AKTIENGESELLSCHAFT**

# Planfeststellungsverfahren Gutachten



# Expertise zum Bemessungswind über der geplanten Stauanlage Oberbecken des PSW „Energiespeicher Riedl“



Erstellt	Deutscher Wetterdienst	P.-H. Voß	02.03.2011
Geprüft	Deutscher Wetterdienst	J. Hessel	02.03.2011
Freigegeben	DKJ/ ES-R	D. Mayr	29.03.2011
	Unternehmen / Abteilung	Vorname Nachname	Datum



# DEUTSCHER WETTERDIENST

Abteilung Klima- und Umweltberatung

## AMTLICHES GUTACHTEN

**Expertise  
zum Bemessungswind über der geplanten  
Stauanlage Oberbecken des PSW „Energiespeicher Riedl“**

Auftraggeber: Donaukraftwerk Jochenstein AG  
94036 Passau

Anzahl der Seiten (gesamt) 38  
Anzahl der Tabellen 8  
Anzahl der Abbildungen 6

Offenbach/M., den 02.03.2011

Dipl.-Met. Johann Hessel  
Leiter des Zentralen Klimabüros



Pete-Hinrich Voß  
Dipl.-Met. Peter-Hinrich Voß  
Gutachter

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

Inhalt	Seite
<b>1</b> <b>Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2</b> <b>Lösungsweg</b>	<b>5</b>
<b>3</b> <b>Standortbeschreibung der Stauanlage</b>	<b>6</b>
<b>4</b> <b>Verfahren zur Bestimmung der Extremwindgeschwindigkeiten</b>	<b>7</b>
4.1 Gumbel-Verteilung	7
4.2 Umrechnung der extremen Stundenmittel auf andere Mittelungsintervalle	8
<b>5</b> <b>Meteorologische Datenbasis</b>	<b>8</b>
5.1 Winddaten des DWD	8
5.2 Die ausgewählte Windmessstation	8
5.3 Die Windverhältnisse an der Messstation	10
<b>6</b> <b>Übertragung der Windmessdaten auf die Stauanlage</b>	<b>10</b>
6.1 Die Methode	10
6.2 Korrekturen der Stationsdaten	12
6.2.1 Das WAsP-Verfahren und das Wieringa-Verfahren	12
6.2.2 Erläuterung des Verfahrens	13
6.3 Standortbezogene Korrekturen	13
6.3.1 Das Modell MUKLIMO_3	14
6.3.2 Höhen- und Landnutzungsdaten	14
6.3.3 Erläuterung des Verfahrens	15
6.4 Übertragungsfaktoren für die Windmessdaten	17
<b>7</b> <b>Extremwerte der Windgeschwindigkeit an der Stauanlage</b>	<b>17</b>
<b>8</b> <b>Zusammenfassung</b>	<b>19</b>
<b>9</b> <b>Literatur</b>	<b>20</b>
<b>10</b> <b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis</b>	<b>21</b>
10.1 Tabellen	21
10.2 Abbildungen	21
<b>Tabellen und Abbildungen (siehe folgende Seiten)</b>	<b>22</b>

**ANHANG**

<b>Das meteorologische Element Wind</b>	<b>34</b>
1 <b>Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge</b>	<b>34</b>
2 <b>Der Einfluss der thermischen Schichtung auf den Wind</b>	<b>35</b>
3 <b>Der Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf den Wind</b>	<b>36</b>
4 <b>Der Einfluss des Geländes auf den Wind</b>	<b>36</b>

## 1 Aufgabenstellung

Die Donaukraftwerk Jochenstein AG (DKJ) plant für ein zukünftiges Pumpspeicherkraftwerk die Errichtung des Oberbeckens „Energiespeicher Riedl“ nahe der Ortschaft Riedl in der Gemeinde Untergriesbach. Das Vorhaben befindet sich im unmittelbaren Umfeld des bestehenden Donau – Laufkraftwerkes „Jochenstein“ gänzlich auf deutschem Staatsgebiet (Bayern) in unmittelbarer Nähe zu Österreich. Die Donaukraftwerk Jochenstein AG (DKJ) in 94036 Passau hat den Deutschen Wetterdienst (DWD) am 08. September 2010 mit einem Gutachten zum Bemessungswind für das Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ (auch: Stauanlage PSW Oberbecken Riedl, Stauanlage OB Riedl oder OB Riedl) beauftragt. Dabei wird untersucht, welche Windgeschwindigkeiten für die Freibordbemessung dieser Stauanlage maßgeblich sind.

In dem DVWK-Merkblatt zur Berechnung der Freibordhöhe (DVWK, 1997) wird der "Bemessungswind" als die "maßgebende Windgeschwindigkeit" erläutert.

Nach Punkt 3.4 im DVWK (1997) ist *die Bemessungwindgeschwindigkeit  $w_{10}$  diejenige - in einer Höhe von 10 Metern über der Wasseroberfläche angegebene - auf das Absperrbauwerk einer Stauanlage gerichtete Windgeschwindigkeit, von der angenommen wird, dass sie gleichzeitig mit dem maßgebenden Bemessungswasserstand eintritt*. Unter dem "Bemessungswasserstand" wird dabei "das höchste Stauziel beim Abfluss des Bemessungshochwassers" verstanden (Pkt. 3.2 im DVWK, 1997).

Nach Punkt 4.1.1 im DVWK (1997) soll *die Wiederkehrzeit ("Wiederholungszeitspanne") für das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit  $w_{10}$  zwischen 10 und 50 Jahren liegen*. Es wird empfohlen, *die maßgebende Windgeschwindigkeit  $w_{10}$  auf der Grundlage einer langjährigen Messreihe als Extremwert unter Verwendung eines Wiederkehrintervalls von 25 Jahren zu bestimmen*.

Entsprechend Anlage 1 des DVWK (1997) und in Abstimmung mit dem Auftraggeber soll das Gutachten insbesondere enthalten:

- richtungsabhängige Extremwerte für Wiederkehrzeiten von 10, 25 und 50 Jahren - sowie zusätzlich für eine Wiederkehrzeit von 2 Jahren
- und richtungsabhängige Häufigkeitsverteilungen für Windgeschwindigkeiten  $w_{10} \geq 15 \text{ m/s}$ .

Die Auswertungen auf der Grundlage der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit sollen repräsentativ für den Standort der Stauanlage sein.

## 2 Lösungsweg

Im Kapitel 4 wird die Methode der Extremwertberechnung beschrieben und es werden Hinweise zur Umrechnung der extremen Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Winddaten mit kürzerem Mittelungsintervall (z.B. 10-Minuten-Mittel) gegeben.

Als Datenbasis für die vorliegende Untersuchung wird die 14-jährige Windmessreihe der Wetterstation Passau-Fürstenzell herangezogen (Kapitel 5). Um aus dieser Zeitreihe der Windmessdaten die richtungsabhängigen 2- bis 50-Jahreswinde (höchster Wert der Windgeschwindigkeit, der in 2 bzw. 50 Jahren einmal erreicht oder überschritten wird) bestimmen zu können, wird entsprechend den nachfolgend skizzierten Schritten vorgegangen.

- Die an der Wetterstation gemessenen Winddaten werden bezüglich Störungen der Exposition (asymmetrische Rauigkeitsverteilung, Einzelhindernisse im Nahbereich) korrigiert. Hierbei kommt das WAsP-Verfahren und das Wieringa Verfahren zum Einsatz (Kapitel 6.2).
- Im nächsten Schritt wird diese korrigierte Messreihe unter Berücksichtigung der lokalen topographischen Verhältnisse auf den Standort der Stauanlage (10 m über der Wasseroberfläche) übertragen. Zur Bestimmung der Übertragungsfaktoren werden Rechnungen mit dem Modell MUKLIMO\_3 durchgeführt (Kapitel 6.3).

Aus der so übertragenen Windmessreihe lässt sich

- die richtungsabhängige Häufigkeitsverteilung für Windgeschwindigkeiten  $w_{10} \geq 15 \text{ m/s}$  erstellen
- sowie die je Richtungssektor ermittelten Jahresextremwerte der Windgeschwindigkeit mit einer geeigneten theoretischen Verteilungsfunktion approximieren und hieraus die jeweils zugehörigen Maximalwindgeschwindigkeiten für Wiederkehrintervalle von 2, 10, 25 und 50 Jahren bestimmen (Kapitel 7).

Die Ergebnisse werden im Kapitel 8 zusammen gefasst. Die Kapitel 9 und 10 enthalten das Literaturverzeichnis bzw. das Tabellen- und Abbildungsverzeichnis. Die Tabellen und Abbildungen sind dem Gutachten angefügt.

In Abweichung zu DVWK (1997) wird in diesem Gutachten - wie in der Meteorologie üblich - für die Windgeschwindigkeit die Variable  $v$  verwendet.

Die zwölf richtungsbezogenen Extremwerte der Windgeschwindigkeit werden sich auf überlappende 90-Grad-Sektoren beziehen, um eine größere Datensicherheit zu erreichen.

Im Anhang werden die meteorologischen Grundlagen zum Windfeld in der bodennahen Luftsicht erläutert und eine tabellarische Übersicht der verwendeten Bezeichnungen und Gradeneinteilungen der Windrichtungssektoren gegeben.

### 3 Standortbeschreibung der Stauanlage

Für die nachfolgende Standortbeschreibung stellte der Auftraggeber Amtliche Topographische Karten 1 : 10.000 sowie Fotos und Broschüren mit allgemeinen technischen Angaben zur Stauanlage zur Verfügung.

Das Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ (RW 46 27 475, HW 53 78 175) befindet sich in exponierter Lage auf der Wegscheider Hochfläche, die nördlich des Donaudurchbruchs bei Engelhartszell im südöstlichsten Teil des Bayerischen Waldes ausläuft. Es liegt etwa 21 km ostsüdöstlich der Stadt Passau, etwa 7 km südöstlich der Stadt Untergriesbach sowie ca. 1,5 km nordöstlich des an der Donau gelegenen Kraftwerks Jochenstein. Das in der „Riedler Mulde“ südwestlich der Ortschaft Gottsdorf und nördlich der Ortschaft Riedl geplante Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ ist im Nahbereich von 500 m eingebettet zwischen flache das Becken nur geringfügig überragende Hügel. So z.B. die des Mühlbergs (655 m über NN) im Nordosten und des Eichenbichels (640 m über NN) im Westnordwesten. Nur in Richtung Norden und vor allem in Richtung Südwesten bis Westsüdwesten vom Speichersee aus gesehen steigt das Gelände stärker an. Hier finden sich der Höhenberg (762 m Höhe über NN) und Vorholzberg (745 m Höhe über NN) in ca. 1,5 km und 3,5 km Entfernung im Norden sowie in Richtung Südwesten jenseits des Donautals der mit bis zu 890 m Höhe über NN mächtige und nach Südwesten abschirmende Haugstein-Rücken in ca. 4,5 km Entfernung. Das Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ liegt ca. 1,4 km nördlich und 350 m oberhalb des mit 280 m Höhe über NN tief eingeschnittenen Donauniveaus (Unterbecken) des Kraftwerks Jochenstein.

Bei Vollstau mit einem Stauziel von 630 m ü. NN weist das Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ eine Wasseroberfläche von ca. 0,24 km<sup>2</sup> auf. Die nahezu ovale Wasserfläche ist mit einer Längsachse von etwa 700 m Länge von Südsüdost nach Nordnordwest orientiert. Die Breite der Wasserfläche beträgt im nördlichen Teil des Beckens etwa 500 m und im mittleren und südlichen Teil etwa 525 bis 550 m. Das Absperrbauwerk des Oberbeckens besteht wegen der natürlichen Gegebenheiten aus einem Ringwall unterschiedlicher Höhe, der vor der Ortschaft Riedl mit ca. 30 m seine größte Höhe erreicht und in den zwei Bereichen mit angrenzenden Hügeln die geringsten Höhen. Der Ringwall besteht aus einem ca. 2100 m langen Zonendamm aus Steinschüttmaterial auf allen Flanken des Speichersees (vgl. Abb. 7.1). Er ist damit komplett ringförmig von Absperrbauwerken umgeben.

Die Stauanlage PSW Oberbecken Riedl wird an fast allen ihren Ringdammbereichen um den Stausee herum direkt von Flächen eingeschlossen, die großteils aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und Wiesenflächen bestehen, die örtlich durch kleine Siedlungen, Gehöfte oder Waldflächen unterbrochen sind. Sehr große Waldflächen befinden sich vor allem südwestlich des Speicherbeckens hinter der dortigen Gelände-Kuppe ab etwa 250 m Entfernung im kompletten Bereich der sehr steilen Hänge nördlich und südlich der Donau. Weitere Waldgebiete finden sich auf den Flanken der Höhenrücken direkt nördlich des Speicherbeckens bei Gottsdorf-Krieghäusl und weiter nördlich am Rand des Höhenbergs und Vorholzbergs sowie im Westen des Beckens ab ca. 600 m Entfernung westlich und östlich von Haitzendorf.

Die Stauanlage ist bezüglich der südsüdöstlich-nordnordwestlichen Längsachse des Staubeckens exponiert. Die für den Bemessungswind relevanten Winde kommen somit aus allen Richtungssektoren, wobei die maximale Streichlänge von etwa 700 m bei Winden aus den Sektoren "150 Grad" und "330 Grad" erreicht wird.

## 4 Verfahren zur Bestimmung der Extremwindgeschwindigkeiten

### 4.1 Gumbel-Verteilung

Aus der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit kann die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Schwellenwerten der Windgeschwindigkeit abgeleitet werden, wenn der Messort und der Messzeitraum eine hinreichende Repräsentativität des Datensatzes gewährleisten und der Wiederholungszeitraum für den Extremwert deutlich kleiner als die Messperiode ist.

