



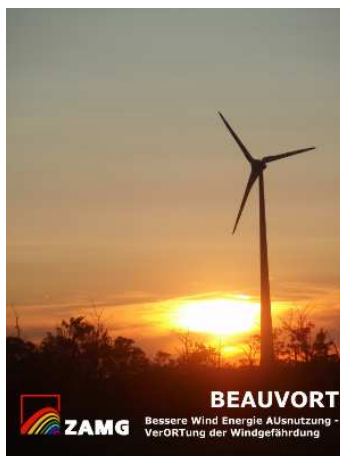
**ZAMG**

*Zentralanstalt für  
Meteorologie und  
Geodynamik*

## **Endbericht für das Budgetjahr 2009**

Titel und Kurzbezeichnung des Projekts

BEAUVORT - Bessere Wind Energie AUSnutzung - VerORTung der Windgefährdung



Wien Hohe Warte, 12. April 2010

## ProjektmitarbeiterInnen:

Bamberger Harald DI	IT	Webgis
Beck Alexander Dr.	Modellapplikationen	INCA
Blaschek Michael Mag	Fachabteilung Klima	Modellierung
Cevik Jakob	Praktikum	Rauigkeiten
Chitta Otto	Fachabteilung Stationen	Stationen
Erlacher Georg Mag.	Kundenservice Tirol	Stationen
Felfernig Siegfried	Kundenservice Kärnten	
Gruber Christine Mag.	Modellapplikationen	INCA
Hohenwarter Gerhard Mag.	Fachabteilung Klima	Hindernisse
Kindlinger Julia	Praktikum	Rauigkeiten
Koch Elisabeth Dr.	Fachabteilung Klima	Leitung
Nemec Johanna Mag.	Fachabteilung Klima	Modellierung
Pachler Roman Ing.	Kundenservice Salzburg	Stationen
Peham Hermann	Fachabteilung Stationen	Stationen
Petz Erwin	IT	Datenkontrolle
Rieder Hannes Mag.	Kundenservice Steiermark	GIS
Tran Hung Viet Dr.	Fachabteilung Klima	Modellierung
Zach-Hermann Susanne Mag.	Datenprüfung	Rauigkeiten

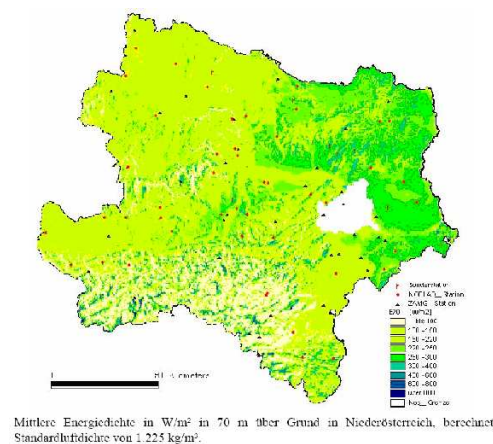
# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Projektbeschreibung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Wissenschaftlicher Bericht</b>	<b>3</b>
2.1	Zusammenfassung . . . . .	3
2.2	Abstract . . . . .	4
2.3	Einleitung und Zielsetzung . . . . .	5
2.4	Datenorganisation . . . . .	6
2.4.1	Stationen und Stationsbeschreibungen . . . . .	6
2.5	Problemstellungen . . . . .	12
2.6	Berechnungen . . . . .	15
2.6.1	Grundlagen . . . . .	15
2.6.2	Modellrechnung . . . . .	25
2.7	Ergebnisse . . . . .	27
2.8	INCA . . . . .	31
2.8.1	Modellbeschreibung INCA . . . . .	31
2.8.2	Parametrisierung des 10m-Windes in INCA . . . . .	32
2.8.3	Fallstudie "Kyrill" . . . . .	33
2.8.4	Berücksichtigung flächendeckender Rauigkeitsinformation in INCA . . . . .	33
2.8.5	Einfluss von Hindernissen auf Beobachtungsdaten . . . . .	37
2.8.6	Zusammenfassung . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Webgis</b>	<b>40</b>
3.1	Datenformate und Projektion . . . . .	40
3.2	Verwendete Software . . . . .	40
3.3	Fazit . . . . .	42
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>43</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>49</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>50</b>
	<b>Literatur</b>	<b>51</b>



# 1 Projektbeschreibung

Sowohl das Potenzial (Windenergie) als auch die Gefahren (Sturm) des Windes sind in Österreich bisher nur teilweise erfasst (z.B. Windpotenzial Vorarlberg, Burgenland und Niederösterreich). Eine einheitliche Aussage für das gesamte Bundesgebiet liegt nicht vor, wird aber von einem nationalen Wetterdienst gefordert.



**Abbildung 1.1:** Darstellung des Windenergiepotenzials in Niederösterreich

Die verstärkte und geänderte Wahrnehmung des Klimas bzw. des Klimawandels und seiner Ursachen, aber auch die Verknappung fossiler Brennstoffe rückt die effiziente Nutzung erneuerbarer Energiequellen, wie es die Windenergie darstellt in den Vordergrund. Starkwindereignisse in den Jahren 2007 und 2008, wie Kyrrill am 18./19.1.2007, Gewittersturm in OstÖsterreich am 21.6.2007, Paula 27.1.2008, Emma 1./2.3.2008 und die daraus resultierenden gesamtwirtschaftlichen Schäden zeigen, dass eine österreichweite Windgefährdungszonierung erstellt am Stand der Technik notwendig ist.

Die großräumigen "synoptischen" Windverhältnisse werden durch Orographie, Rauigkeit wesentlich beeinflusst, punktuelle Windmessungen sind für eine flächenhafte Darstellung nicht ausreichend, eine räumliche Modellierung des Windfelds ist notwendig. Der erste Schritt dazu ist die Kenntnis der Geländebeschaffenheit der Umgebung der Messstationen. Hiefür werden Fragebögen entwickelt und an die StationsbetreuerInnen versandt werden bzw. Stationsbesuche erfolgen. Um in einem zweiten Schritt (Modellierung) das Windfeld einer Region hinreichend genau beschreiben zu können, müssen Methoden zur Übertragung von an einer oder mehreren Messstellen innerhalb des Untersuchungsgebietes erhaltenen statistischen Befunden zur Korrektur bzw. Reduktion der gemessenen Daten verwendet werden. Dabei wird von vereinfachten Ansätzen der Bewegungsgleichungen in der atmosphärischen Grenzschicht ausgegangen und unter Berücksichtigung von bestimmten, festzulegenden Klassen von Parametern für die

unterschiedlichen Oberflächenrauigkeiten und Landschaftsformen sowie Stabilitätszuständen der bodennahen Atmosphäre werden Reduktionskoeffizienten abgeleitet. Durch die Anwendung dieser Koeffizienten auf die Rohdaten lassen sich "reduzierte" Datensätze berechnen, die das Windfeld einer beliebigen Region so repräsentieren, als ob die topographischen, Wind beeinflussenden Gegebenheiten nicht vorhanden wären. Umgekehrt kann man für beliebige andere topographische Gegebenheiten, die sich aus geeigneten Kombinationen der entsprechenden Parameter zusammensetzen lassen, die topographischen Eigenheiten anderer Zonen der betrachteten Region berücksichtigen und so ein "angepasstes Windfeld", das die Parameter zur Beschreibung der Geschwindigkeitsverteilung in den einzelnen Windrichtungen angibt, objektiv berechnen. Die Modellierung erfolgt über das an der ZAMG verfügbare und bewährte Modell WAsP, das flächendeckende Aussagen über die mittleren und extremen Windgeschwindigkeiten mit Berücksichtigung der Geländebeschaffenheit ermöglicht. Die Ergebnisse (Oberflächenrauigkeit, Windpotenzial, Windgefährdung) werden mittels GIS sowohl in analoger (Karten) als auch digitaler Form (grids) aufbereitet und bereitgestellt. Im vierten Schritt fließen die reduzierten Winddaten sowie flächendeckende Daten des Rauigkeitsparameters in das INCA-System (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) ein. Dadurch ist in zweifacher Hinsicht eine Verbesserung der INCA-Windanalyse zu erwarten, da derzeit (a) das Windfeld nur an die hochauflösende Topographie angepasst wird, die Rauigkeit aber nicht berücksichtigt wird und (b) die Messwerte in unreduzierter Form übernommen werden. Die Qualität der mit INCA berechneten Analysen wird mittels Kreuzvalidierung dokumentiert und mit jener der Windanalyse der Klimaabteilung verglichen werden.

## 2 Wissenschaftlicher Bericht

### 2.1 Zusammenfassung

Die Berechnungen der Windgefährdungskarte und der Windenergiepotenzialkarte für das gesamte Bundesgebiet stellen sehr hohe Anforderungen an die Datengrundlage und die Datenverarbeitung dar. Es werden nur qualitätsgeprüfte Daten der ZAMG verwendet. Als Grundlage für die Auswertungen dienten Messwerte in stündlicher Auflösung.

In einem ersten Schritt mussten sämtliche Hindernisse der meteorologischen Messstationen exakt erfasst werden. Die Höhe von Häusern, Bäumen und anderen Hindernissen musste bestimmt und ihre Entfernung zum Windmast gemessen werden. Des Weiteren wurde für ganz Österreich die Rauigkeit in einer Auflösung von 50x50m bzw. aus dem CORINE Datensatz (EEA-CORINE) digitalisiert. Diese beiden Erhebungen (Hindernisse und Rauigkeiten) bilden zusammen mit einem digitalen Höhenmodell und den Windmessungen die Eingangsparameter für das Windprogramm WAsP bzw. WAsP Engineering, mit welchen in weiterer Folge die Berechnungen durchgeführt wurden. Zu Beginn galt es an den einzelnen Stationen den bereinigten Wind ohne den Einfluss von Hindernissen, Rauigkeit und Orographie zu bestimmen. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die einzelnen Stationen untereinander abgeglichen um eventuell auftretende Sprünge bei den Auswertungen zu unterbinden bzw. kurze Messreihen durch Korrelation mit länger bestehenden auszuweiten. Der nächste Schritt war es die Extremwerte für das 10-Minuten- und das 2-Sekunden-Mittel mit einer 50-jährlichen Auftrittswahrscheinlichkeit zu berechnen. Dabei galt es mit Hilfe der "bereinigten" Messwerte die Windgeschwindigkeit für ganz Österreich mit der realen Orographie und Rauigkeit zu verknüpfen. Der letzte Arbeitsschritt war die unterschiedlichen Ergebnisse zusammenzufügen und vorhandene Sprünge möglichst gut zu korrigieren.

Die Ergebnisse sind auf der Homepage der ZAMG abrufbar und in einem WebGIS für Detailansichten aufrufbar. <http://www.zamg.ac.at>

## 2.2 Abstract

In BEAUVORT the aim was to assess wind hazards and wind energy potential in Austria. As measurements are the sole basis for the calculations of the wind hazard and wind energy maps in Austria, high demands on their quality have been made to accomplish the projects goals. Only quality checked data of the ZAMG was used. Measurements of hourly mean winds were available.

As a first step all obstacles near the meteorological stations were documented. The height and porosity of buildings, trees and other obstacles were measured, as well as its position relative to the wind mast. As a next step the roughness length was digitized, at first by hand and later with the CORINE (EEA-CORINE) data set. These inquiries (obstacles and roughness length) are combined with a digital elevation model and the measurements, the inputs for the wind analysis program, WAsP and WAsP Engineering (Risø DTU), that were used for the calculations. The next task was to remove the influences of topography, roughness and obstacles from the measured winds at the stations. It was necessary to compare stations among each other and to correct if inconsistencies were found, or to correlate and predict short timeseries. The next tasks was to predict the extrem values of 10-minute and 2-second means once in 50 years and produce calculations with real topography and roughness. The last step was to make some manual edits and remove errors.

The results are available online at <http://www.zamg.ac.at>.

## 2.3 Einleitung und Zielsetzung

Hohe Windgeschwindigkeiten und Stürme haben vielfältige Auswirkungen auf Natur und technische Einrichtungen des Menschen. So sind z.B. über 50% aller volkswirtschaftlichen Schäden in Deutschland auf Stürme zurückzuführen (Münchner Rück, 1999). Insbesondere Herbst- und Winterstürme können großflächig auftreten, wobei aber infolge der Gliederung des Geländes hier sehr große Unterschiede auf kleinem Raum eintreten können. Eine andere Quelle von extremen Winden kann ein Gewittersturm sein, in dem kurzfristig sehr hohe Windgeschwindigkeiten auftreten können. Diese sind aber sehr kleinräumige Phänomene, die nur schwer und dann eher durch Zufall mittels Routinemessungen erfasst werden können. Der Alpenhauptkamm teilt Österreich in zwei unterschiedlich windige Gebiete, in den letzten

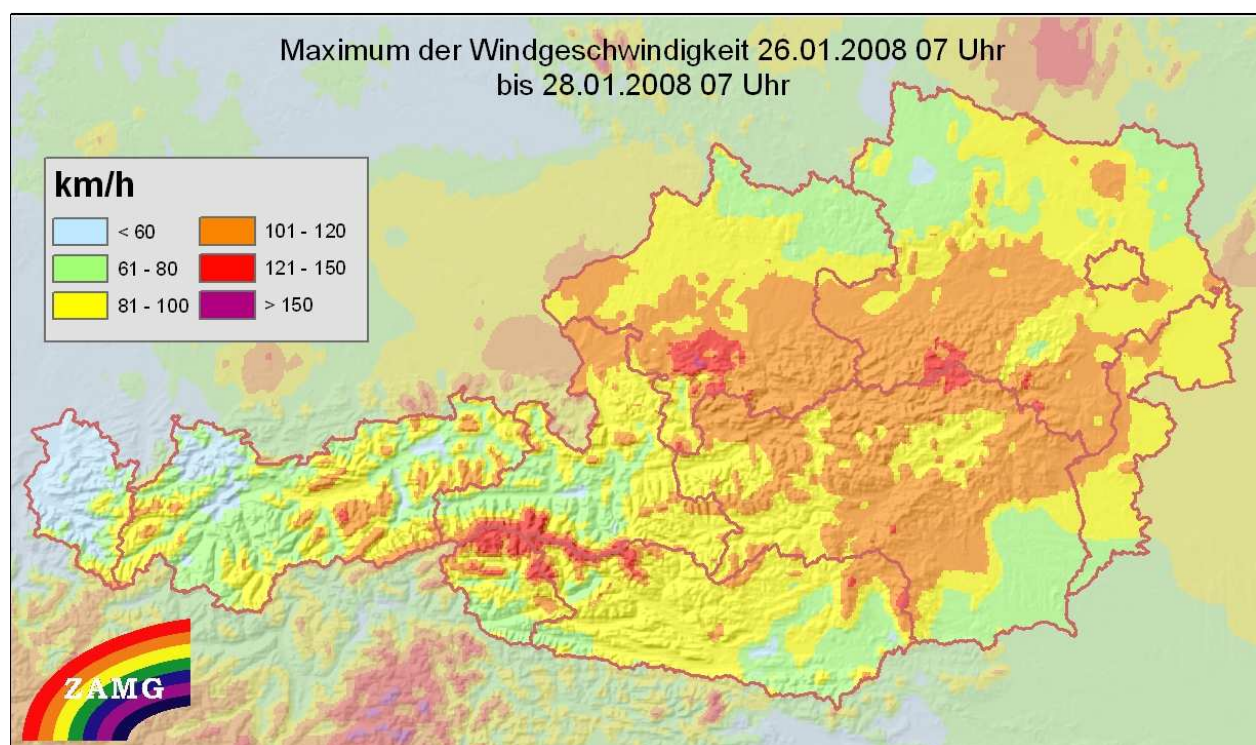


Abbildung 2.1: Sturm Paula (Quelle: [ZAMG Webpage](#))

Jahren ist es dennoch gehäuft zu großen Sturmereignissen wie Paula vom 26. bis 28. Jänner 2008 und Emma am 1. und 2. März 2008 gekommen, die auch in Kärnten große Schäden anrichten konnten. In Österreich fielen wieder über 8 Millionen Festmeter Schadholz an, allein in Kärnten waren 3500 Waldbesitzer von den Stürmen betroffen. Tote gab es während der Stürme und vor allem im Nachhinein bei den Aufräumarbeiten der Windwürfe.

## 2.4 Datenorganisation

Die Messdaten der ZAMG Stationen sowie der Sonderstationen werden und wurden routinemäßig laufend geprüft und waren daher verfügbar.

### 2.4.1 Stationen und Stationsbeschreibungen

Für die Berechnungen wurden Daten von insgesamt 156 Stationen ausgewertet. Hierbei handelt es sich um permanente automatische Messeinrichtungen der ZAMG. Die Stationen sind naturgemäß nicht gleichmäßig über Österreich verteilt, so befinden sich ein Großteil der Stationen in Tälern/Flachland und wenige auf Bergen. In nachfolgender Tabelle 2.1 werden die Stationen zusammengefasst. Abgesehen von der Seehöhe und der geographischen Position der Station findet man auch Informationen über die Zeitreihenlänge der einzelnen Stationen. Diese Datenbasis bildet die Grundlage für den in Abb.2.17 dargestellten Ablauf.

