

Bericht

betreffend

Windzonierungskarte für Kleinwindkraftanlagen für Wien

Auftraggeberin

Stadt Wien, MA 20 Energieplanung
Amerlingstraße 11, 1060 Wien

Kundenservice Fachabteilung Klima

Mag. Hildegard Kaufmann
DI Dr. Hung Viet Tran
Alexander Orlik
Sebastian Pokorny

Wien, Juni 2015

Unser Zeichen: 2014/KL/000132

Ihr Zeichen: 872618

www.zamg.at

1190 Wien, Hohe Warte 38
Tel +43 (0) 1 360 26 - 2204
Fax +43 (0) 1 360 26 - 72
E-Mail: klima@zamg.ac.at

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	6
2.1	Wind.....	6
2.1.1	<i>Theoretische Grundlagen Wind</i>	6
2.1.2	<i>Winddaten</i>	8
2.2	Geländemodell	8
2.3	Rauigkeiten	9
2.4	Gebäudemodell der Stadt Wien	9
2.5	Windenergienutzung.....	9
2.6	Berechnungsprogramme.....	10
3	Methode	11
3.1	Analyse Winddaten	11
3.1.1	<i>Analyse der Windmesszeitreihen</i>	11
3.1.2	<i>Berechnung Windatlas</i>	14
3.2	Digitale Rauigkeitskarte	15
3.3	Digitales Geländemodell.....	17
3.3.1	<i>Digitale Geländekarte</i>	17
3.3.2	<i>Mittlere Gebäudehöhe</i>	17
3.3.3	<i>Digitale Geländekarte und mittlere Gebäudehöhe</i>	18
3.4	Modelldomäne.....	20
3.5	Windfeldmodellierung.....	20
3.5.1	<i>Anwendung des Strömungsmodells</i>	20
3.5.2	<i>Erstellung einer flächendeckenden Karte</i>	21
4	Ergebnisse	22
4.1	Windzonierungskarten.....	22
4.1.1	<i>Bewertung der Ergebnisse</i>	23
4.2	Bewertung und Zonierung	24
4.3	Datenbank	24
4.4	Prioritätsgebiete	25
5	Hinweis Genehmigungsverfahren Stadt Wien	26
6	Zusammenfassung.....	27
7	Literatur und Quellen	28

1 Einleitung

Im Auftrag der Stadt Wien, MA 20 Energieplanung erstellte die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) als teilrechtsfähige Einrichtung des Bundes eine Windpotentialkarte für die Nutzung von Kleinwindkraftanlagen für den Bereich der Stadt Wien sowie eine Windpotentialdatenbank. Die Windpotentialkarte liegt für eine Höhe von 10 m über der mittleren Gebäudehöhe vor.

Für die Berechnung der Windzonierungskarte wurde das Modell WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Programm) eingesetzt, das speziell in der Windenergie Anwendung findet. Auf Grundlage des Bebauungsmodells der Stadt Wien, der Landnutzung (Oberflächenrauigkeit), der Orographie und der Messungen der ZAMG an meteorologischen Messstationen in Wien und soweit relevant der Umgebung der Stadt wurde die mittlere jährliche Leistungsdichte, die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit und die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen für den Bereich der Stadt Wien berechnet. Zusätzlich wurden die Weibull-Parameter (Skalierungsfaktor A, Formfaktor k) der Weibull-Verteilung, die eine gute Näherung der Windgeschwindigkeitsverteilung ist, berechnet.

Die verwendeten Datengrundlagen, Methoden, Ergebnisse und Empfehlungen sind im gegenständlichen Bericht dargestellt.

2 Grundlagen

Die Grundlagen für die Erstellung der Windpotentialkarte sind im Wesentlichen Winddaten, die Orographie, die Landnutzung (Rauigkeiten) sowie das Gebäudemodell der Stadt Wien.

In den Abschnitten 2.1.1 und 2.5 sind einfache Grundlagen zu Wind und Windenergienutzung erläutert, die dem Verständnis der Methode und der Interpretation der Ergebnisse dienen sollen.

2.1 Wind

2.1.1 Theoretische Grundlagen Wind

Die Windverhältnisse an einem Standort werden vor allem vom Druckgradienten und damit von der Großwetterlage, von der thermischen Schichtung der Atmosphäre sowie von der großräumigen Lage des Standortes (z. B. von höheren Gebirgszügen in der Umgebung) bestimmt. Die in Mitteleuropa in der freien Atmosphäre, ungestört vom Untergrund, dominierenden Hauptströmungsrichtungen West und Ost werden modifiziert.

In großen Höhen über Grund (ab etwa 1000 m) findet man ein nahezu ungestörtes Windfeld vor. Die Windgeschwindigkeiten sind dort nur noch von den horizontalen Druckunterschieden abhängig, man spricht vom Gradientwind. Je weiter man sich dem Boden nähert, desto mehr nimmt der Einfluss der Reibungskraft zu, was zu einer Verringerung der Windgeschwindigkeit führt. An der Erdoberfläche ist die Windgeschwindigkeit gleich Null [1]. Die Reibungskraft hängt im Wesentlichen von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde ab. Man unterscheidet hier zwischen Geländekonturen (Orographie), Rauigkeit des Terrains (Landnutzung) und Hindernissen (z. B. Gebäude). Die Orographie liefert eine großräumige Beschreibung des Geländes, sie beinhaltet Elemente wie Hügel, Böschungen, Bergrücken, Täler etc. Wobei diese Elemente nicht nur zu einer Verringerung der Windgeschwindigkeit führen müssen, sondern auch Modifikationen der Windrichtung (z. B. in Tälern) oder eine Erhöhung der Geschwindigkeit gegenüber der Umgebung (z. B. über Kuppen oder Bergrücken) hervorrufen können. Die Bodenrauigkeit spiegelt besonders den Einfluss der Landnutzung wider. So bewirken z. B. Wasserflächen oder betonierte Startbahnen eine weniger starke Abschwächung der Windgeschwindigkeit als z. B. Sträucher, Bäume oder bebautes Gebiet. Flächen mit ähnlichen Elementen werden zu Gruppen zusammengefasst und als Flächen mit gleichen Rauigkeitslängen dargestellt. Die kleinräumigste Beschreibung der Einflussfaktoren auf das Windfeld stellen Hindernisse dar. Ein Hindernis kann das lokale Windfeld in der Vertikalen bis zu einer Höhe, die dreimal der Hindernishöhe entspricht, modifizieren, und (leeseitig) in der Horizontalen bis zu einer Distanz, von 30- bis 50mal der Hindernishöhe.

Die Bodenrauigkeit wird durch die Rauigkeitslänge z_0 , die in Metern angegeben wird, beschrieben. Abbildung 2.1 zeigt Windprofile über unterschiedlichem Gelände: die Verteilung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe ohne störende Hindernisse folgt dem sogenannten logarithmischen Windprofil, das in Nähe der Bodenoberfläche den Wert Null annimmt.

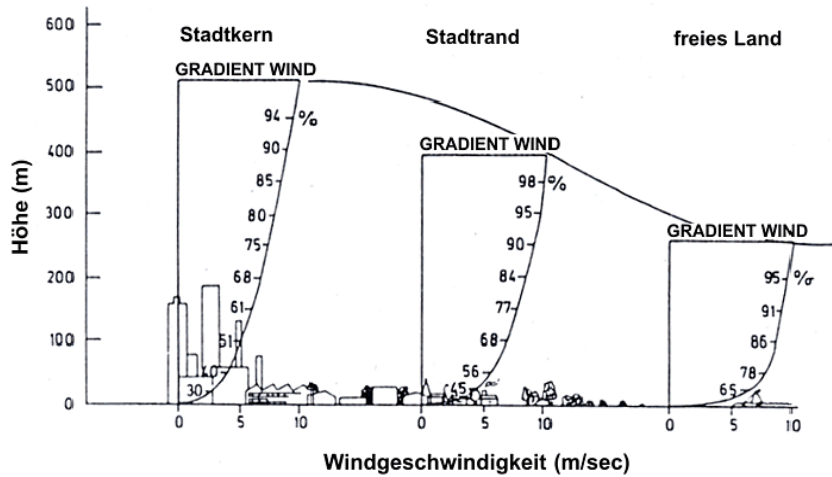


Abbildung 2.1: Vertikales Windprofil über der Innenstadt, Stadtrand und Freiland [2].

Die Höhe über dem Boden, in der die mittlere Windgeschwindigkeit gleich Null wird, entspricht der Rauigkeitslänge z_0 [3]. Je kleiner z_0 ist, desto weniger Reibung entsteht, je größer z_0 ist, desto größere Reibungskraft beeinflusst die Windgeschwindigkeit und bremst sie (in Bodennahe) stärker ab. Abbildung 2.2 zeigt Beispiele für unterschiedliche Rauigkeitsklassen und Rauigkeitslängen z_0 .

