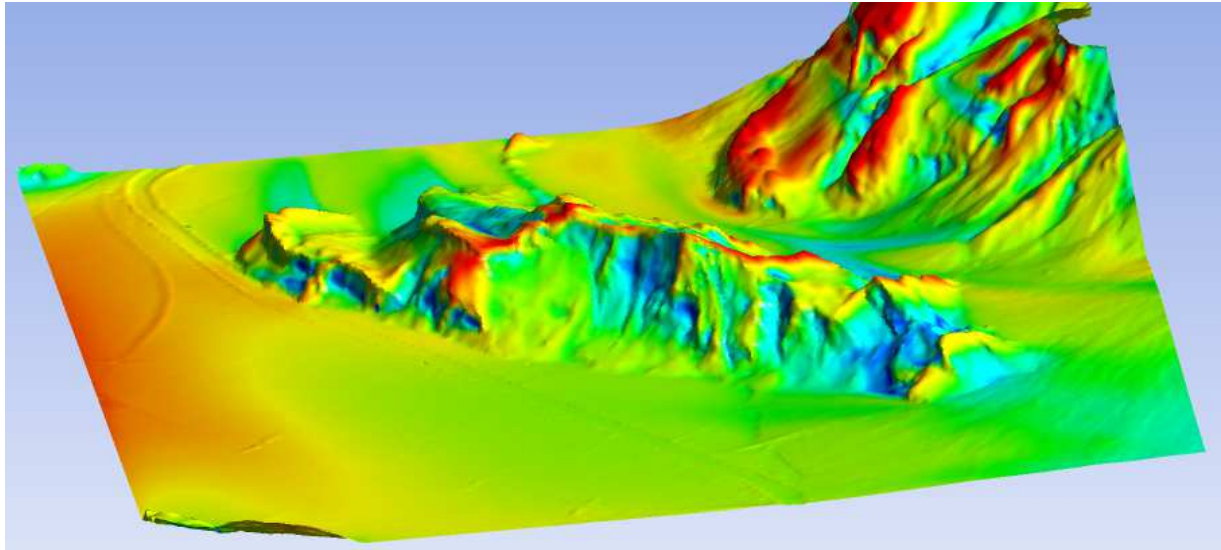


Windsimulation in Alpentälern zur Unterstützung der Standortsuche für Windkraftanlagen



Ziel der Untersuchung:	- Erstellung einer Simulationsmethode zur Berechnung der Windverhältnisse im Rheintal - Bewertung möglicher Standorte für Windturbinen
Auftraggeber:	Sunergy GmbH, Rii-Seez Power, Förderverein IES (FV-IES), Bürgergenossenschaft Balzers, Solargenossenschaft Liechtenstein, Kommission für Technologie und Innovation (KTI)
Erstellt durch:	Dr. Hermann Knaus
Datum:	11. Juni 2012

Zusammenfassung

Berechnungsmethodik

Die Geometrieerstellung erfolgt auf der Basis der Daten vom Bundesamt für Landestopologie. Diese wurde erfolgreich mit der Abbildung der Bewaldung im Modell kombiniert. Die Erstellung der physikalischen Randbedingungen für die Berechnung in ANSYS CFX beruht auf dem Wettermodell von MeteoSchweiz. Zur Abbildung der grossskaligen Strömungsphänomene in der Atmosphäre wurden zudem in ANSYS CFD die Modellierung der Coriolis-Kräfte und der Temperaturschichtung implementiert. Es wurden sowohl transiente als auch stationäre Simulationen durchgeführt. Der Abgleich von Simulationsergebnissen mit Messwerten zeigt eine gute Übereinstimmung für Windgeschwindigkeiten sowie insbesondere für Druck und Temperatur. Für die Turbulenz ergeben sich hingegen grössere Abweichungen, welche stark von der Netzauflösung abhängig sind.

Berechnungsergebnisse

Es wurden Simulationen für eine Föhnwetterlage im Rheintal mit unterschiedlich grossen Berechnungsgebieten durchgeführt. Das grosse Berechnungsgebiet wurde für die Standortsuche herangezogen. Es zeigen sich gute Potentiale für das Gebiet zwischen Balzers und Triesen, Schollberg, Weite, Autobahnkreuz Sargans, Heiligkreuz und in der Umgebung von Flums. Weniger geeignet erscheint das Gebiet nördlich des Fläscherbergs, weil es hier zu einer starken Strömungsablösung kommt. Diese führt zu geringen Windgeschwindigkeiten und hohen Turbulenzgraden, welche sich bis Trübbach ausbreiten

Ein kleineres Modell wurde für die Bewertung der Windverhältnisse an den Standorten Alp Lida, Ans und Fläscher Riet verwendet. Die Berechnungsergebnisse lassen vor allem den Standort Ans als sehr günstig erscheinen. Das Fläscher Riet hingegen erscheint weniger vielversprechend für die Nutzung der Windenergie. Die Alp Lida auf dem Fläscherberg erscheint trotz hoher Windgeschwindigkeiten wegen der hohen Turbulenzgrade für die Nutzung der Windenergie weniger gut als Ans.