**Tabelle 2.1:** Ausgewählten Stationen in Österreich

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
500	LITSCHAU	N	15,038	48,955	559	01.10.1983
726	RAABS/THAYA	N	15,500	48,849	470	01.04.2008
905	RETZ/WINDMUEHLE	N	15,943	48,762	320	01.10.1993
1415	ROHRBACH	O	13,998	48,570	602	01.06.1994
1601	FREISTADT	O	14,506	48,507	549	01.12.1991
1802	WEITRA	N	14,911	48,703	573	21.08.2003
2115	GARS/KAMP	N	15,668	48,596	269	01.09.1998
2207	SCHOENGRABERN	N	16,061	48,603	254	01.07.2007
2415	LEISER BERGE	N	16,371	48,559	457	25.03.1998
2503	POYSDORF-OST	N	16,638	48,669	202	28.11.1991
2601	HOHENAU	N	16,904	48,616	155	01.07.2007
3202	LINZ-STADT	O	14,286	48,297	263	01.07.1992
3520	BAERNKOPF	N	15,004	48,391	965	01.11.2003
3702	JAUERLING/ORF	N	15,340	48,335	952	01.01.1994
3805	KREMS	N	15,621	48,418	204	01.02.1996
3811	LANGENLOIS	N	15,698	48,472	204	01.11.1989
Fortsetzung auf nächster Seite						

Tabelle 2.1 – Fortsetzung von voriger Seite

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
4030	STOCKERAU	N	16,193	48,397	202	01.06.1997
4224	GAENSERNDORF-STADT	N	16,715	48,339	167	01.01.2004
4305	ZWERNDORF	N	16,832	48,338	146	17.12.1996
4501	RANSHOFEN	O	13,044	48,217	382	01.06.1994
4705	RIED IM INNKREIS	O	13,475	48,217	431	13.06.1997
4815	WOLFSEGG	O	13,672	48,105	660	31.05.1995
4905	WELS-SCHLEISZHEIM	O	14,072	48,163	312	01.10.1983
5012	KREMSMUNSTER (TAWES)	O	14,132	48,055	382	01.01.1988
5412	OBERNDORF/MELK	N	15,215	48,064	297	01.07.2007
5625	LILIENFELD- TARSCHBERG	N	15,588	48,028	681	01.08.1992
5870	BADEN	N	16,252	48,011	249	01.11.1982
5881	GUMPOLDSKIRCHEN	N	16,283	48,041	218	01.11.1990
5925	WIEN-INNERE STADT	W	16,367	48,199	171	19.12.1984
5972	GROSS-ENZERSDORF	N	16,562	48,199	157	01.07.1983
6102	BRUCKNEUDORF	B	16,846	48,013	167	01.10.2007
6305	SALZBURG-FREISAAL	SBG	13,052	47,791	420	01.02.1992
6415	MATTSEE	SBG	13,107	47,978	505	08.07.1999
6501	FRANKENMARKT	O	13,424	47,992	571	01.03.2004
6611	FEUERKOGEL	O	13,718	47,818	1618	01.07.1987
6620	GMUNDEN	O	13,810	47,914	427	01.08.1982
7002	WEYER	O	14,668	47,857	428	01.09.2007
7110	LUNZ AM SEE	N	15,069	47,854	614	01.09.1994
7221	MARIAZELL/ST. SEBASTIAN-FLUGFELD	STMK	15,303	47,790	862	13.07.2000
7505	PUCHBERG/SCHNEEBERG	N	15,907	47,790	580	23.03.1998
7531	HOHE WAND/HOCHKOGELHAUS	N	16,035	47,822	941	01.05.1993
7641	BERNDORF	N	16,105	47,941	339	01.07.2007
7704	EISENSTADT-NORDOST	B	16,539	47,854	184	01.01.1989
7710	SEIBERSDORF	N	16,508	47,977	185	01.06.1982
Fortsetzung auf nächster Seite						

Tabelle 2.1 – Fortsetzung von voriger Seite

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
7906	NEUSIEDL AM SEE	B	16,842	47,951	154	04.08.2004
7955	ANDAU	B	17,033	47,772	122	01.07.1995
8301	SULZBERG	V	9,915	47,522	1015	01.07.2008
8805	ACHENKIRCH	T	11,705	47,533	906	01.07.1998
9016	KUFSTEIN	T	12,163	47,575	493	01.07.1992
9110	KOESSEN	T	12,394	47,663	589	01.07.2008
9211	LOFER/ORT	SBG	12,696	47,584	625	01.04.1999
9215	LOFERER ALM	SBG	12,643	47,597	1623	01.11.1994
9606	BAD GOISERN	O	13,620	47,639	504	04.12.1997
9801	AIGEN/ENNSTAL	STMK	14,138	47,533	640	01.08.1992
9811	IRDNING-GUMPENSTEIN	STMK	14,101	47,495	695	01.01.1990
9919	WINDISCHGARSTEN	O	14,344	47,744	598	01.10.1983
10200	AFLENZ	STMK	15,242	47,547	790	29.04.1983
10415	SEMMERING	N	15,828	47,633	985	22.10.1998
10510	REICHENAU/RAX	N	15,837	47,700	486	01.09.1982
10607	ASPANG	N	16,102	47,575	460	01.12.2007
10710	MATTERSBURG	B	16,389	47,746	287	01.10.2007
11104	BREGENZ	V	9,746	47,511	424	01.01.1993
11106	FRAXERN	V	9,673	47,315	809	16.07.2003
11112	DORNBIRN	V	9,727	47,432	410	01.04.1992
11115	FELDKIRCH	V	9,609	47,270	440	01.10.1993
11135	ALBERSCHWENDE	V	9,849	47,458	721	01.11.1995
11146	ROHRSPITZ	V	9,630	47,498	398	23.07.2008
11203	SCHOPPERNAU	V	10,028	47,311	850	01.08.2007
11301	SCHROECKEN	V	10,083	47,261	1260	01.12.2007
11305	WARTH	V	10,186	47,257	1475	01.11.1984
11402	HOLZGAU	T	10,344	47,261	1100	01.09.2007
11410	TANNHEIM	T	10,506	47,501	1101	01.07.2008
11505	REUTTE	T	10,715	47,495	850	01.07.1994
11603	EHRWALD	T	10,917	47,400	994	01.11.2007
11706	SEEFELD	T	11,175	47,333	1182	11.06.1997
11901	JENBACH	T	11,755	47,390	530	01.07.1994
Fortsetzung auf nächster Seite						

Tabelle 2.1 – Fortsetzung von voriger Seite

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
12202	KITZBUEHEL	T	12,393	47,448	744	28.12.2006
12215	HAHNENKAMM-EHRENBACHHOEHE	T	12,362	47,419	1790	12.11.1992
12311	SCHMITTENHOEHE	SBG	12,737	47,330	1973	28.09.1983
12322	ZELL AM SEE	SBG	12,795	47,327	766	01.07.1984
12351	HOCHFILZEN	T	12,621	47,470	960	01.12.2007
12415	MARIA ALM	SBG	12,903	47,406	796	24.06.2002
12504	BISCHOFSHOFEN	SBG	13,223	47,406	543	22.08.1996
12513	ST,VEIT IM PONGAU	SBG	13,155	47,347	750	01.11.1984
12615	RADSTADT	SBG	13,456	47,394	858	01.06.1994
13116	SECKAU	STMK	14,779	47,271	863	14.12.2001
13308	FROHNLEITEN	STMK	15,315	47,256	417	11.09.2008
13702	BERNSTEIN	B	16,261	47,408	630	01.07.2007
13706	BAD TATZMANNSDORF	B	16,225	47,338	340	17.09.2004
13907	LUTZMANNSBURG	B	16,646	47,466	208	29.06.2000
14104	BLUDENZ	V	9,836	47,142	575	01.08.2007
14115	BRAND	V	9,738	47,104	1046	26.06.2001
14302	ST. ANTON AM ARLBERG	T	10,267	47,144	1310	01.09.2007
14305	GALZIG	T	10,231	47,131	2081	01.09.1993
14403	LANDECK	T	10,564	47,139	798	01.07.1993
14513	IMST	T	10,749	47,246	827	01.09.2007
14521	PRUTZ (MT)	T	10,664	47,069	870	01.12.2004
14603	HAIMING	T	10,890	47,259	671	01.09.2007
14631	UMHAUSEN (MT)	T	10,929	47,143	1041	01.08.2003
14701	NEUSTIFT/MILDERS (MT)	T	11,292	47,103	993	06.11.2004
14802	BRENNER	T	11,500	47,000	1373	01.12.2007
14812	PATSCHERKOFEL	T	11,462	47,210	2247	01.09.1993
14822	RINN	T	11,504	47,249	917	01.12.2007
15002	MAYRHOFEN	T	11,861	47,150	643	01.09.2007
15105	KRIMML	SBG	12,183	47,233	1009	01.09.1997
15210	VIRGEN	OT	12,456	47,004	1198	01.09.1992
15321	RUDOLFSHUETTE	SBG	12,626	47,134	2304	01.12.1992
Fortsetzung auf nächster Seite						

Tabelle 2.1 – Fortsetzung von voriger Seite

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
15344	KALS	OT	12,647	47,005	1368	01.08.2007
15402	RAURIS	SBG	12,993	47,224	941	01.12.1992
15411	SONNBLICK (TAWES)	SBG	12,958	47,054	3105	01.04.1986
15430	KOLM SAIGURN	SBG	12,984	47,069	1618	01.11.1995
15610	OBERTAVERN	SBG	13,560	47,249	1763	13.12.1994
15715	KATSCHBERG	K	13,616	47,061	1633	29.10.1998
15721	MARIAPFARR	SBG	13,745	47,152	1153	18.12.1990
16101	ZELTWEG	STMK	14,760	47,201	670	01.04.1992
16411	ST. RADEGUND	STMK	15,491	47,182	725	01.04.1986
16421	SCHOECKL	STMK	15,468	47,199	1443	01.12.1992
16711	WOERTERBERG	N	16,096	47,228	399	01.07.2007
16800	KLEINZICKEN	B	16,336	47,208	267	01.04.1994
16905	GASCHURN	V	10,028	46,983	975	01.08.2007
17002	GALTUER	T	10,186	46,973	1587	01.11.1996
17005	ISCHGL-IDALPE	T	10,317	46,982	2323	01.09.1984
17102	NAUDERS (MT)	T	10,500	46,911	1360	01.06.2004
17301	OBERGURGL	T	11,027	46,868	1938	08.01.1999
17315	PITZTALER GLETSCHER	T	10,879	46,927	2850	01.01.1994
17320	BRUNNENKOGEL	T	10,863	46,913	3440	01.07.2003
17701	ST. JAKOB/DEF.	OT	12,354	46,917	1388	06.07.2007
17901	LIENZ	OT	12,808	46,828	659	01.07.1985
18001	DOELLACH	K	12,904	46,959	1078	26.05.2004
18111	MALLNITZ	K	13,168	46,993	1196	10.02.1987
18121	OBERVERELLACH	K	13,224	46,929	808	01.12.1986
18210	MILLSTATT	K	13,574	46,808	719	01.06.1982
18225	SPITTAL/DRAU	K	13,488	46,791	542	08.06.1993
18231	GMUEND	K	13,534	46,903	735	23.07.2008
18402	FLATTNITZ	K	14,036	46,941	1442	01.07.2007
18601	FRIESACH	K	14,406	46,959	644	01.07.2007
18622	ST. VEIT/GLAN	K	14,386	46,739	467	01.09.2007
18705	ST. ANDRAE/ LAVANT-TAL	K	14,829	46,764	402	11.03.1993

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 2.1 – Fortsetzung von voriger Seite

Klima Nr.	Name	Bundesland	Geogr. Länge [°]	Geogr. Breite [°]	Höhe [m]	seit
18805	PREITENEGG	K	14,916	46,938	1035	01.06.1993
19505	SILLIAN	OT	12,423	46,747	1075	01.09.1996
19720	KOETSCHACH-MAUTHEN	K	12,998	46,678	714	03.02.1987
19821	WEISSENSEE-GATSCHACH	K	13,287	46,719	945	01.10.1982
19911	HERMAGOR	K	13,493	46,610	558	23.07.2008
20002	BAD BLEIBERG	K	13,689	46,625	907	01.10.2007
20011	FRESACH	K	13,685	46,715	681	11.09.2008
20021	VILLACHER ALPE	K	13,673	46,604	2164	01.08.1994
20101	KANZELHOEHE	K	13,907	46,678	1526	01.01.2002
20105	ARRIACH	K	13,853	46,728	870	01.06.1990
20123	VILLACH-STADT	K	13,875	46,619	493	01.01.1994
20202	FERLACH	K	14,314	46,531	464	01.08.2007
20212	KLAGENFURT-FLUGHAFEN	K	14,324	46,650	450	01.09.1996
20220	POERTSCHACH	K	14,166	46,631	452	01.09.1982
20270	FELDKIRCHEN	K	14,098	46,723	543	01.07.1995
20408	VOELKERMARKT	K	14,619	46,661	471	23.07.2008
20902	BAD RADKERSBURG	STMK	15,981	46,686	208	24.01.2001
21101	LOIBL/TUNNEL	K	14,250	46,444	1098	01.08.2007

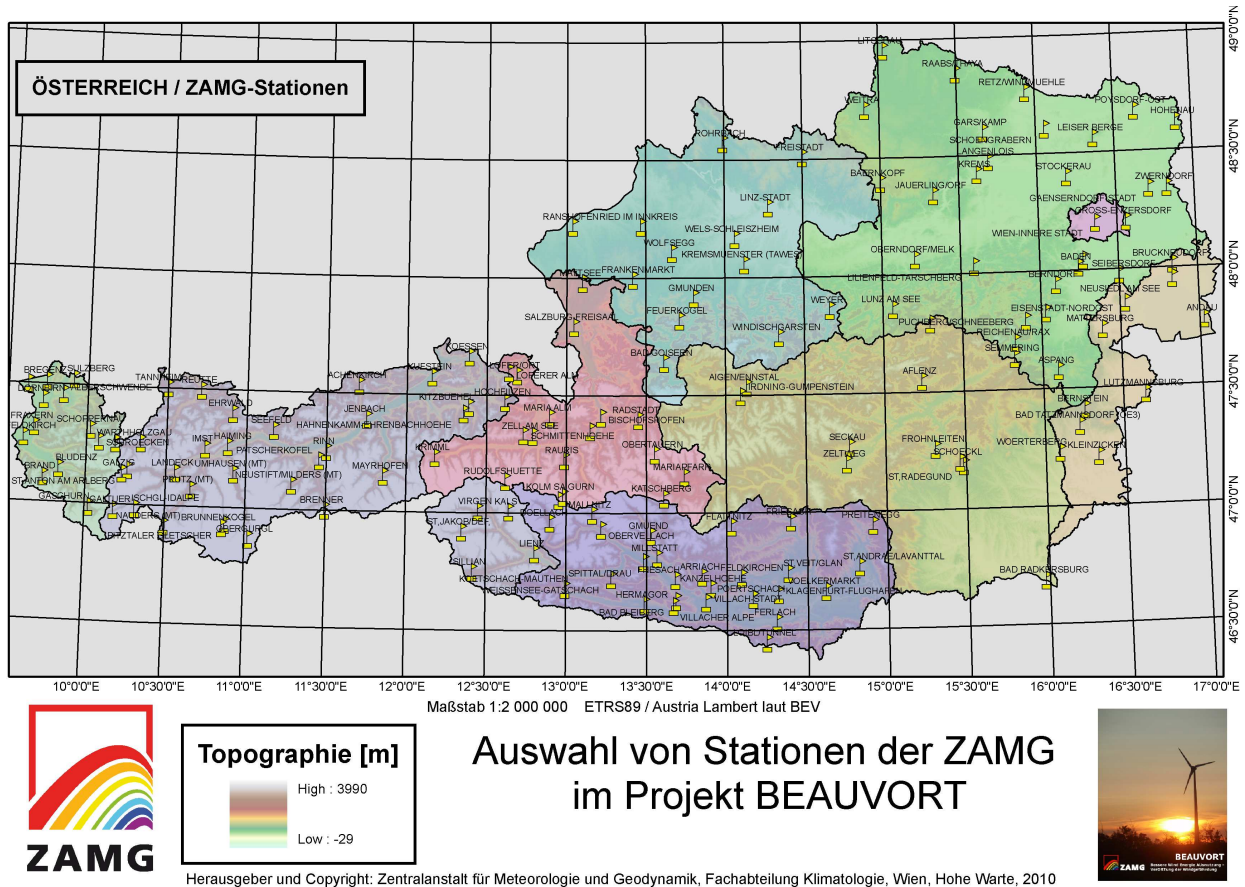


Abbildung 2.2: Übersicht der ausgewählten ZAMG Stationen in Österreich

## 2.5 Problemstellungen

Als Datengrundlage dienen stündliche Messdaten der Windgeschwindigkeit und -richtung sowohl als Maximal- wie auch als Durchschnittswerte. Bei den Messungen der Windgeschwindigkeit treten neben technisch bedingt Messausfällen leider auch weitere Probleme auf. Messunterschiede treten z.B. durch die Tatsache auf, dass die Windgeber an den Stationen der ZAMG in den letzten Jahren von Schalenkreuzanemometern auf 3D Ultrasonic-Windmessgeräten umjustiert wurden. Dadurch kommt es besonders im Winter seltener zu Messausfällen, da es bei den neuen Windgebern nicht mehr so häufig zu Vereisung kommt. Somit stehen in den letzten Jahren besonders bei exponiert liegenden Messorten in den Wintermonaten mehr Daten zur Verfügung, als noch in den Jahren zuvor. Diese Tatsache hat aber auf die Auswertungen nur geringe Auswirkung, da die Messausfälle bei den alten Geräten meist nur bei windschwachen Lagen aufgetreten sind. Da gerade die Windmessung sehr anfällig auf die direkte Stationsumgebung ist, fließt diese nicht nur in die Auswertungen mit ein, sondern beeinflusst auch die Messergebnisse merklich. In den seltensten Fällen bleibt die nähere Stationsumgebung über eine mehrjährige Messphase komplett ident. Zusätzlich

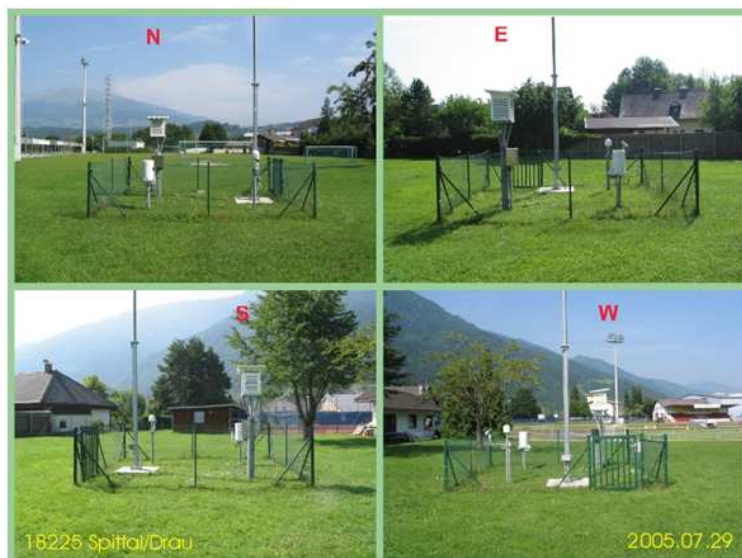


**Abbildung 2.3:** Die Station Döllach wird von Bäumen überragt.

zur Veränderung der baulichen Struktur kommt es auch zu einer Veränderung der Vegetation. Neben den saisonalen Unterschieden, welche z.B. durch die Belaubung von Laubbäumen hervorgerufen wird, kommt es auch durch das Wachstum von Bäumen zu Abänderungen der Windgeschwindigkeit und -richtung. Umliegende Bäume, welche vor 10 Jahren noch unterhalb des Stationsniveaus gelegen sind, können mittlerweile den Windmasten überragen und somit zu veränderten Messwerten an dieser Station führen. Natürlich hat auch die großräumige Umgebung der Station markante Auswirkungen auf die Windmessungen. Hierbei spielt die Topografie eine besondere Rolle. So dominiert in Kärnten in den Tälern das thermisch getriebene Talwindssystem. Gleichzeitig kann aber Föhn für eine quer zur Talrichtung gerichtete Windgeschwindigkeit sorgen. Ein Beispiel für die Problematik bei der Winderfassung stellt die Windmessung in Obervellach dar. Die Klimastation Obervellach liegt in Hanglage in 809m Seehöhe rund 130 Höhenmeter über dem Talboden. Der Windmesser befindet sich in 10m über Grund aber nur rund 4m über einem Dach. Somit wird die Windmessung nicht nur vom Taleffekt und von kleinräumigeren Zirkulationen am Hang (Hangwindssystem) sondern auch stark vom Haus wie den umliegenden Bäumen beeinflusst. Durch die Hanglage können parallel zum Tal gerichtete Winde an der Messstation eine höhere Windgeschwindigkeit als am Talboden hervorrufen, da die Reibung verringert ist. Bei der Interpretation der Daten



**Abbildung 2.4:** Windmessung am Dach eines Hauses in Obervellach

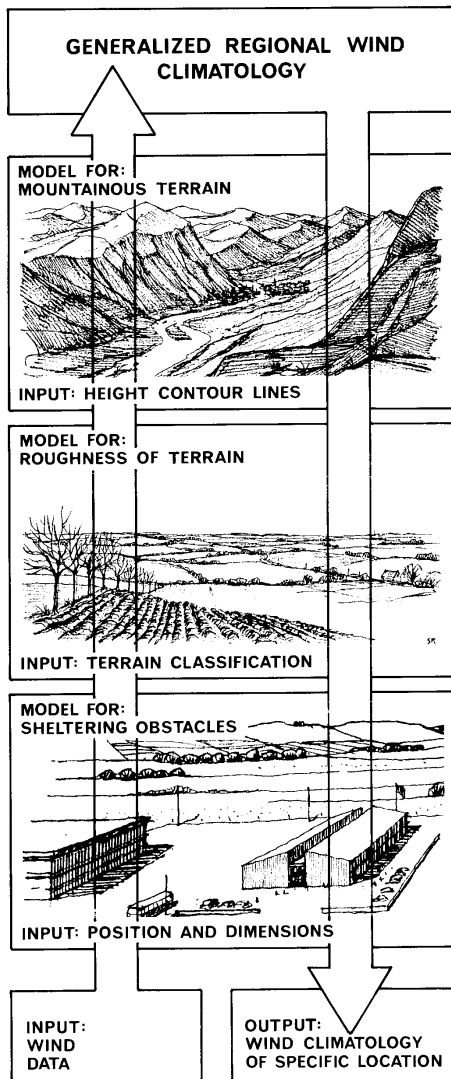


**Abbildung 2.5:** Automatische Messstation in Spittal/ Drau. Das Anemometer ist auf einem 10m hohen Mast montiert und es gibt keine größeren Hindernisse in der Umgebung.

muss also die Lage und Höhe des Windmastes unbedingt mit einbezogen werden. Die Standardmessung sollte in 10m über Grund erfolgen. Gerade in dicht verbautem Gebiet kann eine Messung in dieser Höhe aber zur Erhebung von wenig signifikanten Winddaten führen.