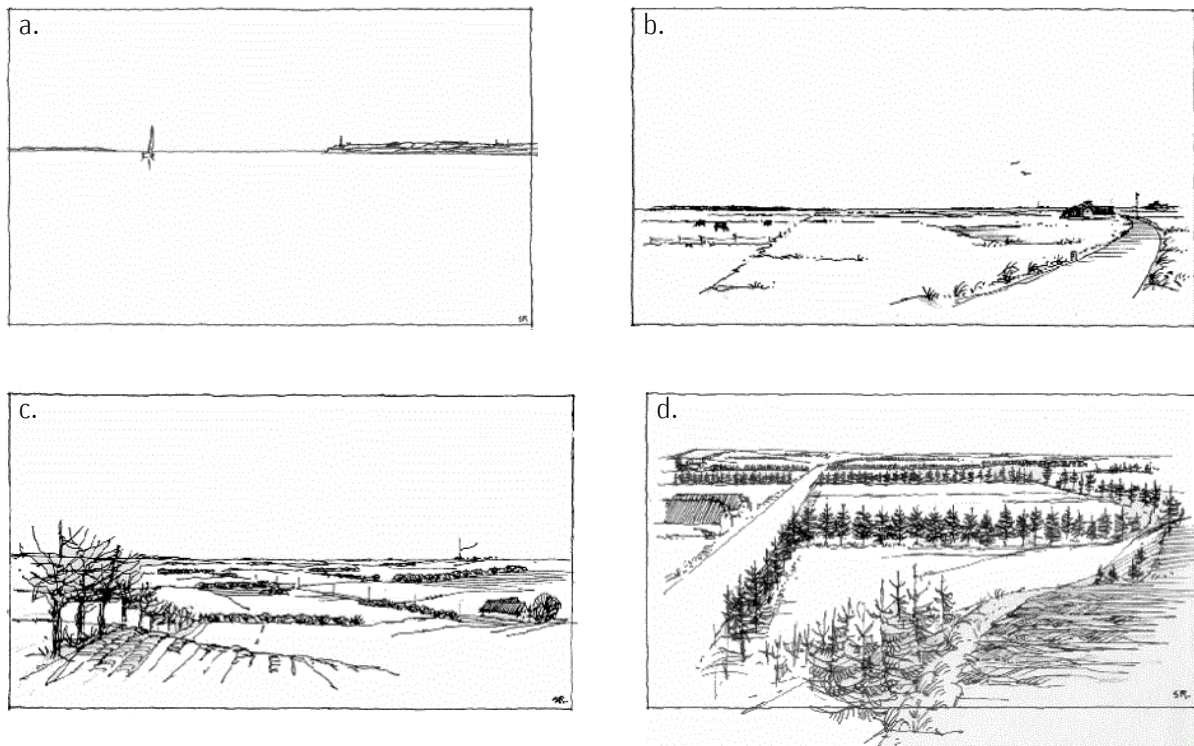


Abbildung 2.2: Beispiele Rauigkeitsklassen nach dem Europäischen Windatlas [4], [1]. Wobei: a. Rauigkeitsklasse 0 mit $z_0 = 0,0002$; b. Rauigkeitsklasse 1 mit $z_0 = 0,03$; Rauigkeitsklasse 2 mit $z_0 = 0,1$; Rauigkeitsklasse 3 mit $z_0 = 0,4$.

2.1.2 Winddaten

Die Winddaten stammen von meteorologischen Messstationen in Wien und der näheren Umgebung Wiens aus dem TAWES-Messnetz (TAWES = teilautomatische Wetterstation), betrieben von der ZAMG [5]. Die verwendeten Stationen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 2.1: Meteorologische Messstationen mit Angaben zur geographischen Lage, Windmessung und Inbetriebnahme der Station in der aktuellen Konfiguration.

Stationsname	Nummer Klimastation	Seehöhe [m]	Länge [°]	Breite [°]	Höhe Windgeber über Grund [m]	Stationserrichtung [JJJJMMTT]
Wien/Stammersdorf	4115	191	16°24'20" E	48°18'21" N	10	20081209
Wien-Jubiläumswarte	5802	450	16°15'55" E	48°13'16" N	27.5	20090831
Wien-Mariabrunn	5805	225	16°13'46" E	48°12'25" N	9.5	19970116
Wien-Hohe Warte	5904	198	16°21'23" E	48°14'55" N	35	19930101
Wien/Unterlaa	5917	200	16°25'10" E	48°07'30" N	16	19960101
Wien-Innere Stadt	5925	177	16°22'01" E	48°11'54" N	52	19841219
Wien Donauturm	5900	164	16°23'00" E	48°16'00" N	252	19650101
Wolkersdorf	4125	185	16°30'27" E	48°22'49" N	10	20080723
Brunn am Gebirge	5820	291	16°16'12" E	48°06'25" N	10	20080925
Groß-Enzersdorf	5972	154	16°33'33" E	48°11'59" N	10	19830701

Die Spalte Stationserrichtung gibt das Datum an, an welchem die Station in der aktuellen bzw. letztgültigen Konfiguration errichtet wurde. Datenbasis sind 10-Minuten-Mittelwerte bzw. bei der Station Wien Donauturm Stundendaten. Es wurden Daten bis inkl. 2013 verwendet, wobei nur Daten aus ganzen Jahren herangezogen wurden. Die Station Donauturm wurde nicht bis 2013 betrieben und daher nur für die Periode 01.01.1965 bis 31.12.1983 herangezogen, ist aber aufgrund der großen Messhöhe über Grund und der damit verbunden kleinen Beeinflussung von Hindernissen in Bodennähe eine wichtige Winddatenformation für die Windverhältnisse.

2.2 Geländemodell

Das digitale Geländemodell Höhenraster (DGM Höhenraster) wurde beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) zugekauft [6] und für die weiteren Berechnungen aufbereitet. Das digitale Geländemodell umfasst das Gebiet der Stadt Wien sowie einen mindestens 4 km breiten Rand von den äußersten Punkten des Stadtgebiets.

Tabelle 2.2: Horizontale Ausdehnung digitales Geländemodell und digitale Rauigkeitskarte.

Koordinaten GK Österreich MGI 34	Minimal [m]	Maximal [m]
Rechtswert	-16000	23000
Hochwert	327000	358000

2.3 Rauigkeiten

Auf Basis von Auszügen des digitalen Kartenmaterials der AMap des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesens BEV [7] und als Ergänzung dazu von online verfügbarer Satellitenbilder von Google Earth und Bing Maps wurde eine digitale Rauigkeitskarte (Klassifizierung der Rauigkeitslängen nach der Landnutzung) für die Stadt Wien und die relevante Umgebung des Stadtbereichs erstellt (Stand Juli 2014). Der Vorteil der so erfolgten Digitalisierung besteht darin, dass die Daten in höherer räumlicher Auflösung erfasst werden können als beispielsweise über den CORINE-Datensatz (Auflösung horizontal 100 m).

Die erstellte digitale Rauigkeitskarte hat dabei die selbe räumliche Ausdehnung wie das digitale Geländemodell (Tabelle 2.2).

2.4 Gebäudemodell der Stadt Wien

Aus dem von der MA 41 im August 2014 zur Verfügung gestellten Gebäudemodell der Bebauung der Stadt Wien [8] wurde ein flächiges Raster der mittleren Gebäudehöhen erstellt. Dabei stand für jedes Gebäude die Grundfläche, die mittlere, minimale und maximale Gebäudehöhe zur Verfügung.

2.5 Windenergienutzung

Wind lässt sich als bewegte Luft verstehen und enthält Bewegungsenergie (kinetische Energie). Durch den mechanischen Antrieb der Rotorblätter einer Windkraftanlage lässt sich die kinetische Energie des Windes zunächst in mechanische Energie und über elektrotechnische Umwandlungsprozesse im Generator in elektrische Energie (elektrischer Strom) umwandeln.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2$$

Mit E_{kin} : kinetische Energie, m : Masse (bei Windkraftanlagen ist m die Masse die Luft, die in Richtung des Rotors strömt), u : Windgeschwindigkeit

Je höher die Geschwindigkeit und Masse des Windes desto größer ist die daraus produzierbare Strommenge. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Windleistung ist dabei von überproportionaler Bedeutung. Dies liegt daran, dass die Geschwindigkeit in die Leistungsberechnung mit der dritten Potenz eingeht, also eine Verdopplung der Windgeschwindigkeit zur achtfachen elektrischen Leistung führt. Die jährliche mittlere Windgeschwindigkeit an einem Ort ist ein erster Indikator für das Windaufkommen und damit für das Windpotential an einem Standort. Neben der Windgeschwindigkeit gehen die Luftdichte und die vom Wind durchströmte Querschnittsfläche, also die überstrichene Rotorfläche, in die Berechnung der Windleistung ein. Die Leistung des Windes und damit der Ertrag einer Windkraftanlage ist weiters proportional zur Luftdichte.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot m \cdot u^3$$

Mit P : Leistung des Windes, ρ : Luftdichte, A : Rotorfläche, u : Windgeschwindigkeit.

Der natürliche Wind ist ständigen Schwankungen der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung unterworfen. Welche Leistung an einem Ort erwartet werden kann, hängt von der Häufigkeit der unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten (Windklassen) am Standort in den unterschiedlichen Höhen ab.

Eine Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit lässt sich mit Hilfe der Weibull-Verteilung approximieren. Diese theoretische Verteilung wird sehr häufig für Messwerte der Windgeschwindigkeit verwendet. Sie ist durch zwei Parameter, den Skalierungsfaktor A und den Formfaktor k beschrieben.

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right)$$

Mit u: Betrag der Windgeschwindigkeit, k: Weibull Formfaktor, A: Weibull Skalierungsfaktor.

Der Skalierungsfaktor A ist ein Maß für charakteristische Windgeschwindigkeit der Zeitreihe und ist proportional zum Mittelwert der Windgeschwindigkeit. Der Formfaktor k bestimmt die Form der Verteilung und nimmt dabei Werte von etwa 1 bis 3 an, wobei ein kleiner k-Wert bedeutet, dass sehr variable Winde wehen, während konstante Winde einen größeren k-Wert aufweisen.

Über die spezifische Leistungskennlinie der Windkraftanlage lässt sich schließlich der prognostizierte Ertrag einer Anlage berechnen (weitere Einflussfaktoren, die den Ertrag einer Anlage beeinflussen können entsprechender Fachliteratur entnommen werden).

2.6 Berechnungsprogramme

Die Winddaten wurden mit WAsP Climate Analyst [9] analysiert. Für die Digitalisierung der Rauigkeitskarte wurde das Programm WAsP Map [10], [11] verwendet. Die Aufbereitung des DGM Höhenrasters wurde mit ArcView GIS [12], Digger [13] und WAsP Map [11] vorgenommen. Mit ArcMap [14] wurden die mittlere Gebäudehöhe ermittelt und die Stadtentwicklungsgebiete eingebunden. Die Windfeldmodellierung erfolgte mit WAsP [4], die Zusammenfügung und Nachbearbeitung und der modellierten Windfelder mit ArcMap [14].