Um den höchsten Wert der Windgeschwindigkeit, der statistisch in 50 Jahren einmal erreicht oder überschritten wird ("50-Jahreswind"), aus einer 14-jährigen Häufigkeitsverteilung durch Extrapolation annähernd ermitteln zu können, ist

- die Anpassung einer theoretischen Verteilung an die gemessene Häufigkeitsverteilung aller Windgeschwindigkeitswerte oder
- die Anpassung einer theoretischen Extremwertverteilung an die gemessenen Extremwerte, d.h. hier an die Jahresmaxima der Windgeschwindigkeit,

erforderlich.

Im vorliegenden Gutachten werden die Jahreswinde mit Hilfe der Gumbel-Verteilung (GUMBEL, 1958) bestimmt. Sie wird häufig für Extremwertuntersuchungen bevorzugt. Allerdings sollte die Datenreihe nach Möglichkeit mehrere Jahrzehnte umfassen. Die Gumbel-Verteilung wird sowohl richtungsunabhängig als auch richtungsabhängig bestimmt.

Bei der Bestimmung der richtungsunabhängigen Gumbel-Verteilungen werden die Jahresmaxima des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit zugrunde gelegt, unabhängig davon aus welcher Richtung der Wind während des Extremwindereignisses wehte. Die richtungsabhängige Gumbel-Verteilung wird für 12 Windrichtungssektoren durchgeführt, wobei für jeden Sektor die Jahresmaxima des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit aus dem jeweiligen Sektor und dem nächstgelegenen linken und rechten Sektor für die Bestimmung der Verteilung verwendet werden. Die Verwendung der so entstehenden übergreifenden 90-Grad-Sektoren sichert eine ausreichende Datenbasis für die richtungsabhängige Untersuchung der Extremwinde an der Stauanlage.

Die Gumbel-Verteilung besitzt die Form

$$f(v_{\max}) = e^{-e^{\left(\frac{v_{\max}-b}{a}\right)}} \quad (1)$$

mit den Parametern  $a$  und  $b$ ;  $v_{\max}$  ist das Jahresmaximum der Windgeschwindigkeit. Der richtungsbezogenen Auswertung werden die jeweils höchsten Jahresmaxima in einem 90-Grad-Sektor zugrunde gelegt.

Die Korrektur der Winddaten bezüglich Oberflächenrauigkeit, Orografie und Messhöhe (Kap. 6) wird an den Messdaten **vor** der Extremwertanalyse (Kap. 7) durchgeführt.

## 4.2 Umrechnung der extremen Stundenmittel auf andere Mittelungsintervalle

Die vorliegende Untersuchung basiert auf Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit. Es ist wahrscheinlich, dass die höchsten 10-Minuten-Mittel die maximalen Stundenmittel übertreffen. In Untersuchungen, die der Deutsche Wetterdienst für die DIN 1055, Teil 4 (Vornorm, Mai 1989, Windlastannahmen für Bauten) durchführte, wurde festgestellt, dass ein Korrekturzuschlag von +10 % (Faktor: 1,1) für die Umrechnung der extremen Stundenmittel in extreme 10-Minuten-Mittel angemessen ist. Hierzu korrespondiert die Tabelle 2 in DVWK (1997), in welcher die Umrechnungsfaktoren für weitere Zeitintervalle zu finden sind: 1,05 für 20 Minuten und 1,2 für 5 Minuten.

# 5 Meteorologische Datenbasis

## 5.1 Winddaten des DWD

Für die Bestimmung extremer Windgeschwindigkeiten werden vieljährige Datenreihen benötigt, die der Deutsche Wetterdienst in einem speziellen Windmessnetz (ca. 250 Stationen) erhebt. Der Wind wird in der Regel in einer Höhe von 10 m über Grund gemessen. Sind Hindernisse in der Umgebung der Windmessstation vorhanden, die wesentlich das Windfeld stören, wird die Messhöhe vergrößert.

Zur Beschreibung der mittleren Windgeschwindigkeit registriert der Deutsche Wetterdienst Stundenmittel und/oder 10-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Die maximalen Windgeschwindigkeiten in Böen werden als Tagesmaxima erfasst. Sie gelten wegen der Trägheit des Messwertgebers für ein Mittelungsintervall von ca. 3 Sekunden. Die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit und die Tageswindspitzen werden auf ihre Qualität nach formalen und logischen Kriterien geprüft, ggf. korrigiert oder ergänzt und anschließend in einer zentralen Datenbank des Deutschen Wetterdienstes für klimatologische Untersuchungen bereitgestellt.

## 5.2 Die ausgewählte Windmessstation

Die Station **Passau-Fürstenzell** (bzw. Fürstenzell) des Deutschen Wetterdienstes befindet sich ca. 27 km westlich der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl. Sie liegt im niederbayrischen Hügelland zwischen Donau und Inn bei Passau auf einem von Westnordwest nach Ost Südost verlaufenden leichten Höhenrücken auf einer Hochfläche. Das Gelände fällt nach Norden (zur Donau) hin sanft ab, nach Südwesten fällt es ebenfalls zur Fürstenzeller Senke und zum Inn hin ab. Die Umgebung ist nur dünn besiedelt und wird von Acker- und Wiesenland dominiert. Ein etwas größeres Waldgebiet (Neuburger Wald) liegt ostwärts bis nördlich der Station und reicht bis zum Stadtrand von Passau. Das Stadtzentrum von Passau liegt nordöstlich in etwa 8 km Luftlinie von der Wetterstation Fürstenzell entfernt. Nördlich und nordöstlich der Donau und von Passau steigt das Gelände rasch zum vorderen und unteren Bayerischen Wald an.

Der Fußpunkt des Windmastes der Station **Passau-Fürstenzell** (RW 46 00 030, HW 53 79 480) liegt in 476 m ü. NN. Die Anemometerhöhe beträgt 12 m über Grund. Etwa 35 Meter nördlich befindet sich das Stationsgebäude. In den anderen Richtungen ist der Mast im nahen Umkreis von Ackerflächen umgeben.

Die Windmessstation Fürstenzell ist für die Hochflächen des Niederbayerischen Hügellandes und bedingt für seine weitere Umgebung (Passauer Vorwald, westlicher Sauwald und Wegscheider Hochfläche) als repräsentativ eingestuft. Sie liegt innerhalb des gleichen Höhenbereichs (um 450 m bis 550 m ü. NN) wie die unteren Hochflächenbereiche westlich der Wegscheider Hochfläche, der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl und des westlichen Sauwaldes (westlich des Berges Haugstein). Die insgesamt 14-jährige Windmesszeitreihe (Januar 1997 bis Dezember 2010) dieser Station ist deshalb als Grundlage zur Berechnung des Bemessungwindes für die Stauanlage PSW Oberbecken Riedl gut geeignet.

An der auf den südlichen Ausläufern der Wegscheider Hochfläche 350 m über dem Donauuniveau frei gelegenen Stauanlage **PSW Oberbecken Riedl** ist eine Windverteilung mit den häufigsten und stärksten Winden aus dem Westsektor zu erwarten. An der **Station Fürstenzell** weht der Wind am häufigsten und stärksten aus westsüdwestlichen bis westlichen Richtungen. Die Richtung der häufigsten Winde an der Station Fürstenzell weicht um maximal etwa 30 Grad von derjenigen ab, die an der Stauanlage erwartet wird. Es ist davon auszugehen, dass Starkwinde aus fast allen Richtungen an der etwas exponierter gelegenen Stauanlage wegen des Höhenunterschiedes der Standorte von ca. 150 m und der über dem Stausee durch die Wasserfläche gegenüber Freiflächen vergleichsweise geringeren Rauigkeit etwas höher sind als an der Station Fürstenzell.

Die ursprünglich zu Übertragungs- und Vergleichszwecken ebenfalls vorgesehene Windstation **Rohrbach im Mühlviertel** (bzw. Rohrbach) der ZAMG in Oberösterreich ist teilautomatisiert und liegt in ostnordöstlicher Richtung ca. 22 km von der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl entfernt. Die Station Rohrbach (RW 54 25 530, HW 53 82 000, Seehöhe 597 m) befindet sich von ein- bis zweigeschossigen Gebäuden umgeben im südöstlichen Stadtteil am Rand der Stadt Rohrbach auf der Hochfläche des nördlichen Mühlviertels. Nach Nordwesten hin erheben sich, außerhalb der sich über 1000 bis 1500 Meter erstreckenden rauen Stadtfläche, nur einige die Windrichtung kaum beeinflussende Hügel, wodurch sich ein Häufigkeits-Maximum aus nordwestlicher Richtung einstellt. Nach Osten hin erhebt sich unmittelbar am Stadtrand von Rohrbach ein rund 700 m hoher Rücken. Nach Westen (Liebetsberg) bis Südwesten hin (Schönberg) erheben sich in ca. 3 km bis 5 km Entfernung rund 700 m hohe Kuppen. In ca. 10 bis 11 km Entfernung befindet sich im Westsektor von Rohrbach ein nach Westen hin abschirmender Höhenrücken um den Ameisberg mit Höhen um ca. 930 m bis 941 m ü. NN

Die Höhe des digitalen Ultrasonic-Anemometers (Thies) über dem Straßenniveau der Stadt Rohrbach beträgt 13 m. Das Anemometer ist rund 6 m über dem Flachdach des Stationsgebäudes montiert und überragt damit die meisten Hindernisse in der Stationsumgebung nur geringfügig. Der Zeitraum vorliegender Windmessungen an dieser Vergleichsstation reicht von 1995 bis Ende 2010. Die Windmessstelle in Rohrbach ist nach einer Beurteilung von Messstellen im Rahmen des ZAMG-Projektes „BEAUVORT“ für die Hochfläche des nordwestlichen Mühlviertels als repräsentativ eingestuft worden. Nach Vorlage der Stationsinformationen und Prüfung der Daten ist sie jedoch mit ihren sehr hohen Rauigkeiten im Umfeld des Windgebers insbesondere auch in den Hauptwindrichtungen West und Nordwest nur unter großem Vorbehalt zur Übertragung der Messwerte ins Modell- und Zielgebiet um das Oberbecken „Energie Speicher Riedl“ geeignet. Auf Grund der hohen Rauigkeiten und der sehr niedrigen Messhöhe liegen die gemessenen Windgeschwindigkeiten in Rohrbach insbesondere im West- und Nordwestsektor nur etwa halb so hoch wie an der deutlich offeneren und deshalb zur Übertragung

wesentlich besser geeigneten Windstation Passau-Fürstenzell. Die Wind-Übertragung auf das Oberbecken „Energiespeicher Riedl“ erfolgt daher ausschließlich von der Windmessstation Fürstenzell.

### 5.3 Die Windverhältnisse an der Messstation

Einen Überblick über die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung im Untersuchungsgebiet geben am besten die Windstatistiken der Station Passau-Fürstenzell (s. Tab. 5.3-1 und 5.3-2). Ergänzend ist hier die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung der Station Rohrbach aufgeführt (s. Tab. 5.3-3 und 5.3-4), auf die im folgenden jedoch nicht weiter eingegangen wird.

In der Windrichtungsverteilung von Fürstenzell sind im Zeitraum 1997 bis 2010 mit 14,8 % sowie 14,7 % und 14,1 % der Jahresstunden die größten Häufigkeiten westsüdwestlicher (Sektor "240 Grad") bzw. westlicher (Sektor "270 Grad") und ostsüdöstlicher Winde (Sektor "60 Grad") besonders markant (s. Tab. 5.3-2). Auch die höchsten Windgeschwindigkeiten sind aus westsüdwest- bis westlichen Richtungen zu registrieren: Das maximale Stundenmittel von 20,4 m/s wurde in den Jahren 1999 (Orkan Lothar) und 2007 (Orkan Kyrill) bei jeweils einer Anströmung aus dem 30-Grad-Sektor Sektor "240 Grad" erreicht (s. Tab. 5.3-1). Aus diesem Sektor und aus dem Nachbar-Sektor "270 Grad" wurden auch die nächst geringeren Werte von 19 m/s im Jahr 2005 und 18 m/s in den Jahren 1998, 2001 und 2008 registriert.

Die Extremwindgeschwindigkeiten an der Station Fürstenzell wurden mit Hilfe der Gumbel-Verteilung untersucht. Auf der Basis der nicht modifizierten 14-jährigen Datenreihe von Fürstenzell wurde das windrichtungsunabhängige Stundenmittel der Windgeschwindigkeit bestimmt, das einmal in 25 Jahren erreicht oder überschritten wird. Dies beträgt in Fürstenzell 23 m/s. Die pro 30-Grad-Sektor bestimmten, windrichtungsabhängigen Werte liegen zwischen 8 m/s (in den 30-Grad-Sektoren "150 Grad" bis "210 Grad") und 23 m/s (im Sektor "240 Grad").

Bevor der Bemessungswind am Standort bestimmt werden kann, müssen jedoch zusätzliche Verfahren angewendet werden, um die Winddaten der Station Fürstenzell auf die exponierte Hochflächenlage der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl zu übertragen (siehe Kap. 6).