Inhalt

Zusammenfassung	2
1 Einleitung und Zielsetzung	4
2 Beschreibung der Methodik	5
2.1 Physikalische Modellierung	5
2.2 Geometrische Randbedingungen	5
2.3 Physikalische Randbedingungen/Wetterdaten	5
3 Beschreibung der berechneten Gebiete	6
3.1 Vernetzung der Berechnungsgebiete	7
4 Ergebnisse	9
4.1 Strömungssituation bei Föhn	9
4.2 Modellabgleich	13
4.2.1 Qualitativer Vergleich der Simulationsergebnisse	13
4.2.2 Quantitativer Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messwerten	16
4.2.3 Schlussfolgerung	16
4.3 Standortsuche für Windkraftanlagen	18
4.3.1 Grobsuche von Standorten für Windkraftanlagen	18
4.3.2 Bewertung einzelner Standorte	23
4.3.2.1 Alp Lida (1)	23
4.3.2.2 Ans (2)	24
4.3.2.3 Fläscher Riet (3)	24

1 Einleitung und Zielsetzung

Windkraftnutzung im Rheintal - Eine Idee mit Potential! Windkraft kann einen deutlichen Beitrag zur Stromversorgung liefern. Dies zeigen viele Beispiele in Grossbritannien und Deutschland. Allerdings wird dort die Windenergie vorzugsweise in Küstenregionen und im Flachland genutzt. Hierfür wurden sowohl die meisten Analyse- und Simulationsmethoden entwickelt als auch das Verhalten von Windkraftanlagen mit bis zu 170 Metern Höhe und einer Leistung von 7.5 MW untersucht. Doch wie sieht es im alpinen Gelände oder in einem Alpental wie dem Rheintal aus? Hier liegt noch vieles im Dunkeln, nicht zuletzt aufgrund der räumlich stark variierenden Windverhältnisse. Doch das grosse Potential für Windkraftnutzung in der Region zeigen aktuelle Messungen, welche im Rheintal durchgeführt wurden.

Ausgehend von einer aktuellen ausgedehnten Windmesskampagne in der Grossregion Buchs-Sargans wurde das Potential von Windenergie in der Region ermittelt. Die Resultate zeigen, dass die genaue räumliche Zuordnung der Bergwindströmung für die potentielle Nutzung der Windenergie von grosser Bedeutung ist. Für eine zielorientierte Weiterentwicklung der Messungen und Aussagen zu Windkraftwerkstandorten ist eine computerbasierte Strömungssimulation des Bergwindregimes von grossem Interesse.

Ziel der Arbeit war die Erstellung eines Modells zur Simulation des Bergwindregimes in Bergregionen zur Ermittlung von geeigneten Standorten für Windkraftanlagen. Die untersuchte Region um Sargans wird in Bild 1 dargestellt. Die Simulation basiert auf räumlich hochaufgelösten topologischen Daten und Wetterdaten aus Wettermodellen. Dabei wurde die Methodik in den kommerziellen Strömungslöser ANSYS CFX implementiert. Nach erfolgreichem Abgleich des Berechnungsmodells mit den vorhandenen Messdaten, wurden die Simulationsergebnisse herangezogen, um die Eignung verschiedener Standorte für die Nutzung der Windenergie zu bewerten.



Bild 1: Darstellung der untersuchten Region (Quelle Schweizer Bundesamt für Landestopographie)

2 Beschreibung der Methodik

Dieser Abschnitt behandelt den Aufbau, die Annahmen und die Vereinfachungen des Simulationsmodells. Dies soll zu einem besseren Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen der Simulation führen. Die Simulation wurde in zwei Schritten bezüglich der räumlichen Auflösung durchgeführt. Zunächst wurde ein grosses Gebiet von 23 km x 24 km berechnet, welches im Folgenden als Gesamtgebiet bezeichnet wird. Aus diesem räumlich verhältnismässig grob aufgelösten Modell wurde in einem zweiten Schritt ein Modell mit kleinerer räumlicher Ausdehnung und hohem räumlichen Detaillierungsgrad um den Fläscherberg abgeleitet. Dieses wird im Folgenden als Nesting gekennzeichnet. Die physikalische Modellierung der beiden Detaillierungsstufen ist identisch. Die entwickelte Methodik wird im Folgenden beschrieben.