3 Methode

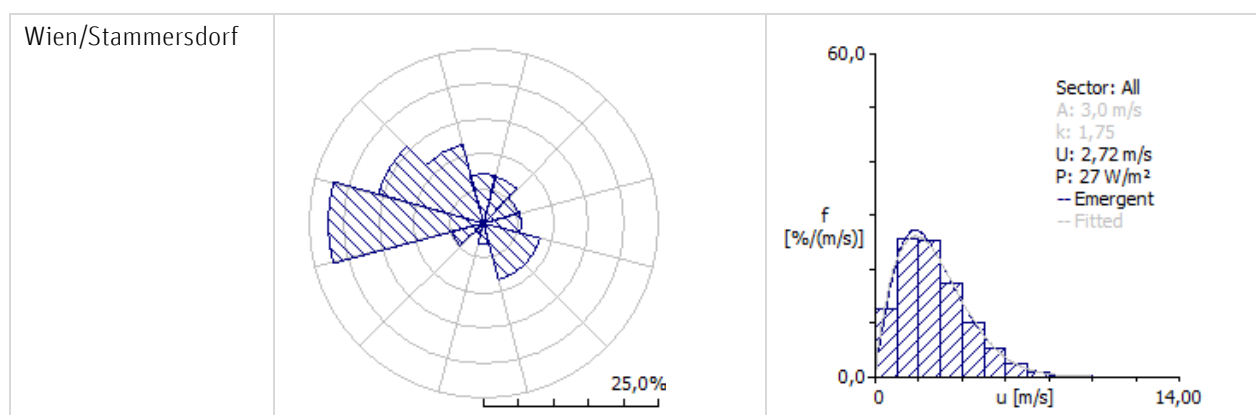
3.1 Analyse Winddaten

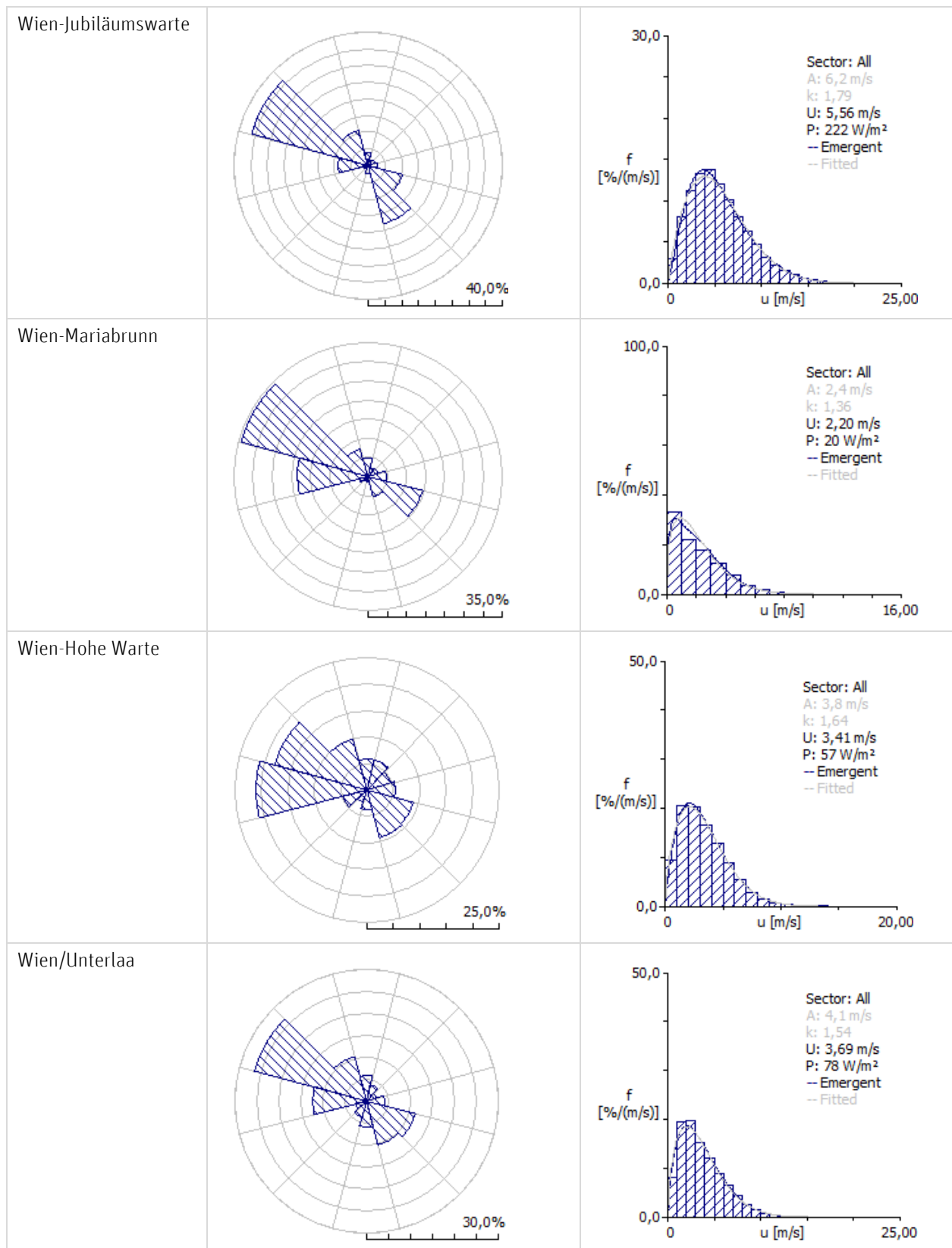
Die Winddaten der einzelnen Stationen wurden für den jeweils verfügbaren Messzeitraum statistisch hinsichtlich Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten ausgewertet. Da die Windverhältnisse im jahreszeitlichen Verlauf einen typischen Jahresgang aufweisen (im Mittel höhere Windgeschwindigkeiten im Winter und Frühling, mehr Südostwind im Herbst etc.) wurden bei den Auswertungen der jeweiligen Zeitreihe nur ganze Jahre herangezogen. Soweit aufgrund der Verfügbarkeit möglich, wurden standardmäßig qualitätsgeprüfte Daten verwendet. Die nicht qualitätsgeprüften Daten wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen (10-Minuten-Daten vor 2006). Ziel war dabei statistisch möglichst abgesicherte Daten heranzuziehen und hier ist die Länge der Zeitreihe ein wesentlicher Punkt.

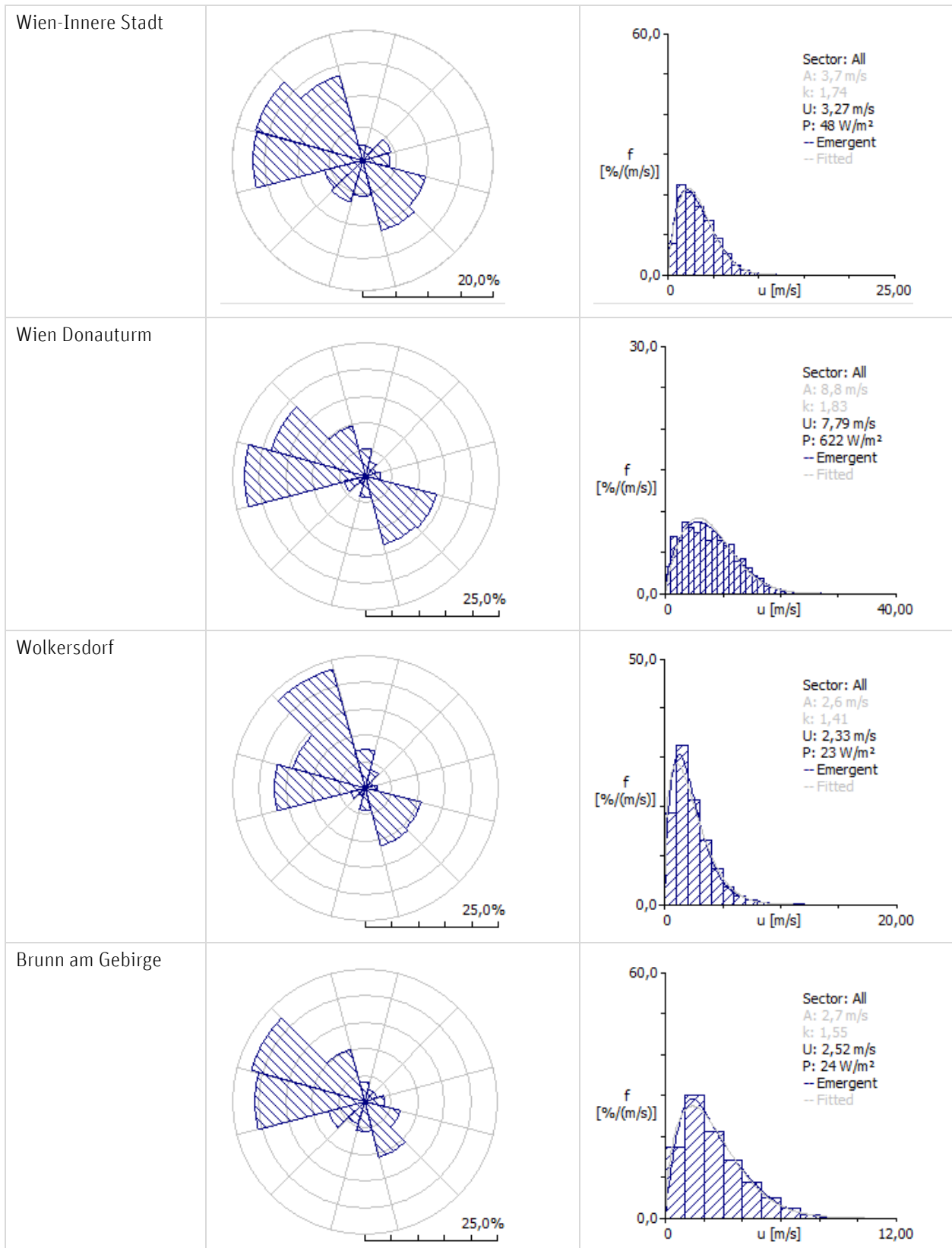
3.1.1 Analyse der Windmesszeitreihen

Für die Zeitreihen der Windmessdaten an den einzelnen Stationen wurde mittels WASP Climate Analyst eine statistische Analyse durchgeführt. Dabei werden für jeden Sektor die Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen, die berechnete Leistungsdichte sowie die Weibull-Parameter und die Auftrittshäufigkeit des Windrichtungssektors ausgegeben. Alle genannten Parameter werden weiters als Gesamtergebnis für alle Sektoren angegeben.

In den folgenden Abbildungen ist das berechnete Windklima an den Messstationen mit Windrichtungsverteilung in Form einer 12-teiligen Windrose, mittlerer Windgeschwindigkeit (in der Graphik mit U benannt), Weibull-Verteilung (Parameter A und k) und gemessener Leistungsdichte (P) dargestellt. Es zeigen sich die für den Osten Österreichs typischen Hauptwindrichtungen, West bis Nordwest und Südost. Auch innerhalb der Stadt bestehen gewisse Unterschiede bei der Verteilung der Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen. Die Windgeschwindigkeit hängt dabei stark von der Messhöhe und der Windexponiertheit der Station sowie der Lage der Station innerhalb der Stadt ab. Bei dieser Auswertung handelt es sich um die Rohdaten, dabei sind alle lokalen Einflussfaktoren auf das Windfeld in den Messwerten enthalten und spiegeln sich in den Ergebnissen wider.







