

# GUTACHTEN ZUR

# TURBULENZ DER FREIEN ANSTRÖMUNG

für den Standort

**AM STEIGERS ECK / HORNBERG**

**AUFTRAGGEBER:** vento ludens GmbH & Co. KG  
Hauptstraße 105  
89343 Jettingen-Scheppach

**AUFTRAGNEHMER:** Ingenieurbüro PLANkon  
Dipl.-Ing. Roman Wagner vom Berg  
Achternstr. 16  
26122 Oldenburg  
Tel.: 0441-390340

**BERICHTSNUMMER:** PK 2009018-UTG

**DATUM:** 30.03.2009



**DAP-PL-3975.00**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
0 Einleitung .....	3
1 Standortbeschreibung und Windanströmung .....	4
2 Turbulenzintensität .....	5
3 Datengrundlagen und Berechnungsmodell.....	6
4 Ergebnisse .....	8
5 Anlagen zum Gutachten der Turbulenz der freien Anströmung des Standortes Steigers Eck .....	11

## 0 Einleitung

In der vorliegenden Berechnung wird der Standort Steigers Eck / Hornberg hinsichtlich der mittleren Turbulenzintensität am frei angeströmten Standort (Umgebungsturbulenz) unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren der Umgebung untersucht.

Der Auftraggeber, die Fa. vento ludens GmbH & Co. KG, beauftragte das Ingenieurbüro PLANKon mit der Erstellung eines Turbulenzgutachtens für die freie Anströmung des Standortes.

Mit dem auf einem dreidimensionalen Strömungsmodell basierenden Programm WindSIM können anhand der geländespezifischen Verhältnisse (Rauigkeiten und Orographie), die unter Hinzuziehung von genauem Kartenmaterial exakt ermittelt und berücksichtigt wurden, die Einflussfaktoren zu den Turbulenzverhältnissen am geplanten Standort bestimmt werden. Im vorliegenden Fall wurde das Programm zur Ermittlung der Turbulenzverhältnisse bei einer Windgeschwindigkeit für jeden Sektor von 15 m/s in Nabenhöhe verwendet.

Das Programm berechnet unter Berücksichtigung der o.g. Faktoren die physikalischen Strömungsverhältnisse für ein untersuchtes Gebiet.

## 1 Standortbeschreibung und Windanströmung

Für den Standort Steigers Eck ist die Aufstellung von einer Windenergieanlage (WEA) geplant.

Das Gebiet des Hauptstandortes grenzt im Norden direkt an ein Waldgebiet an, im Westen und Süden wird der geplante Standort nach einer Distanz von ca. 300 m vom Wald umschlossen. Lediglich im Südosten gestaltet sich die Landschaft bis in eine Entfernung von ca. 1000 m freier, obwohl auch in dieser Himmelsrichtung Unterbrechungen durch einzelne Gehöfte und Waldstücke erfolgen.

Die den Standort umgebenden Wälder weisen unterschiedliche Höhen von ca. 16 bis 40 m auf.

Auch im weiteren Verlauf ab ca. 1,5 km stellt sich das umgebende Gebiet des im mittleren Schwarzwald gelegenen Standortes als sehr stark bewaldet und gängig und somit sehr rau dar.

Hauptsächlich vom Norden bis zum Süden rahmen kleinere Ortschaften den Standort ein. Im Nordosten befindet sich Gersbach, im Osten Öhle, im Südosten und im Süden Schwarzenbach und Schachenbronn. Im Westen des Standortes finden sich vor allem einzelne Gehöfte, so z. B. auf dem „Windkapf“. Die geplante Anlage befindet sich von der nächsten, in Öhle gelegenen Wohnbebauung ca. 630 m entfernt.

Die WEA soll auf einer Geländehöhe von ca. 888 m ü. NN errichtet werden. Von Nordwesten bis zum Norden reichen Taleinschnitte bis auf eine Entfernung von ca. 5,5 km an den Standort heran, dazwischen bilden sich Hochlagen aus, deren Höhe bis zu 980 m ü. NN betragen können. In den Tälern senkt sich das Gelände stellenweise bis auf ca. 200 m ü. NN ab, so z.B. bei den Ortschaften Biberach und Steinach, die vom Fluß „Kinzig“ umströmt werden.