## 6 Übertragung der Windmessdaten auf die Stauanlage

### 6.1 Die Methode

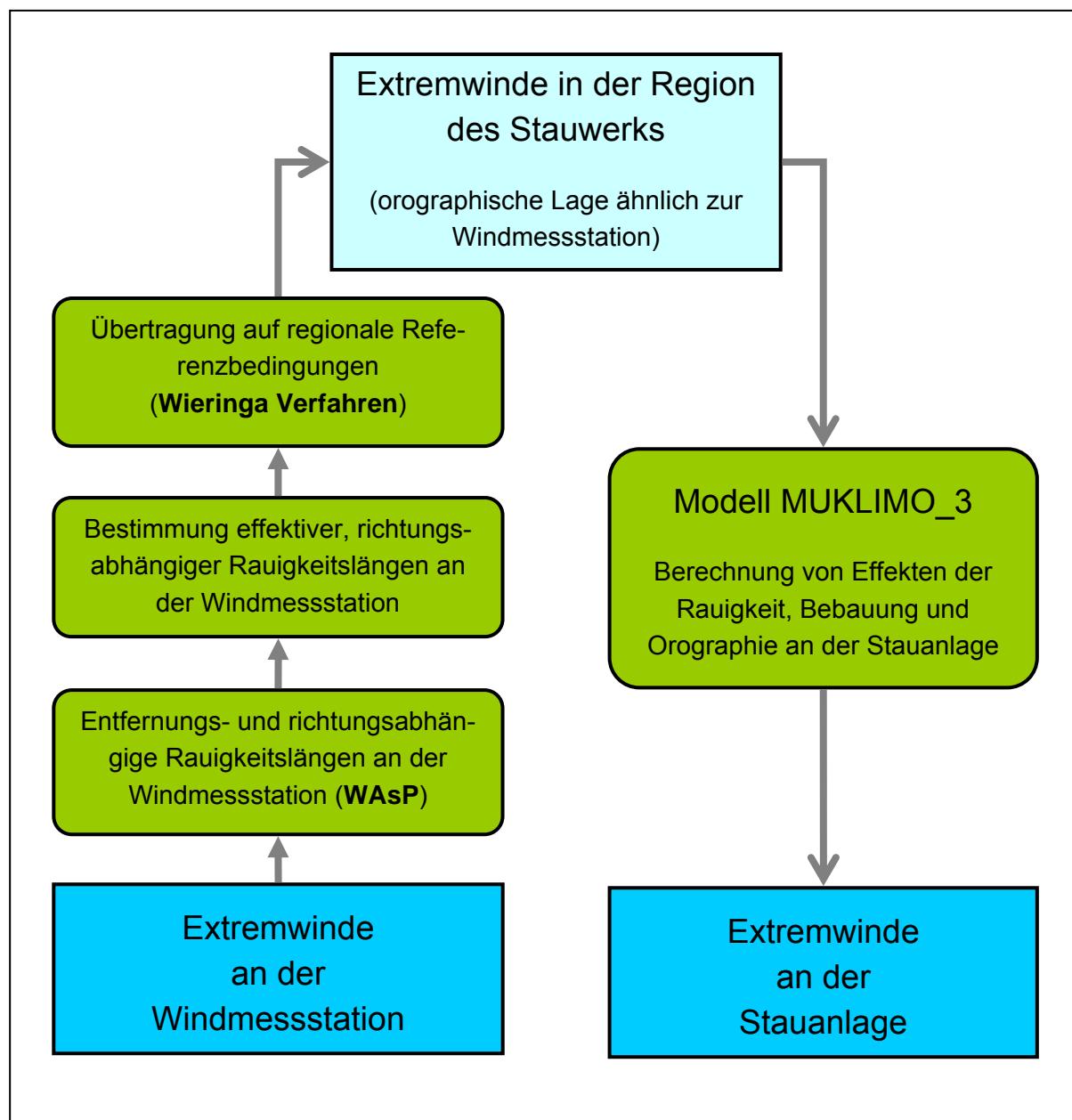
Die zukünftige Stauanlage des PSW Oberbecken Riedl (OB Riedl) befindet sich in topographisch stark strukturiertem Gelände, wodurch Effekte wie z.B. Windabschattung oder –verstärkungen zu erwarten sind. Zum Beispiel können vorherrschende Winde in einem Taleinschnitt umgelenkt werden oder über der Wasserfläche eine zusätzliche Beschleunigung erfahren. Deshalb reicht in diesen Fällen eine einfache Korrektur der Rauigkeitsverhältnisse nicht aus und die Übertragung der Messdaten auf den Standort wird mit Hilfe eines numerischen Strömungsmodells des DWD (MUKLIMO\_3) durchgeführt (s. Kap. 6.3.1).

Bevor die Messdaten der Station Fürstenzell auf einen für die Messstation repräsentativen externen Referenzpunkt (hier „P1“ genannt) am Rand außerhalb des Modellgebiets von MUKLIMO\_3

übertragen werden können, werden sie in drei Schritten bezüglich Störungen der Exposition mit dem WAsP - Verfahren sowie dem Wieringa Verfahren (J. WIERINGA, 1976) korrigiert (s. Kap. 6.3.2). Dabei dient das WAsP - Verfahren zur Abschätzung der windrichtungsabhängigen effektiven aerodynamischen Rauigkeitslänge „ $z_0$ -eff“ an der Messstation, die im Wieringa Verfahren zur Übertragung der Windmessdaten auf die regionalen Referenzbedingungen ( $z_0 = 0.05$  m und 10 m Messhöhe) im frei gelegenen Umfeld des Stauwerks eingehen. In Abbildung 6.1 sind die einzelnen Schritte skizziert (vgl. Kap. 2).

Mit Hilfe einer 3-dimensionalen Strömungsberechnung (mit dem Klimasimulationsmodell MUKLIMO\_3 – „Strömungsversion“ - des DWD) unter Berücksichtigung der Orografie und der Rauigkeitsverhältnisse werden die Winddaten im letzten Schritt auf die Standorte übertragen. Der hier gewählte und auf einer Hochfläche am südwestlichen Rand des Modellgebiets von MUKLIMO\_3 (s. Abb. 7.2) außerhalb gelegene externe Referenzpunkt P1 (RW 46 16 000, HW 53 70 000) entspricht in seiner Höhenlage um 480 m und in seiner groben Ausrichtung in etwa der Messstation Fürstenzell. Die Rauigkeit am Referenzpunkt entspricht etwa einem  $z_0$  Wert von 0,05 m. Um die mögliche unterschiedliche Leitwirkung der Orografie des Donau-Tales, des Hohen Sauwaldes mit dem Bergmassiv des Haugsteins im Südwesten sowie des Bayerischen Waldes auf den Wind an der Stauanlage PSW OB Riedl und an der Windmessstation Fürstenzell zu berücksichtigen, werden zur Berechnung der richtungsabhängigen Extremwertstatistiken jedes 30-Grad-Sektors die an der Station gemessenen Extreme aus einem jeweils auf den betrachteten 30-Grad-Sektor zentrierten 90-Grad-Sektor herangezogen.

Das WAsP- und Wieringa-Verfahren und das Modell MUKLIMO\_3 werden nachfolgend erläutert.



**Abb. 6.1:** Methodenskizze für die Übertragung von an der DWD-Station gemessenen Extremwinden auf den Standort der Stauanlage.

## 6.2 Korrekturen der Stationsdaten

### 6.2.1 Das WAsP-Verfahren und das Wieringa-Verfahren

Bevor die Messdaten einer Windmessstation auf einen Referenzpunkt (hier „P1“ genannt) innerhalb oder außerhalb des Modellgebiets von MUKLIMO\_3 übertragen werden können, werden sie bezüglich Störungen der Exposition mit dem WAsP-Verfahren und Wieringa Verfahren (J. WIERINGA, 1976) mittels richtungsabhängiger Faktoren korrigiert.

Das WAsP-Verfahren nutzt die eigentlich zur Anwendung des Programms WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Programme, TROEN u. PETERSEN, 1989) erstellten Rauigkeitsrosen. Die darin tabellierten Rauigkeitswerte  $z_o$  sind speziell für die Erfordernisse dieses Programms

vorgesehen und werden hier daher als „WAsP-  $z_o$ “-Werte bezeichnet. Sie werden in WAsP zur Berechnung des sektoriellen Rauigkeitseinflusses auf den Wind in Nabenhöhe über die Wirkung einer Summe von internen Grenzschichten, die anhand der Rauigkeitsrose über Rauigkeitssprünge beschrieben werden, herangezogen. Die WAsP-  $z_o$  - Werte beschreiben dazu den Reibungseinfluss der Erdoberfläche eher über die Oberflächeneigenschaft und weniger über die Volumen- bzw. Strömungsverdrängungseigenschaft der Rauigkeitselemente. Demgegenüber wird in der aerodynamischen Methode der effektive Rauigkeitseinfluss näherungsweise für alle Rauigkeitsumgebungen anhand eines logarithmischen Grenzschichtprofils mit Verdrängungsdi-cke und effektiver Rauigkeitslänge bestimmt. Die WAsP-  $z_o$  - Werte stellen daher für die jeweili-gen Flächennutzungstypen nicht die  $z_o$  - Werte der aerodynamischen Methode dar, sondern sind in der Regel für  $z_o > 0,2$  m kleiner als diese. Daher werden in den DWD-Programmen zur Abschätzung der windrichtungsabhängigen effektiven aerodynamischen Rauigkeitslänge „ $z_o$  - eff“ z.B. die Werte für die Flächennutzung „Wald“ von  $z_o$  - WAsP = 0,4 m auf  $z_o$  = 1,5 m und z.B. für die Flächennutzung „Stadt“ von  $z_o$  - WAsP = 1,0 m auf  $z_o$  = 2,0 m implizit angehoben.

Zur Übertragung gemessener Zeitreihen der Windgeschwindigkeit von einer Stationsmesshöhe über Grund auf die im Klimasimulationsmodell zu verwendende Anemometerhöhe und Referenzrauigkeit ( $z_o = 0,05$  m) wird das „Regionalwind-Konzept“ von Wieringa (1976) angewandt. Diesem Übertragungsverfahren liegt zum einen das theoretische Konzept der „internen Grenzschichten“ und zum anderen die empirische Erkenntnis zugrunde, dass sich ein Bezugsniveau finden lässt, in welchem der Wind – bezogen auf eine Fläche von ca. 5 km x 5 km – nicht mehr von der lokalen, sondern von einer regionalen Rauigkeit bestimmt wird. Dieses Bezugsniveau wurde aus Wind- und Turbulenzmessungen in einer Höhe von etwa 60 m bestimmt. Je nach regionaler Situation auch zwischen 50 m bis 100 m. Der Regionalwind wird in dieser Höhe durch Hindernisse beein- flusst, die sich – bezogen auf den Messort – innerhalb eines „Entfernungsstrahls“ von etwa 1 bis 3 km stromauf befinden. Das Bezugsniveau von 60 m liegt oberhalb der zweifachen maxi- malen Hindernishöhe in ländlichen Regionen und spiegelt die Höhe des Übergangs von der boden- auf die grenzschichtbeeinflusste Tagesgangcharakteristik der mittleren Windgeschwin- digkeit wider.

## 6.2.2 Erläuterung des Verfahrens

Die für das Modell WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Programme, TROEN u. PETERSEN, 1989) von Traup und Kruse (1996) entferungs- und sektorabhängig bestimmten Rauigkeitslängen  $z_o$  werden in sektorabhängige effektive  $z_o$  - Werte bzw. effektive Rauigkeitslän- gen für die Windmessstation über eine Weibull-Wichtung konvertiert (Abbildung 6.1). Diese sektorabhängigen effektiven Rauigkeiten für ein Gebiet von 3 km Radius finden Eingang in das Wieringa - Verfahren (WIERINGA, J., 1976). Mit dem Wieringa - Verfahren (s. Kap. 6.2.1) werden die Übertragungsfaktoren bestimmt, die die Umrechnung der gemessenen Stundenmittel des Windes an der Windmessstation auf die Windwerte eines repräsentativen Messstandortes im oder außerhalb des MUKLIMO\_3 - Modellgebiets („P1“) mit einer Messhöhe von 10 m über Grund und mit einer Umgebungsrauigkeit von  $z_o = 0,05$  m gewährleisten. Dabei charakterisiert ein  $z_o = 0,05$  m eine überwiegend hindernisfreie Umgebung.

## 6.3 Standortbezogene Korrekturen

### 6.3.1 Das Modell MUKLIMO\_3

Das Modell MUKLIMO\_3 (**M**ikroskaliges **U**rbanes **K**lIma-**M**Odell, 3-dimensional, SIEVERS, 1990 und 1995), wurde speziell für Stadtgebiete konzipiert und wird im Deutschen Wetterdienst (Zentrales Klimabüro) gepflegt und an die konkreten Aufgabenstellungen angepasst. Kennzeichnend für dieses Modell sind beliebig arrangierbare Gebäudereihen und Einzelgebäude, in deren Bereich die atmosphärischen Variablen Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchte und gegebenenfalls auch die Konzentration eines Schadstoffes berechnet werden. Berücksichtigt werden zudem die Bodenverdunstung, die Temperatur im Erdboden sowie die durch den Gebäudeeinfluss modifizierte kurz- und langwellige Strahlung. Das Gelände wird als sogenannte "Stufenorografie" modelliert. Für die Windfeldsimulationen wird im vorliegenden Gutachten die **Strömungsversion** von MUKLIMO\_3 eingesetzt ("numerischer Windkanal").

Damit die Strömungsversion von MUKLIMO\_3 eine stationäre bodennahe Luftströmung über orografisch gegliedertem Gelände im Rahmen der hier gestellten Aufgabe der Berechnung von Orografiefaktoren simulieren kann, ist die Modellierung der Flächennutzung über die Klassen "Bebauung", "Wald", "Freifläche" und "Wasser" hinreichend. Dabei wird jeder Flächennutzungsklasse eine typische aerodynamische Bodenrauigkeit (Rauigkeitslänge) bzw. eine mittlere Baumhöhe und Blattflächendichte (Klasse "Wald") zugeordnet. Insbesondere entsprechend der in Kapitel 6.2 zur Stationsanpassung definierten "homogenen Umgebungsbedingungen" wird der Flächennutzung "Freifläche" eine Rauigkeitslänge von 0,05 m zugeordnet.

Die berechneten Größen - hier insbesondere die horizontalen Windkomponenten - sind Mittelwerte für die Gitterzellen des Modellgebiets. Die Fläche einer Gitterzelle ist das Produkt aus Gitterabstand in x-Richtung (" $\Delta x$ ", West-Ost-Richtung) und Gitterabstand in y-Richtung (" $\Delta y$ ", Süd-Nord-Richtung). Dabei sind diese horizontalen Gitterabstände über dem Modellgebiet nicht notwendigerweise konstant: Sie können sich in ausgewählten Bereichen z.B. auch verringern um dort eine höhere Auflösung des horizontalen Rechengitters zu erreichen ("variables" Gitter). Das Modell löst die atmosphärische Grenzschicht in mehrere vertikale, nicht äquidistante Schichten auf, wobei die Schichtdicke  $\Delta z$  nach oben hin zunimmt.