## 2.6 Berechnungen

Die angeführten Daten dienen als Grundlage für die Berechnung des Windpotenzial bzw. der Windgefährdung. Die Berechnungen werden mit WASP durchgeführt.



**Abbildung 2.6:** Schematische Darstellung des WASP-Modells

auf das Windfeld äußert sich in der Vertikalen ca. 3-mal die Höhe des Hindernisses und in der Horizontalen leeseitig etwa 30 bis 40-mal die Hindernishöhe.

WASP (wind atlas analysis and application program) ist ein zur vertikalen und horizontalen Extrapolation von Winddaten eingesetztes Strömungsmodell, in dem 3 Haupteinflussfaktoren berücksichtigt sind:

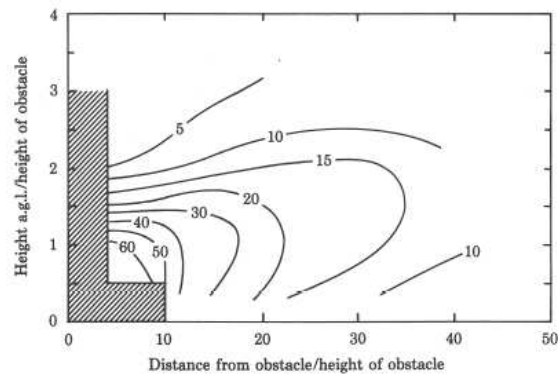
1. Hindernis-Modul
2. Oberflächenrauigkeitsänderung (Internal Boundary Layer - IBL)
3. Orographisches Modul

Das Grundprinzip dieses Programmes ist denkbar einfach. Man nimmt die 3 genannten Haupteinflussfaktoren und berechnet für jede Messstation ein von diesen Einflüssen bereinigte Windverteilung. Danach interpoliert man mit Hilfe des bereinigten Windes -unter Hinzunahme der Rauigkeit und der Orografie- Windverteilungen für die umliegenden Punkte.

### 2.6.1 Grundlagen

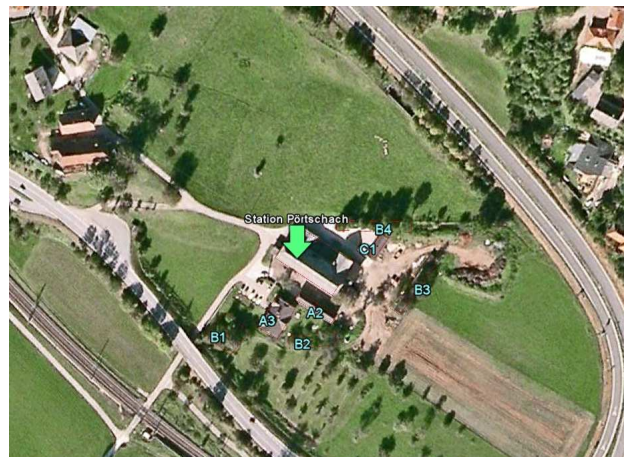
#### Hindernis-Modul

Die Bestimmung der Hindernisse in unmittelbarer Stationsumgebung nimmt eine wichtige Rolle in den Windberechnungen ein. Die Höhe und Größe der Hindernisse sowie deren Entfernung zu den Windmasten haben nämlich maßgeblichen Einfluss auf die gemessene Windgeschwindigkeit und -richtung. Der Einfluss



**Abbildung 2.7:** Windgeschwindigkeitsreduktion (in Prozent) hinter einem Hindernis

Aus diesem Grund werden in einem ersten Schritt anhand von Luftbildern die beeinflussenden Hindernisse in der Stationsumgebung bestimmt, in Google Earth oder Bing eingezeichnet und georeferenziert.

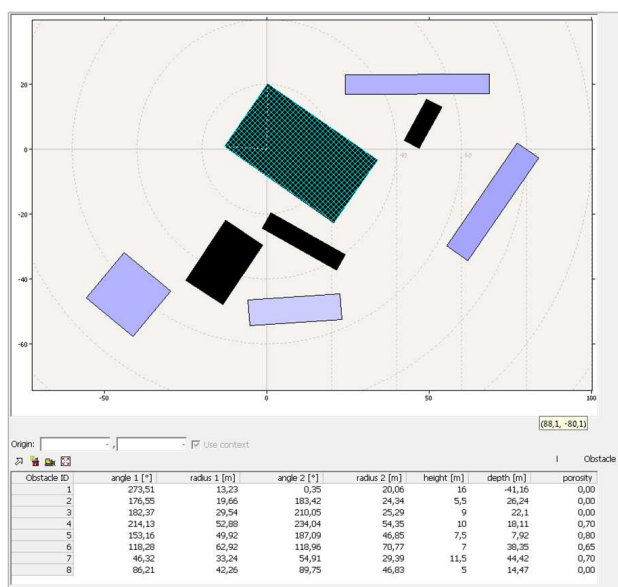


**Abbildung 2.8:** Luftbild aus Google Earth von Pörschach mit den eingezeichneten Hindernissen

In weiterer Folge wird die Höhe der Hindernisse entweder vor Ort oder mit der Hilfe eines Bauplans festgestellt. Durch die nun gewonnenen Informationen können die Hindernisdaten in das Windprogramm WASP für die einzelnen Stationen eingelesen werden.

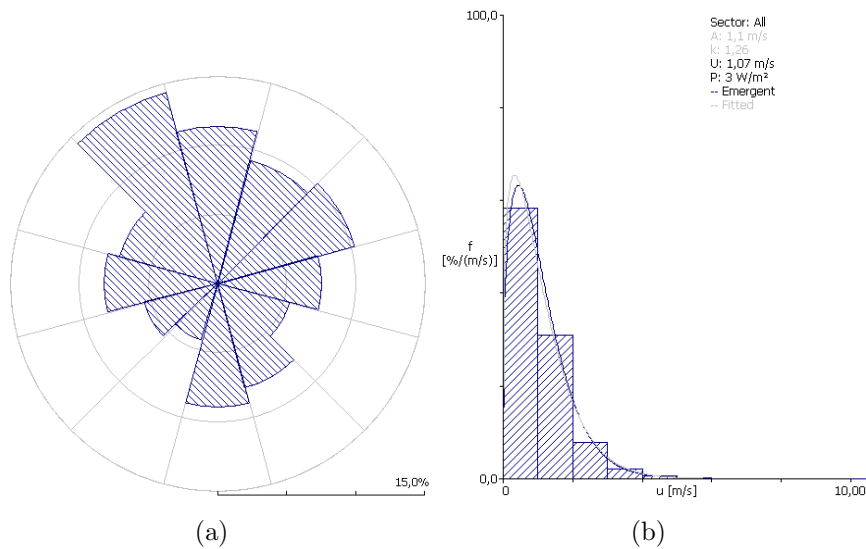
	N			E			S			W			
-	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Total
A	0,8	0,8	0,9	1	1,2	1,5	1,5	1,2	1,6	1,8	1,2	1,1	1,1
k	1,1	1,51	1,45	1,16	1,35	1,94	1,81	1,19	1,28	1,54	1,48	1,54	1,26
U	0,78	0,7	0,84	0,92	1,13	1,37	1,3	1,11	1,46	1,65	1,04	0,95	1,05
P	1	1	1	2	3	3	3	3	7	7	2	1	3
Freq	11	9	10	8	5	8	9	4	5	8	7	14	100

**Tabelle 2.2:** Beobachtete Windgeschwindigkeit in Sektoren für Pörtschach (Weibull-Parameter (A, k), mittlere Windgeschwindigkeit (U [m/s]), Leistungsdichte (P [W/m<sup>2</sup>]), Auftrittswahrscheinlichkeit (Freq, [%]))



**Abbildung 2.9:** Stationsumgebung im Windprogramm WAsP für Pörtschach

Als Ergebnis erhält man einen genauen Plan mit Lage und Entfernung der Hindernisse zu den Windmasten. Zuletzt muss auch noch die Durchlässigkeit der einzelnen Hindernisse bestimmt werden. Diese reicht von 0% Durchlässigkeit bei einem Gebäude bis zu 70% Durchlässigkeit bei lichtigem Bewuchs. Die Hindernisumgebung spielt nur bei der Berechnung des bereinigten Windes eine Rolle. Für die weiteren großflächigen Berechnungen fließen dann nur noch die Bodenrauigkeit und die Orographie ein. In Abbildung 2.10 zeigt sich die Windverteilung für Pörtschach, die aus den Beobachtungsdaten berechnet wird. In Tabelle 2.2 finden sich die dazugehörigen Werte nach Sektoren aufgelistet. In weiterer Folge fließen die drei oben genannten Punkte (Hindernisse, Rauigkeit und Orographie) in die Berechnungen mit ein und es ergeben sich die folgenden standardisierten Windbedingungen (Windatlas) in Tabelle 2.3.



**Abbildung 2.10:** Windverteilung in Pörtschach

Höhe (z)	Parameter	Klasse 0 ( $z_0=0,00$ m)	Klasse 1 ( $z_0=0,03$ m)	Klasse 2 ( $z_0=0,10$ m)	Klasse 4 ( $z_0=0,40$ m)
10 m	U [m/s]	2,83	1,99	1,73	1,38
	P [ $W/m^2$ ]	40	18	12	6
25 m	U [m/s]	3,07	2,38	2,13	1,81
	P [ $W/m^2$ ]	50	27	20	12
50 m	U [m/s]	3,24	2,75	2,5	2,2
	P [ $W/m^2$ ]	58	35	27	18
100 m	U [m/s]	3,41	3,27	2,99	2,67
	P [ $W/m^2$ ]	74	54	41	28
200 m	U [m/s]	3,56	4,07	3,7	3,31
	P [ $W/m^2$ ]	102	110	83	57

**Tabelle 2.3:** WASP Windatlas: Windgeschwindigkeit U und Leistungsdichte P in verschiedenen Höhen und unterschiedlichen Rauigkeitsklassen; Beispiel Pörtschach

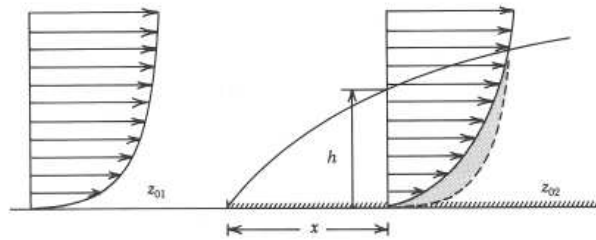
Dieser so genannte Windatlas stellt nun den bereinigten Wind an einem Ort dar und dient als Basis um die mittleren Windbedingungen an einem Standort unter Berücksichtigung der Topographie und der Rauigkeitslängen mit umgekehrtem Prozessablauf zu berechnen.

### **Oberflächenrauigkeitsänderung (Internal Boundary Layer - IBL)**

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 geostrophischen Wind. 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. Die Reibungskraft hängt im Wesentlichen von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde ab. Man unterscheidet hier zwischen Geländekonturen (Orografie), Rauigkeit des Terrains und Hindernissen. 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 Gebäude. Flächen mit ähnlichen Elementen werden zu Gruppen zusammengefasst und als Flächen mit gleichen Rauigkeitslängen dargestellt. Die kleinräumigste Beschreibung der Einflussfaktoren auf das Windfeld stellen die Hindernisse dar. Ein Hindernis kann das lokale Windfeld in der Vertikalen bis zu einer Höhe, die dreimal der Hindernishöhe entspricht, beeinflussen, und (leeseitig) in der Horizontalen bis zu einer Distanz, die 30- bis 40mal der Hindernishöhe entspricht.

### **Bodenrauigkeit**

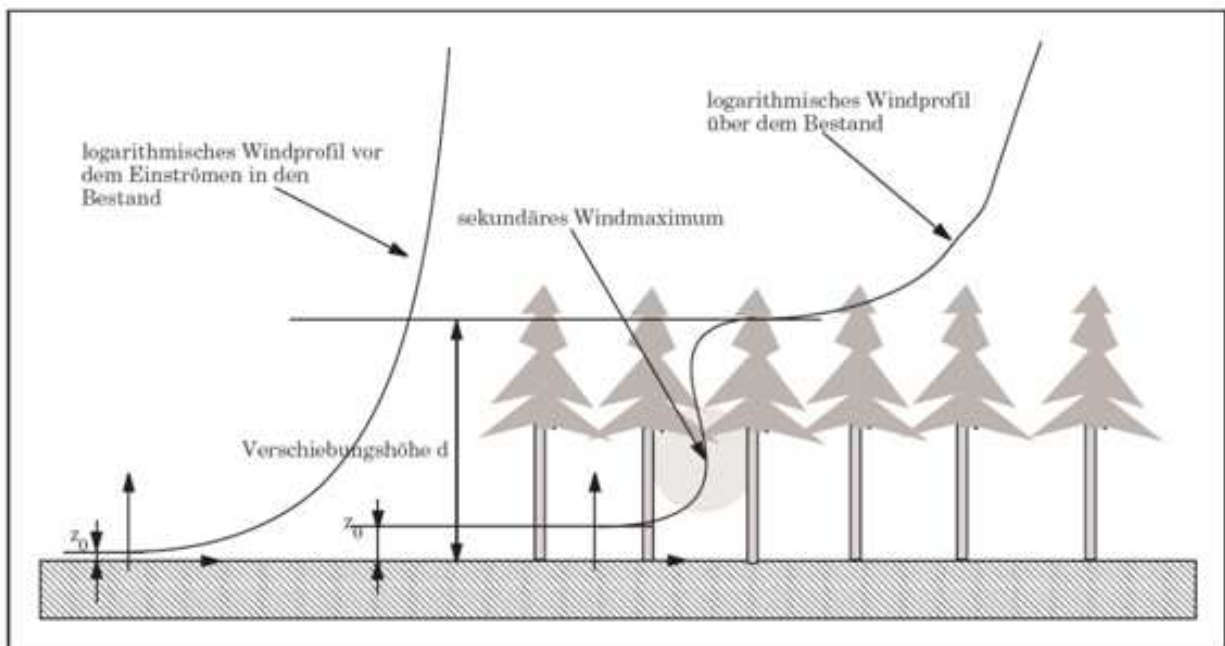
Der Parameter der Bodenrauigkeit ist die Rauigkeitslänge  $z_0$ , die in Metern angegeben wird. In Abbildung 2.11 kann man sehen, dass die Verteilung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe ohne störende Hindernisse einem logarithmischen Windprofil folgt, das in Nähe der Bodenoberfläche den Wert Null annimmt. Die Höhe über dem Boden, in der die Windgeschwindigkeit gleich Null wird, entspricht der Rauigkeitslänge  $z_0$ .



**Abbildung 2.11:** Adaptiertes logarithmisches Windprofil in WASP

Trifft das Windfeld nun auf ein Hindernis (in Abbildung 2.12 auf einen Waldbestand), verschiebt sich das logarithmische Windprofil in der Vertikalen (um die Verschiebungshöhe  $d$ ) nach oben, die Windgeschwindigkeiten darunter weisen geringere Werte auf bzw. werden Null. Der Höhen-Bereich unmittelbar über dem Boden, innerhalb dessen der Wert der Windgeschwindigkeit Null beträgt, entspricht der Rauigkeitslänge  $z_0$ . Somit gibt der Wert der Rauigkeitslänge bereits Auskunft über die Hindernisse, die der Wind überstreicht: je kleiner  $z_0$  ist, desto weniger Reibung entsteht, je größer  $z_0$  ist, desto größere Reibungskraft beeinflusst die Windgeschwindigkeit und bremst sie (in Bodennähe) stärker ab.

**Anmerkung:** das Windmodell WASP verwendet keine Verschiebungshöhen zur Berechnung des Windfeldes, sondern arbeitet mit den Rauigkeitslängen und einem adaptierten logarithmischen Windprofil.

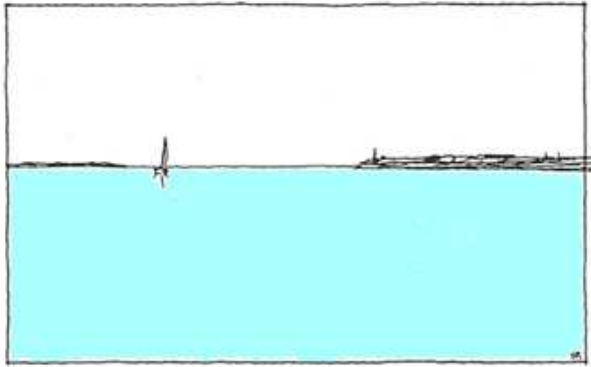


**Abbildung 2.12:** Schematische Veränderung der Windprofile beim Durch- bzw. Überströmen eines Waldbestandes (nach Nützmann (1999))

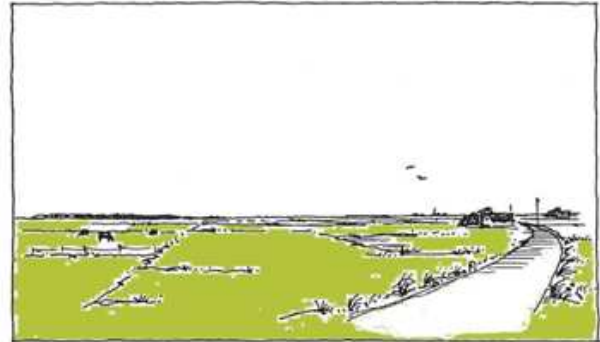
Die Rauigkeitslängen können in 5 typische Rauigkeit-Klassen (0 bis 4) zusammengefasst werden, wobei die fünfte Klasse (in unserem geographischen Bereich) üblicherweise keine Anwendung findet, da es kaum Großstädte mit Wolkenkratzern gibt bzw. in diesem Bereich kaum Interesse an Windpotenzial- oder Windfeld-Berechnungen besteht.