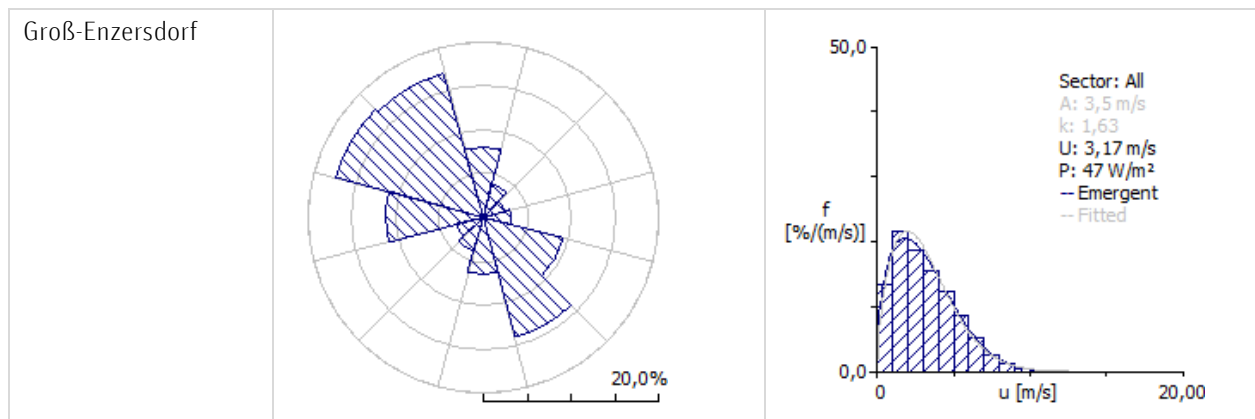


Abbildung 3.1: Auswertung Windklima Messstationen. Datenbasis 10-Minuten-Mittel, bei Wien Donauturm Stundenmittel. Ausgewertet wurden nur ganze Jahre.

3.1.2 Berechnung Windatlas

Der sogenannte Windatlas wurde durch die Eliminierung der oben genannten Einflussfaktoren vom Modell berechnet. Daraus ergibt sich das ungestörte Windfeld (Windatlas) an einem Ort. Der Windatlas enthält die Windverteilung für vier Standardhöhen und fünf Rauigkeitsklassen. Die linke Seite der Abbildung 3.2 stellt schematisch die Methode des WASP-Windatlas-Berechnung dar: Am Punkt der Windmessung werden die lokalen Einflüsse auf den Wind durch Hindernisse, die Landnutzung und die Orographie berechnet und „bereinigt“.

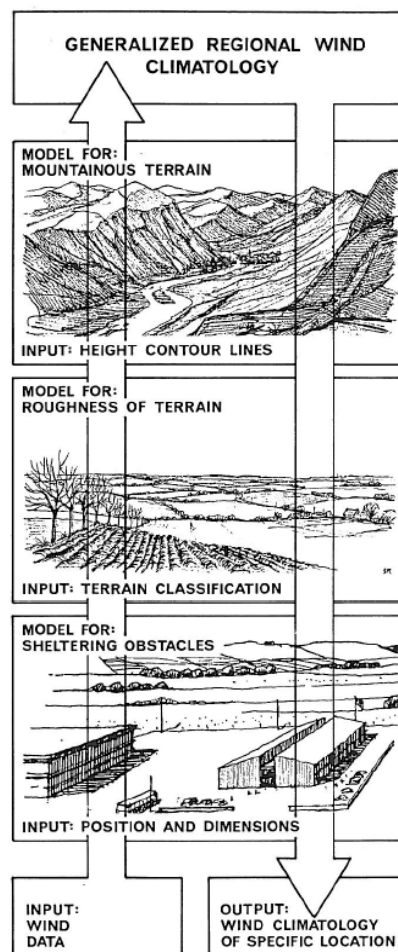


Abbildung 3.2: Windatlas-Methode nach WASP [4]

3.1.2.1 Digitalisierung Hindernisse

Hindernisse, feste (z.B. Gebäude) oder teildurchlässige (z.B. Bäume), in der Umgebung der Windmessstationen beeinflussen die Windverhältnisse und damit die Messwerte. Um diese etwaigen Effekte zu erfassen wurden relevante Hindernisse entsprechend den Vorgaben von WAsP bestimmt. Die Hindernisse wurden anhand der AMap [7], online verfügbarer Satellitenbilder (Bing Maps, Google Maps) und des Gebäudemodells der Stadt Wien ermittelt, vermessen, tabellarisch festgehalten und mit ihren geometrischen Abmessungen wie Höhe, Breite und Tiefe der Hindernisse aus der Sicht des jeweiligen Standortes sowie der Entfernung zur Messstation in das Rechenprogramm eingegeben. Dabei wurden für die Erfassung der relevanten Hindernisse nach [4] folgende Kriterien angewendet:

- Entfernung Messstation - Hindernis rund 50 Hindernishöhen zum Hindernis und
- Hindernishöhe muss mindestens 1/3 der Messhöhe über Grund der Windmessung betragen

Die Digitalisierung der Hindernisse wurde für alle unter Abschnitt 2.1.2 gelisteten Stationen vorgenommen. Teildurchlässige Elemente wie Bäume, Baumgruppen oder Wälder wurden mit einer Porosität (Luftdurchlässigkeit) von 0,5 und Gebäudegruppen mit 0,33 – entsprechend der Empfehlung von WAsP – eingegeben.

3.1.2.2 Windatlas an den Messstationen

Die wichtigsten Beurteilungskriterien für das Windpotential sind die mittlere Windgeschwindigkeit und die Energiedichte. Für jede Windmessstation wurde der Windatlas berechnet. Die Methode ist im Abschnitt 3.1.2 beschrieben. Bei der Berechnung sind die digitale Gelände- und Rauigkeitskarte in einem Abstand von 5 km um die Windmessstation (vgl. Abschnitt 3.3 und 3.2) eingegangen.

Die Windatlanten für alle Messstationen dienen u. a. als Eingangsparameter für die Modellierung des Windenergiepotentials und bestehen aus:

- Mittlerer Windgeschwindigkeit je Sektor und gesamt
- Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen je Sektor und gesamt
- Mittlerer Leistungsdichte je Sektor und gesamt
- Häufigkeit der Windrichtung je Sektor für 12 Sektoren
- Weibull-Verteilung mit dem Skalierungsfaktor A und dem Formfaktor k je Sektor und gesamt

3.2 Digitale Rauigkeitskarte

Die Bestimmung der Rauigkeitsklassen und -wechsel zur Abschätzung der Geländerauigkeit ist für die Ermittlung der Windprofile im Untersuchungsgebiet relevant. Das Windprofil zeigt den Verlauf der Windgeschwindigkeit mit der Höhe. Im Allgemeinen nimmt der Wind mit der Höhe über Grund zu, wobei die Rauigkeit des Untergrundes einen entscheidenden Faktor auf die Stärke der Zunahme und damit auf die Windprofilform hat. Hierzu wird die Rauigkeit aus entsprechenden Karten digitalisiert. Dabei werden Gebieten mit unterschiedlicher Landnutzung entsprechende Rauigkeitslängen zugeordnet, die ein Maß für die Abbremsung und die Turbulenzen des Windes durch die entsprechende Landschaftsstruktur sind. Damit kann die Höhenabhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit bestimmt werden.

Die digitale Rauigkeitskarte (Klassifizierung der Rauigkeitslängen nach der Landnutzung) wurde für die gesamte Untersuchungsdomäne also den Bereich die Stadt Wien und die relevante Umgebung des Stadtbereichs auf Basis von Auszügen des digitalen Kartenmaterials der AMap (Maßstab 1:50.000) des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesens [7] und ergänzend dazu anhand von online verfügbarer Satellitenbilder von Google Earth und Bing Maps erstellt. Der Vorteil in der manuellen Digitalisierung besteht darin, dass die Daten in höherer räumlicher Auflösung erfasst werden können als beispielsweise über den CORINE-Datensatz (Auflösung horizontal 100 m). Dabei wurden anhand des digitalen Kartenmaterials Isolinien gleicher Rauigkeiten mittels WASP Map digitalisiert und georeferenziert. Diese digitale Rauigkeitskarte kann vom Programm WASP direkt eingelesen und verarbeitet werden. Folgende Landnutzungen wurden ermittelt und den angegebenen Rauigkeitslängen zugeordnet (Tabelle 3.1):

Tabelle 3.1: Landnutzung und Rauigkeitslängen

Landnutzung, Typen von Geländeoberflächen	Rauigkeitslänge [m]
Wasserflächen	0.0002
Offenes landwirtschaftliches Gelände ohne Zäune und Hecken, evtl. mit weitläufig verstreuten Gebäuden	0.03
Landwirtschaftliches Gelände wie Acker, Wiese, wenig Bäume	0.05
Landwirtschaftliches Gelände mit Windschutzgürtel	0.07
Landwirtschaftliches Gelände mit Bäumen, Weingärten, Obstgärten	0.1
Dörfer, Kleinstädte, keine dichte Verbauung	0.3 – 0.4
Vorstadt, Ortschaften kompakt, kleine Waldflächen, Parks	0.5 – 0.6
Waldgebiete	0.7 -1.0
Stadtbereich, je nach Verbauungsdichte	0.9 – 1.5
Zonen mit einigen Hochhäusern, Donaacity	2

Die so ermittelte Karte der Rauigkeitslängen wurde für die Berechnung des Windatlas zugrunde gelegt. Da bei der Windfeldmodellierung auch die mittlere Gebäudehöhe und damit die Oberfläche des dicht verbauten Stadtgebiets, geglättet eingeht, wurden die Rauigkeiten in den dicht verbauten Stadtgebieten etwas reduziert. Die digitalisierte Rauigkeitskarte wurde also in „mittlerer Gebäudehöhe“ ermittelt und folgende Rauigkeitslängen wurden dafür angesetzt, vgl. Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Landnutzung und Rauigkeiten reduziert für mittlere Gebäudehöhe

Landnutzung, Typen von Geländeoberflächen	Rauigkeitslänge [m]
Wasserflächen	0.0002
Offenes landwirtschaftliches Gelände ohne Zäune und Hecken, evtl. mit weitläufig verstreuten Gebäuden	0.03
Landwirtschaftliches Gelände wie Acker, Wiese, wenig Bäume	0.05
Landwirtschaftliches Gelände mit Windschutzgürtel	0.07
Landwirtschaftliches Gelände mit Bäumen, Weingärten, Obstgärten	0.1
Dörfer, Kleinstädte, keine dichte Verbauung	0.3 – 0.4
Vorstadt, Ortschaften kompakt	0.4 – 0.45
Waldgebiete	0.7 – 1.0
Stadtbereich, je nach Verbauungsdichte, Zonen Hochhäuser	0.5 – 0.6

3.3 Digitales Geländemodell

3.3.1 Digitale Geländekarte

Das digitale Geländemodell Höhenraster (DGM Höhenraster) wurde nach der Projektion des Gebäudemodells der Stadt Wien für die weiteren Berechnungen für die Windmodellierung aufbereitet.