Für die vorliegenden Modellrechnungen mit MUKLIMO\_3 wird das Untersuchungsgebiet mit einem rechtwinkligen Gitternetz mit äquidistanten Gitterweiten von 50 m x 50 m überzogen: Um aus numerischen Gründen homogene Anströmbedingungen zu gewährleisten, werden an allen Modellrändern modellintern jeweils drei 50 m breite Zellreihen mit der Flächennutzung "Freifläche" belegt.

### 6.3.2 Höhen- und Landnutzungsdaten

Zur Modellierung der Flächennutzung wurden Karten im Maßstab 1 : 50 000 mit Hilfe des TOP50-Viewer von der CD TOP 50 „Amtliche topographische Karten Bayern, Landesvermessungsamt Bayern, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2004“ digitalisiert (Abb. 7.1). Die Digitalisiergenehmigung des Bayerischen Landesamtes für Vermessung und Geoinformation liegt dem DWD für amtliche Bayerische Kartenwerke im Maßstab 1:50.000 mit Schreiben vom 03.08.2010 (Zeichen: VM 3820 B – 1246/10) unter gleicher Genehmigungs-Nummer vor. Zur Modellierung der Orografie wurden vom Auftraggeber Höhendaten des Bayerischen Landesamtes für Vermessung und Geoinformation als Digitales Geländemodell (ATKIS – DGM5/50) im

Raster von 50 m - am 09.08.2010 sowie ergänzend von Österreichischer Seite am 14.10.2010 letztmalig überarbeitet und korrigiert - digital bereitgestellt.

Zur Erfüllung der vorliegenden Aufgabe ist es nicht erforderlich einzelne Gebäude zu modellieren. Da sich die Ortslagen bis auf den Donautalbereich des Gebietes im Wesentlichen am Rande und auf den "Hochflächen" des Modellgebietes befinden und dort die Schichtdicke des Vertikalgitters (" $\Delta z$ ", s.u.) mindestens doppelt so groß wie die ansteigende mittlere Bebauungshöhe ist, wurde bei den vorliegenden Modellrechnungen die Bebauung als aerodynamische Rauigkeit modelliert. Hohe Vegetation wurde wegen eines Verhältnisses " $\Delta z$  / Baumhöhe" von ungefähr 1 auch über den Hochflächen demgegenüber nicht nur als erhöhte aerodynamische Rauigkeit einer Oberfläche modelliert, sondern als ein vertikal ausgedehntes Strömungshindernis, dessen Höhe durch die Baumhöhe und dessen "Porosität" durch die Blattflächendichte bestimmt wird.

Für die Berechnung der Windverhältnisse im Bereich der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl mit der Strömungsversion von MUKLIMO\_3 wurden die Höhen- und Flächennutzungsdaten für ein 8,0 km  $\times$  8,0 km großes Untersuchungsgebiet bestimmt: Rechtswert (RW) von 4622,0 km bis 4630,0 km; Hochwert (HW) von 5374,0 km bis 5382,0 km in Gauß-Krüger-Koordinaten. Insgesamt umfasst das horizontale Gitter 160  $\times$  160 Zellen. Abbildung 7.2 zeigt die Modellierung der Flächennutzung für das Untersuchungsgebiet.

### 6.3.3 Erläuterung des Verfahrens

Die Strömungsversion des Modells MUKLIMO\_3 wird eingesetzt, um für jede Anströmrichtung der 12-teiligen Windrose (vgl. Tab. A-1) die Windverhältnisse über der Stauanlage OB Riedl relativ zu einem für die Station Fürstenzell repräsentativen Punkt „P1“ der Hochflächen zu ermitteln. Letzterer wird auf eine Freifläche einer Hochfläche westlich des Sauwaldes und des Berges Haugstein südwestlich des Modellgebietes in eine Höhe von 480 m ü. NN gelegt (s. Abb. 7.2 und die Abbildungen ab Abb. 7.3).

Die Windfelder werden somit für ein Gebiet berechnet, das neben typischen Randzonen des Donautals mit Höhen von ca. 500 m ü. NN bis 750 m ü. NN auf den Wegscheider Hochflächen und der mit bis zu 280 m ü. NN tief eingeschnittenen Donau auch den von der Mitte (um 630 m ü. NN am „Energiespeicher Riedl“) nach Nord und Süd (bis auf 890 m ü. NN) erfolgenden Geländeanstieg der Gottesdorfer Berge bzw. des auslaufenden südöstlichen bayerischen Waldes enthält.

In der Vertikalen rechnet das Modell mit einer - in Abhängigkeit von der Höhe der Untersuchungspunkte - variablen Schichtenanzahl von hier 51 Schichten, deren Dicke mit der Höhe von minimal 12,5 m über 20 m bis maximal 50 m (an der Obergrenze des dreidimensionalen Modells) zunimmt: Ausgehend von einer Höhe von 280 m ü. NN (es wird auf ganze 10 m gerundet) haben die untersten Modellschichten vom tiefsten Talgrund bis einschließlich 30 m über den ausgewählten Untersuchungspunkten über der Stauanlage OB Riedl jeweils eine vertikale Erstreckung von 12,5 m. Über dieses Höhenniveau hinaus folgen bis 20 m oberhalb der höchsten Erhebung des Modellgebiets jeweils Schichten mit 20 m vertikaler Erstreckung, darüber gefolgt von kontinuierlich bis 50 m ansteigenden vertikalen Erstreckungen bis zur Obergrenze des Modells. So ist auch gewährleistet, dass das hier mit 630 m ü. NN für die gesamte Stauanlage einheitlich modellierte Stauziel in 10 m über Grund erreicht wird. Sofern die Ergebnisse der Windfeldberechnungen nicht explizit in 10 m über Grund vorliegen, werden sie aus je zwei Windwerten auf eine Höhe von 10 m

über Grund interpoliert oder – bei höher über Grund gelegenen Rechenflächen – mit Hilfe eines typischen vertikalen Windgeschwindigkeitsverlaufs (zwischen der Bodenoberfläche und dem Niveau der Rechenfläche) auf 10 m über Grund umgerechnet.

Die Strömungsversion von MUKLIMO\_3 benötigt als Eingabegrößen die Geländehöhe und die Flächennutzung (s. Kap. 6.3.2) sowie für jede Gitterzelle des Modellgebiets einen vorzugebenden Startwindvektor: Die für den Start von MUKLIMO\_3 erforderlichen Anfangsbedingungen für die Windgeschwindigkeit werden mit Hilfe eines **eindimensionalen Vorschaltmodells** erzeugt, d.h. einem Modell, bei dem die atmosphärischen Variablen nur in vertikaler Richtung veränderlich, in der Horizontalen aber konstant sind. Es wird für mehrere Stunden Modellzeit betrieben, wobei Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einer vorgebbaren Bezugshöhe fest vorgeschrieben sind: mit den Richtungen der 12-teiligen Windrose jeweils 10 m/s in einer Bezugshöhe von 490 m ü. NN (dies entspricht 10 m ü. Gr. für die Höhe "480 m ü. NN" auf einer Hochfläche am externen Referenzpunkt P1 südwestlich des Haugstein-Bergmassivs, vgl. Abb. 7.2 und folgende Abbildungen). Danach wird das "eingeschwungene" Vertikalprofil des Windes als Anfangs- und Randwert der eigentlichen Simulation auf das Modellgitter von MUKLIMO\_3 übertragen. Die dreidimensionale Simulation wird dann – mit festgehaltener Windgeschwindigkeit an der Modellobergrenze – so lange fortgeführt, bis das Windfeld stationär wird, d.h. sich auf die im Untersuchungsgebiet herrschenden Strömungsbedingungen eingestellt hat und sich nicht mehr ändert.

Bei neutraler Temperaturschichtung und konstanter Anströmrichtung gilt ein Ähnlichkeitsgesetz, nach dem die Verhältnisse der lokalen Windgeschwindigkeiten gegenüber einer sich ändernden Bezugswindgeschwindigkeit konstant bleiben. Die Resultate sind somit durch einen konstanten Faktor auch auf beliebige andere Anströmgeschwindigkeiten (z.B. 20 m/s) umrechenbar. Die Untersuchung von Strömungsfeldern im Bereich der Stauanlage und der umliegenden Höhen reduziert sich damit auf die Berechnung von windrichtungsabhängigen Windfeldern ("stationäre" Simulation) und des Erhöhungsfaktors (bzw. Reduktionsfaktors) gegenüber der Windgeschwindigkeit am Referenzpunkt für bestimmte Untersuchungspunkte. Aus numerischen Gründen wird für die Modellrechnungen eine - z.B. im Verhältnis zu Windgeschwindigkeiten der Beaufort-Klasse 8 "Sturm" ( $17,5 \text{ m/s} \leq v \leq 20,4 \text{ m/s}$ ) - geringere Anströmgeschwindigkeit (s.o.) gewählt.

In den Abbildungen 7.3 bis 7.5 sind die Windfelder exemplarisch für drei ausgewählte Anströmrichtungen dargestellt: Dabei sind eine der Hauptwindrichtungen "West" ("270 Grad") und – in Bezug auf einige weitere Hauptorientierungen der Längsachsen der ringförmigen Staumauer der Stauanlage OB Riedl – die Windrichtungssektoren "Ostnordost" ("60 Grad") bzw. "Westnordwest" ("300 Grad") von Interesse. Die Darstellungen zeigen den Bereich des Modellgebiets mit der modellierten unterlegten Flächennutzung sowie Windrichtung und -geschwindigkeit in 10 m über Grund für jede zweite Gitterzelle in Form von Windpfeilen.

In allen Abbildungen mit den berechneten Windfeldern der o.a. Anströmrichtungen finden sich über dem Referenzgebiet (externer Referenzpunkt P1 außerhalb des dargestellten Modellgebiets), d.h. über den freien Hochflächen südwestlich des Haugstein Massivs, in 10 m über Grund Windgeschwindigkeiten um den Wert der Anströmgeschwindigkeit von 10 m/s. Erwartungsgemäß treten die höchsten Windgeschwindigkeiten für alle Anströmrichtungen über den höchstgelegenen Freiflächen des Modellgebiets, die niedrigsten Windgeschwindigkeiten in engen Tallagen und über den Waldflächen sowie über den Zonen der "Bebauung" auf.

Aus den Windgeschwindigkeiten an den 12 Untersuchungspunkten (s. Abb. 7.3 und Folgende) über dem Becken der Stauanlage PSW OB Riedl und der Windgeschwindigkeit am frei gelegenen externen Referenzpunkt "P1" lässt sich für jede Anströmrichtung jeweils ein Quotient bilden. Der pro Richtungssektor aus den 12 Untersuchungspunkten bestimmte maximale Quotient gibt an, in welchem Maße die Windströmung auf der Hochfläche über der Stauanlage des PSW Oberbecken Riedl vor den ringförmig um das Becken laufenden Dämmen höher bzw. niedriger ist als über den südwestlich des Haugstein - Massivs gelegenen freien Hochflächen des Referenzpunktes (vertreten für die Windstation Fürstenzell).

Da die Winde durch den Orografieeinfluss um mehr als 15 Grad (dies entspricht der halben Sektorbreite von 30 Grad) abgelenkt werden können, ist die Zuordnung zwischen der Anströmrichtung und der Windrichtung über der Stauanlage nicht mehr eindeutig. Es wird deshalb jeder Anströmrichtung unter Einbeziehung der Resultate für die rechts- und linksseitig angrenzenden Anströmrichtungen der jeweils größte Faktor zugeordnet (sog. 90 Grad übergreifende Worst-Case-Abschätzung).

#### 6.4 Übertragungsfaktoren für die Windmessdaten

Die in der Tabelle 6.3-1 angegebenen windrichtungsabhängigen Übertragungsfaktoren sind das Produkt der beiden Korrekturfaktoren, die jeweils mit dem WAsP-Verfahren und Wieringa-Verfahren sowie dem Modell MUKLIMO\_3 ermittelt wurden.

Die Faktoren werden zur Umrechnung der Jahresmaxima der Stundenmittel von der Wetterstation auf den zentralen Untersuchungspunkt "P2" (s. Abb. 7.3 und Folgende) über der Stauanlage benutzt. Nach seiner standortbezogenen Korrektur wird der Messdatensatz nach der Gumbel-Methode analysiert und die Extremwindgeschwindigkeiten für die ausgewählten Wiederkehrzeiträume berechnet.

Andererseits ist es möglich, mit Hilfe der reziproken Umrechnungsfaktoren eine vorgegebene kritische Windgeschwindigkeit für den Standort (z.B. 15 m/s, vgl. Kap. 1) in eine entsprechende Referenzwindgeschwindigkeit an der Messstation umzurechnen. Aus der Häufigkeit der Überschreitung dieser Referenzwindgeschwindigkeit an der Station kann dann auf die Häufigkeit der Überschreitung der kritischen Windgeschwindigkeit am Standort geschlossen werden. Die ermittelten Überschreitungshäufigkeiten hängen empfindlich von den Eingangsdaten ab und geben deshalb nur ein ungefähres Maß: Bereits eine Abweichung der ermittelten Referenzgeschwindigkeit um 1 m/s vom tatsächlichen Geschwindigkeitswert kann zu einer Halbierung oder Verdopplung der Überschreitungshäufigkeit führen.

### 7 Extremwerte der Windgeschwindigkeit an der Stauanlage

Entsprechend der Aufgabenstellung (Kap. 1) wurden die Extremwerte für Wiederkehrintervalle von 2 bis 50 Jahren ermittelt (Tab. 7.2-1). Die windrichtungsbezogenen Extremwinde und Überschreitungshäufigkeiten beziehen sich auf 90-Grad-Sektoren. Die angegebenen Windrichtungen sind jeweils die Sektormitte eines 90-Grad-Sektors, aus welchem der Wind weht. Da die Richtungsangaben im Abstand von 30 Grad erfolgen, überlappen sich benachbarte Sektoren. Diese, beim Umlauf um den Vollkreis sukzessiv entstehenden 90-Grad-Sektoren, werden nur

zur Bestimmung der Extremwerte herangezogen. Zur richtungsabhängigen Bestimmung der Wellenhöhe nach DVWK (1997) sind jeweils die unter der angegebenen Sektorrichtung (30-Grad-Sektor) in der Tabelle 7.2-1 stehenden Windwerte zu verwenden.