1. Klasse 0: Wasserflächen, Meer, Fjorde, Seen,  $z_0 \approx 0,0002m$
2. Klasse 1: offene Flächen mit wenigen Windwürfen, einzelne Bäume und Büsche, relativ flach oder leicht hügelig,  $z_0 \geq 0.03m$
3. Klasse 3: Siedlungsgebiete, Wälder, viele Windhindernisse, deren Abstände nur einige 100 m betragen,  $z_0 \geq 0.4m$
4. Klasse 4: Großstädte mit Wolkenkratzern,  $z_0 \geq 1m$

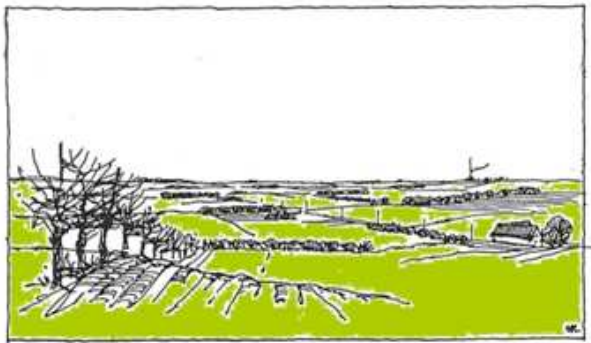
In Abbildungen 2.13 (nach Troen and Petersen (1989)) sind Beispiele für Geländetypen der jeweiligen Klassen graphisch dargestellt und typische Rauigkeitslängen angegeben.



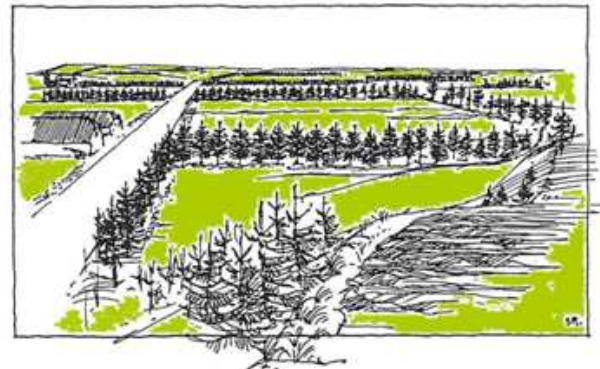
(a) Klasse 0: Beispiel für ein Gelände der Rauigkeitsklasse 0,  $z_0 \approx 0,0001m$



(b) Klasse 1: Beispiel für ein Gelände der Rauigkeitsklasse 1,  $z_0 \approx 0,03m$



(c) Klasse 2: Beispiel für ein Gelände der Rauigkeitsklasse 2,  $z_0 \approx 0,1m$



(d) Klasse 3: Beispiel für ein Gelände der Rauigkeitsklasse 3,  $z_0 \approx 0,4m$



(e) Klasse 4: Beispiel für ein Gelände der Rauigkeitsklasse 4,  $z_0 \approx 1,5m$

**Abbildung 2.13:** Rauigkeitsklassen nach Troen and Petersen (1989)

### Methodik zur Bestimmung der Rauigkeitslängen

In einem ersten Schritt wurde versucht die Rauigkeitslängen von der Österreichkarte im Maßstab 1:50.000 zu digitalisieren. Diese Art der Vorgehensweise dürfte zweckmäßig für kleinere Gebiete sein, wie etwa für einzelne Windparks oder Stationsstandorte, aber für eine flächenhafte Nutzung ist der Prozess zu aufwändig und fehlerhaft. Als Lösung bieten sich die Landnutzungsdaten der Europäischen Union an. Im Auftrag der Europäischen Kommission werden unter dem Projektnamen CORINE (COoRdinate INformation on the Environment, EEA-CORINE) Landnutzungsdaten für alle EU-Staaten mit Hilfe von Satelliten bestimmt und in ein einheitliches Format gebracht. Die Landnutzungsdaten werden über eine Klassifizierung (Silva et al. (2007)) in Rauigkeitslängen umgewandelt und finden sich in der Tabelle 2.5. In Tabelle 2.5 sind die typischen Werte für Rauigkeitslängen in Metern und

Rauigkeitslänge [m]	CLC_CODE	Geländebeschaffenheit
0,0001	511, 512, 521, 522, 523	Wasserflächen: Meer, Seen Flüsse
0,0003	331	Strand, Dünen, Sand
0,0005	412, 422, 423	Moor, Salzflächen, Watt
0,001	335	Gletscher, Schnee
0,005	124, 131, 132, 332, 333	nackter Fels, Flughafen, Bergbaugesbiet, Deponie
0,03	231, 321, 322, 323	Weidefläche, Grasflächen, Moor, Heide, Hartlaubvegetation
0,05	211, 212, 213, 411, 421	Ackerland, Sumpfgebiete
0,075	122	Straßen- und Gleissystem und Umgebung
0,1	221, 222, 223, 241	Wein- und Obstgärten
0,3	242, 243, 244	stark landwirtschaftlich genutztes Gebiet, Forstwirtschaft
0,5	112, 121, 123, 133, 142	Siedlungsgebiet, Industrie, Hafen
0,6	141, 324, 334	grüne Stadtgebiete, verbrannte Flächen, vereinzelt Wald
0,75	311, 312, 313	Wald
1,2	111	Stadtgebiet, Großstädte

**Tabelle 2.5:** Typische Werte für Rauigkeitslängen. Klassifizierung nach Silva et al. (2007).

die entsprechenden Geländetypen sowie die Landnutzungsklassen von Corine zusammenfasst. Die Rauigkeitslängen liegen für gesamt Österreich in dem Shape-Format als Polygone

(Abbildung 2.14) vor und müssen für die Software WASP zur Berechnung des Windfeldes in das MAP-Format umgewandelt werden.

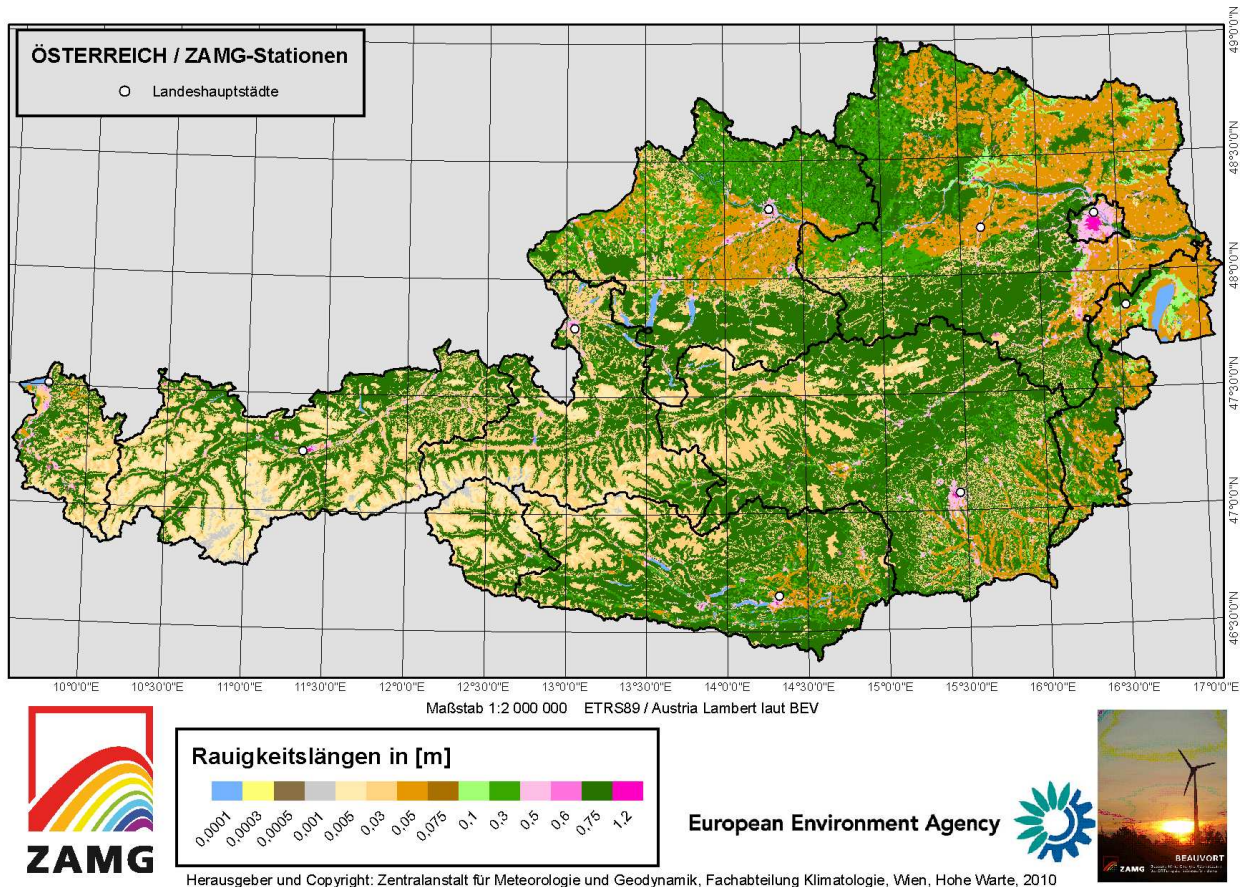


Abbildung 2.14: Rauigkeitskarte mit Polygonen im Shape-Format

## Das Orographische Modul

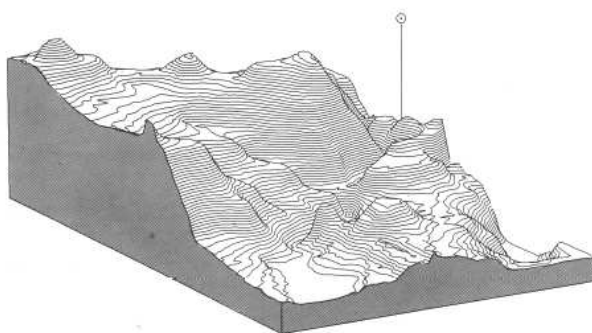


Abbildung 2.15: Schematische Darstellung eines topographischen Modells

Die Topografie spielt sowohl bei der Windgeschwindigkeit als auch bei der Windrichtung eine entscheidende Rolle. Für die Modellberechnungen bedarf es eines hoch aufgelösten digitalen Geländemodells. Besonders in einem Radius von etwa 5km um die Station sollte das Relief möglichst genau erfasst werden. Der ZAMG steht in diesem Fall das Geländemodell des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung, wobei der Maßstab 1:50.000 und die Äquidistanz 10m

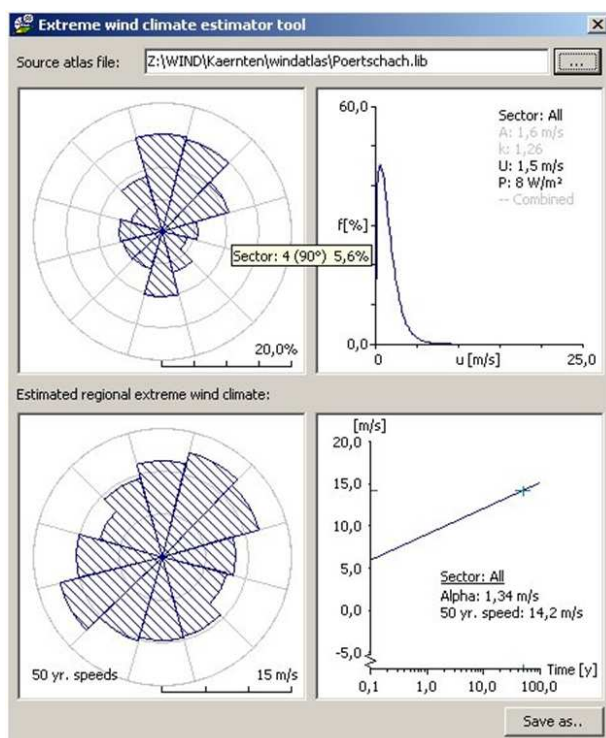
beträgt. Gerade in der Stationsumgebung wird besonderer Wert auf eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen Realität und Modell gelegt. Während das Modul Hindernisse die kleinskaligen Einflüsse berechnet, spielt die Orographie besonders bei größeren Skalen wie Tälern, Berg- oder Hügelketten eine Rolle.

## 2.6.2 Modellrechnung

### Berechnung des stündlichen Mittelwindes

In einem ersten Schritt werden die stündlichen Messdaten auf klimatologischer Basis ausgewertet. Um einzelne kurze Messreihen "verlängern" zu können werden diese mittels Korrelationsverfahren mit repräsentativen Stationen aus der Umgebung abgeglichen und somit zeitlich ausgedehnt.

### Berechnung der Extremwerte

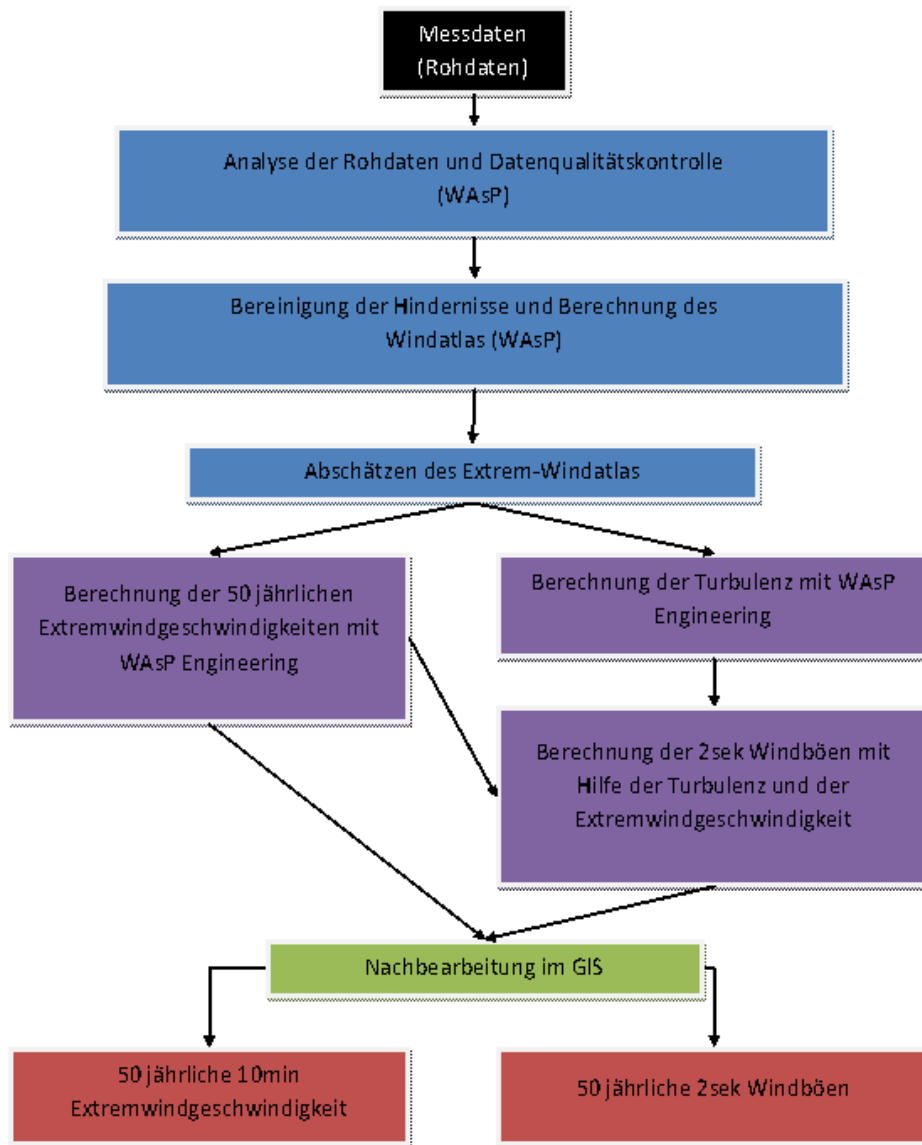


**Abbildung 2.16:** Extrem Wind Abschätzung, Beispiel für Pörschach

Für die Ermittlung der Extremgeschwindigkeiten wird WASP Engineering (WEng) verwendet. WEng ist ein für die Bestimmung der Extremgeschwindigkeit und Turbulenzintensität konzipiertes Programm. Für die weiteren Berechnungen werden 10min Mittelwerte benötigt. Auswertungen der Daten zeigen aber, dass der Unterschied zwischen Stundenwerten und 10min- Werten sehr gering ist. Desweiteren gibt es nicht von allen Stationen hochauflösende Messungen, wodurch die weiteren Auswertungen mittels der Stundenwerte durchgeführt werden. Auf der Basis des Windatlas erstellt nun das Modell eine Windverteilung für die 50-Jährlichkeit für offenes flaches Gelände (siehe Abbildung 2.16).

Unter Berücksichtigung von Orographie und Rauigkeit werden dann Ergebnisse für die einzelnen Stationen in ganz Österreich berechnet. Im nächsten Schritt muss man von den

Punktwerten auf Flächenwerte gelangen. Dies erreicht man, indem jeder Station ein meteo-



**Abbildung 2.17:** Schematische Darstellung des Berechnungsvorganges

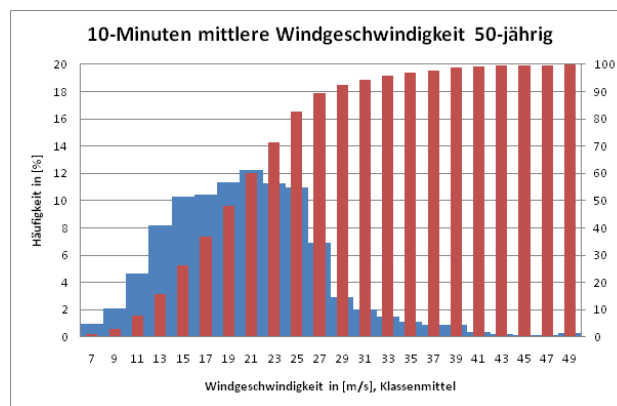
rologisch repräsentatives Gebiet zugeteilt wird, welches je nach Stationsdichte unterschiedlich groß ist. Ziel ist es, dass sich jedes Gebiet mit dem der nächstgelegenen Station leicht überschneidet um Sprünge bei der Auswertung zu verhindern. Nun werden mittels der vorhandenen Daten Werte für alle Gitterpunkte (500x500m Raster) innerhalb dieses Gebietes berechnet. Das Ergebnis kann dann in einem GIS- Programm visualisiert werden.

Aus den 10 Minuten Werten werden nun über die Intensität der Turbulenz und den Bögigkeitsfaktor die Ergebnisse für die 50-Jährlichkeit der 2-Sekunden mittleren Windgeschwindigkeit

(=Böe) für offenes Gelände ermittelt.