Für die Berechnung der Windatlanten wurde entsprechend der Anforderungen von WASP das digitale Geländemodell Höhenraster als Karte mit Isolinien selber Seehöhe erstellt. Die Höhenschichtlinien wurden mit einer Äquidistanz von 5 m eingebunden.

3.3.2 Mittlere Gebäudehöhe

Aus dem zur Verfügung gestellten Gebäudemodell der Bebauung der Stadt Wien wurde ein flächendeckendes Raster der mittleren Gebäudehöhen erstellt. Dabei stand für jedes Gebäude die Grundfläche, die mittlere, minimale und maximale Gebäudehöhe zur Verfügung.

Die Berechnungen wurden mit ArcMap vorgenommen. Ziel war, einen möglichst hohen Informationsgrad aus dem Gebäudemodell einbinden zu können und die Übergänge zwischen unterschiedlichen Gebäudehöhen möglichst gut wieder zu geben. Folgende Schritte wurden vorgenommen:

- Geringfügige Bearbeitung des Gebäudemodells, indem einzelne sehr hohe Bauwerke wie Windkraftanlagen, Schornsteine ohne anschließende Gebäude, Donauturm o.ä. entfernt wurden um eine Gewichtung hin zu zu großen mittleren Gebäudehöhen durch diese zu vermeiden. Negative Gebäudehöhen wurden ebenso bereinigt.
- Die Gebäudekörper wurden in ein 5 x 5 m Raster umgewandelt. Hierfür wurde das Raster für die jeweils mittlere Gebäudehöhe jedes Gebäudes verwendet. Durch die feine Rasterung der Gebäude wurden die Grundflächen der Gebäude mit zugehörigen Höhen entsprechend gewichtet. Ein großflächiges hohes Gebäude wirkt sich entsprechend stärker aus als ein daneben stehendes kleinflächiges Gebäude.
- Dieses Raster wurde in Punkte umgewandelt. Die Umwandlung in Punkte diente der nachfolgenden Interpolation in die Fläche.
- Im darauf folgenden Schritt wurde eine Interpolation (Inverse Distanzen, mit 100 m Punktdistanzen) in ein 100 x 100 m Raster vorgenommen. Dieses Raster wurde mittels Resample (bilineare Interpolation) in ein 25 x 25 m Raster umgewandelt.
- Einbinden der Stadtentwicklungsgebiete bzw. Ersetzen von bestehender Bebauung durch die Stadtentwicklungsgebiete mit 25 m mittlerer Gebäudehöhe bzw. für einzelne vorgegebene Gebäudehöhen. Wenn bereits neue Gebäude im Gebäudemodell enthalten waren, wurden diese Gebäude verwendet. Bei manchen dieser neuen im Gebäudemodell bereits bestehenden Gebäude (z.B. ÖBB-Konzernzentrale, Erste Campus) mussten dabei die Gebäudehöhen adaptiert werden, da die geplante Gebäudehöhe noch nicht enthalten war.
- Dieses Grid wurde mittels Resample in ein 25 x 25 m Grid geglättet. Große Zonen ohne Gebäude haben keine Werte für die mittlere Gebäudehöhe.

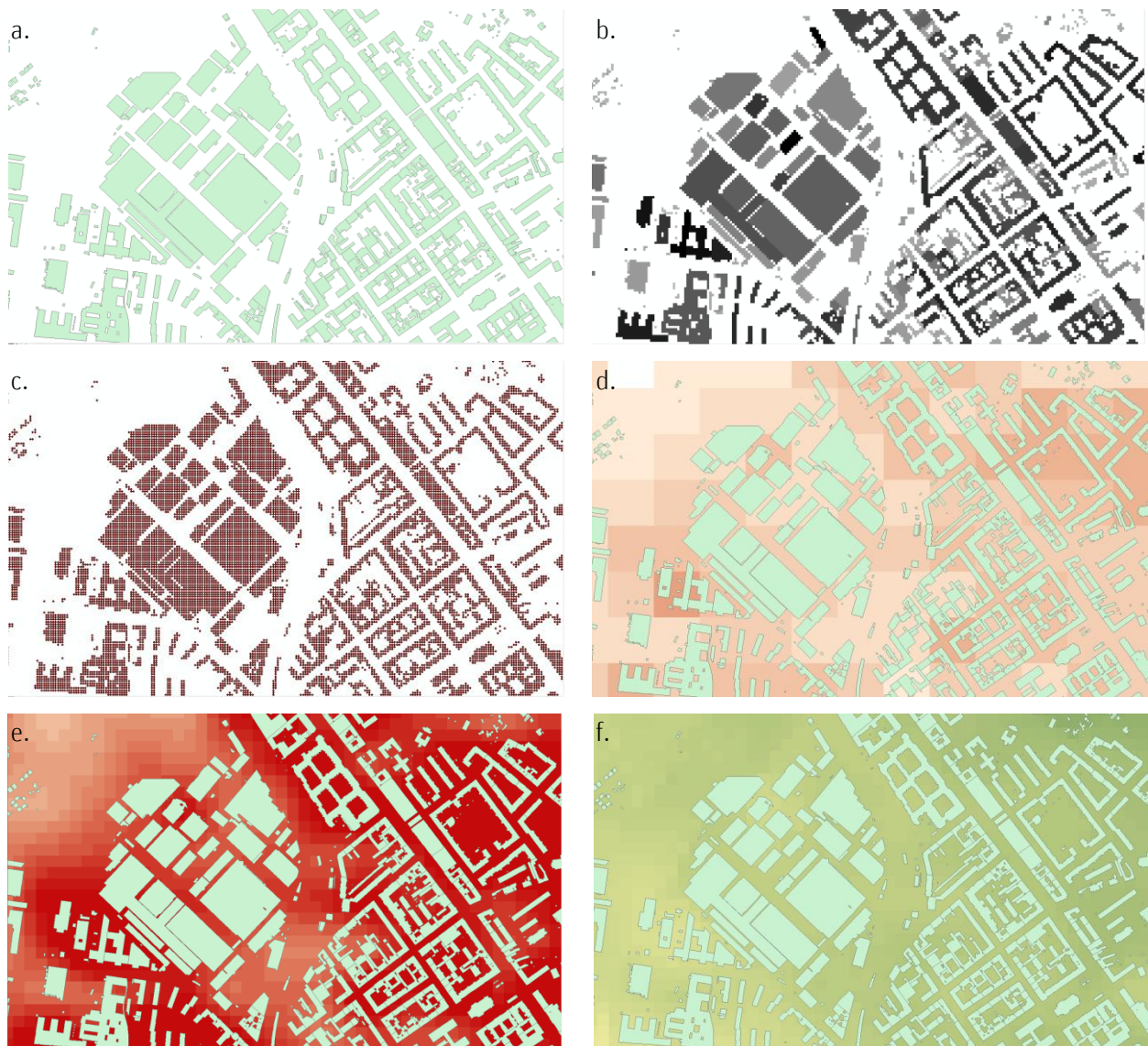


Abbildung 3.3: Ermittlung mittlere Gebäudehöhe, graphisch dargestellt am Beispiel Südosttangente - Leberstraße - Simmeringer Hauptstraße. Von links oben nach rechts unten. a. Gebäudemodell geringfügig bearbeitet; b. 5 x 5 m Raster, die Schattierung zeigt die mittlere Gebäudehöhe der einzelnen Gebäude; c. Raster in Punkte umgewandelt, d. Interpoliertes Rasters 100 x 100 m, e. Interpoliertes Raster 25 x 25 m mit Stadtentwicklungsgebieten; f. Summe aus mittlerer Gebäudehöhe und Orographie. Für die flächigen Darstellungen gilt, je dunkler desto höher. Kartengrundlage: Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung und BEV für f.

Die nach dieser Methode ermittelte mittlere Gebäudehöhe wurde der Auftraggeberin zur Freigabe für weitere Berechnungen übergeben. Nach der erteilten Freigabe der mittleren Gebäudehöhen wurden die weiteren Berechnungen darauf basierend vorgenommen.

3.3.3 Digitale Geländekarte und mittlere Gebäudehöhe

Die Rasterfelder der mittleren Gebäudehöhe (Abbildung 3.4 - Mitte) und des Geländes (Abbildung 3.4 - Oben) wurden addiert. Das entstandene Feld (Abbildung 3.4 - Unten) bildet die Grundlage für die „Orographie“ der Windmodellierung im Modell WASP. Aus dem Rasterfeld wurde entsprechend der

Anforderungen von WAsP eine Karte mit Isolinien selber Höhe erstellt. Ein Isolinien-Abstand von 3 m wurde dabei für die Windfeldmodellierung gewählt (möglichst hoher Informationsgrad für die mittleren Gebäudehöhen). In größeren Gebieten, in welchen sich keine Gebäude befinden, entspricht die summierte Orographie der tatsächlichen Orographie (Seehöhe). Auf Basis dieser Orographie („Modellorographie“) wurde bei der Windmodellierung das Windpotential in 10 m Höhe berechnet.