Wegen der in DVWK (1997) empfohlenen Verwendung der Wiederkehrperiode von 25 Jahren wird nachfolgend besonders auf die dieser Zeitspanne entsprechenden Extremwerte Bezug genommen.

Die Winddaten zum Bemessungswind wurden für 11 über das Staubecken verteilte Untersuchungspunkte um einen zentralen Untersuchungspunkt herum in 10 m Höhe über der Wasserfläche der Stauanlage OB Riedl berechnet: Der zentrale Untersuchungspunkt "P2" (Gauß-Krüger-Koordinaten: RW 46 27 475; HW 53 78 175) liegt etwa zentral, d.h. mittig über der Wasserfläche der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl und soll die unterschiedliche mittlere Einwirkungsmöglichkeit von Winden aus den hier maßgebenden Richtungssektoren beschreiben. Zur Bemessung der Stauanlage sollte letztendlich der Untersuchungspunkt P2 herangezogen werden. Für die Übertragung auf die Stauanlage wird windrichtungsabhängig von den 11 Untersuchungspunkten um P2 der maximale Übertragungsfaktor ausgewählt<sup>1)</sup>.

Die windrichtungsunabhängigen Extremwerte (Spalte "0-360") der Windgeschwindigkeit (Stundenmittel) über der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl betragen für den Punkt "P2" 17 bis 24 m/s für Wiederkehrintervalle von 2 bis 50 Jahren (s. Tabelle 7.2-1). Die windrichtungsunabhängigen Extremwerte basieren auf einem Datensatz richtungsunabhängiger Daten und sind deshalb nicht einfach die Maximalwerte der richtungsabhängigen Extremwerte.

Die richtungsabhängigen Extremwinde für eine Wiederkehrperiode von 25 Jahren erreichen für den Punkt "P2" 6 bis 22 m/s. Die höchste Windgeschwindigkeit von 22 m/s wurde für den Punkt "P2" in den Richtungssektoren "240 Grad" und "270 Grad" ermittelt. Die geringste Windgeschwindigkeit von 6 m/s ist für den Punkt "P2" aus dem Richtungssektor "210 Grad" zu erwarten.

Die Untersuchung wurde auf der Basis von Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit durchgeführt. Die berechneten Extremwinde können mit den im Kapitel 4.2 angegebenen Faktoren auf andere Zeitintervalle umgerechnet werden.

Über der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl wird in 10 Jahren ein Stundenmittel der Windgeschwindigkeit  $\geq 15$  m/s bezüglich ihrer ringförmigen Staudämme unter 1 mal in den Richtungssektoren "330 Grad" bis "360 Grad" und "60 Grad" bis "210 Grad", zwischen 1 und 2 mal in den Richtungssektoren "30 Grad" und "300 Grad" sowie 17 mal in den Richtungssektoren "240 Grad" bis "270 Grad" überschritten (s. Tab. 7.2-2).

Die Häufigkeitszahlen in der Tabelle 7.2-2 sind auf Grund der sprunghaften Änderung der Überschreitungshäufigkeit, die bereits bei einer geringen Änderung des Grenzwertes der Windgeschwindigkeit zu beobachten ist, mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet.

Eine Umrechnung der Überschreitungshäufigkeit der Stunden mit Windgeschwindigkeiten  $\geq 15$  m/s auf die Häufigkeit von 10-Minuten-Mitteln ist mit den angegebenen Faktoren nicht möglich.

<sup>1)</sup> Diese Untersuchungspunkte dienen im Kontext des verwendeten Rechengitters (s. Kap. 6.3.2) nur zur Erstellung der Extremwertstatistik für die Stauanlage. Sie sind nicht zur Bemessung der Streichlänge heranzuziehen; diese ist vielmehr im Sinne des DVWK (1997) zu bestimmen.

## 8 Zusammenfassung

Im vorliegenden Gutachten werden für die Stauanlage PSW Oberbecken Riedl die maßgeblichen Winddaten für die Freibordbemessung gemäß den Anforderungen des DVWK (1997) bestimmt.

Die hierzu notwendige Extremwertanalyse wird mit Hilfe einer Gumbel-Verteilung auf der Basis der Jahresmaxima der Windgeschwindigkeit vorgenommen. Die richtungsabhängige Auswertung erfolgt für 12 Windrichtungssektoren (30, 60, ..., 360 Grad). Datengrundlage für die Auswertung zu jeder der 12 Bezugswindrichtungen der 12-teiligen Windrose sind 90-Grad-Sektoren: Hierbei werden die jeweils von der Bezugswindrichtung (Mitte des Bezugssektors) um  $\pm 45$  Grad übergreifenden Windrichtungen betrachtet. Im sukzessiven Lauf um die 12-teilige Windrose überlappen sich die so definierten 90-Grad-Sektoren.

Die Auswertungen basieren auf den 14-jährigen Windmessdaten der DWD-Station Passau-Fürstenzell (Tab. 5.3-1 u. 5.3-2). Die ursprünglich ebenfalls für eine Übertragung vorgesehenen 16-jährigen Winddaten der österreichischen ZAMG Station Rohrbach im Mühlviertel (Tab. 5.3-3 u. 5.3-4) erwiesen sich u. a. auf Grund der extremen Rauigkeiten insbesondere in den Hauptwindrichtungen West und Nordwest als ungeeignet für eine Übertragung. Sie wurden deshalb nicht herangezogen. Die höchsten – an der Station Fürstenzell gemessenen – Windgeschwindigkeiten treten im Untersuchungsraum aus westsüdwest- bis westnordwestlichen Richtungen auf. Die Jahresmaxima der Windgeschwindigkeit im Zeitraum 1997 bis 2010 werden mit Hilfe des WAsP-Verfahrens und des Wieringa-Verfahrens sowie des Strömungsmodells MUKLIMO\_3 auf einen Untersuchungspunkt über der Stauanlage umgerechnet.

Die Tabelle 7.2-1 enthält sowohl die richtungsabhängigen als auch die richtungsunabhängigen (Spalte "0-360") Extremwindgeschwindigkeiten für Wiederkehrintervalle von 2, 10, 25 und 50 Jahren für die Stauanlage über dem Standort des PSW OB Riedl (Untersuchungspunkt "P2").

Für einen Wiederkehrzeitraum von 25 Jahren liegt der maximale richtungsunabhängige Wert von 23 m/s innerhalb des unteren Bereichs der in der Tabelle 1 des DVWK (1997) für die Höhenklasse bis "600 Meter ü. NN" angegebenen Windgeschwindigkeitsklasse für "normale" Lagen (22 bis 28 m/s).

Über der Stauanlage PSW Oberbecken Riedl wird in 10 Jahren ein Stundenmittel der Windgeschwindigkeit  $\geq 15$  m/s bezüglich ihrer ringförmigen Staudämme unter 1 mal in den Richtungssektoren "330 Grad" bis "360 Grad" und "60 Grad" bis "210 Grad", zwischen 1 und 2 mal in den Richtungssektoren "30 Grad" und "300 Grad" sowie 17 mal in den Richtungssektoren "240 Grad" bis "270 Grad" überschritten (s. Tab. 7.2-2).

Maßgeblich für die Bemessung des Freibords ist der Wind, der über einem Gewässer in Richtung der zu betrachtenden Sperrbauten weht: Für die Freibordbemessung ist der Wind mit Richtungskomponenten der Anströmung senkrecht zu den Stauanlagen von Bedeutung. Im vorliegenden Fall sind für die Freibordbemessung daher Winde aus allen 12 Richtungssektoren von Bedeutung.

**Für die geplante Stauanlage PSW Oberbecken Riedl wird der maximale Bemessungwind (25-Jahreswert des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit aus der maßgeblichen Windrichtung) mit 23 m/s angegeben.**

## 9 Literatur

- DIN 1055, Teil 4 (Vornorm, Mai 1989): Lastannahmen für Bauten, Windwirkungen auf Bauwerke. Normausschuss Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., unveröffentlicht.
- DIN 1055, Teil 4 (Entwurf, April 2002): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4: Windlast. Normausschuss Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V..
- DWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau), 1997: Freibordbemessung an Stauanlagen (Merkblätter zur Wasserwirtschaft 246/1997).
- GUMBEL, E. J., 1958: Statistics of extremes, Columbia Univ. Press, New York.
- HENNESSEY, J. P. J., 1977: Some aspects of Wind Power Statistics, J. Appl. Meteor. 16, 119-128.
- JACKSON, P.S. und J.C.R. HUNT, 1975: Turbulent wind flow over a low hill, Quart. J. Roy. Meteor Soc. 101, 929-955.
- JUSTUS, C. G. und W. R. HARGRAVES, A. MIKHAIL, D. GRABER, 1978: Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions, J., Appl. Meteor. 17, 350-353.
- SIEVERS, U., 1990: Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. In: Umweltmeteorologie, Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni 1990 in Lahnstein. Schriftenreihe Band 15, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Düsseldorf.
- SIEVERS, U., 1995: Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen. Meteorol. Zeitschr. (Neue Folge) 4, 3 - 15.
- TAYLOR, P. A., P. J. MASON and E. F. BRADLEY, 1987: Boundary-flow over low hills (A Review), Bound. Lay. Met. 39, 107-132.
- TRAUP, S. und B. KRUSE, 1996: Winddaten für Windenergienutzer. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., 445 S.
- TROEN, I. und E. L. PETERSEN, 1989: European Windatlas, Published for the Commission of the European Communities by Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark.
- WIERINGA, J., 1976: An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 102, S. 241-253.
- WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION), 1996: Guide to meteorological instruments and methods of observation, WMO-No. 8, 6. Aufl., Genf.

## 10 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

### 10.1 Tabellen

- Tabelle 5.3-1: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v Absolute Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit Station Fürstenzell, Zeitraum 1997 bis 2010
- Tabelle 5.3-2: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v Relative Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Promille, Station Fürstenzell, Zeitraum 1997 bis 2010
- Tabelle 5.3-3: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v Absolute Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit Station Rohrbach, Zeitraum 1995 bis 2010.
- Tabelle 5.3-4: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v Relative Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Promille, Station Rohrbach, Zeitraum 1995 bis 2010.
- Tabelle 6.3-1: Maximale Koeffizienten für eine Korrektur der Windmessdaten auf den Standort PSW Oberbecken Riedl (Untersuchungspunkt P2)
- Tabelle 7.2-1: Extremwerte der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in m/s für Wiederkehrzeiträume von 2, 10, 25 und 50 Jahren  
Standort: Stauanlage PSW Oberbecken Riedl, 10 m über der Wasserfläche (Untersuchungspunkt P2)
- Tabelle 7.2-2: Mittlere Häufigkeit von Stundenmitteln mit Windgeschwindigkeit  $\geq 15$  m/s für einen Bezugszeitraum von 10 Jahren.  
Standort: Stauanlage PSW Oberbecken Riedl, 10 m über der Wasserfläche (Untersuchungspunkt P2)
- Tabelle A-1: Bezeichnung und Gradeinteilung der Windrichtungssektoren sowie Bereichsgrenzen der Windrichtungsklassen der 12-teiligen Windrose

### 10.2 Abbildungen

Abb. 6.1: Methodenskizze

Abb. 7.1: Geländehöhe und digitalisierte Landnutzung  
„Energiespeicher Riedl“: Übersichtsplan

Abb. 7.2: „Energiespeicher Riedl“, Flächennutzung im 50 m Modellgitter (160x160):  
Externer Referenzpunkt P1 und Untersuchungspunkte um P2

Abb. 7.3: PSW „Energiespeicher Riedl“:  
Anströmung über P1 (Referenzpunkt) aus 270 Grad (West)  
Windfeld in 10 m über Grund

Abb. 7.4: PSW „Energiespeicher Riedl“:  
Anströmung über P1 (Referenzpunkt) aus 60 Grad (Ostnordost )  
Windfeld in 10 m über Grund

Abb. 7.5: PSW „Energiespeicher Riedl“:  
Anströmung über P1 (Referenzpunkt) aus 300 Grad (Westnordwest)  
Windfeld in 10 m über Grund

**Tabellen und Abbildungen(siehe folgende Seiten)**

Tabelle 5.3-1: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v (Klassenuntergrenze in m/s)  
 Absolute Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit  
 Station Fürstenzell, Zeitraum 1997 bis 2010

v m/s	Summe	Windrichtung Sektormitte in Grad														uml.
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	uml.		
0	5898	537	952	613	545	492	557	577	485	290	239	185	272	154		
1	36578	3983	7245	2473	2373	3170	4093	5291	2974	1768	1417	861	929	1		
2	32970	4012	4894	1403	1881	2989	3322	4435	3462	2872	2099	813	788	0		
3	18510	1497	1782	895	1197	1325	778	1583	3068	3472	2097	432	384	0		
4	11469	599	1172	606	581	340	127	454	2556	3232	1477	181	144	0		
5	6853	233	640	344	213	76	32	120	1895	2298	876	77	49	0		
6	4101	98	314	232	92	9	6	33	1267	1627	386	24	13	0		
7	2508	24	163	105	36	0	0	7	853	1118	197	4	1	0		
8	1359	11	57	29	19	1	0	0	537	626	76	3	0	0		
9	865	2	28	3	0	1	1	0	406	402	21	1	0	0		
10	556	2	8	3	0	0	0	0	296	237	10	0	0	0		
11	247	0	0	0	0	0	0	0	149	94	4	0	0	0		
12	136	0	0	0	0	0	0	0	77	59	0	0	0	0		
13	85	0	0	0	0	0	0	0	51	34	0	0	0	0		
14	31	0	0	0	0	0	0	0	16	15	0	0	0	0		
15	30	0	0	0	0	0	0	0	18	12	0	0	0	0		
16	13	0	0	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0		
17	7	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0		
18	5	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0		
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0		
Summe	122223	10998	17255	6706	6937	8403	8916	12500	18130	18163	8899	2581	2580	155		

"uml." = umlaufend

Tabelle 5.3-2: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit v (Klassenuntergrenze in m/s)  
 Relative Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Promille  
 Station Fürstenzell, Zeitraum 1997 bis 2010

v m/s	Summe	Windrichtung Sektormitte in Grad													
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	uml.	
0	48	4	8	5	4	4	5	5	4	2	2	2	2	1	
1	299	33	59	20	19	26	33	43	24	14	12	7	8	0	
2	270	33	40	11	15	24	27	36	28	23	17	7	7	6	
3	151	12	15	7	10	11	6	13	25	28	17	4	3		
4	94	5	10	5	5	3	1	4	21	26	12	1	1		
5	56	2	5	3	2	1	0	1	16	19	7	1	0		
6	34	1	3	2	1	0	0	0	10	13	3	0	0		
7	21	0	1	1	0			0	7	9	2	0	0		
8	11	0	0	0	0				4	5	1	0			
9	7	0	0	0		0	0		3	3	0	0			
10	5	0	0	0					2	2	0				
11	2								1	1	0				
12	1								1	0					
13	1								0	0					
14	0								0	0					
15	0								0	0					
16	0								0	0					
17	0								0	0					
18	0								0	0					
19															
20	0								0						
Summe	1000	90	141	55	57	69	73	102	148	149	73	21	21	1	

Rel. Häufigkeit "0" : mindestens 1 Fall wurde registriert

"uml." = umlaufend

Tabelle 5.3-3: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit  $v$  (Klassenuntergrenze in m/s)  
 Absolute Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit  
 Station Rohrbach, Zeitraum 1995 bis 2010.