2.1 Physikalische Modellierung

Die Berechnungsmethode wurde in der Software ANSYS CFX umgesetzt. Dort werden die Massenerhaltung, die Impulserhaltung und die Energieerhaltung sowie Gleichungen zur Beschreibung der Turbulenz gelöst. Für die Simulation von grossskaligen Strömungsphänomenen wurden zudem die Coriolis-Kräfte, ausgelöst durch die Erdrotation, und die Auftriebskräfte bedingt durch die Temperaturschichtung in der Erdatmosphäre modelliert. Die Reibung an der Erdoberfläche wird entsprechend dem Bewuchs mit Hilfe der Rauigkeitstiefe im Wandmodell berücksichtigt.

2.2 Geometrische Randbedingungen

Die Erstellung des Berechnungsgitters und somit die Abbildung der Erdoberfläche erfolgt mit Hilfe digitalisierter Höheninformationen vom Berechnungsgebiet. Diese Daten sind in unterschiedlichen Qualitäten beim Bundesamt für Landestopografie der Schweiz erhältlich. Für das grosse Modell mit geringerer räumlicher Auflösung wurden die Daten mit Maschenweiten von 200 m, für das kleine Modell um den Fläscherberg Daten mit einer Maschenweite von 25 m ausgewählt. Somit ergibt sich laut Bundesamt für Landestopographie eine mittlere Abweichung von 2 m in den Voralpen und 3-8 m in den Alpen. Zudem wurden Modelle herangezogen, welche die Bebauung und den Bewuchs an der Erdoberfläche beschreiben. Dies ermöglicht es insbesondere die erhöhte Reibung an der Oberfläche in bewaldeten Gebieten zu berücksichtigen.

2.3 Physikalische Randbedingungen/Wetterdaten

Um die Randbedingungen für die Simulation zu generieren wurden Wetterdaten von MeteoSchweiz vom 10.06.10, 12:00 Uhr herangezogen. Dabei handelt es sich um eine ausgeprägte Föhnwetterlage. Die Wetterdaten stammen aus dem COSMO-2 Wettermodell und haben horizontal eine Auflösung von rund 2 km. Über der Erdoberfläche wird eine vertikale Auflösung von 50 m erreicht. Die Wetterdaten liefern Luftgeschwindigkeiten, Bodentemperaturen und Informationen über die Turbulenz. In Bild 2 ist exemplarisch der Druck am nördlichen Rand des Berechnungsgebiets dargestellt. Dort wird die begrenzte horizontale Auflösung dieser Datensätze ersichtlich.