Vom Norden bis zum Süden stellt sich die Umgebung ab einer Entfernung von ca. 6,5 km wesentlich lichter und ebener dar. Im Nordosten beträgt die durchschnittliche Höhe ca. 680 m ü. NN, im Südosten steigt das Gelände wieder bis auf im Durchschnitt 780 m ü. NN an.

Im Südwesten wird das Gebiet ebenfalls vereinzelt von Tälern durchzogen, die sich häufig nur noch auf maximal 850 m ü. NN absenken. Die Geländeanstiege zwischen diesen Tälern erreichen Höhen von 1200 m ü. NN.

Die maßgeblichen Einflüsse für die Windanströmung und die Turbulenzintensität sind am untersuchten Standort die Umgebungsrauigkeit sowie die Orographie, letztere aufgrund der geschilderten Besonderheiten.

Insgesamt lässt der Standort aus Sicht der Windanströmung durch die im Bereich der Hauptwindrichtung überaus gängige Landschaftsoberfläche ein turbulentes Verhalten erwarten. Dies ist eine für einen Binnenlandstandort in dieser Region typische Situation. Als positiver Einfluss auf die Windturbulenz wirkt sich die Nabenhöhe von 125,0 m aus, da in der Regel mit zunehmender Höhe durch den Abstand von Hindernissen am Boden und die Zunahme der Windgeschwindigkeiten die Turbulenzintensität des Windes abnimmt.

Alle Koordinaten für die geplanten und vorhandenen WEA wurden den Unterlagen des Auftraggebers entnommen und werden als richtig vorausgesetzt.

Eine Ortsbegehung wurde für die Erstellung dieses Gutachtens durchgeführt.

## 2 Turbulenzintensität

Die Turbulenzintensität  $T_u$  wird zur Beschreibung des turbulenten Anteile der Luftströmung bestimmt. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis der Standardabweichung  $S_u$  der turbulenten Fluktuationen des Windes zum Mittelwert  $V_m$  der Windgeschwindigkeit. Gem. IEC wird die Turbulenz für eine Windgeschwindigkeit von mind. 15 m/s auf Nabenhöhe berechnet.

Die genaue Angabe einer Turbulenzintensität lässt sich nur durch Windmessungen am Standort selbst ermitteln. Sie hängt stark von den Umgebungsbedingungen wie Oberflächenrauigkeit, Höhenprofil, Hindernissen und Höhe über Grund ab. Durch das verwendete Rechenverfahren wird diese Turbulenzintensität insbesondere in der Abhängigkeit zur Höhe über Grund wesentlich genauer als z.B. durch die von J.-P. Molly angegebene Beziehung ermittelt. Dies wurde zwischenzeitlich durch Vergleichsstudien unter Berücksichtigung von Windmessungen belegt.

In den Lastannahmen zu Typenstatiken für Windkraftanlagen wird eine zulässige und in der Annahme hohe Turbulenzintensität von 18 - 20 % festgelegt. Diese Turbulenzintensität wird an diesem Standort durch die umgebenden Anströmungsstörungen nicht erreicht. Zur Untersuchung von Abständen von WEA untereinander muss jedoch auch die Nachlaufströmung der WEA's berücksichtigt werden.

Die Jahresmittelwindgeschwindigkeiten am Standort liegen bei 6,2 m/s in 125 m Höhe. Die Berechnungen wurden vom Ingenieurbüro PLANKon durchgeführt. Der Standort liegt gem. DIN 1055, Lastannahmen, und DIN 4133, Schornsteine aus Stahl, in der Windzone II.

Die Hauptwindrichtungen gem. den Aussagen der durchgeführten Windfeldanalyse für den untersuchten Standort sind West und Westsüdwest. Es sind die Windrichtungen mit dem größten Windaufkommen an dem Standort. Alle anderen Windrichtungen sind als Nebenwindrichtungen zu betrachten.