$v$ m/s	Summe	Windrichtung Sektormitte in Grad													
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	uml.	
0	53265	3398	2518	2525	4108	4754	4756	5153	4882	4961	5216	4483	3943	2568	
1	36083	3954	3401	1729	1707	2692	3112	2558	2738	4460	5207	2930	1595	0	
2	27709	3847	3226	1515	738	765	1104	1186	1677	5325	5702	1850	774	0	
3	14740	2037	1640	678	452	241	129	318	765	3192	4149	846	293	0	
4	5849	662	583	178	184	84	9	61	266	1154	2260	339	69	0	
5	1833	193	170	28	31	38	4	7	61	368	814	110	9	0	
6	578	31	38	0	1	28	1	1	28	130	290	23	7	0	
7	147	9	9	1	0	5	0	0	6	30	85	2	0	0	
8	35	2	2	0	0	0	0	0	2	10	18	1	0	0	
9	12	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	1	0	0	
10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	
Summe	140256	14133	11587	6654	7221	8607	9115	9284	10425	19642	23745	10585	6690	2568	

"uml." = umlaufend

Tabelle 5.3-4: Korrelation der Windrichtung (Sektormitte in Grad) und Windgeschwindigkeit  $v$  (Klassenuntergrenze in m/s)  
 Relative Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Promille  
 Station Rohrbach, Zeitraum 1995 bis 2010.

v m/s	Summe	Windrichtung Sektormitte in Grad														
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	uml.		
0	380	24	18	18	29	34	34	37	35	35	37	32	28	18		
1	257	28	24	12	12	19	22	18	20	32	37	21	11			
2	198	27	23	11	5	5	8	8	12	38	41	13	6			
3	105	15	12	5	3	2	1	2	5	23	30	6	2			
4	42	5	4	1	1	1	0	0	2	8	16	2	0			
5	13	1	1	0	0	0	0	0	0	3	6	1	0			
6	4	0	0		0	0	0	0	0	1	2	0	0			
7	1	0	0	0		0		0	0	0	1	0				
8	0	0	0					0	0	0	0					
9	0								0	0	0					
10	0								0	0						
	Summe	1000	101	83	47	51	61	65	66	74	140	169	75	48	18	

Rel. Häufigkeit "0" : mindestens 1 Fall wurde registriert

"uml." = umlaufend

Tabelle 6.3-1: Maximale Koeffizienten<sup>1)</sup> für eine Korrektur der Windmessdaten auf den Standort PSW Oberbecken Riedl, (Untersuchungspunkt P2)

Station	Sektormitte (Grad)											
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Fürstenzell	1.51	1.26	1.37	1.18	1.04	1.00	0.80	0.95	1.02	1.27	1.53	1.61

<sup>1)</sup> Die ermittelten Faktoren beziehen sich auf die Umrechnung der Windgeschwindigkeiten von der Windmessstation auf den Standort der Stauanlage (TS). Sie basieren auf Ergebnissen der Rechnungen mit dem WAsP-Verfahren + Wieringa-Verfahren sowie dem Strömungsmodell MUKLIMO\_3. Z.B. besagt ein Faktor 0.55, dass die Windgeschwindigkeit in dem betreffenden Windrichtungssektor über der Stauanlage um 45 % geringer ist als an der Windmessstation.

Tabelle 7.2-1: Zu erwartende Extremwerte der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in m/s für Wiederkehrzeiträume von 2, 10, 25 und 50 Jahren.  
Standort: Stauanlage PSW Oberbecken Riedl, 10 m über der Wasserfläche (Untersuchungspunkt P2).

Wieder-kehrintervall in Jahren	Sektormitte <sup>1)</sup> (Grad)												
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	0-360 <sup>3)</sup>
2	12	11	11	9	6	6	5	15	16	13	10	10	17
10	15	14	13	11	8	7	6	20	20	15	12	11	21
25	17	16	14	12	8	8	6	22	22	16	14	12	23
50	18	17	15	13	9	9	7	23	23	17	15	13	24

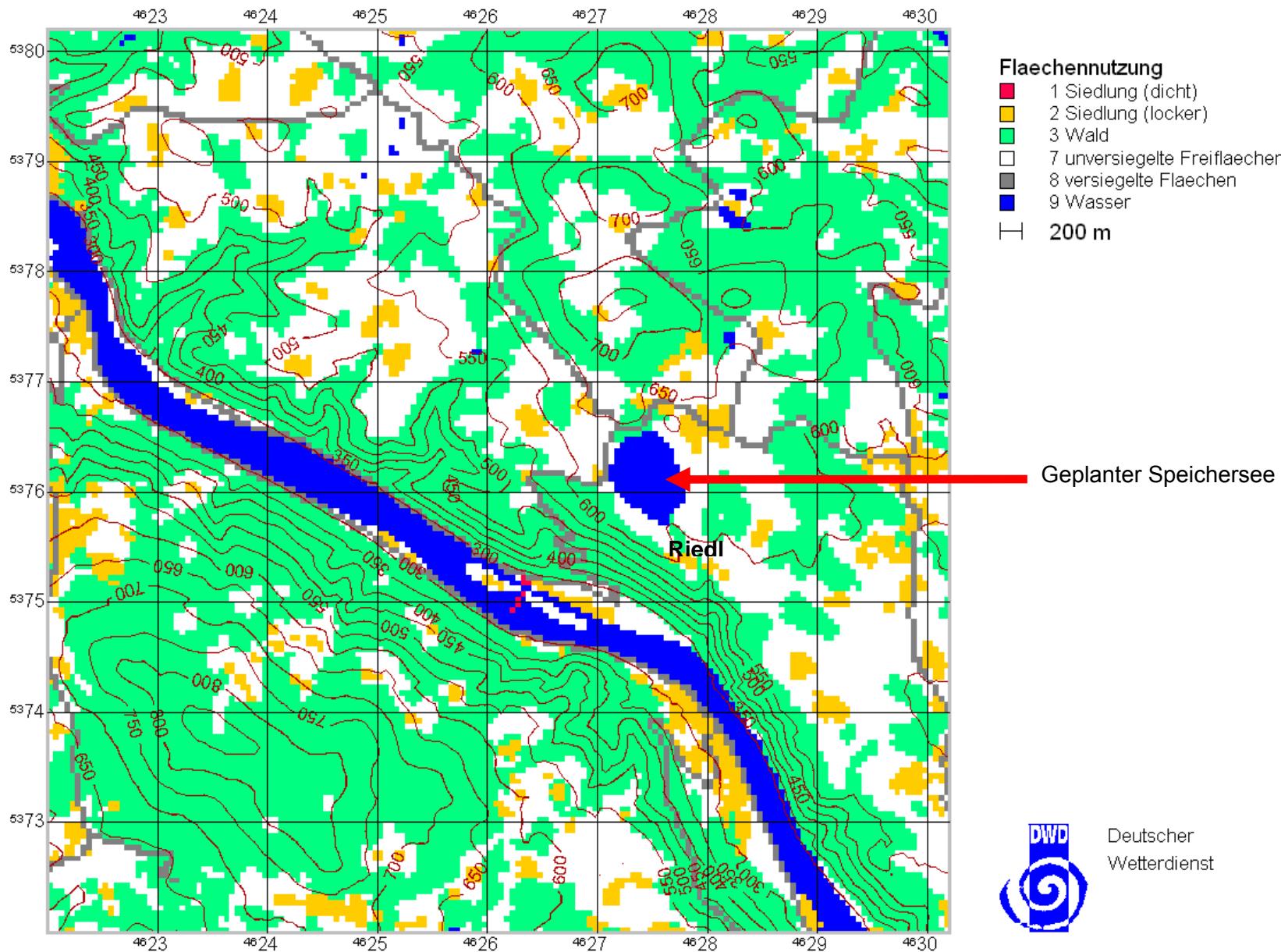
Tabelle 7.2-2: Mittlere Häufigkeit von Stundenmitteln mit Windgeschwindigkeit  $\geq 15$  m/s für einen **Bezugszeitraum von 10 Jahren**.<sup>2)</sup>  
Standort: Stauanlage PSW Oberbecken Riedl, 10 m über der Wasserfläche (Untersuchungspunkt P2).

	Sektormitte <sup>1)</sup> (Grad)												
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	0-360 <sup>3)</sup>
Anzahl (h)	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	17	17	1	<1	37

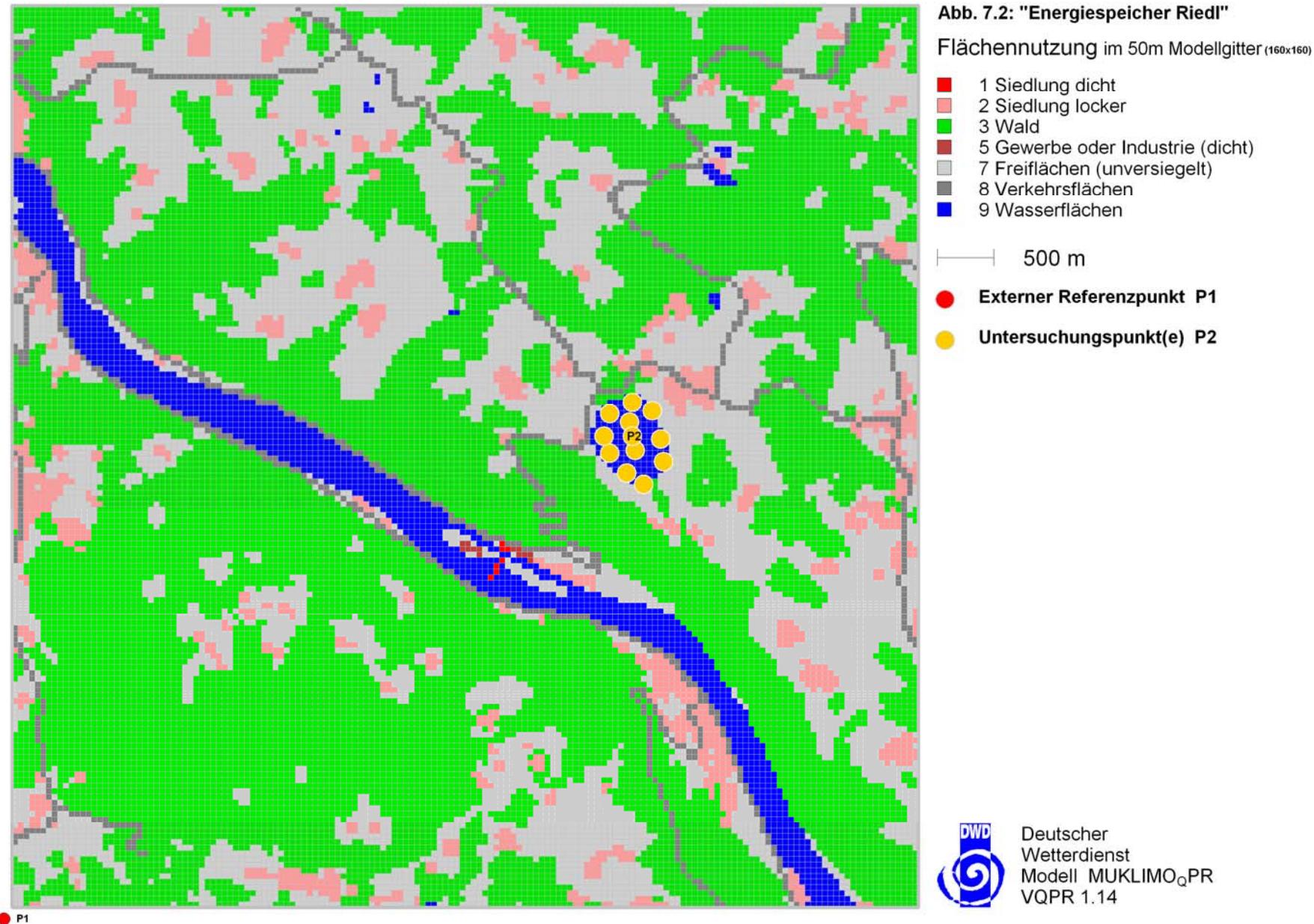
<sup>1)</sup> Die angegebenen Richtungen stellen jeweils die Sektormitte eines "übergreifenden 90-Grad-Sektors" dar: Z.B. beschreibt die Richtungsangabe "30" die Sektormitte desjenigen 90-Grad-Sektors, der von 346 bis 75 Grad reicht; die Angabe "60" den Richtungssektor 16 bis 105 Grad, usw..