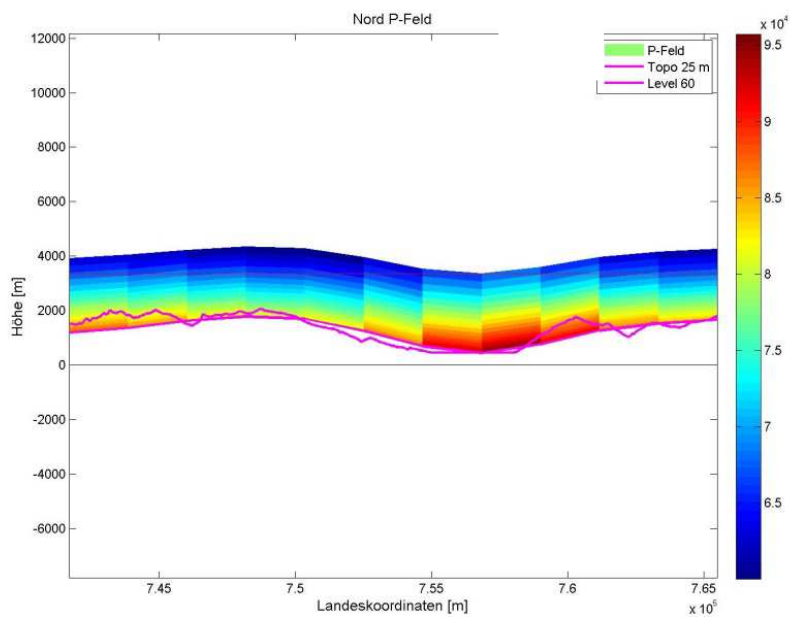


Bild 2: Randbedingung für den Druck p aus COSMO-2

3 Beschreibung der berechneten Gebiete

Das Gesamtgebiet reicht von Landquart im Süden bis Vaduz im Norden und von Walenstadt im Westen bis Malbun im Osten. Dieses Gebiet wurde in seiner Ausdehnung so gewählt, dass die grossen Strömungsteiler mit dem Falknis im Osten und dem Pizol im Westen Berücksichtigung finden (Bild 3). Ausserdem ist es am Nordrand des Gebietes wichtig, dass die Aufteilung der Strömung in Richtung Seeztal und Rheintal richtig erfasst werden. Hier spielen die Berge Gonzen und Alvier eine entscheidende Rolle, welche deshalb ebenfalls modelliert werden.

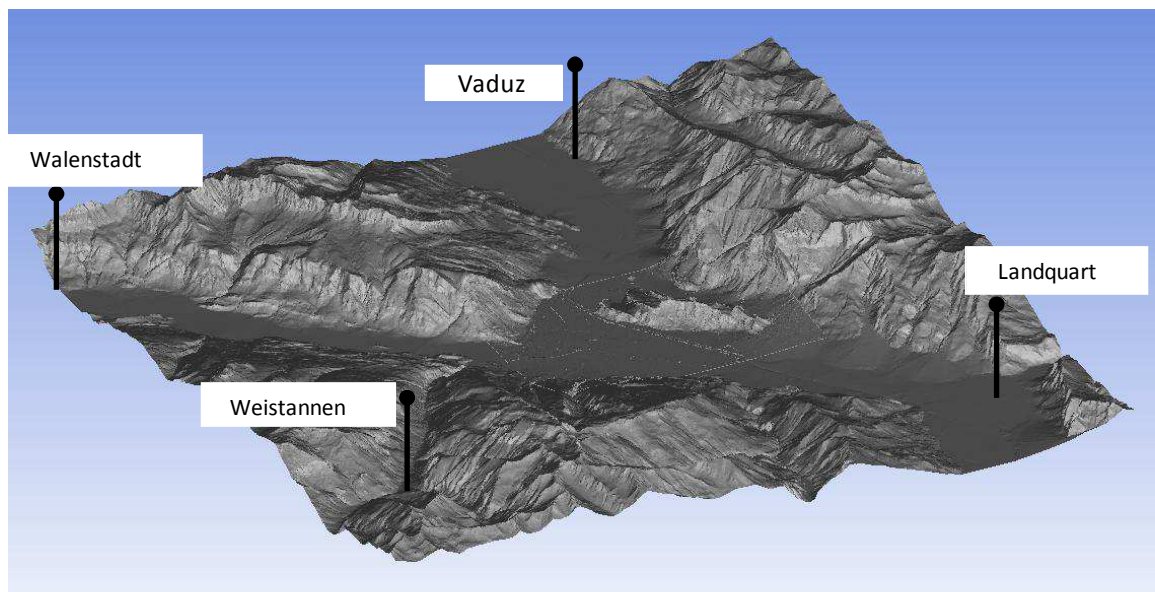


Bild 3: Topologie des Gesamtgebiets

Aus dem grossen Gebiet wurde ein Nesting um den Fläscherberg extrahiert und mit den hochaufgelösten Topologiedaten beschrieben (Bild 4). Somit wird eine deutliche Erhöhung der örtlichen Auflösung durch die Verwendung genauerer Topologiedaten und durch eine höhere Feinheit des Berechnungsgitters erreicht.