### 3 Datengrundlagen und Berechnungsmodell

Folgende Randbedingungen und Daten lagen der Untersuchung zu Grunde:

<b>Berechnungshöhe :</b>	125,0 m über Grund
<b>Kartenmaterial :</b>	TK-Karten 1 : 50.000, Luftbilder
<b>Rauhigkeit :</b>	Radius von mind.10 km berücksichtigt
<b>Orographie :</b>	Radius von mind. 10 km berücksichtigt
<b>Windstatistik :</b>	nicht erforderlich, da Ansatz von mind. 15 m/s in Nabenhöhe für jeden Sektor über Randbedingungen-geschwindigkeit

Die Daten wurden wie in Kap. 0 beschrieben mit den Programmen WindPro und WindSIM verarbeitet, um eine Windfeldanalyse bezüglich der Turbulenzintensität in Nabenhöhe durchzuführen.

Die verwendete Software WindSim berechnet das jeweilige Windfeld eines Standortes mit einem dreidimensionalen, nichtlinearen Strömungsmodell unter Berücksichtigung von

Rauhigkeiten und der Orographie. Die Eingabe enthält ein Orographie- und ein Rauheitsmodell, die in ihrer Auflösung und Ausdehnung den Anforderungen der Untersuchungsaufgabe angepasst sein müssen. Die Parameter der Eingabedaten und des Modells sind in der unten folgenden Tabelle zu finden. Der in der Software zugrunde liegende Berechnungscode ist der sogenannte Phoenixcode, der schon für verschiedenste Aufgaben anderer Strömungssimulationen verwendet wurde.

In der dreidimensionalen Windfeldsimulation werden normierte Vektoren erzeugt, die dann unter Einbeziehung einer Windstatistik, die im Modellgebiet liegen muss, quantifiziert werden können, um quantitative Aussagen über das Windgeschehen zu erhalten. Dies ist im Falle der Turbulenzermittlung nicht erforderlich, da die Turbulenzen je Sektor für eine bestimmte Windgeschwindigkeit von 15 m/s in Nabenhöhe berechnet werden. Hier ist lediglich eine vom Modell verwendete Grundgeschwindigkeit zur Simulation der Windgeschwindigkeit von 15 m/s in Nabenhöhe zu berücksichtigen. Die sektorielle Verteilung ist bei dieser Ermittlung nicht erforderlich, sie ist nur für die spätere Berechnung der mittleren Turbulenzintensität über alle Windrichtungen erforderlich.

Die Parameter der Eingabedaten und des Modells sind der folgenden Tabelle zu entnehmen

Modellangaben		Einheiten
Abmessungen Modell	22,0 * 22,0	km
Gitterauflösung	55,6-277,8	m
Anzahl Punkte in z-Richtung (Höhe)	27	
Höhenverteilungsfaktor	0,1	
Höhe Grenzschicht	3600	m
Geschwindigkeit über Grenzschicht	17	m/s
Höhe der reduzierten Datengrundlage	200	
Anzahl Iterationsschritte	120	
Anzahl Modellpunkte	1.306.800	

## 4 Ergebnisse

Für den Standort Steigers Eck sind für die Turbulenzbegutachtung der freien Anströmung die Turbulenzintensitäten in einer Höhe von 125,0 m über Grund an einem Berechnungspunkt in Orientierung an den Koordinaten der geplanten WEA berechnet worden. Die Windverhältnisse und der Verlauf des Windprofils werden maßgeblich von dem Bewuchs und dem Gelände bestimmt. Im Zuge der Turbulenzberechnung wurden die Rauigkeitswerte und die Orographie ermittelt.

Mit dem für diese Abschätzung verwendeten Ansatz der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe von mind. 15 m/s sowie den zuvor erläuterten Eingabeparametern für Rauigkeiten und Orographie wurden Turbulenzen für 12 Sektoren mit WindSim berechnet.