<sup>2)</sup> Die Grenzgeschwindigkeit von 15 m/s wird bei einer Häufigkeit  $\geq 1$  statistisch in jedem Jahrzehnt erreicht.

<sup>3)</sup> Die Spalte "0-360" Grad enthält richtungsunabhängige Extremwerte bzw. Häufigkeitswerte des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit.



**Abbildung 7-1:**  
Geländehöhe und  
digitalisierte  
Landnutzung



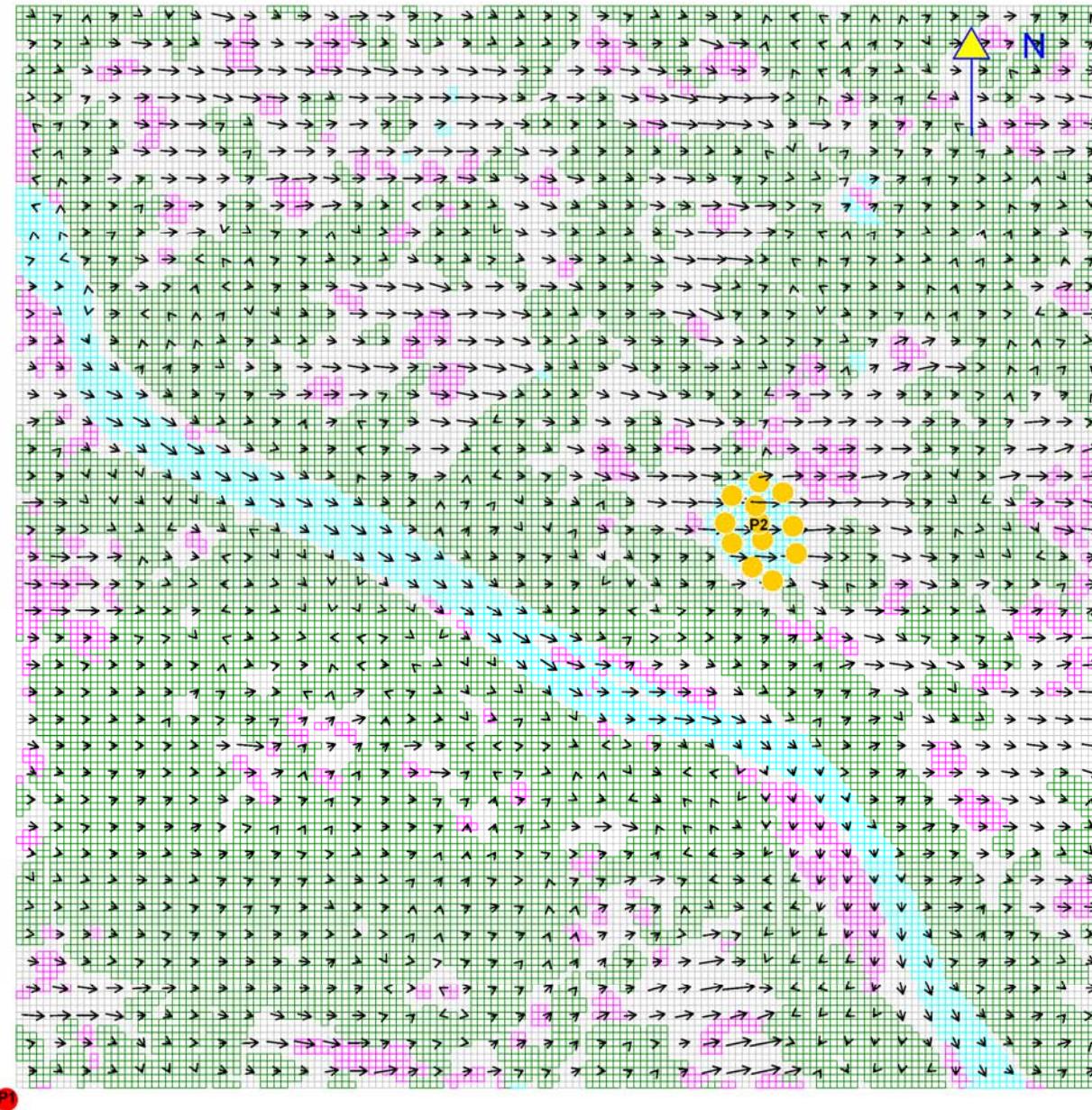
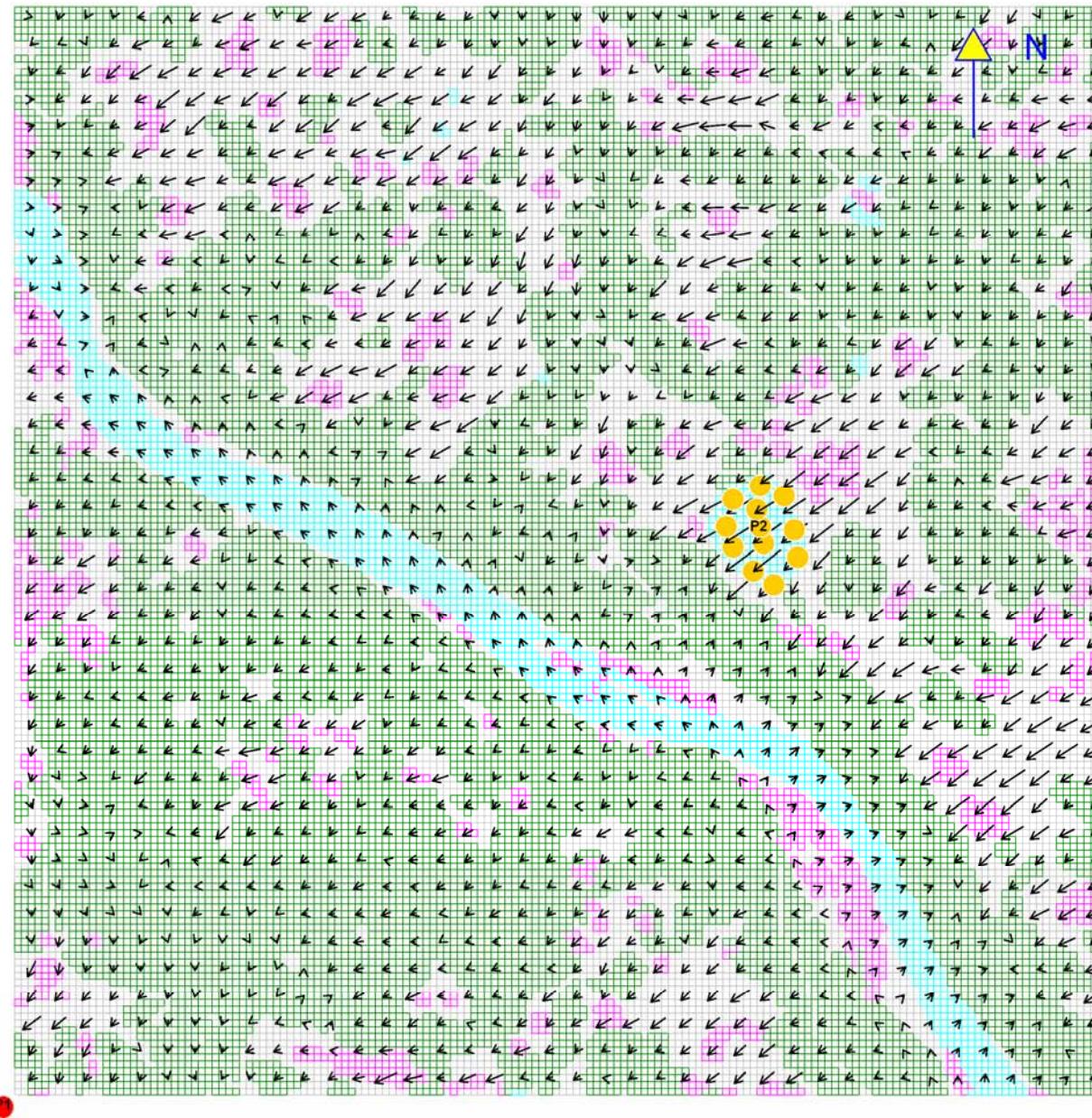


Abb. 7.3: PSW "Energiespeicher Riedl"



Deutscher  
Wetterdienst  
Modell MUCLIMO<sub>3</sub>  
VQPR 1.14



Windfeld-Resultate für den  
Endzeitpunkt der Simulation  
Ergebnisse für 10 m ü. Grund

h 50.0 m

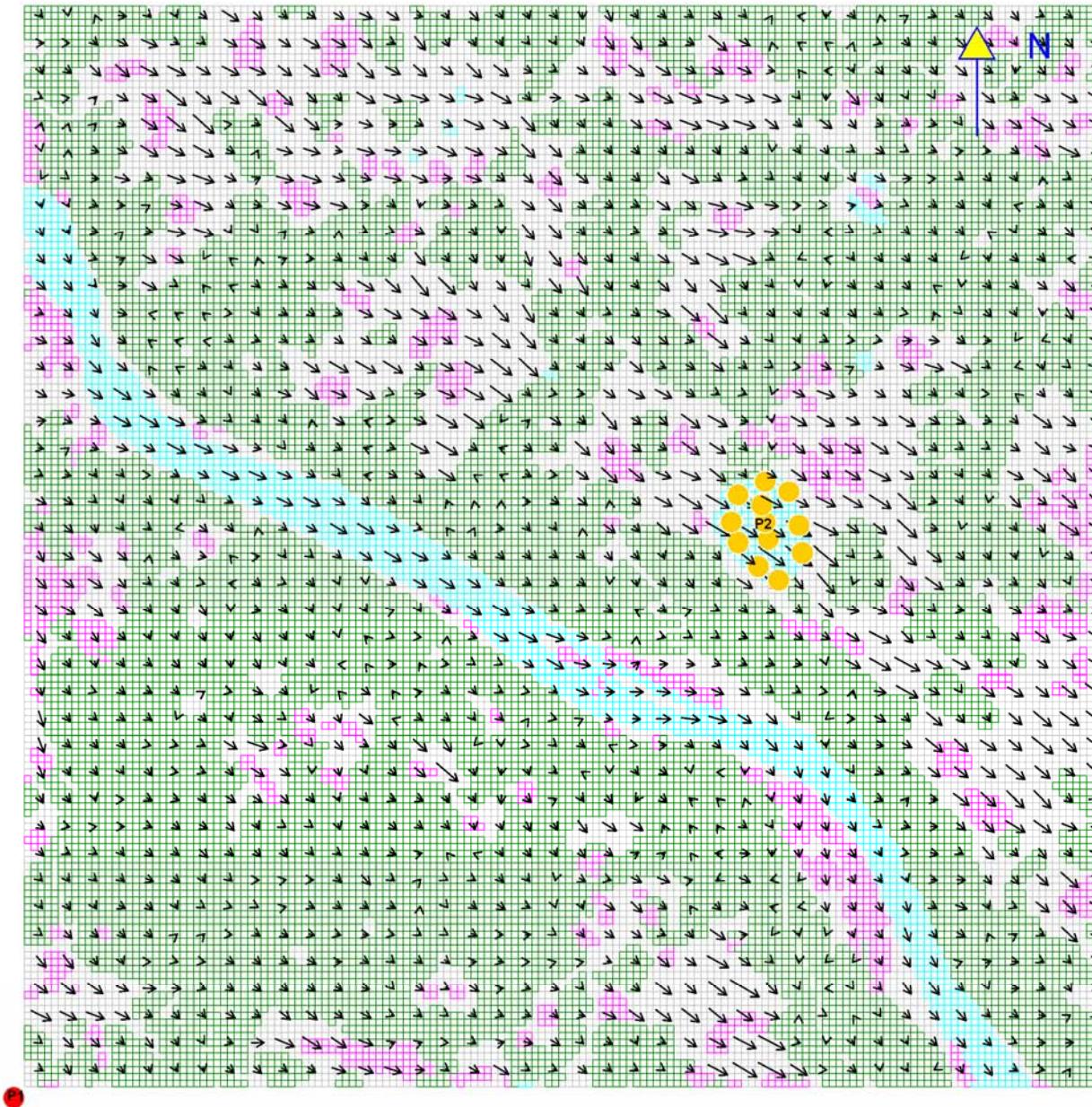
Windrichtung: 60.0 Grad  
→ 10 m/s

- unaufgelöste Bebauung
- Bäume
- Wasser
- Untersuchungspunkt(e)
- Externer Referenzpunkt P1

Abb. 7.4: PSW "Energiespeicher Riedl"



Deutscher  
Wetterdienst  
Modell MUKLIMO<sub>3</sub>  
VQPR 1.14



Windfeld-Resultate für den  
Endzeitpunkt der Simulation  
Ergebnisse für 10 m ü. Grund

h 50.0 m

Windrichtung: 300.0 Grad  
→ 10 m/s

unauflöste Bebauung  
Bäume  
Wasser  
Untersuchungspunkt(e)

Externer Referenzpunkt P1

Abb. 7.5: PSW "Energiespeicher Riedl"



Deutscher  
Wetterdienst  
Modell MUKLIMO<sub>3</sub>  
VQPR 1.14

## ANHANG

### Das meteorologische Element Wind

#### 1 Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge

Wind ist horizontal (als Aufwind auch vertikal) bewegte atmosphärische Luft. Der Wind wird charakterisiert durch die Angabe von Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Die *Windgeschwindigkeit* wird im Allgemeinen in Meter pro Sekunde (m/s) gemessen<sup>2)</sup>. Die *Windrichtung* ist die Richtung, aus der der Wind weht. Sie wird im Uhrzeigersinn in Grad gegen Nord gemessen (Ost=90°)<sup>3)</sup>. Für Auswertungen in der (technischen) Klimatologie wird häufig auf die 30-Grad-Sektoren der 12-teiligen Windrose Bezug genommen (s. Tabelle A-1).