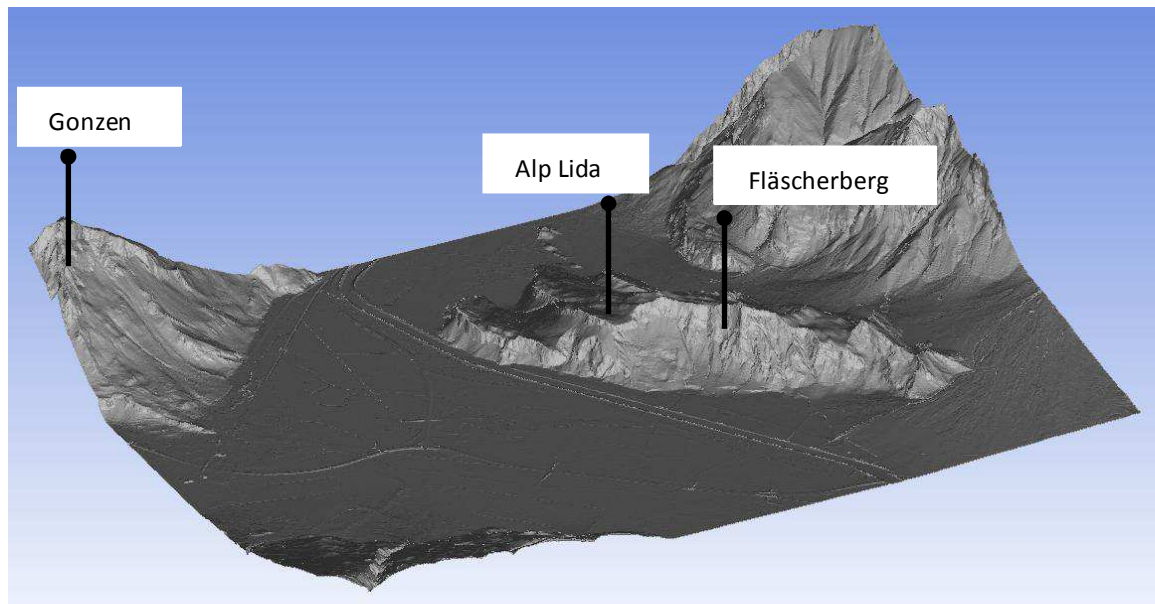


Bild 4: Hochaufgelöstes Nesting um den Fläscherberg

3.1 Vernetzung der Berechnungsgebiete

Für die Berechnung der Berechnungsgebiete wurden unterschiedliche Netzfeinheiten verwendet. Zunächst wurde das Gesamtgebiet im Basismodell mit 6.4 Mio. Zellen vernetzt. Dies ergibt eine Auflösung in Bodennähe von 70 m im Bereich Fläscherberg und 150 m im restlichen Gebiet. In einem zweiten Schritt wurde das Gesamtgebiet im Bereich Alp Lida auf dem Fläscherberg verfeinert (Bilder 5 und 6). Dies führt zu einer räumlichen Auflösung von 35 m in den verfeinerten Bereichen und 70 m in den restlichen Gebieten des Fläscherbergs sowie 150 m im restlichen Gebiet. Mit dem Nesting um den Fläscherberg wird mit 21 Mio. Zellen eine Auflösung in Bodennähe von 9 m erreicht. In einem weiteren Schritt wurde das Neting in Gebiete mit und ohne Wald anhand der Topologiedaten unterteilt. Die Vernetzung des Modells wurde hierbei grober ausgeführt als ohne Berücksichtigung der Bewaldung, um die Rechenzeiten auch für zeitaufgelöste Berechnungen mit vertretbarer Rechenzeit durchführen zu können. Hier betrug die Anzahl der Zellen rund 2.8 Mio. Zellen (Bild 7).