Die Verteilungen der Weibull-Parameter A und k und die zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeiten für den Mikrostandort auf 125 m wurden mit der Software WindPro und WASP ermittelt und sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

### Standort 125 m Nabenhöhe

Sektor	A-Parameter	Windgeschwindigkeit	k-Parameter	Häufigkeit
	[m/s]	[m/s]		[%]
N	3,78	3,35	2,080	3,7
NNO	4,01	3,55	1,970	3,5
ONO	5,55	4,92	2,130	5,9
O	7,54	6,68	2,220	10,2
OSO	7,29	6,46	2,170	6,8
SSO	5,60	4,96	2,140	4,2
S	6,14	5,44	2,100	5,2
SSW	6,88	6,09	2,210	9,0
WSW	8,09	7,18	2,500	19,4
W	8,56	7,58	2,280	19,7
WNW	6,74	5,98	1,870	7,8
NNW	4,74	4,20	1,980	4,6
	7,05	6,25	2,010	100,0

Die Jahresmittelwindgeschwindigkeit an diesem Standort beträgt gem. Berechnung PLANkon 6,2 m/s in 125 m Höhe.



Die Hauptwindrichtung gem. den Ergebnissen der durchgeführten Windfeldanalyse für die untersuchten Standorte sind West und Westsüdwest. Es sind die Windrichtungen mit dem größten Windaufkommen an dem Standort.

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der mittleren Turbulenzintensität für jeden der 12 Sektoren dargestellt. In der dritten Spalte ist die gem. der verwendeten Software berechnete Turbulenzintensität zu erkennen. In der vierten Spalte ist die charakteristische Turbulenzintensität unter Berücksichtigung einer möglichen Abweichung von 20 % berechnet. Die Mittelwerte wurden unter Berücksichtigung der Häufigkeiten berechnet.

### Berechnungshöhe 125 m

Sektor	Berechnungshöhe	Umgebungsturbulenz	charakteristische Umgebungsturbulenz	Häufigkeit
	[m]	[%]	[%]	[%]
N	125,0	10,1	12,1	3,7
NNO	125,0	9,1	10,9	3,5
ONO	125,0	10,5	12,6	5,9
O	125,0	8,7	10,5	10,2
OSO	125,0	9,7	11,7	6,8
SSO	125,0	12,4	14,9	4,2
S	125,0	10,0	12,0	5,2
SSW	125,0	14,0	16,8	9,0
WSW	125,0	11,4	13,7	19,4
W	125,0	9,2	11,0	19,7
WNW	125,0	9,3	11,2	7,8
NNW	125,0	9,7	11,6	4,6
Mittel		10,4	12,4	100,0

Das vorliegende Gutachten der Turbulenzintensität für die freie Anströmung am Standort Steigers Eck ist nur für die natürliche Umgebung des untersuchten Standortes gültig. Sie stellt nicht die Veränderungen der Turbulenzintensität, die durch das Aufstellen von WEAs verursacht wird, dar. Diese Veränderungen sind bei Bedarf gesondert zu untersuchen.

Eine Gewähr für die sich tatsächlich einstellenden Turbulenzen kann aufgrund der komplexen physikalischen Zusammenhänge der Thematik nicht übernommen werden. Für die Umgebungsturbulenz wurde bei Berechnung der charakteristischen Turbulenz in Kenntnis dieser Umstände ein Zuschlag von 20 % berücksichtigt.

Die vorliegende Berechnung wurde vom Ing.-Büro PLANkon gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach besten Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt.