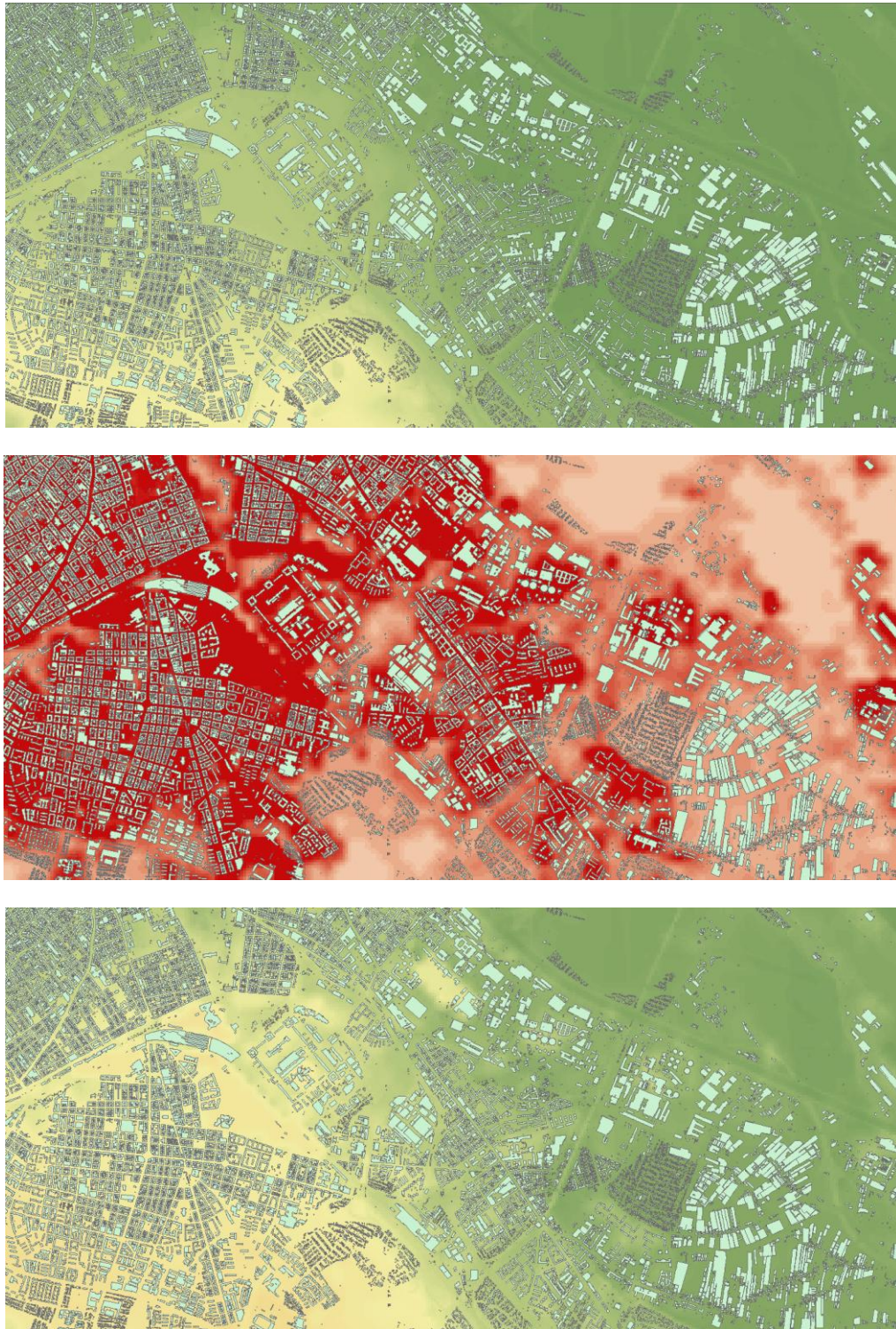


Abbildung 3.4: Ausschnitt mittlere Gebäudehöhe inkl. Stadtentwicklungsgebiete (Mitte), Orographie (oben) und Summe aus Orographie und mittlerer Gebäudehöhe (unten). Kartengrundlage: Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung und BEV

3.4 Modelldomäne

Für die Berechnungen lag die summierte Orographie (reale Orographie gemeinsam mit der mittleren Gebäudehöhe; Abschnitt 3.3) und die digitale Rauigkeitskarte (Abschnitt 3.2) vor. Diese Modelldomäne umfasst das gesamte Stadtgebiet sowie einen umgebenden Bereich von mindestens 4 km um die äußersten Punkte des Stadtrands. Die Gesamtausdehnung beträgt 39 x 31 km und hat eine Fläche von 1209 km², Koordinaten vgl. Tabelle 2.2.

3.5 Windfeldmodellierung

Die Windfeldmodellierung wurde mit dem Modell WAsP durchgeführt. Das Prinzip des Modells (im Allgemeinen bei allen Windmodellen) besteht darin, den Wind von einem Punkt (Messpunkt) zu anderen Punkten (potentiellen Standorten) zu transformieren. Die Grundlagen für diese Transformation sind die Navier-Stokes-Gleichungen, die die allgemeine Form der Bewegungsgleichungen eines Fluids beschreiben.

WAsP ist ein lineares zweidimensionales Strömungsmodell, verwendet Fourier-Bessel-Reihen auf einem polaren Zoom-Gitter und berechnet die Windgeschwindigkeit am zentralen Punkt. Dadurch erreicht das Modell eine bessere Auflösung der Topographie des untersuchten Punkts. Der Wind wird dabei zweidimensional berechnet, Werte der vertikalen Komponenten des Windes werden nicht berechnet.

Das Modell WAsP berechnet aus Windmessdaten, den Daten der digitalen Geländehöhen- und Rauigkeitskarten sowie Windhindernissen ein bereinigtes Windfeld für die Messstation (Windatlas-Methode). Dieses bereinigte Windfeld kann als gleichförmig über einen größeren räumlichen Bereich angenommen werden und wird unter Berücksichtigung der oben genannten Einflussfaktoren benutzt, um die Windverhältnisse flächig oder punktuell für die potentiellen Standorte in Abhängigkeit der Richtung zu ermitteln.

Bei der Modellierung des Windpotentials für Wien wurden die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit, die Leistungsdichte, die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen sowie die Weibull-Verteilung (Weibull-Skalierungsparameter A und der Formfaktor k) für die Höhe 10 m berechnet. Die Höhe 10 m bezieht sich auf die mittlere Gebäudehöhe bzw. in größeren Gebieten ohne Gebäude auf 10 m über Grund (Geländehöhe).

3.5.1 Anwendung des Strömungsmodells

Bei der Modellierung wurde eine Aufteilung der Gesamtdomäne in kleinere Teildomänen vorgenommen. Die Aufteilung wurde nach der Ähnlichkeit der charakteristischen Gegebenheiten von Orographie (z. B. komplexes Gelände im Wiener Wald) und Windklima (repräsentative Messstation für ein Gebiet) vorgenommen. Dabei wurde angestrebt möglichst viel beeinflussende Umgebung einzubeziehen (3 bis 5 km um die zu berechnende Teildomäne). Ein weiterer Aspekt für die Aufteilung und Größe der Teildomänen war die Rechenkapazität der Modellierungssoftware. Unter diesen Aspekten wurde das Gebiet in 21 Teilgebiete aufgeteilt und so konnte dem hohen Informationsgrad der Eingangsparameter in die Modellierung Rechnung getragen werden.

Für einige Teilgebiete wurde der jeweils charakteristische Windatlas herangezogen, bei den übrigen wurde je ein für das Teilgebiet geeigneter interpolierter Windatlas verwendet. Der interpolierte Windatlas ist eine Gewichtung der Windatlanten für ein bestimmtes Teilgebiet, für welches keine repräsentative Messstation vorhanden ist. Mindestens zwei Windatlanten gehen dabei ein.

Die Ergebnisse für die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit, die Leistungsdichte, die Weibull-Verteilung (A, k) und die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen wurde für alle Teilgebiete berechnet und auf einem Raster mit einer horizontalen Auflösung von 25 x 25 m ausgegeben.

3.5.2 Erstellung einer flächendeckenden Karte

Die Ergebnisse der Teilgebiete für alle berechneten Parameter wurden mittels ArcMap zu einer Gesamtkarte zusammengefügt.

Einzelne Gebiete wurden einer Nachbearbeitung unterzogen. Es handelt sich dabei um relativ kleinräumige Zonen mit zu hohen Werten für die Windgeschwindigkeit und die Leistungsdichte an exponierten Hügeln im Wiener Wald und um einzelne Punkte mit deutlich zu hohen Werten im Bereich der Donau City. Die zu hohen Werte im Bereich der Donau City ergaben sich, weil der Anstieg der mittleren Gebäudehöhe im Vergleich zur Umgebung eine zu starke Neigung aufweist und solche Gegebenheiten im Strömungsmodell nicht mehr korrekt erfasst und berechnet werden können. Die zu hohen Werte im Bereich von manchen Hügeln im Wiener Wald ergaben sich ebenfalls aufgrund des Modells, das im Fall von quer zur Hauptströmung liegenden Hügelketten eine Überschätzung der Windverhältnisse ergab. Zu beachten ist hierbei auch, dass die Ergebnisse der Windmodellierung für eine Höhe von 10 m über Grund vorliegen (im Wiener Wald gibt es relativ wenig Bebauung und damit ergibt sich für die Modellorographie 10 m über der tatsächlichen Orographie) und sich damit in einigen Fällen eigentlich noch innerhalb des Waldbestands befinden. Die Werte wurden auf Basis der Messdaten von Wien-Jubiläumswarte und Wien Donauturm korrigiert.

Die Berechnung der Leistungsdichte erfolgte mit der Standardluftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$. Da die Luftdichte mit zunehmender Höhe abnimmt wurde eine Luftdichtekorrektur vorgenommen. Die klimatologischen Werte der Luftdichte für Wien wurden der Luftdichteklimakarte (horizontales Raster 250 x 250 m) entnommen [15].

4 Ergebnisse

4.1 Windzonierungskarten

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der Windzonierungskarte dargestellt. Abbildung 4.1 zeigt die flächigen Karten für die mittlere jährliche Werte der Leistungsdichte (W/m^2), Windgeschwindigkeit (m/s), Weibull-Formfaktor k (dimensionslos) und den Weibull-Skalierungsfaktor A (m/s). Bemerkung: Die Karten für die Windrichtungshäufigkeiten wurden erstellt, sind aber in der nachfolgenden Abbildung nicht dargestellt. Die Ergebnisse liegen auf einem Raster mit 25×25 m Raster vor und gelten für eine Höhe von 10 m über der Modelltopographie (= Orographie + mittlere Gebäudehöhe).