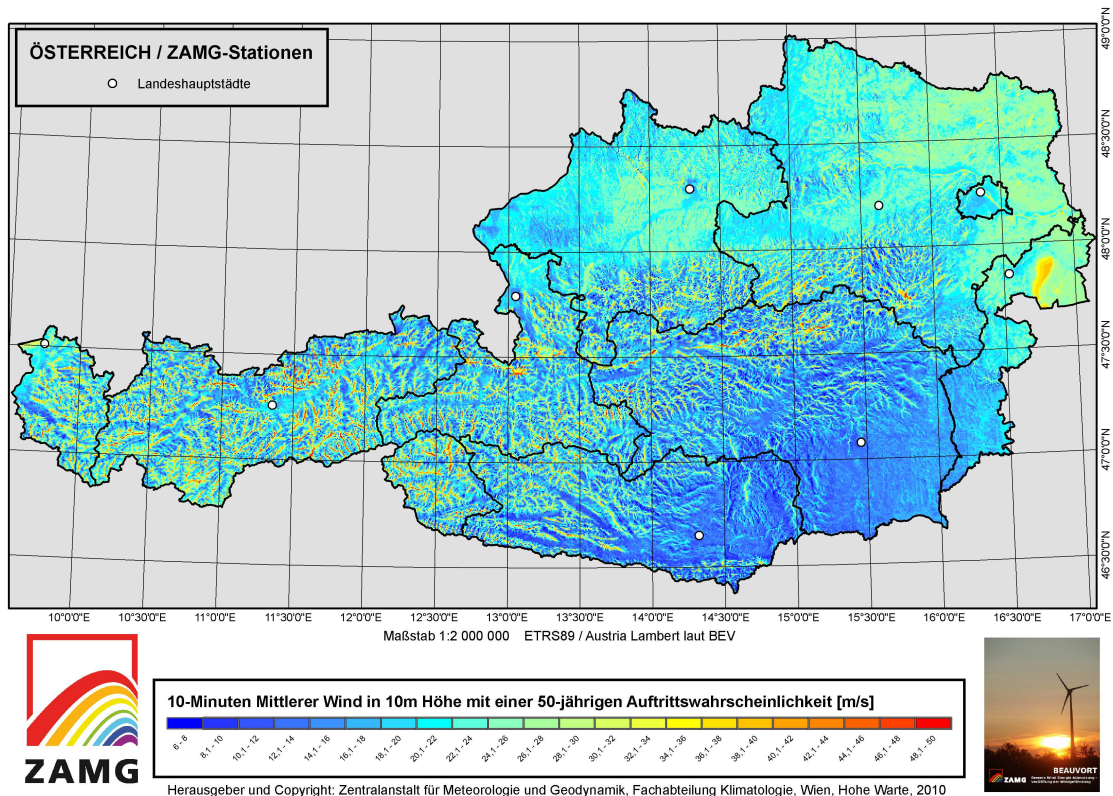
## 2.7 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind räumlich differenzierte Windgefährdungs- bzw. Windenergiepotenzialkarten für Österreich. Durch die Topographie bedingte regionale Unterschiede gibt es zwischen dem Alpenvorland (Nördliches Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich und der Nordteil des Burgenlandes), den Tälern der Alpen (Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Obersteiermark, Teile Kärntens) und dem Rand der Pannonischen Tiefebene (Südteil des Burgenlandes, Südteil der Steiermark und Westen von Kärnten). Diese drei Regionen sind synoptisch unterschiedlich aktiv. Das Alpenvorland wird von Kaltfronten geprägt, die sich nach Osten hin bewegen und dann über den Ostrand der Alpen in die Pannonische Tiefebene einfließen. Hohe Windgeschwindigkeiten treten vor allem auf den Bergen auf. Die relativen Häufigkeiten



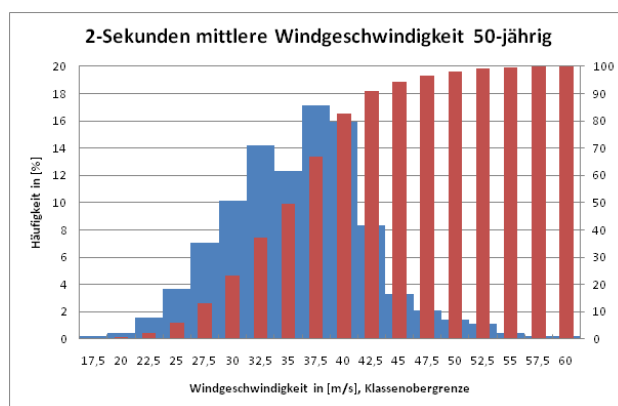
**Abbildung 2.18:** Häufigkeiten der 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit mit einer 50-jährlichen Auftretswahrscheinlichkeit in 10m Höhe

in Abbildung 2.18 der 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit mit einer Wiederkehrzeit von 50 Jahren, in Folge  $v_{10}$  genannt, zeigen, dass ein Großteil der Pixelwerte (500mx500m) im Bereich von 13 - 27 [m/s] befinden. Die wenigen Werte am rechten Rand der Verteilung dürften primär Berge bzw. Bergrücken sein. Einen detaillierteren Blick kann man in Abbildung 2.19 von den Windgeschwindigkeiten bekommen. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den zuvor erwähnten Regionen. Der Alpenraum zeichnet sich besonders durch die großen Unterschiede zwischen Talboden und Bergspitzen aus. Bei einer 500mx500m Auflösung können nicht alle Berge bzw. Täler wiedergegeben werden. Gut kann man den Unterschied zwischen größeren Tälern wie dem Inntal in Tirol und kleineren Tälern in Tirol sehen. Im Inntal sind deutlich höhere Windgeschwindigkeiten als z.B. Stubaital. Hingegen am Ende des Stubaitals, am Brenner, sind die Geschwindigkeiten wieder deutlich höher. Teilweise



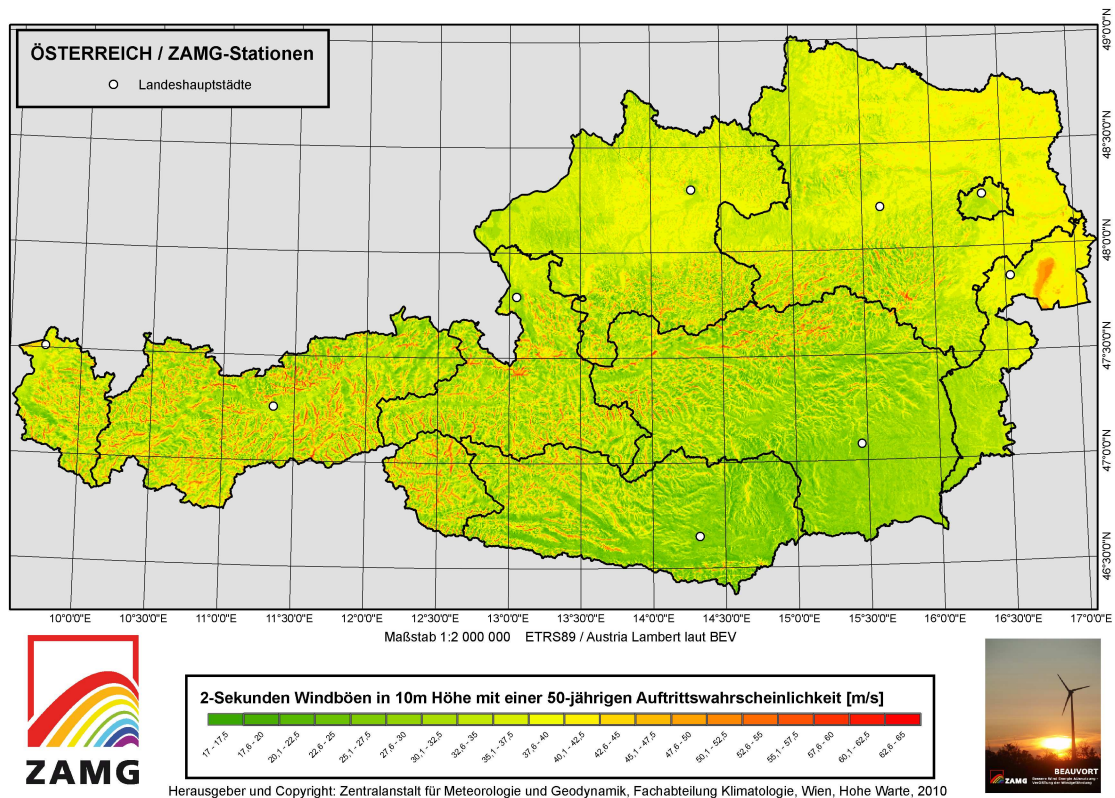
**Abbildung 2.19:** 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit mit einer 50-jährlichen Auftrittswahrscheinlichkeit in 10m Höhe. Siehe auch Anhang A

durch die Auflösung bedingt, teilweise auch durch die tatsächlichen Verhältnisse, ergeben sich große Unterschiede auf kleinem Raum. In dem Randbereich der Panonischen Tiefebene finden sich regional gesehen die niedrigsten Windgeschwindigkeiten. Währenddessen sich die Höchsten im Nördlichen Burgenland und angrenzendem Niederösterreich befinden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei dem 2-Sekunden Mittel der Windgeschwindigkeit mit einer Wie-



**Abbildung 2.20:** Häufigkeiten der 2-Sekunden Mittel der Windgeschwindigkeit (=Böen) mit einer 50-jährlichen Auftrittswahrscheinlichkeit in 10m Höhe

derkehrzeit von 50 Jahren in 10m Höhe. Dabei handelt es sich um Windböen und wie auch die Verteilung in Abbildung 2.20 zeigt ist diese ähnlich verteilt wie die in Abbildung 2.18, wobei der Großteil der Pixelwerte näher zusammen liegen und das Maximum deutlich zentrierter ist als in Abbildung 2.18. Dieses Bild findet sich auch in detaillierterer Form in Abbildung 2.21.



**Abbildung 2.21:** 2-Sekunden Mittel der Windgeschwindigkeit (=Böen) mit einer 50-jährlichen Auftrittswahrscheinlichkeit in 10m Höhe. Siehe auch Anhang A

Die Ergebnisse der Windenergieberechnungen zeigen zunächst in Abbildung 2.22, dass es nur wenig Standorte gibt wo hohe Werte erreicht werden können. Viele hohe Werte sind auf Bergen, wo sie zum Teil nur schwer technisch nutzbar sind. Besonders auffällig zeigen sich die regionalen Unterschiede in Abbildung 2.23. Im Bereich der Alpen finden sich große Unterschiede zwischen Tälern und Bergen. Im Alpenvorland finden sich schon deutlich höhere Werte und im Grenzbereich zwischen Niederösterreich und Burgenland ergeben sich dann die höchsten Werte im Flachland.

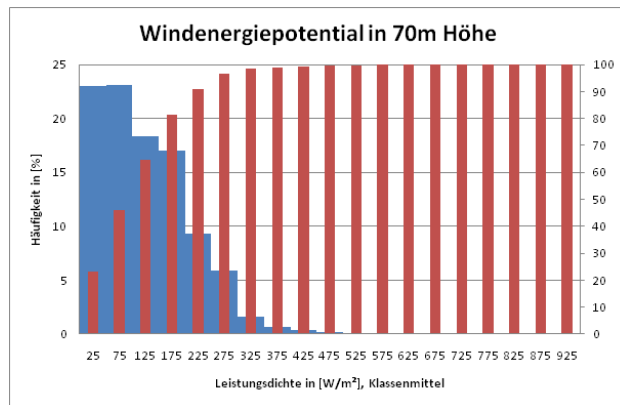


Abbildung 2.22: Häufigkeiten des Windenergiepotenzials (Leistungsdichte) in 70m Höhe

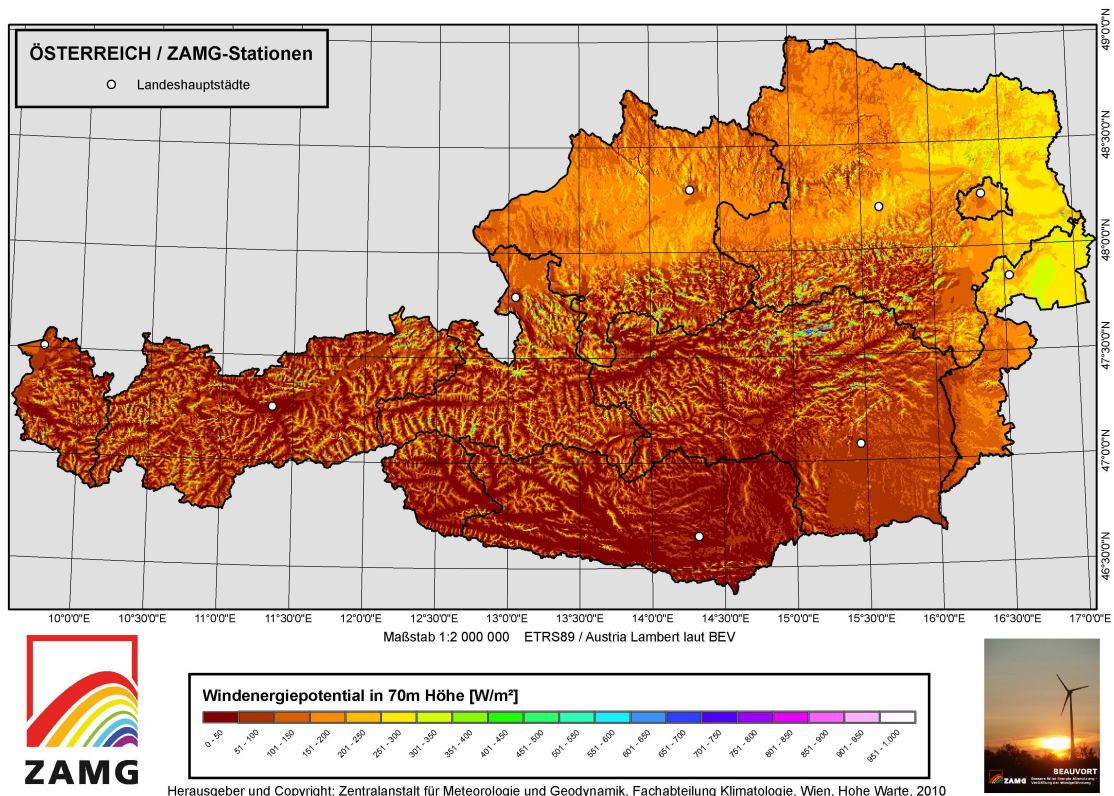


Abbildung 2.23: Windenergiepotenzial (Leistungsdichte) in 70m Höhe. Siehe auch Anhang A

## 2.8 INCA

Im Rahmen dieses Arbeitsschritts fließen flächendeckenden Daten der Rauigkeitslänge sowie "reduzierte Windmessungen" in das Analysesystem INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) ein. Es wurde untersucht inwieweit diese für INCA neuen beziehungsweise modifizierten Daten zur Verbesserung der INCA Windanalysen beitragen können. "Reduzierte Winddaten" sind Stationsdaten, für welche die Beeinträchtigung der Windmessungen durch Hindernisse (topographische Gegebenheiten) mitberücksichtigt und eliminiert wurden (siehe WP2, Abschnitt "Hindernis-Modul"). Es wurde erwartet, dass dies zu einer Verbesserung der Repräsentativität der INCA- Windanalysen führen kann, da derzeit (a) das Windfeld nur an die hochauflösende Topographie angepasst wird, die Rauigkeit aber nicht berücksichtigt wird und (b) die Messwerte in unreduzierter Form übernommen werden. Der Einfluss dieser Adaptionen wird anhand einer Kreuzvalidierung demonstriert. Diese wurde für die Region Ober- und Niederösterreich am Beispiel des Sturmereignisses Kyrill durchgeführt.

### 2.8.1 Modellbeschreibung INCA

Das an der ZAMG entwickelte Analyse- und Nowcastingsystem INCA (Haiden et al., 2009) ermöglicht zeitlich und räumlich hochauflösende Analysen und Vorhersagen für die nächsten Stunden unter besonderer Berücksichtigung regionaler und kleinräumiger topographischer Effekte. Es liefert auf einem 1-km Raster stündlich aktualisierte Prognosen von Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Globalstrahlung und viertelstündlich aktualisierte Prognosen von Niederschlag und Bewölkung. Das Ziel von INCA ist eine zeitlich und räumlich hochauflösenden Analyse und Prognose des aktuellen atmosphärischen Zustandes im Nowcasting- und Kurzfristbereich (3-12h) als Ergänzung zu „klassischen“ numerischen Vorhersageprodukten. Weiters ermöglicht es eine Verbesserung der Qualität von numerischen Vorhersagen durch Downscaling und Biaskorrektur des Modelloutputs auch für längere Prognosezeiten (beispielsweise bis zu +48h).

Die zentrale Idee von INCA ist die optimierte algorithmische Kombination aller aktuell verfügbaren Datenquellen in Echtzeit für eine möglichst detaillierte, qualitativ hochwertige und verlässliche Analyse und Prognose des aktuellen atmosphärischen Zustandes, insbesondere im Alpenraum. Als Datenquellen dienen einerseits Beobachtungsdaten von automatisierten Stationen sowie Radar- und Satellitendaten und andererseits Vorhersagen von numerischen Modellen. Die wichtigste Datenquelle sind dabei die konventionellen Beobachtungen der TAWES Stationen der ZAMG (~250 Stationen) sowie der hydrologischen Dienste (>100

Stationen). Als Basis für die INCA Temperatur-, Feuchte- und Windanalysen dienen die Vorhersagen des an der ZAMG operationellen Regionalmodells ALADIN-AUSTRIA mit einer räumlichen horizontalen Auflösung von etwa 10 km und 45 vertikalen Schichten (Wang et al., 2006), die in weiterer Folge mit den Beobachtungen kombiniert werden. Bei jenen meteorologischen Feldern, die in INCA dreidimensional analysiert und prognostiziert werden (Temperatur, Feuchte, Wind), gliedert sich der Berechnungsablauf grob in drei Schritte:

**First guess:** Interpolation der ALADIN Felder (horizontale Auflösung 9.6 km) auf das INCA-Gitter (horizontale Auflösung 1 km) unter Berücksichtigung der kleinskaligen, in ALADIN nicht aufgelösten, topographischen Merkmale (z.B. Alpentäler).

**Observation correction:** An den Messstationen werden die Differenzen zwischen dem "first guess" und der aktuellen Beobachtung gebildet und diese dreidimensional interpoliert. Bei der Gewichtung der Stationen in der Interpolation spielen sowohl deren räumliche Entfernung als auch die Stabilität der Atmosphäre eine Rolle. Das entstandene Differenzfeld wird als Korrektur zum "first guess" addiert. Das Ergebnis ist die INCA-Analyse. Im Falle des Windfeldes wird zusätzlich ein Algorithmus angewandt, der das Windfeld an die hochauflösende Topographie in INCA anpasst.

**Nowcast:** Das in der Analyse berechnete Differenzfeld wird mit zeitlich abnehmendem Gewicht auch für die Korrektur der ALADIN-Prognose der nächsten Stunden verwendet.

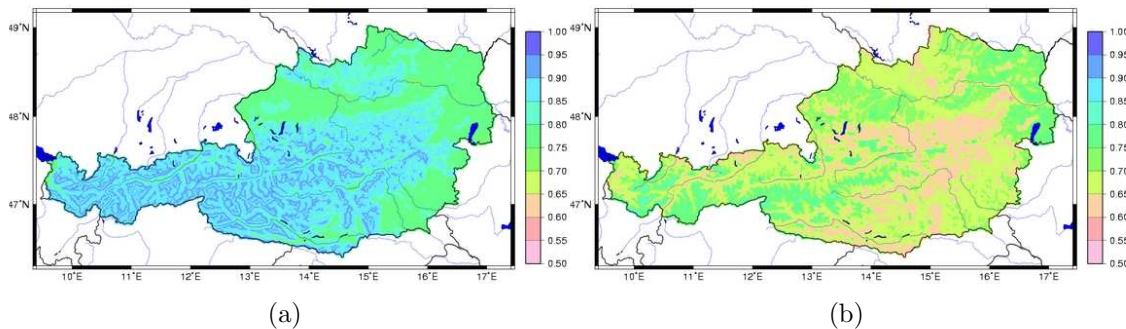
## 2.8.2 Parametrisierung des 10m-Windes in INCA

Sowohl bei der Integration der Beobachtungen ("Observation correction") als auch bei der Erstellung von 2D-Analysen des 10m Winds aus dem INCA 3D-Windfeld wird eine Parametrisierung benötigt, welche den beobachteten 10m-Wind in einen "Modellwind" übersetzt und umgekehrt aus dem 3D-Wind einen 10m Wind bestimmt.