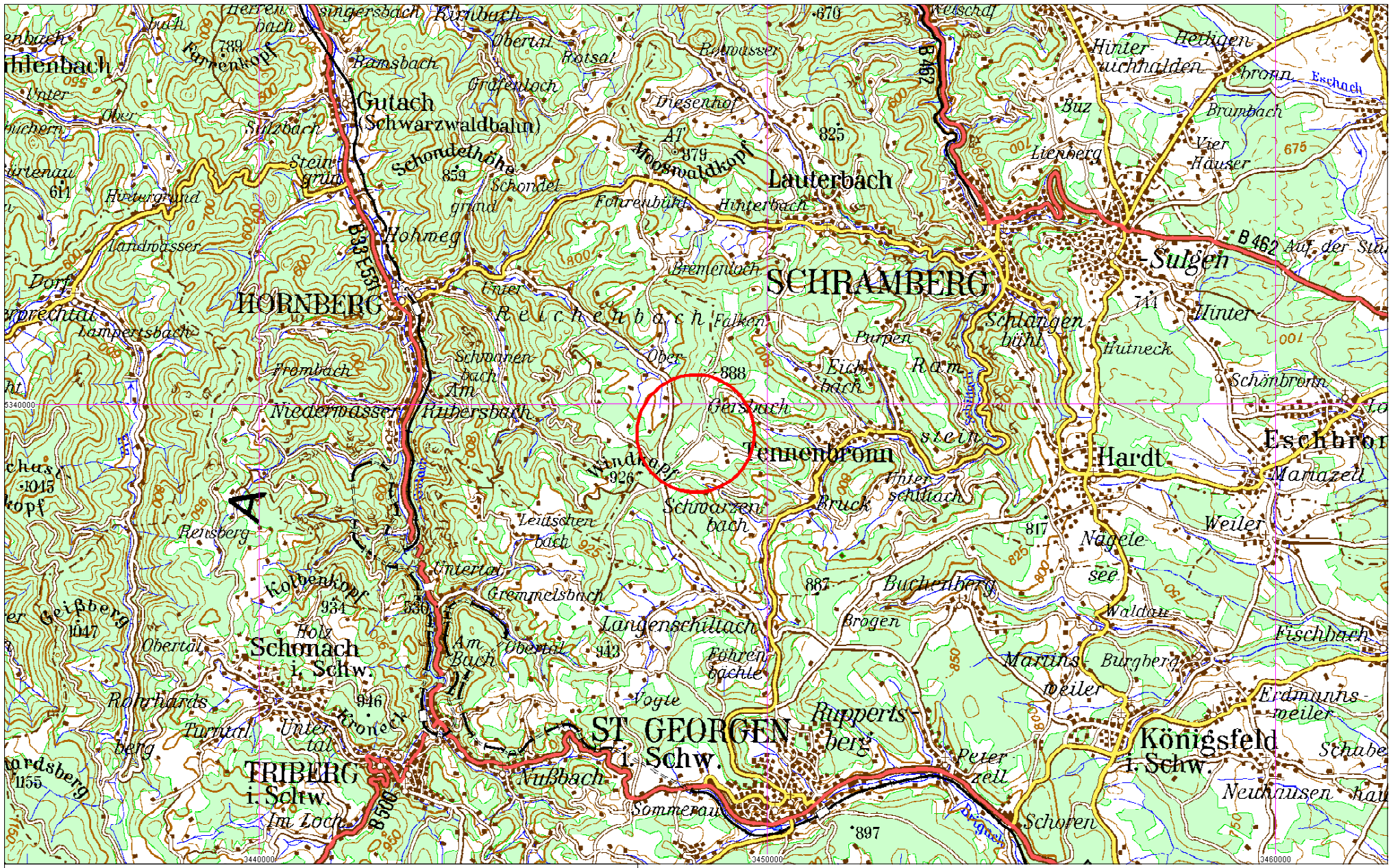
Oldenburg, den 30. März 2009



Dipl.-Ing. Roman Wagner vom Berg

## **5 Anlagen zum Gutachten der Turbulenz der freien Anströmung des Standortes Steigers Eck**

- 1 Blatt Übersichtskarte
- 2 Blatt graphische Darstellung der Modelleingaben für Orographie und Rauigkeit