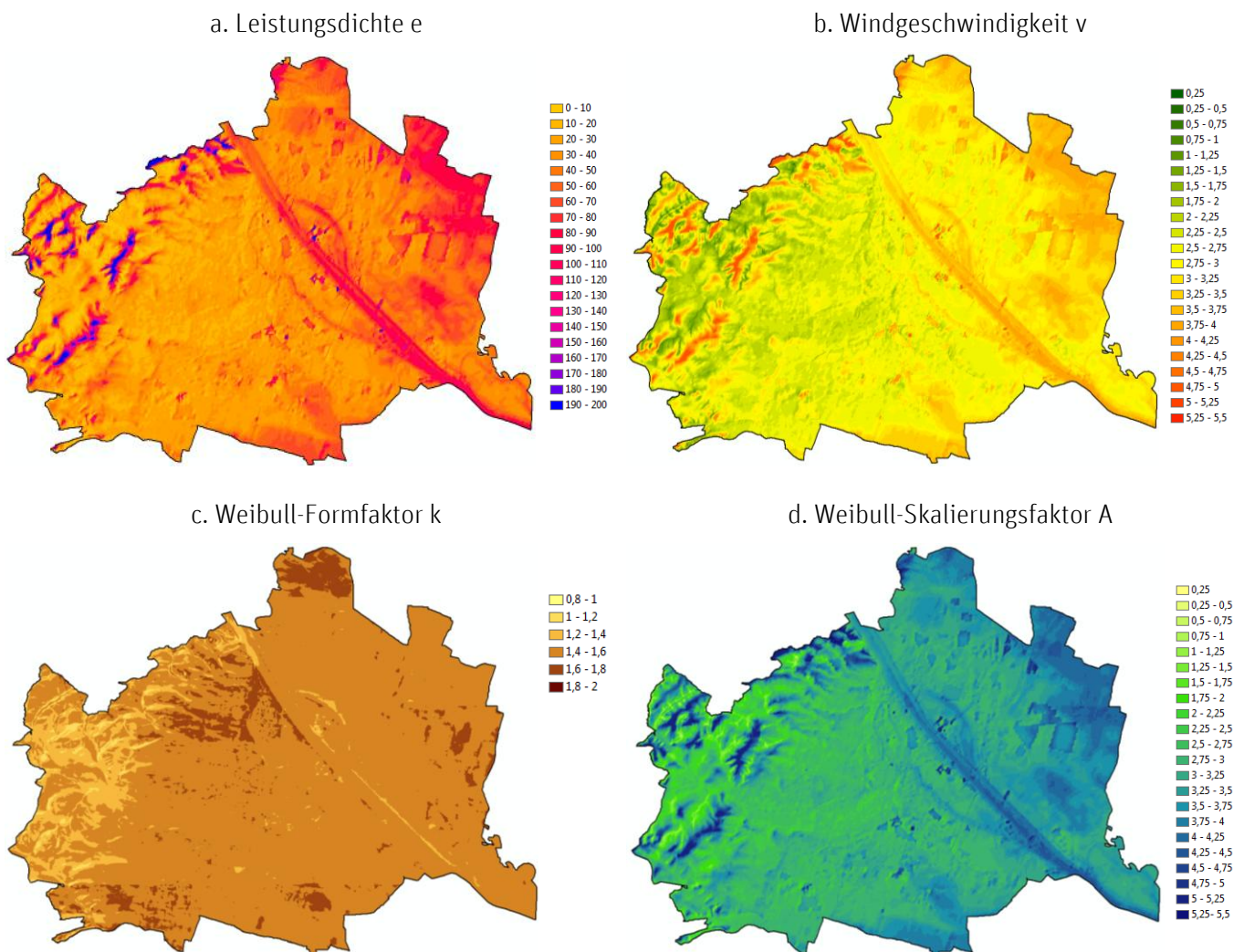


Abbildung 4.1: Windpotentialkarten für die mittleren jährlichen Parameter, a. Leistungsdichte (W/m^2), Windgeschwindigkeit (m/s), Weibull-Formfaktor k (dimensionslos), Weibull-Skalierungsfaktor A (m/s).

4.1.1 Bewertung der Ergebnisse

Gebiet mit hohem bzw. hohem bis mittelmäßigem Windpotential befinden sich vor allem in den nördlichen und nordöstlichen Teilen des 21. und des 22. Wiener Gemeindebezirks und im Osten des 22. Wiener Gemeindebezirks, weiters auch im Süden des 10., 11. und teils des 23. Wiener Gemeindebezirks. Hier liegt das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit bei etwa 3,5 bis mehr als 4 m/s bzw. die Leistungsdichte bei 60 bis über 100 W/m². Entlang der Donau und im Bereich der Alten Donau werden ebenso gute Windpotentialwerte erreicht. Zonen mit einigen deutlich höheren Gebäuden, die eine höhere mittlere Gebäudehöhe ergeben, zeigen teils noch höhere Windpotentialwerte, was daran liegt, dass diese im Vergleich zur Umgebung windexponierter sind (z. B. Donau City, Viertel 2). Im Bereich der größerflächigen Stadtentwicklungsgebiete werden teils auch gute Windpotentialwerte erreicht. Hier ist aber zu beachten, dass die konkrete Bebauung noch nicht berücksichtigt werden konnte und die Gebiete über die mittleren Gebäudehöhe weniger gegliedert in die Berechnungen eingegangen sind als deren Umgebung.

Die Ergebnisse zeigen das Potential für Windenergienutzung mit Kleinwindkraftanlagen. Der tatsächliche Windenergieertrag an einem potentiellen Standort kann von den Modellergebnissen abweichen. Die realen Windverhältnisse (Windgeschwindigkeiten, Windrichtungsverteilung) am Standort können durch lokale Gegebenheiten wie Abschattungseffekte durch Nachbargebäude, Verstärkungseffekte durch die Gebäudegeometrie oder ein Gebäudeensemble beeinflusst sein. Solche lokale und spezielle Gegebenheiten konnten in der gegenständlichen Berechnung in diesem Detailgrad nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisse zeigen vor allem die Windpotentialgebiete, die für Kleinwindkraftanlagen genutzt werden können.

Unterschiede zum gegenständlich berechneten Windpotential können an der Montagehöhe der Kleinwindenergieanlage über den Gebäuden oder über Grund liegen, weiters kann der jeweilige Aufstellungsort (auf einem Gebäude) deutliche Unterschiede bringen z. B. Aufstellung an der Geländekante, im Windschatten von Gebäuden, im Turbulenzbereich der durch das Gebäude verursacht wird etc.

Die Berechnungen wurden für die einzelnen Teildomänen mit verschiedenen repräsentativen Windatlanten an Stationen vorgenommen, in der Annahme, dass die Messstation das Windklima in ihrer Umgebung am besten wiedergibt. Dabei ist aber zu bedenken, dass ein nur kleiner Unterschied zwischen zwei Windatlanten eine Abweichung in den Ergebnissen an deren Grenzfläche zweier benachbarter Domänen verursachen kann. Bei den berechneten Windfeldern zeigt sich dieser Effekt am stärksten bei den Ergebnissen einzelner Windrichtungssektoren. Für die Gebiete sind die Berechnungen mit den repräsentativen Stationen dennoch die besten Ergebnisse. Wäre nur eine Station für das ganze Stadtgebiet verwendet worden, würde das Feld diese Effekte an den Grenzen nicht zeigen, aber der Fehler der Windfelder für einige der Teildomänen wäre größer, da eine einzelne Station nicht repräsentativ für das gesamte Stadtgebiet ist.

WASP ist ein Modell, das vor allem für Windenergiezwecke in wenig komplexem Gelände gute Ergebnisse liefert. Dies trifft auf den größten Teil des Wiener Stadtgebiets zu. Besonders hohe Werte der Leistungsdichte und Windgeschwindigkeit wurden, wie in Abschnitt 3.5.2 beschrieben, unter Berücksichtigung von real möglichen Messwerten korrigiert (200 W/m²). Das bedeutet nicht, dass im Stadtgebiet in der Realität keine höheren Werte auftreten können, beispielsweise an hohen Gebäuden oder in größeren Höhen über Grund, wie die Messungen und berechneten Leistungsdichten an den Station Wien-Jubiläumswarte und Wien Donauturm zeigen.

4.2 Bewertung und Zonierung

Nach Angaben in [16] und [17] für den Betrieb und die Wirtschaftlichkeit von Kleinwindkraftanlagen wurde eine Einteilung in Zonen mit hohem, mittelmäßigem und geringem Windenergiepotential für Kleinwindkraftanlagen vorgenommen. Dabei bedeutet für die mittlerer Jahreswindgeschwindigkeit:

- Hohes Windenergiepotential für Kleinwindkraft: ≥ 4 m/s
- Mittelmäßiges Windenergiepotential für Kleinwindkraft: $\geq 2,5 - 4$ m/s
- Geringes Windenergiepotential für Kleinwindkraft: $< 2,5$ m/s