Die Wirkung dieser Parametrisierung wird als Verhältnis, im folgenden  $f_{10}$  genannt, zwischen dem 10m-Wind und dem Wind der untersten Modellschicht ausgedrückt. Es wurde bisher semi-empirisch für "Flachlandstationen" bestimmt ( $f_{10} \sim 0.75$ ). Für höher gelegene (exponierte) Stationen beziehungsweise Gitterpunkte nimmt  $f_{10}$  bis auf 0.9 zu. Basierend auf diesen Annahmen wurde  $f_{10}$  in Abhängigkeit der Höhe der relativen Topographie (d.h. Unterschiede zwischen Tälern und Bergspitzen) parametrisiert (siehe Abbildung 2.24).

Die Bodenbeschaffenheit und damit die Rauigkeit wurde bisher explizit nur zur Parametrisierung des 10m Windes über Seen berücksichtigt (siehe Haiden et al. (2009)). Zum Testen

des Einflusses von flächendeckenden Rauigkeitslängen wurde diese Parametrisierung im Rahmen von BEAUVORT in einer weitgehend analogen Vorgehensweise erweitert und erlaubt nun eine flächendeckende Parametrisierung von  $f_{10}$  auf Basis der lokalen Rauigkeitslängen. In Abbildung 2.24 sind die auf Rauigkeitslängen basierenden  $f_{10}$ -Werte gezeigt. Dafür wurde Rauigkeitsinformation aus dem Datensatz des CORINE Programms (Coordination of Information on the Environment, EEA-CORINE) verwendet.



**Abbildung 2.24:** Parametrisierung von  $f_{10}$  ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung unterschiedlicher Rauigkeiten.

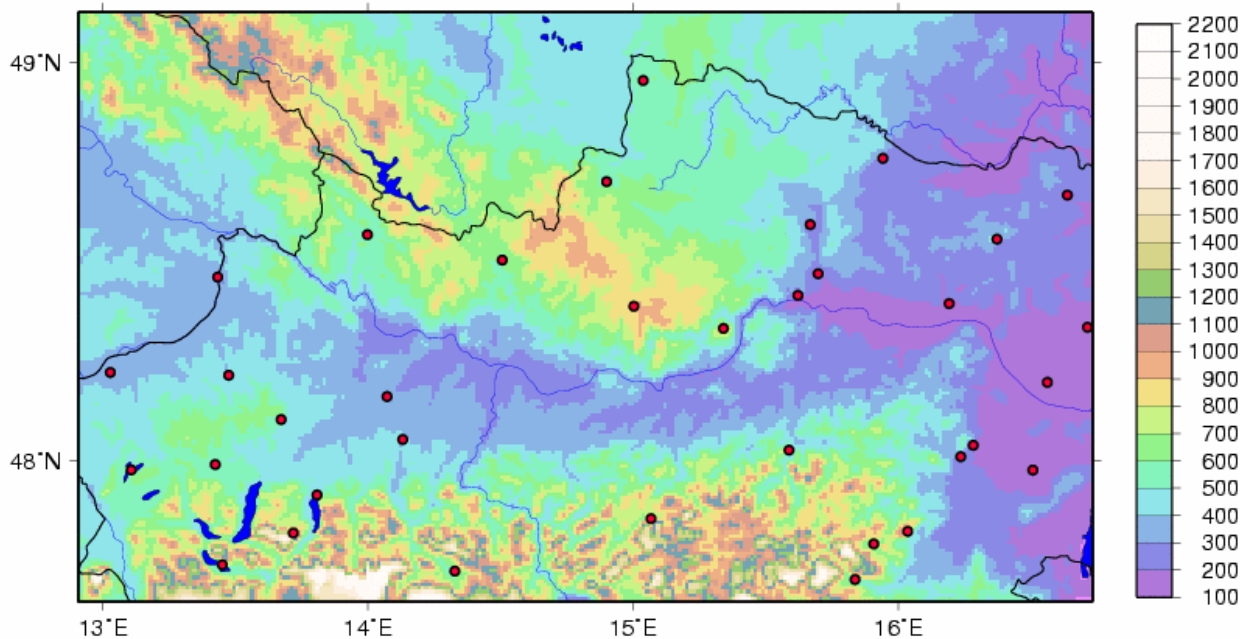
### 2.8.3 Fallstudie "Kyrill"

Es wurden für die Region Ober- und Niederösterreich (siehe Abbildung 2.25) stündliche Analysen für den 18. und 19. Jänner 2007 (Kyrill) berechnet und dies in vier unterschiedlichen Konfigurationen: Analysen mit der derzeit an der ZAMG operationellen INCA Version (oper), Analysen berechnet unter Berücksichtigung flächendeckender Rauigkeitsinformation, INCA berechnet mit modifizierten Stationsdaten (Berücksichtigung von Korrekturfaktoren) sowie Analysen berechnet mit Rauigkeiten und modifizierten Stationsdaten.

Zur Berechnung der Analysen gingen die Stationsdaten aller verfügbaren Stationen ein. Für die Kreuzvalidierung wurden jedoch nur 36 Stationen variiert. Dies sind jene Stationen für welche in der ausgewählten Region Hindernis-Korrekturfaktoren (Obstacle speed-up), vorhanden sind.

### 2.8.4 Berücksichtigung flächendeckender Rauigkeitsinformation in INCA

In der derzeit operationellen Version von INCA werden Rauigkeiten nicht explizit berücksichtigt, nur eine Anpassung des Windfeldes an die Topographie wird durchgeführt. Indirekt



**Abbildung 2.25:** Illustration der Topographie [m] des ausgewählten Testgebietes. In rot sind jene Stationen eingetragen, für welche Korrekturen zur Modifikation der Stationsdaten vorhanden sind.

**Tabelle 2.6:** Mittlerer absoluter Fehler (MAE) von  $u$  und  $v$  [m/s] Komponenten für die unterschiedlichen INCA Konfigurationen.  $u_{rel}$  und  $v_{rel}$  bezeichnen die mit der zugehörigen Windgeschwindigkeit normierten Komponenten.

MAE	oper	+ Rauigkeiten	+ Hindernisse	+ Rauigkeit+Hindernisse
$u$ [m/s]	2,1	2,1	3,4	3,2
$v$ [m/s]	2	2	2,7	2,7
$u_{rel}$	0,69	0,67	0,73	0,71
$v_{rel}$	0,68	0,64	0,67	0,64

wird von einer Rauigkeitslänge von 0.1m ausgegangen (siehe Haiden et al. (2009)). Daher wird durch die Verwendung der flächigen Rauigkeiten eine methodische Verbesserung erzielt und ein positiver Einfluss auf die Analysen erwartet.

Die Auswertung des Einflusses von Rauigkeitsinformation auf INCA Analysen mittels Kreuzvalidierung ergibt tendenziell eine leichte Reduktion des MAE sowohl in  $u$  als auch in  $v$ . Weiters zeigt sich auch eine Reduktion des Bias, wenn  $u_{rel}$  (mit der Windgeschwindigkeit normierter Zonalwind) und  $v_{rel}$  betrachtet werden (siehe Tabellen 2.6 und 2.7). Die mittlere Windgeschwindigkeit an den Stationsgitterpunkten wird durch die Verwendung der gegitterten Rauigkeitslängen minimal herabgesetzt (von 5.1 auf 4.9 m/s). Im Mittel über das

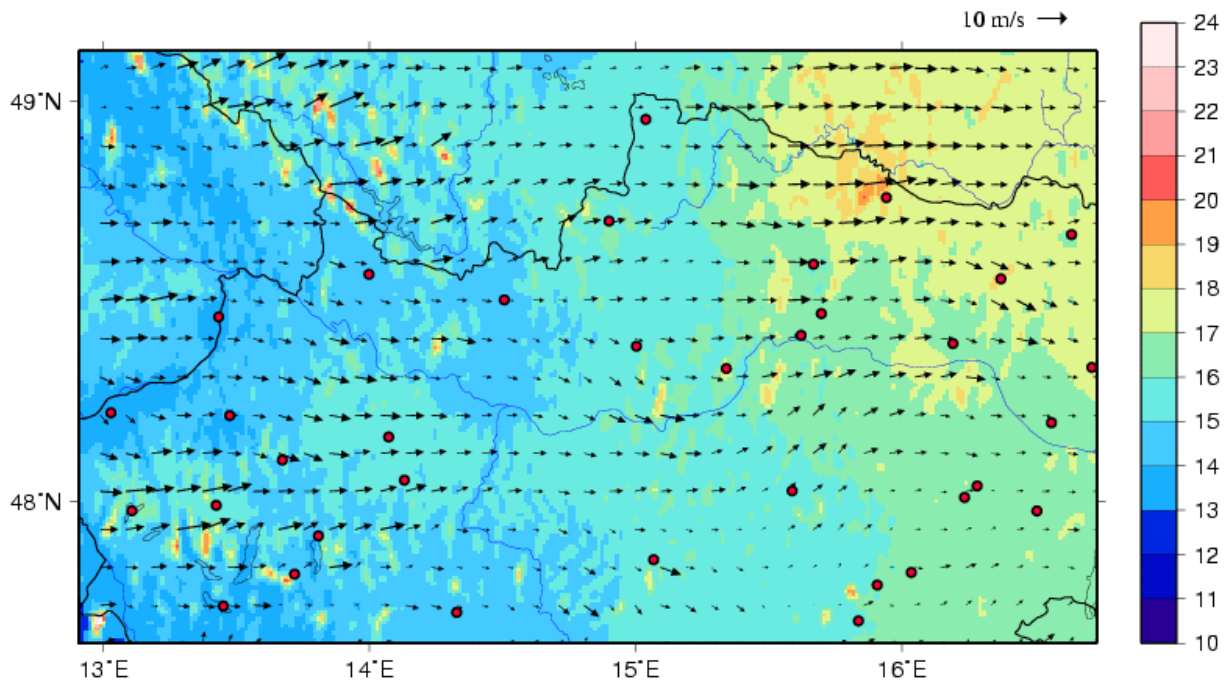
**Tabelle 2.7:** Mittlerer Fehler (BIAS) von u und v [m/s] Komponenten für die unterschiedlichen INCA Konfigurationen. u<sub>rel</sub> und v<sub>rel</sub> bezeichnen die mit der zugehörigen Windgeschwindigkeit normierten Komponenten.

BIAS	oper	+ Rauigkeiten	+ Hindernisse	+ Rauigkeit+Hindernisse
u [m/s]	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9
v [m/s]	0,3	0,3	0,3	0,3
u rel	0,29	0,27	0,28	0,26
v rel	0,29	0,27	0,28	0,26

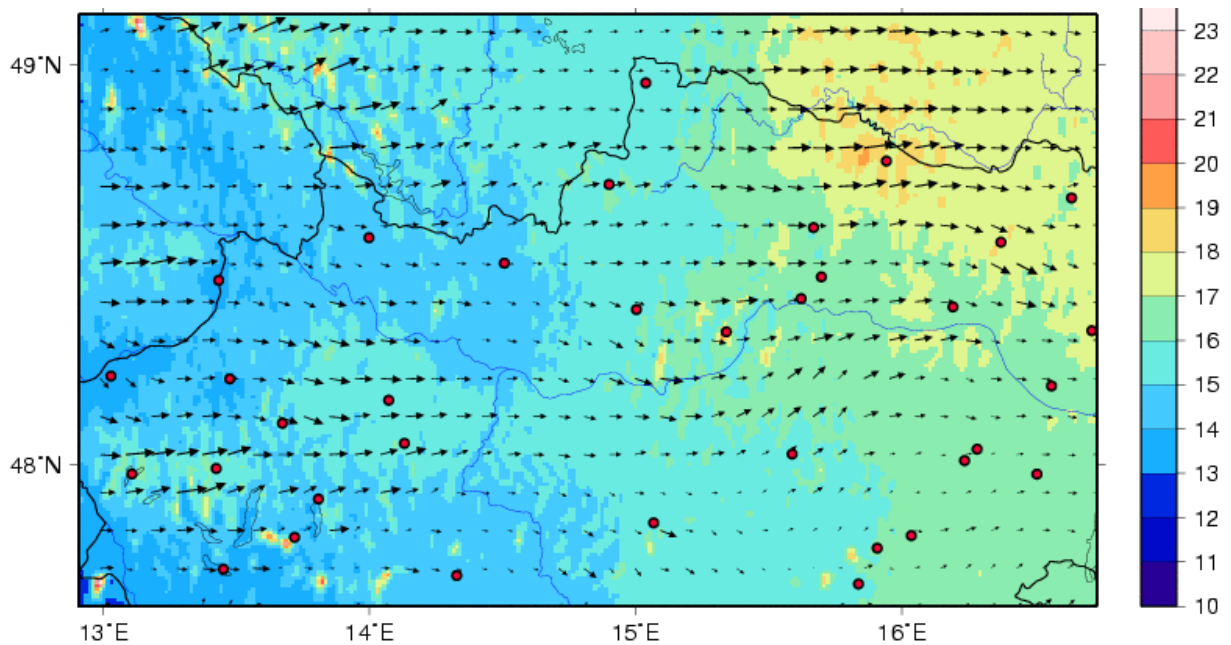
gesamte Gebiet bleibt sie nahezu gleich.

In den Abbildungen 2.26 und 2.27 ist der Mittelwind aller stündlichen Analysen im Vergleichszeitraum (18. und 19. 1. 2007) auf dem gesamten Gebiet gezeigt. Zum einen für die operationelle INCA Version, sowie für INCA berechnet mit dem Rauigkeitsfeld.

Unterschiede sind auf den ersten Blick kaum zu erkennen. Die größten Unterschiede treten für Berggipfel im Böhmischem Wald und im Salzkammergut auf. Für diese Regionen sind auch die Unterschiede in f10 (d.h. der Wirkung der Parametrisierung) groß (siehe Abbildung 2.25). In der operationellen INCA Version sind deutlich höhere Windgeschwindigkeiten zu erkennen. Unter Verwendung der flächendeckenden Rauigkeitsinformation ergibt sich ein räumlich konsistenteres Windfeld. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die operationell verwendete Parametrisierung der Höhenabhängigkeit von f10 nicht optimal ist. So ergibt die Kreuzvalidierung für die Station Feuerkogel bei Verwendung von Rauigkeiten auch eine geringe Reduktion des MAE von 4.0 und 4.1 m/s (für u und v) auf 3.7 beziehungsweise 3.9 m/s.



**Abbildung 2.26:** Mittelwind der Analysen berechnet mit der derzeit operationellen INCA-Version aus den stündlichen Analysen des 18. und 19. Jänner 2007 („Kyrill“). In rot sind jene Stationen eingetragen, die für die Kreuzvalidierung verwendet werden.



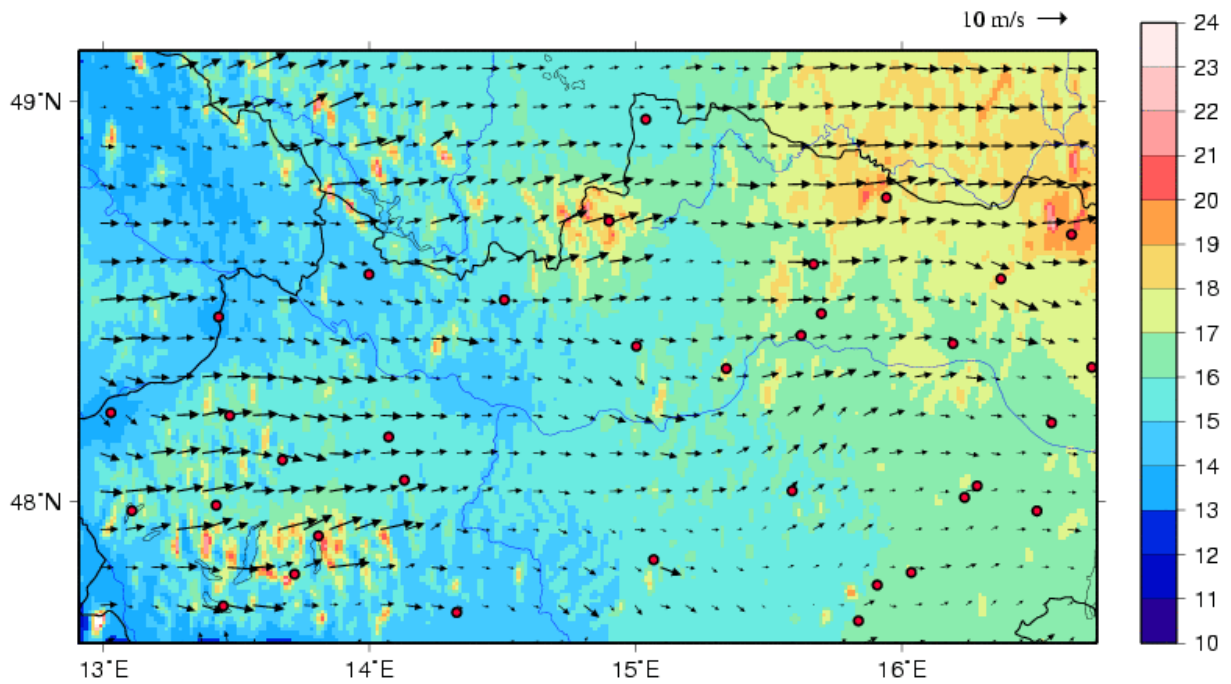
**Abbildung 2.27:** Wie Abbildung 2.26, jedoch für Analysen berechnet unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Rauigkeiten.

### 2.8.5 Einfluss von Hindernissen auf Beobachtungsdaten

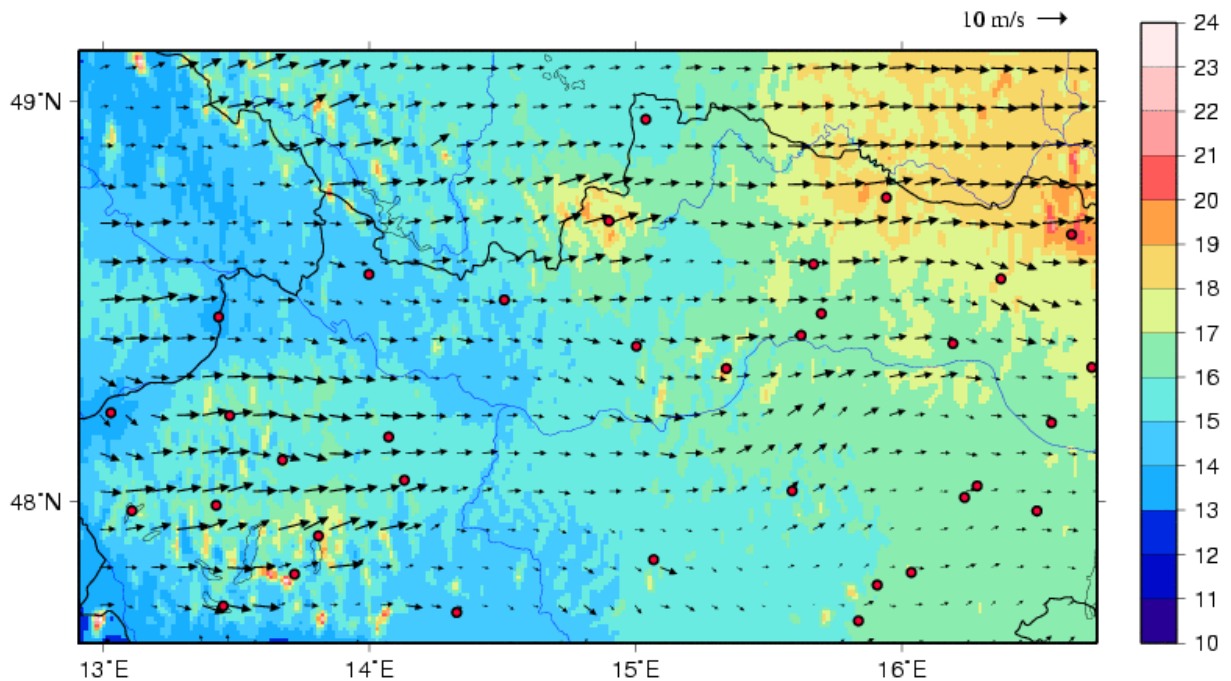
Windmessungsdaten an vielen Stationen sind beeinträchtigt durch Hindernisse in Stationsnähe und topographische Gegebenheiten und dadurch nicht repräsentativ für die Umgebung. Dies wirkt sich auch auf damit erstellte INCA Windanalysen aus, weil die Messwerte an den Stationen in INCA reproduziert werden. Durch eine Korrektur dieses "Repräsentativitätsfehlers" entsteht im Idealfall ein für die INCA-Skala von 1x1km konsistenteres Windfeld. Dafür wurden in WP2 "Hindernis"-Korrekturfaktoren (siehe Abschnitt "Hindernis-Modul") berechnet. Unter Berücksichtigung von Hindernissen wurden Windgeschwindigkeitskorrekturen separat für die acht Haupt- bzw. Nebenwindrichtungen ermittelt. Die Hindernisse beziehungsweise topographische Verhältnisse bewirken an den hier betrachteten Stationen ausschließlich eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten. Durch die Modifikation der Stationsdaten ergeben sich somit höhere Windgeschwindigkeiten an den Stationen sowie den damit erstellten Analysen.