Die Luftbewegung wird durch verschiedene, auf die Luftpartikel wirkende Beschleunigungskräfte verursacht: In der so genannten **freien Atmosphäre**, deren Untergrenze im Mittel zwischen 500 und 1000 m über Grund liegt, wird der Wind im Wesentlichen durch das Zusammenspiel von Druckgradientkraft und Corioliskraft erzeugt. Der sich aus dem Gleichgewicht dieser Kräfte einstellende so genannte **geostrophische Wind** ist von den Einflüssen der Erdoberfläche unabhängig. Die **Druckgradientkraft** wird durch die horizontalen Luftplichteunterschiede hervorgerufen. Diese sind das Ergebnis von dynamischen Vorgängen und der unterschiedlichen Erwärmung der Luft, die von der jeweiligen Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche abhängt. Die **Corioliskraft** ist auf die Erdrotation zurückzuführen und der Geschwindigkeit des betrachteten Luftteilchens proportional. Sie wirkt senkrecht zur Eigenbewegung in Richtung des hohen Luftdruckes und damit entgegengesetzt zur Druckgradientkraft.

Als **planetarische Grenzschicht** oder **Reibungsschicht** bezeichnet man den unteren Teil der Atmosphäre, in dem zusätzlich zu den beiden vorgenannten Kräften die **Reibungskraft** eine wesentliche Rolle spielt. Die planetarische Grenzschicht besitzt im Mittel eine vertikale Mächtigkeit von etwa 500 bis 1000 m. Durch die Reibung wird die Windrichtung aus der Richtung des geostrophischen Windes abgelenkt und die Windgeschwindigkeit abgebremst. Am Erdboden selbst wird die Windgeschwindigkeit Null. Die Windgeschwindigkeitszunahme mit der Höhe, das so genannte **Windgeschwindigkeitsprofil**, folgt in den untersten Dekametern der Atmosphäre einem logarithmischen Gesetz. Dabei wird sowohl die bodennahe Windgeschwindigkeit in einer festen Höhe, z.B. in 10 m über Grund, als auch das Windgeschwindigkeitsprofil durch die **thermische Schichtung der Atmosphäre**, die **Rauigkeit der Erdoberfläche** und die **Geländeform** beeinflusst.

---

<sup>2)</sup> Gebräuchlich sind auch Kilometer pro Stunde (km/h) oder Knoten (kn): Bezuglich der exakten Umrechnung gilt: 1 kn = 0.514 m/s. Windgeschwindigkeiten in kn werden jedoch nur ganzzahlig angegeben. Bei der Umrechnung wird daher jedem Knotenwert ein sich über mehrere 1/10 m/s erstreckender Wertebereich zugeordnet, z.B. für 3 kn der Bereich von 1.3 bis 1.7 m/s.

<sup>3)</sup> Daneben sind zur Messung oder Archivierung der Windrichtung auch noch Einteilungen in 32 und 16 (z.B. in der Nautik) oder 8 (z.B. zur Schätzung) Abschnitte (Sektoren) in Gebrauch.

Bei Luftbewegungen in der Reibungsschicht handelt es sich i.A. um keine laminaren (d.h. "glatten"), sondern um turbulente Strömungen: Der mittleren Windgeschwindigkeit sind kurzfristige Windgeschwindigkeitsschwankungen überlagert, die als **Böigkeit** des Windes bezeichnet werden. Mittlere Windgeschwindigkeiten beziehen sich auf hinreichend lange Messintervalle, die z.B. im Messnetz des Deutschen Wetterdienstes 10 Minuten oder eine Stunde betragen. Böen dagegen dauern i.A. nur wenige Sekunden an - der letzte Entwurf zur DIN1055 (Teil 4) vom 25.04.2002 bezieht sich auf Böendauern von 2 bis 4 Sekunden - und erreichen Werte, die die mittlere Windgeschwindigkeit um mehr als das Doppelte übersteigen können.

Um trotz der Höhenabhängigkeit des Windes und trotz der lokal unterschiedlichen Einflussgrößen die Windgeschwindigkeit großräumig **vergleichen** zu können, ist sie gemäß einer internationalen Vorschrift der Weltorganisation für Meteorologie WMO (1996) in ebenem und offenem Gelände in 10 m Höhe über Grund zu messen. Dabei ist unter dem Begriff des ebenen und offenen Geländes eine hindernisfreie Fläche (Bodenbedeckung mit Rasen, Asphalt oder ähnlichem Belag) zu verstehen, auf welcher der Abstand zu Hindernissen in der Umgebung mindestens das Zehnfache der Hindernishöhe beträgt. Dieses sind die Referenzbedingungen, auf die sich die Windgeschwindigkeitswerte i.A. beziehen.

Im Mittelgebirge können die Windmessstandorte die von der WMO geforderten Kriterien häufig nicht erfüllen. Zusätzlich zu der Orografie beeinflussen Waldgebiete unterschiedlicher Ausdehnung und Bewuchshöhe die Windverhältnisse. Winddaten, die an Mittelgebirgsstationen gemessen werden, sind deshalb nur eingeschränkt repräsentativ und können auf einen Standort in anderer topographischer Lage nur nach einer numerischen Korrektur (in der Regel mit Hilfe einer Modellrechnung) übertragen werden.

## 2 Der Einfluss der thermischen Schichtung auf den Wind

In Abhängigkeit von der vertikalen Temperaturänderung lässt sich die bodennahe Atmosphäre durch verschiedene Zustände der so genannten thermischen Schichtung charakterisieren.

Die **stabile Schichtung** (Temperaturzunahme oder geringe -abnahme mit der Höhe) unterdrückt den Vertikalaustausch in der Atmosphäre und setzt die Windgeschwindigkeit in Bodennähe herab.

Befindet sich die Atmosphäre in einem **labilen Zustand** (starke Temperaturabnahme mit der Höhe), bilden sich kräftige vertikale Impuls-, Wärme- und Feuchteflussdichten, die ggf. zur Ausbildung von Schauern führen und mit einer starken **Böigkeit** verbunden sind.

Eine **neutrale Schichtung** liegt vor, wenn die vertikale Temperaturänderung in der Atmosphäre Vertikalbewegungen weder bremst noch beschleunigt.

Bei Gewittern, in denen starke Böen auftreten können, herrscht i.A. eine labile Schichtung. Bei stürmischen Wetterlagen ist dagegen häufig eine neutrale Schichtung gegeben. Während bei labiler und neutraler Schichtung die Windgeschwindigkeit in Bodennähe i.A. höher ist als bei stabiler Schichtung, ist dafür die vertikale Zunahme der Windgeschwindigkeit geringer.

Da hohe Windgeschwindigkeiten meist bei neutraler Schichtung der Atmosphäre auftreten, werden die Modellrechnungen in diesem Gutachten für eine neutrale Schichtung durchgeführt.

### 3 Der Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf den Wind

Die **Rauigkeit der Erdoberfläche** wird durch die Summe der auf ihr befindlichen Rauigkeitselemente bestimmt. Als solche wirken Bauwerke jeglicher Art ebenso wie Bäume und Büsche, aber auch schon eine kurz gemähte Wiese weist eine höhere Rauigkeit auf als eine glatte Wasseroberfläche. Wie sich anschaulich nachvollziehen lässt, wird die Windgeschwindigkeit umso stärker abgebremst, je rauer die Erdoberfläche ist. Gleichzeitig entfernt sich das Niveau, in dem die mittlere Windgeschwindigkeit annähernd Null wird, mit größerer Rauigkeit vom Erdboden weiter nach oben. Bei dicht stehenden, einheitlichen Rauigkeitselementen wie Getreidefeldern oder Wäldern wird den unteren Metern der Atmosphäre eine Verdrängungshöhe zugeordnet, die 70 bis 80 % der Höhe dieser Rauigkeitselemente beträgt und innerhalb derer die mittlere Windgeschwindigkeit rasch gegen Null strebt.

Aus der Abhängigkeit der bodennahen Windgeschwindigkeit von der Oberflächenrauigkeit ergibt sich, dass die Windgeschwindigkeit (bei sonst gleichen Bedingungen) in Bodennähe, z.B. in 10 m Höhe, über rauem Gelände deutlich niedriger ist als über glattem Untergrund. Da die Windgeschwindigkeit in großer Höhe über Grund, spätestens an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht (siehe Kap.1) aber von den lokal unterschiedlichen Oberflächenrauigkeiten unabhängig ist, ist die vertikale Windgeschwindigkeitszunahme über rauer Oberfläche größer als über glatter.

Die Oberflächenrauigkeit wird durch die so genannte Rauigkeitslänge  $z_0$  beschrieben. Die Rauigkeitslänge ist ein Parameter von der Dimension einer Länge, der die vertikale Windgeschwindigkeitszunahme mitbestimmt.

Einzelne große Rauigkeitselemente in einer ansonsten "glatten" Umgebung müssen als **Strömungshindernisse** gesondert behandelt werden. Wird einer dichten Bebauung oder einem Wald keine Verdrängungshöhe zugeordnet, empfiehlt es sich für Modellrechnungen bzw. Abschätzungen, ergänzend zur Wahl eines großen Rauigkeitsparameters ebenfalls einzelne markante Bauten bzw. Waldkanten als Hindernisse zu parametrisieren.

Trifft die Luft auf ein Hindernis, so wird sie gezwungen, dieses teils seitlich zu umströmen, teils zu überströmen und, sofern dies möglich ist (z.B. Baumreihen), teils hindurch zu strömen. Unmittelbar hinter dem Hindernis wird die Windgeschwindigkeit am stärksten abgebremst. Ihr Wiederanstieg auf den Ursprungswert verläuft allmählich: Er wird häufig erst in einer Entfernung wieder erreicht, die der 30- bis 50-fachen Hindernishöhe entspricht.

### 4 Der Einfluss des Geländes auf den Wind

Beim Überströmen von Erhebungen wie **Dämmen, Hügeln, Kuppen, Kämmen** oder **Bergmassiven** wird die Windgeschwindigkeit im jeweiligen Gipfelbereich und an den seitlichen Flanken erhöht.

Die Geschwindigkeitszunahme hängt sowohl von der Höhendifferenz zwischen dem Gipfelpunkt und der durchschnittlichen Höhe des luvseitigen Geländes als auch von der Neigung ab. Außerdem ändert sich das vertikale Geschwindigkeitsprofil über dem Gipfelpunkt nicht gleichmäßig. Eine

analytische Beschreibung der Windgeschwindigkeitsänderungen geben z.B. JACKSON und HUNT (1975).

Eine Übersicht über die sich aus analytischen Ansätzen, Windkanaluntersuchungen oder Feldexperimenten ergebenden Windgeschwindigkeitserhöhungen findet man z.B. bei TAYLOR u.a. (1987).

Qualitativ lassen sich die Ergebnisse für das Überströmen von Erhebungen folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Windgeschwindigkeitszunahme ist umso größer, je höher die Erhebung über die mittlere Geländehöhe des luvseitigen Geländes herausragt.
2. Die Windgeschwindigkeitszunahme ist umso größer, je steiler die Erhebung ansteigt. Wegen ihrer besonderen Beeinflussung des Windfeldes sind Steilkanten hier allerdings ausgeschlossen.
3. Die Windgeschwindigkeitszunahme erreicht ihr Maximum im Gipfelbereich in einer Höhe von nur wenigen Metern über Grund. Mit zunehmender Höhe über Grund fällt die Windgeschwindigkeitsüberhöhung dann geringer aus, bis sie in einer Höhe von einigen Deka- bis Hektometern ganz verschwindet.
4. Im Lee des Hügels kann es je nach Steilheit, Rauigkeit und Strömungszustand zu einer Wirbelbildung kommen, wobei die mittlere Windgeschwindigkeit in Bodennähe dort fast auf ein Drittel des ungestörten Ausgangswertes fällt.

Außer auf Erhebungen können auch in **Tälern** andere Windgeschwindigkeiten auftreten als im orografisch ungegliederten Gelände. In quer oder schräg zur jeweiligen Windrichtung liegenden Tälern wird der Wind abgebremst, so dass die Windgeschwindigkeiten in den Tälern der Mittelgebirge im Mittel gering sind. Bei parallel zur Talachse wehenden Winden kommt es in sich verengenden Tälern aufgrund der Kanalisation der Strömung dagegen zu einer Windgeschwindigkeitszunahme. Dieser so genannte Düseneffekt ist aufgrund seiner Abhängigkeit von der Talbreite, der Talverengung und der Steilheit der Talhänge generell nur schwer quantifizierbar. In der Regel sind Einzelfalluntersuchungen mit Hilfe von Strömungsmodellen erforderlich.

Tabelle A-1: Bezeichnung und Gradeinteilung der Windrichtungssektoren sowie Bereichsgrenzen der Windrichtungsklassen der 12-teiligen Windrose

Bezeichnung	30°-Richtungssektor	Bereich	Dekagrad	DD <sup>*)</sup>
Nordnordwest - NNW	330°	316° - 345°	32 - 34	11
Nord - N	360°	346° - 15°	35 - 1	12
Nordnordost - NNE	30°	16° - 45°	2 - 4	1
<hr/>				
Ostnordost - ENE	60°	46° - 75°	5 - 7	2
Ost - E	90°	76° - 105°	8 - 10	3
Ostsüdost - ESE	120°	106° - 135°	11 - 13	4
<hr/>				
Südsüdost - SSE	150°	136° - 165°	14 - 16	5
Süd - S	180°	166° - 195°	17 - 19	6
Südsüdwest - SSW	210°	196° - 225°	20 - 22	7
<hr/>				
Westsüdwest - WSW	240°	226° - 255°	23 - 25	8
West - W	270°	256° - 285°	26 - 28	9
Westnordwest - WNW	300°	286° - 315°	29 - 31	10

<sup>\*)</sup> Index der Windrichtungssektoren