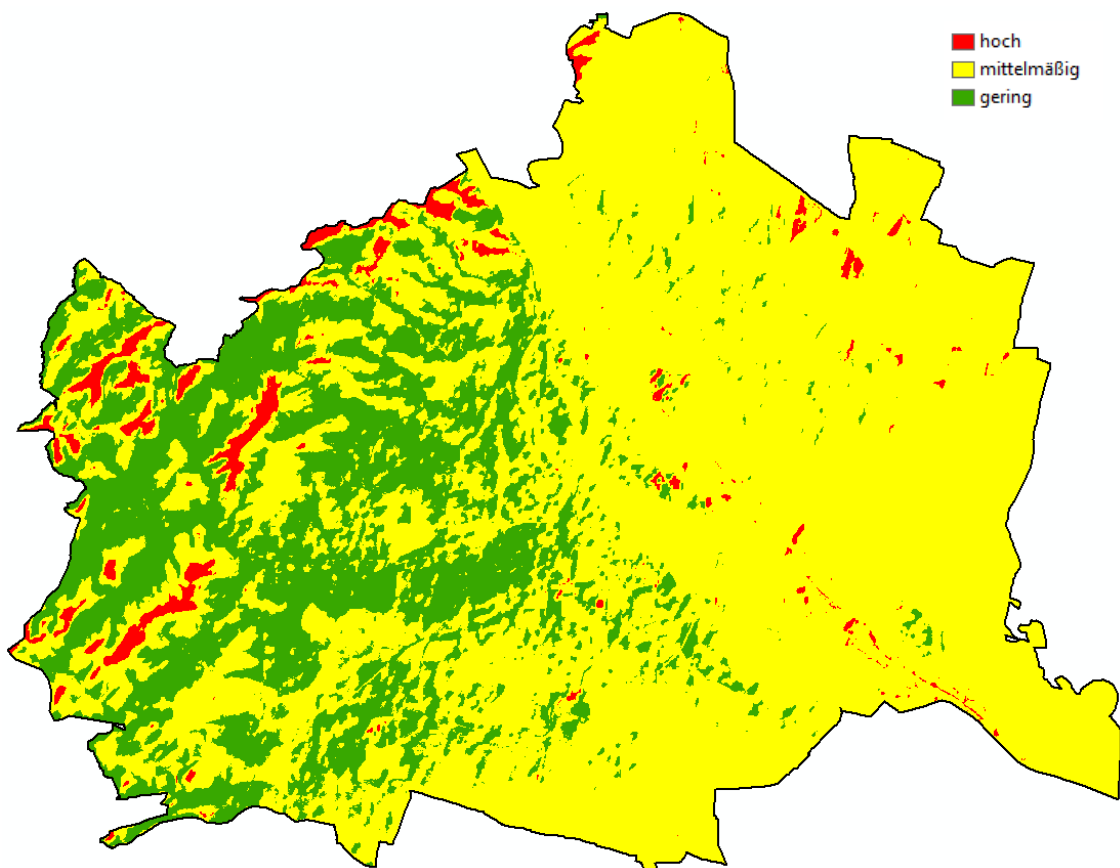


Abbildung 4.2: Bewertung Windpotential Kleinwindkraftanlagen anhand der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit.

4.3 Datenbank

Die Datenbank für die Integration im Online-Stadtplan der Stadt Wien wurde im Format ASCII und GeoTiff bestehen aus 18 Feldern übermittelt:

- Mittlere jährliche Leistungsdichte e
- Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit v
- Weibull-Parameter Skalierungsparameter A
- Weibull-Parameter Formfaktor k
- Windrichtungshäufigkeiten für 12 Sektoren

- Modellorographie (Summe aus realer Orographie und mittlere Gebäudehöhe)
- Bewertung Windpotential Kleinwindkraftanlagen für drei Klassen

4.4 Prioritätsgebiete

Auf Basis der Ergebnisse der Windfeldmodellierung zeigen sich aus klimatologischer Sicht (Gebiete mit höheren Windgeschwindigkeiten) und hinsichtlich der Landnutzung innerhalb des Stadtgebiets von Wien, in den folgenden Regionen mit gutes Windpotential: Stammersdorf, nördliche Leopoldau, Breitenlee, Süßenbrunn, Teile der Donaustadt etwa von Aspern bis Eßling, Gebiete rund um die Alte Donau, Gebiete entlang der Donau – besonders im 22., 2. und 3. Wiener Gemeindebezirk (z. B. Albern), südöstlichster Teil des 2. Wiener Gemeindebezirks, Oberlaa Land, Oberlaa Stadt, Unterlaa, Rotneusiedl und Teile von Kaiserebersdorf. Als weitere Prioritätsgebiete lassen sich exponierte oder höher gelegene Stellen der Stadt sehen, wie die Hügelkuppen ohne dichte Bewaldung und kompakte Verbauung oder aber auch hohe/höhere Gebäude oder Bauten mit hoher Windexponiertheit.

Eine Standortbegutachtung bzw. Optimierung ist dennoch für die Prioritätsgebiet sehr empfehlenswert.

5 Hinweis Genehmigungsverfahren Stadt Wien

Für die Genehmigung zur Errichtung einer Windkraftanlage im Gebiet der Stadt Wien sei auf das Genehmigungsverfahren in der Stadt Wien inkl. Hinweis auf Schutzgebiete (Bau, Natur etc., z. B. aus den OGD-Daten) verwiesen. Details dazu sind unter folgendem Weblink abrufbar:

<http://www.wien.gv.at/amtshelfer/bauen-wohnen/energie/stromerzeugung/windkraftanlage.html>

6 Zusammenfassung

Im Auftrag der Stadt Wien/MA 20 Energieplanung wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) als teilrechtsfähige Einrichtung des Bundes eine Windzonierungskarte für die potentielle Nutzung von Kleinwindkraftanlagen für den Bereich der Stadt Wien erstellt.

Die Berechnungen der Windzonierungskarte für den Bereich der Stadt Wien basieren auf folgenden Datengrundlagen: Windmessungen an ZAMG-Stationen im Bereich der Stadt Wien sowie der näheren Umgebung für die Berechnung der Windklimatologien. Weiters sind Orographie und Oberflächenrauigkeit notwendig um die Windverhältnisse flächendeckend bestimmen zu können. Die Windzonierungskarte sollte in 10 m über der mittleren Gebäudehöhe erstellt werden. Dazu wurde anhand des Stadtmodells der Stadt Wien die mittlere Gebäudehöhe berechnet und zur tatsächlichen Orographie hinzugefügt. Daraus ergab sich die Modellorographie, die für die äquidistante Fläche von 10 m über der mittleren Gebäudehöhe bzw. über Grund für größere Gebiete ohne Bebauung verwendet wurde.

Die Modellierung erfolgte mit dem Modell WAsP [4]. Die Ergebnisse sind mittlere jährliche Werte der Leistungsdichte [in W/m^2], der Windgeschwindigkeit [in m/s], der Weibull-Verteilung [A in m/s und k dimensionslos] sowie der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen nach der 12-teiligen Windrose [in %]. Als Zusatzinformation liegt die Modellorographie, also die Höhe über dem Meeresspiegel vor, für die die Windpotentialwerte gelten und dienen der Bewertung und Interpretation der Ergebnisse für einen bestimmten Standort. Alle Ergebnisse liegen in einer horizontalen Auflösung von 25 m vor.

Die Ergebnisse der Windzonierungskarte zeigen das Potential für die Windenergienutzung mit Kleinwindkraftanlagen, also beispielsweise Zonen, die hohes oder geringes Windpotential aufweisen. Hohes Windpotential weisen vor allem Gebiet im Norden, Nordosten und im Südosten der Stadt auf. Lokale reale Gegebenheiten wie Abschattungseffekte durch beispielsweise Nachbargebäude, Verstärkungseffekte bedingt durch die Gebäudegeometrie oder das Gebäudeensemble können sowohl Windgeschwindigkeit als auch Windrichtung beeinflussen. Dadurch kann das lokale reale Windpotential modifiziert werden und das Windaufkommen kann an einem potentiellen Standort höher aber auch geringer sein. Die speziellen lokalen Gegebenheiten waren in der gegenständlichen Studie nicht Ziel der Aufgabenstellung und wurden daher nicht im Detail untersucht. Prinzipiell zeigen Gebiete mit hohem Windenergiepotential die größte Wahrscheinlichkeit für einen guten Standort für Kleinwindkraftanlagen. Auch mittelmäßige Standorte können in Erwägung gezogen werden. Es wird jedenfalls empfohlen, im Falle von Interesse zur Errichtung einer Kleinwindanlage, in Gebieten mit hohem-mäßigem Potential den Standort einer genaueren Standortbegutachtung und Optimierung zu unterziehen. Gerade bei Kleinwindkraftanlagen, die wegen ihrer geringen Nabenhöhe im Vergleich zu Großwindkraftanlagen stärker von den lokalen Gegebenheiten (Hindernisse, Landnutzung) beeinflusst werden, ist die Standortevaluierung und Optimierung essentiell für die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

Die Ergebnisse zeigen das theoretische Potential aus klimatologischer Sicht, etwaige Einschränkungen (Widmung, Naturschutz etc.) sind in der Windzonierungskarte nicht berücksichtigt. Bei der Planung einer Kleinwindkraftanlage sei auf die Genehmigungspflicht in der Stadt Wien verwiesen.

7 Literatur und Quellen

- [1] CEwind eG, Schaffarczyk A., (2012): Einführung in die Windenergietechnik, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
- [2] Robel F., Hoffmann U., Riekert A. (1978): Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie. Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart
- [3] D. Etling (2002): Theoretische Meteorologie. Eine Einführung. 2. Auflage, Springer-Verlag
- [4] WASP 10, Wind Atlas Analysis and Application Program, Version 10; DTU Wind Energy, 1987-2015 Risø Campus, Roskilde, Denmark. www.wasp.dk
- [5] Messdaten erfasst mit teilautomatischen Wetterstationen (TAWES) betrieben von der ZAMG, weiterführende Informationen zu den Stationen verfügbar über <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/wetterstationen>
- [6] BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: Digitales Geländemodell für Wien und die Notwendige Umgebung der Stadt Wien; Gebiet 39 x 31 km als Rasterdaten mit 25 x 25 m Auflösung; Oktober 2014
- [7] BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, EADS Deutschland GmbH: AMap Fly 5.0, Version 6.7
- [8] Digitales Gebäudemodell der Stadt Wien, zur Verfügung gestellt von der Stadt Wien, MA 41, August 2014
- [9] WASP Climate Analyst Version 2, 2005-2015 Risø National Laboratory, Denmark, www.wasp.dk
- [10] WspMapEd – WASP Map Edit utility program Version 2, Risø National Laboratory, Wind Energy and Atmospheric Physics Department
- [11] WASP Map Version 10, Risø-DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Wind Energy Deviation, Software part of WASP 10
- [12] ArcView GIS 3.3, 1992-2002, Environmental Systems Research Institute, Inc., www.esri.com
- [13] Didger Version 2.01, 2000, Golden Software, Inc., www.goldensoftware.com
- [14] ArcMap Version 10.1, 1999-2012 Esri Inc. www.esri.com
- [15] Auer I., Böhm R., Mohnl H., Potzmann R., Schöner W., Skomorowski P. (2001): ÖKLIM. Digitaler Klimaatlas Österreichs. Eine interaktive Reise durch die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimas. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, CD-ROM
- [16] AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien NÖ-Wien, (2014): Kleinwindkraft – Ein Leitfaden zur Planung und Umsetzung; 2. Auflage, Redaktion: D. Reiterer
- [17] C.A.R.M.E.N.-Publikation (2013): Kleinwindkraftanlagen – Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft. 1. Auflage, Herausgeber: C.A.R.M.E.N. e. V., Redaktion D. Gampe, S. Kilburg, M. Kopfinger, V. Sigel