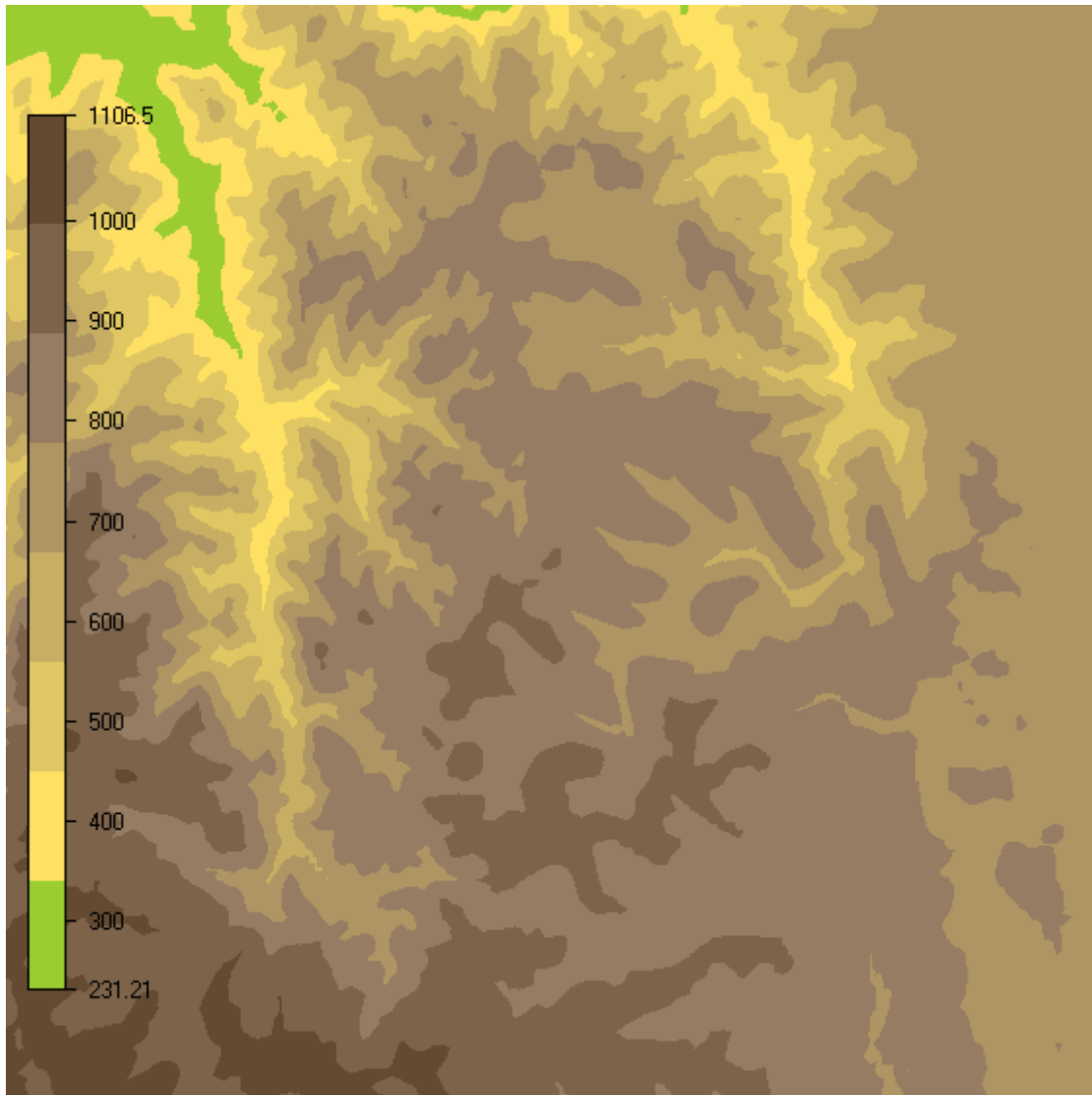


# PLANKon

Ingenieurbüro für Tragwerks-, Objekt- und Energieplanung

## Anlagen zum Gutachten der Turbulenz der freien Anströmung des Standortes Steigers Eck

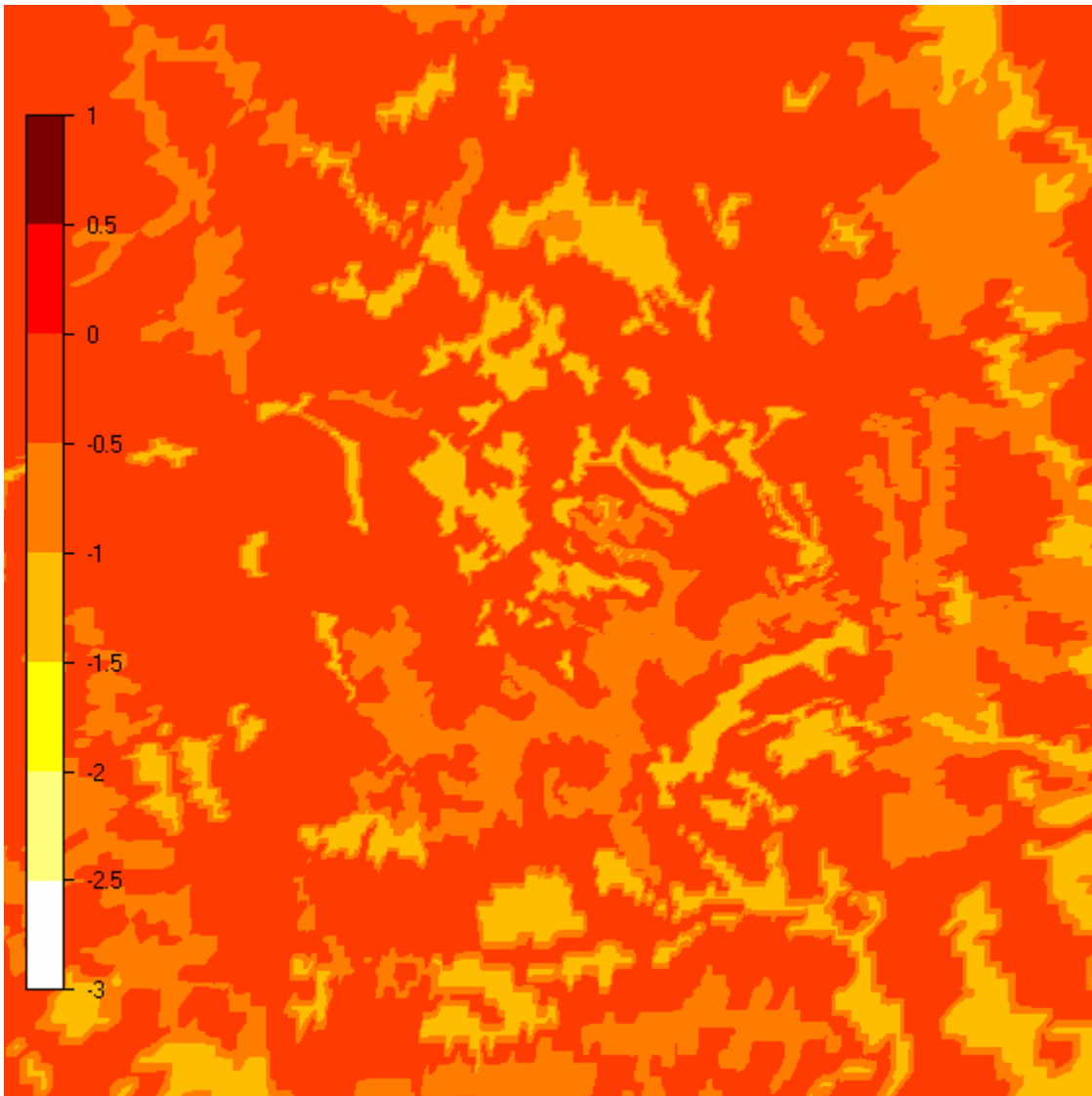
### Eingabedaten WindSim



Karte der Orographie als Eingabe im System WindSim

# PLANKon

Ingenieurbüro für Tragwerks-, Objekt- und Energieplanung



Karte der Rauigkeiten als Eingabe im System WindSim