Für die hier ausgewertete zweitägige Periode des Sturmereignisses Kyrill bedeutet dies eine Zunahme der Windgeschwindigkeit von etwa 0.8m/s, gemittelt über das Testgebiet. Dies entspricht in etwa 15% der mittleren Windgeschwindigkeit. Für die Auswertung der Kreuzvalidierung wurden die Windkomponenten mit der Windgeschwindigkeit normiert (siehe  $u_{rel}$  und  $v_{rel}$  in Tabelle 2.6 und 2.7).

Die Kreuzvalidierung zeigt keine unmittelbare Verbesserung der Windanalysen durch die Korrektur der Stationsdaten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Vergleichbarkeit des MAE der Analysen mit beziehungsweise ohne Korrektur von vornherein einmal nicht gegeben ist, da die Analysewerte auf unterschiedliche "Beobachtungen" (original bzw. modifiziert) bezogen werden. Ganz allgemein zeigt sich, dass es für einige Stationen zu einer Reduktion des MAE kommt (z. B. Frankenmarkt, Kremsmünster, Gänserndorf, Retz und Zwerndorf), während es für andere nicht oder nur schlecht gelingt die Windmessungen für ein 1x1km Gitter repräsentativ zu machen, so beträgt beispielsweise der für Poysdorf resultierende MAE 8 bzw. 4 m/s (für  $u$  und  $v$ ) bei einem mittleren Zonal- bzw. Meridionalwind von 4 bzw. 2 m/s. In Abbildung 2.28 ist der Mittelwind über den gesamten Zeitraum gezeigt. Verglichen mit dem mittleren Wind der Analysen berechnet ohne Korrekturen, zeigt sich auch hier besonders der Einfluss von Poysdorf (Gmunden und Weitra).



**Abbildung 2.28:** Wie Abbildung 2.26, nur für Analysen berechnet mit modifizierten Stationsdaten an den in rot eingetragenen Stationen.



**Abbildung 2.29:** Wie Abbildung 2.26, nur für den mittleren Wind berechnet aus Analysen, die sowohl Rauigkeitsinformation sowie reduzierte Stationsdaten enthalten.

### 2.8.6 Zusammenfassung

Die Verwendung von flächendeckenden Rauigkeitsdaten in INCA bewirkt tendenziell eine Verbesserung der Windanalysen. Die Kreuzvalidierung zeigt, dass der MAE leicht reduziert wird. Auch die (subjektive) räumliche Konsistenz der Windfelder wird erhöht. Durch die Verwendung von modifizierten Stationsdaten werden die Windanalysen grundsätzlich auch positiv beeinflusst. Es zeigt sich aber auch, dass es (erwartungsgemäß) nicht immer gelingt, durch Modifikation der Stationsdaten mit den in WP2 ermittelten Hindernis-Korrekturfaktoren, einen für ein 1 x 1km Gitter repräsentativen Wind zu generieren, so ergab die Kreuzvalidierung für Einzelfälle (z. B. Poysdorf) dadurch einen deutlich höheren MAE.

## 3 Webgis

Die Projektergebnisse sollten der Öffentlichkeit in Form eines Webauftrittes zur Verfügung gestellt werden. Als wünschenswert wurde die Erstellung eines webbasierten GeoInformationSystems (GIS) betrachtet. Da das dazu nötige Know-How seitens der IT/APP allerdings erst im Aufbau ist wurde nach ersten Überlegungen und Abschätzungen eine zweistufige Lösung geplant. In einem ersten Schritt sollten statisch berechnete Bilder für die einzelnen Bundesländer erstellt werden und in einer Webseite dargestellt werden. Der zweite Schritt beabsichtigte die Realisierung eines WebGIS um dem Benutzer mehr Möglichkeiten zu geben – wie etwa selbst den Kartenausschnitt bzw. die Zoomstufe bestimmen zu können. Unter Einbeziehung des zwischen der ersten Planung und dem Beginn der Realisierung des Webauftrittes seitens der IT erarbeiteten Know-Hows, wurde diese Entscheidung revidiert und zur Implementierung des WebGIS übergegangen.

### 3.1 Datenformate und Projektion

Um das Maß an notwendiger zusätzlicher Serversoftware möglichst gering zu halten, wurde bei den Datenformaten für Rasterdaten, wie Orographie und Ergebniskarten (2sec Boe, Potenzial in 70m und 10min Mittel), GeoTiff und für die Vektordaten, Bundes-, Länder- und Bezirksgrenzen, Gewässer, ausgewählte Städte sowie ausgewählte TAWES Stationen, das ESRI Shape Format gewählt. Die Daten liegen in der Austrian Lambert Projektion (EPSG:3416, vgl. EPSG) vor.

### 3.2 Verwendete Software

Als Serverapplikation kommt der Mapserver der Universität Minnesota (UMN Mapserver) in der Version 5.4.2 und die für den Betrieb notwendigen Bibliotheken wie z.B. GDAL/OGR, PROJ4 etc. zum Einsatz. Grundsätzlich werden alle Kartenlayer per OGC (Open Geospatial

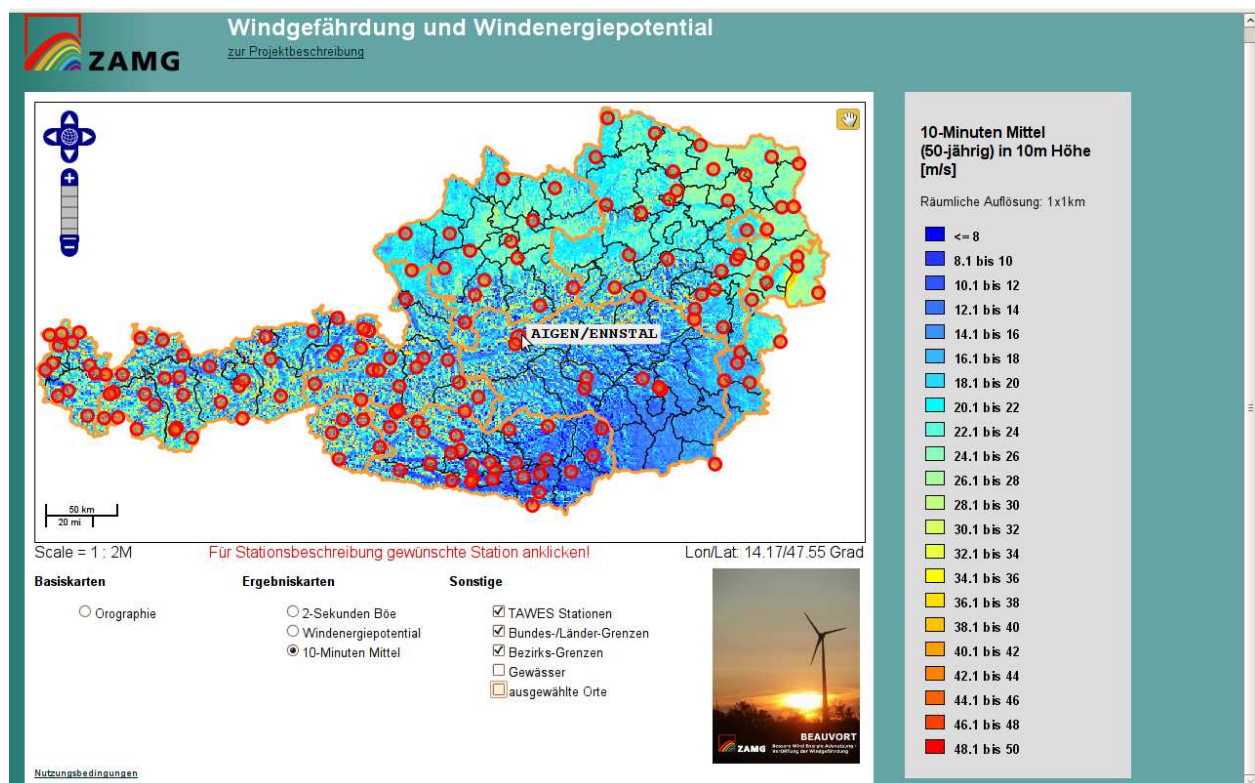


Abbildung 3.1: WebGIS Client

Consortium) konformen WebMapService (WMS) ausgeliefert, nur für die TAWES Stationen wird ein WebFeatureService (WFS) mit clientseitigem Rendering verwendet.

Die Clientanwendung wurde mit HTML, CSS und JavaScript basierend auf der freien OpenLayers Bibliothek realisiert. In der Applikation können die verschiedenen Ergebniskarten mit Grenzen bzw. Gewässern, Orten und den TAWES Stationen überlagert werden. Funktionen wie Zoomen und Verschieben des Kartenausschnittes sind ebenfalls möglich. Zu jeder Ergebniskarte wird eine Legende eingeblendet und zu jeder TAWES Station kann mittels Mausklick eine Stationsbeschreibung im Adobe PDF Format angezeigt werden. Alle Kartenlayer werden in der Datenprojektion (EPSG:3416 Austrian Lambert) dargestellt. Teilweise problematisch war es die einzelnen Kartenlayer zu integrieren, da aufgrund unterschiedlicher Datenqualität, z.B. Ländergrenzen und Bezirksgrenzen nicht deckungsgleich sind bzw. Orte am falschen Flußufer positioniert waren. Trotz der verwendeten zusätzlichen Vektordatenlayer ist die räumliche Zuordnung relativ schwierig, deshalb entstand der Wunsch mit den Ergebnissen Google Maps zu überlagern und somit eine bessere Zuordnung zu ermöglichen. Aufgrund der Verfügbarkeit von Google Maps in nur einer bestimmten Projektion (Spherical Mercator EPSG:900913), müssen alle gewünschten Layer durch den Mapserver auf diese Projektion gebracht werden. Dies ist mit geringem Konfigurationsaufwand möglich und stellt

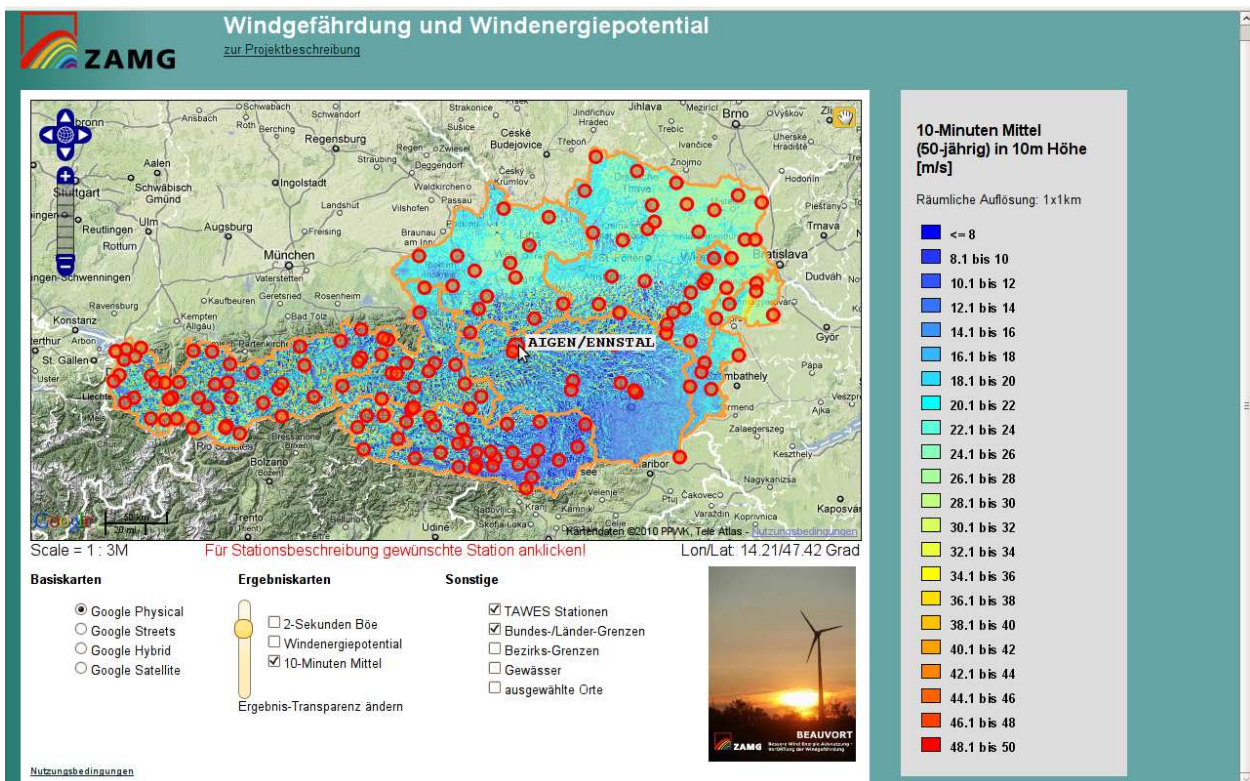


Abbildung 3.2: WebGIS mit Google Maps Basislayern

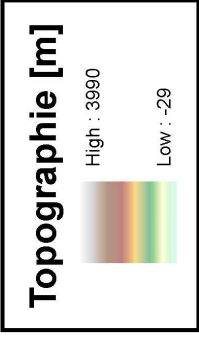
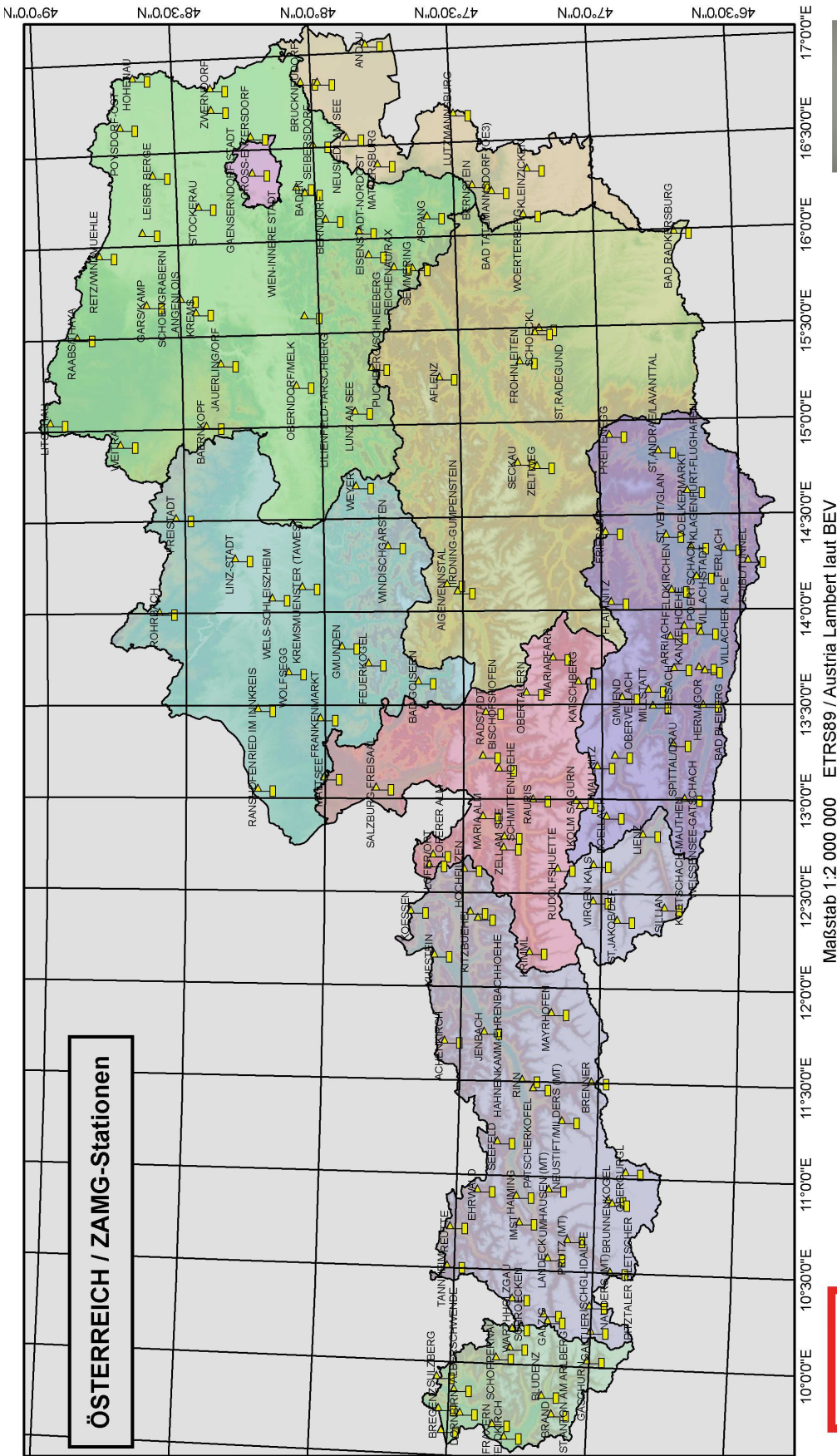
auch einen der Vorteile der WMS Technologie dar. Mit Google Maps und den Ergebniskarten überlagert ein Rasterdatenlayer einen Anderen, daher wurde ein Bedienelement integriert, mit welchem die Transparenz des Ergebnislayers geändert werden kann, um somit auch bei eingblendetem Ergebnislayer eine räumliche Orientierung zu ermöglichen.

### 3.3 Fazit

Ein WebGIS bietet dem Benutzer ein Mehr an Funktionalität ist allerdings stark von der Qualität und Art der vorhanden Daten und insbesondere der vorhandenen Zusatzinformationen um die Ergebnisse einigermaßen räumlich zuordnen zu können abhängig. Hierbei hat sicher die Version, welche Google Maps als Basiskarten verwendet Vorteile. Andererseits ergeben sich auch Nachteile, einerseits durch die Notwendigkeit sich an die "Google"-Projektion anpassen zu müssen und andererseits daraus, dass nicht garantiert ist, dass das Google Maps Service immer in derselben Qualität (was z.B. Performance aber auch Verfügbarkeit betrifft) und zu den gleichen Bedingungen zur Verfügung steht.

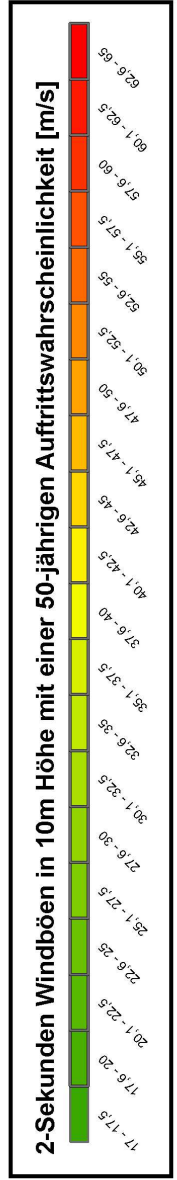
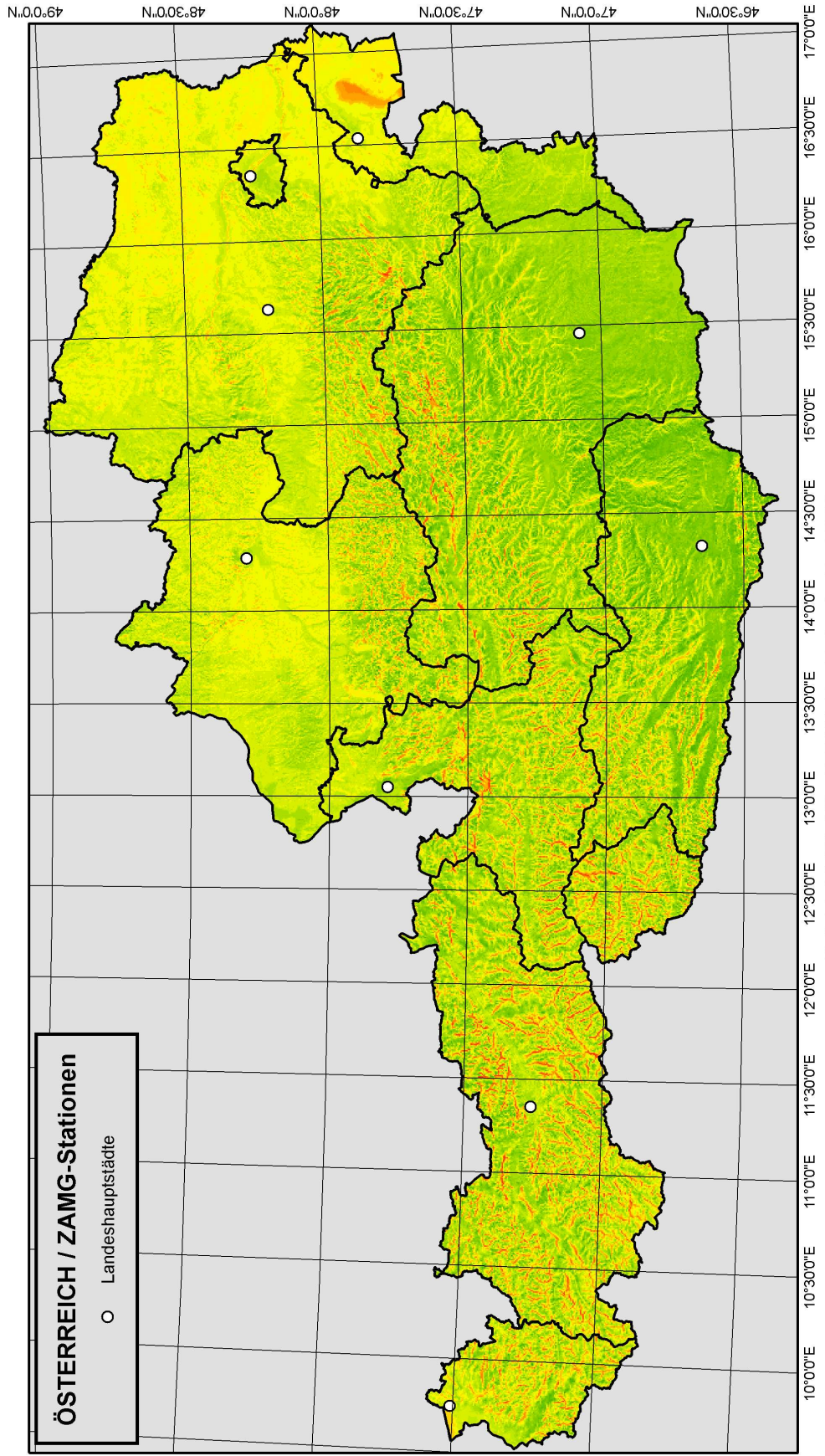
## A Anhang

Im folgenden finden sich die Ergebnisskarten noch einmal in größerer Auflösung zur genaueren Betrachtung. Dargestellt sind die verwendeten Stationen der ZAMG, sowie das 2-Sekunden Mittel (Böe) der Windgeschwindigkeit mit einer 50-jährlichen Auftrettswahrscheinlichkeit in 10m Höhe, sowie das 10-Minuten Mittel der Windgeschwindigkeit mit einer 50-jährlichen Auftrettswahrscheinlichkeit in 10m Höhe und dem Windenergiepotenzial in 70m Höhe. Das Energiepotenzial ist mit der tatsächlichen Dichte korrigiert. Die räumliche Auflösung beträgt 500mx500m.

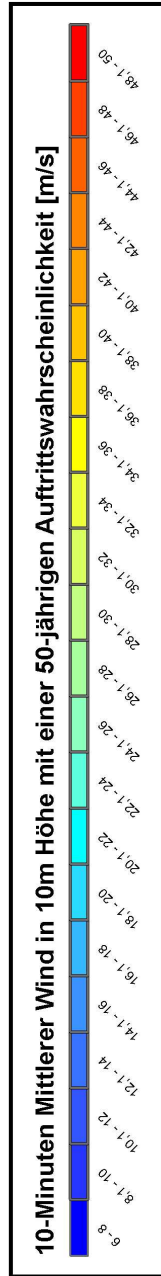
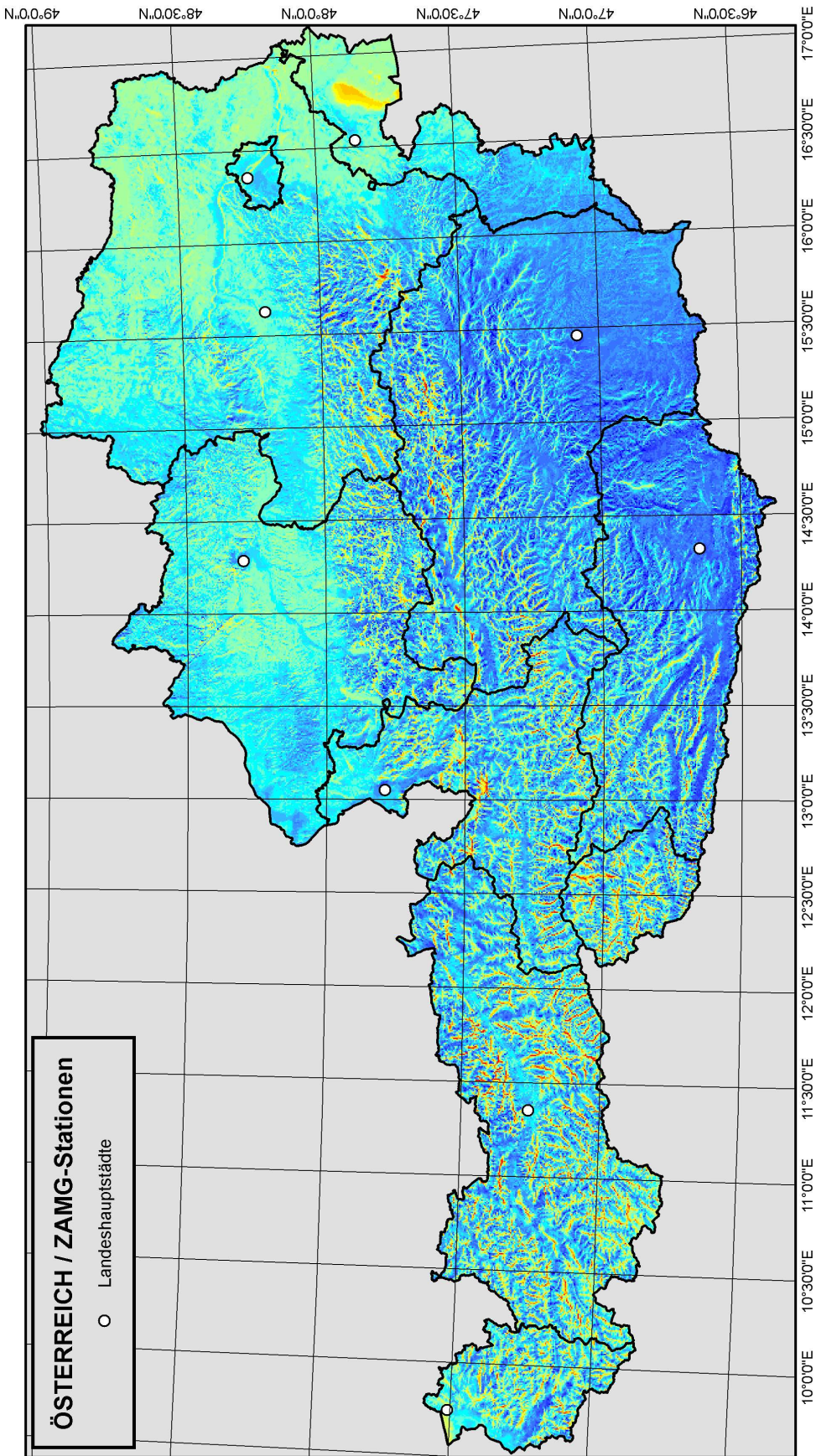


# Auswahl von Stationen der ZAMG im Projekt BEAUVERT

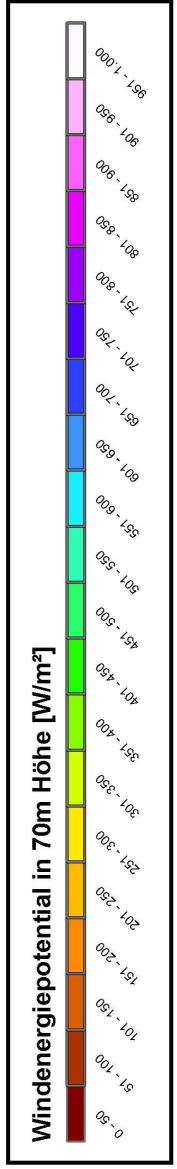
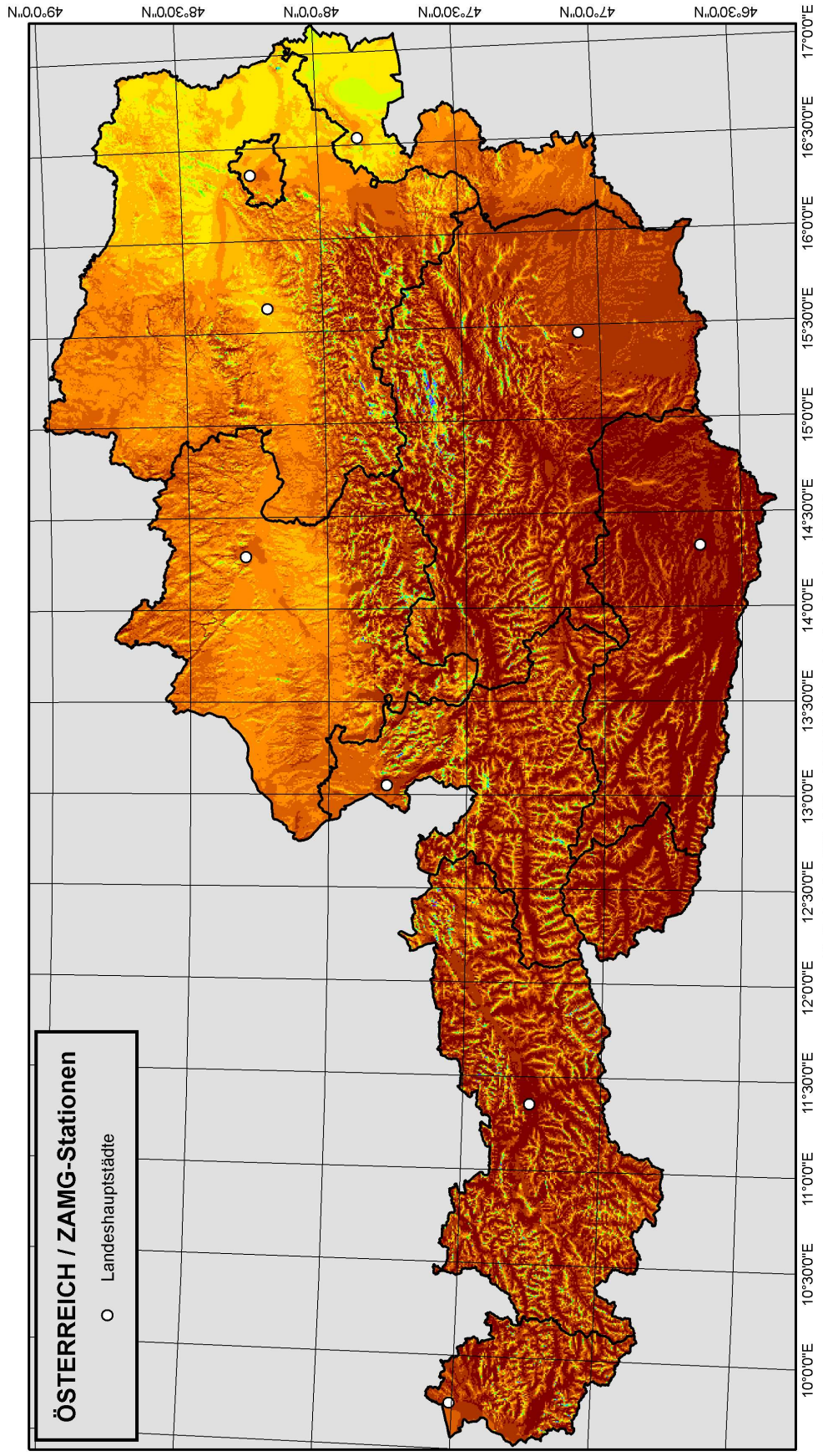
Herausgeber und Copyright: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Fachabteilung Klimatologie, Wien, Hohe Warte, 2010



Herausgeber und Copyright: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Fachabteilung Klimatologie, Wien, Hohe Warte, 2010



Herausgeber und Copyright: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Fachabteilung Klimatologie, Wien, Hohe Warte, 2010



Herausgeber und Copyright: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Fachabteilung Klimatologie, Wien, Hohe Warte, 2010

# Bildverzeichnis

1.1	Darstellung des Windenergiepotenzials in Niederösterreich . . . . .	1
2.1	Sturm Paula (Quelle: <a href="#">ZAMG Webpage</a> ) . . . . .	5
2.2	Übersicht der ausgewählten ZAMG Stationen in Österreich . . . . .	12
2.3	Döllach Bewuchs . . . . .	13
2.4	Obervellach Wind Dach . . . . .	14
2.5	Windmesser Spital an der Drau . . . . .	14
2.6	Schematische Darstellung des WAsP-Modells . . . . .	15
2.7	Hinderniseffekt . . . . .	16
2.8	Luftbild Pörtschach . . . . .	16
2.9	Stationsumgebung . . . . .	17
2.10	Windverteilung in Pörtschach . . . . .	18
2.11	Logarithmisches Windprofil . . . . .	20
2.12	Windprofil nach Nützman . . . . .	20
2.13	Rauigkeitsklassen nach Troen and Petersen (1989) . . . . .	22
2.14	Rauigkeitskarte mit Polygonen im Shape-Format . . . . .	24
2.15	Schematische Darstellung eines topographischen Modells . . . . .	24
2.16	Extrem Wind Abschätzung, Beispiel für Pörtschach . . . . .	25
2.17	Schematische Darstellung des Berechnungsvorganges . . . . .	26
2.18	Häufigkeiten 10-Minuten Mittel Österreich . . . . .	27
2.19	10-Min Mittel Österreich . . . . .	28
2.20	Häufigkeiten 2-Sek Mittel Österreich . . . . .	28
2.21	2-Sek Mittel Österreich . . . . .	29
2.22	Häufigkeiten Windenergiepotenzial Österreich . . . . .	30
2.23	Windenergiepotenzial Österreich . . . . .	30
2.24	INCA Parametrisierung f10 . . . . .	33
2.25	INCA Topographie . . . . .	34
2.26	INCA Analyse . . . . .	36
2.27	INCA Analyse Rauigkeiten . . . . .	36

---

2.28 INCA Analyse Stationen . . . . .	38
2.29 INCA Analyse Rauigkeiten und Stationen . . . . .	38
3.1 WebGIS Client . . . . .	41
3.2 WebGIS mit Google Maps Basislayern . . . . .	42

## Tabellenverzeichnis

2.1	Ausgewählten Stationen in Österreich . . . . .	6
2.2	Windgeschwindigkeit in Sektoren - Pörschach . . . . .	17
2.3	WAsP Windatlas . . . . .	18
2.5	Corine Rauigkeiten . . . . .	23
2.6	INCA MAE . . . . .	34
2.7	INCA BIAS . . . . .	35

# Literatur

- EEA-CORINE, 2000: *COoRdinate INformation on the Environment, CORINE Land Cover*. Commission of European Communities, available online at <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>. 3, 4, 23, 33
- EPSG, 2010: *EPSG Geodetic Parameter Registry*. European Petroleum Survey Group, Available online at <http://www.epsg-registry.org/>. 40
- Gerth, W. P. and J. Christoffer, 1994: Windkarten von deutschland. *Met. Z.*, **3**, 67–77.
- Haiden, T., A. Kann, G. Pistotnik, K. Stadlbacher, and C. Wittmann, 2009: Integrated nowcasting through comprehensive analysis (inca) - system description. *ZAMG report*, 60p, [http://www.zamg.ac.at/fix/INCA\\_system.pdf](http://www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.pdf). 31, 32, 34
- Hanslian, D., Z. Chladova, J. Hosek, and J. Svoboda, 2009: Wind map of czech republic. Proceedings 9thEMS/7thECAM 2009.
- Hollis, D. and P. Clark, 2008: Estimating the small-scale wind energy resource for the uk. Proceedings 8thEMS/7thECAC 2008.
- Montavez, P., et al., 2009: An assessment of wind energy resources in the iberian peninsula by using dynamical downscaling. EGU General Assembly.
- Nützmann, E., 1999: Modellierung des turbulenten Austausches zwischen der Prandtl-Schicht und der Waldatmosphäre. Ph.D. thesis, Georg-August-Universität Göttingen. 20
- Radonjic, Z., D. D. Chambers, B. Telenta, S. Music, and D. Z. Janjic, 2009: Coupling nmm mesoscale weather forecast model with calmet for wind energy applications. EGU General Assembly.
- Risø DTU, 2003-2010: *WAsP – the Wind Atlas Analysis and Application Program*. Risø DTU, available online at <http://www.wasp.dk>. 4
- Silva, J., C. Ribeiro, and R. Guedes, 2007: ROUGHNESS LENGTH CLASSIFICATION OF CORINE LAND COVER CLASSES. *MEGAJoule - Consultants*. 23
- Troen, I. and E. L. Petersen, 1989: *European wind atlas*. 21, 22, 48
- Wang, Y., T. Haiden, and A. Kann, 2006: The operational limited area modelling system at zamg: Aladin- austria. *Österr. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, **Heft 37**, 33p. 32