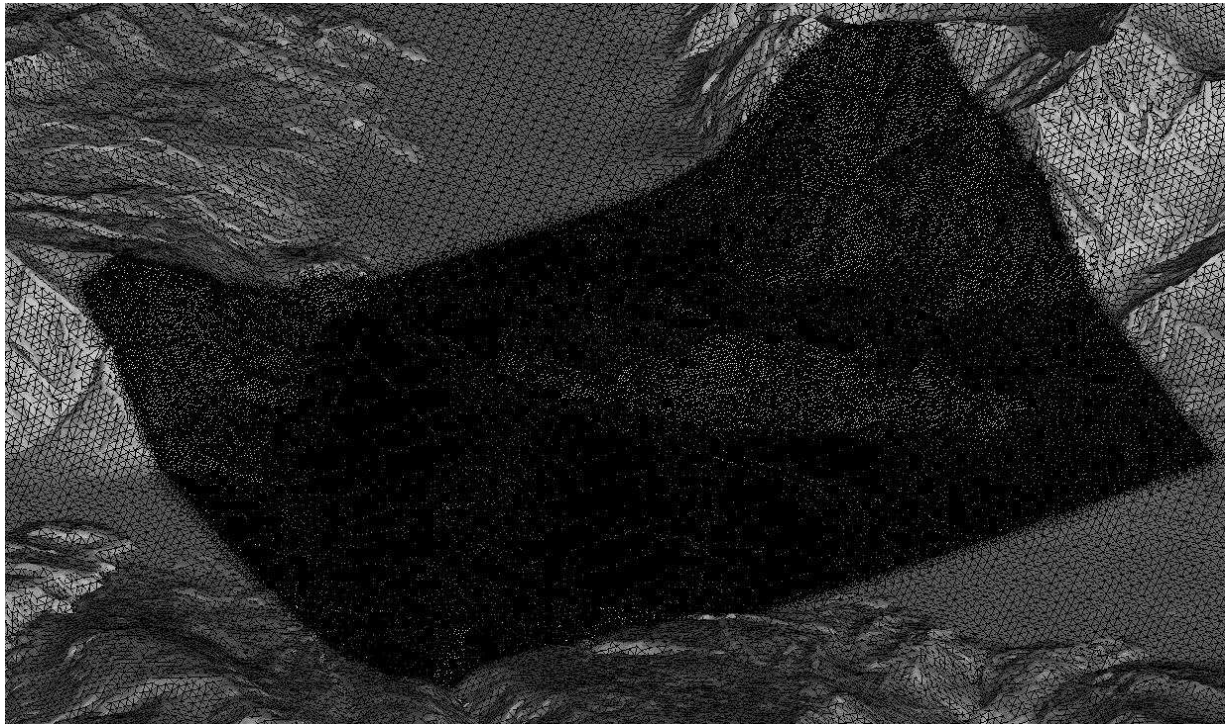


Bild 5: Vernetzung Gesamtgebiet mit Verfeinerung Fläscherberg (Ausschnitt)

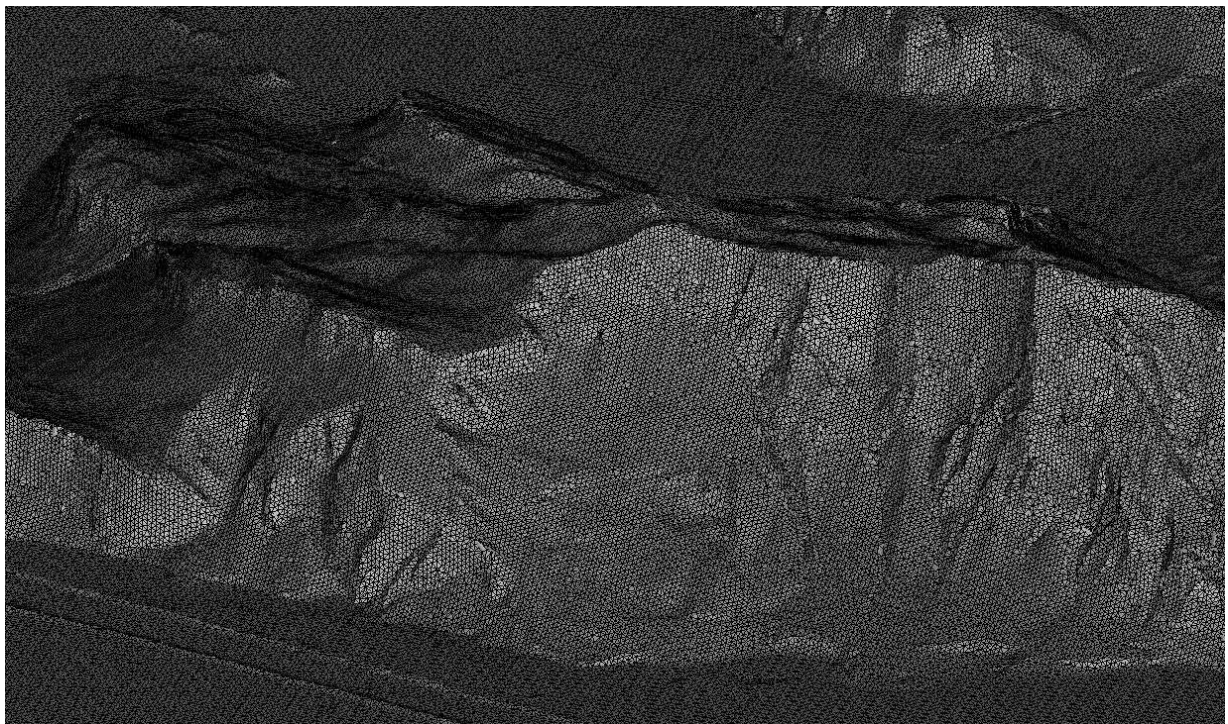


Bild 6: Netzverfeinerung Gesamtgebiet am Fläscherberg (Ausschnitt)

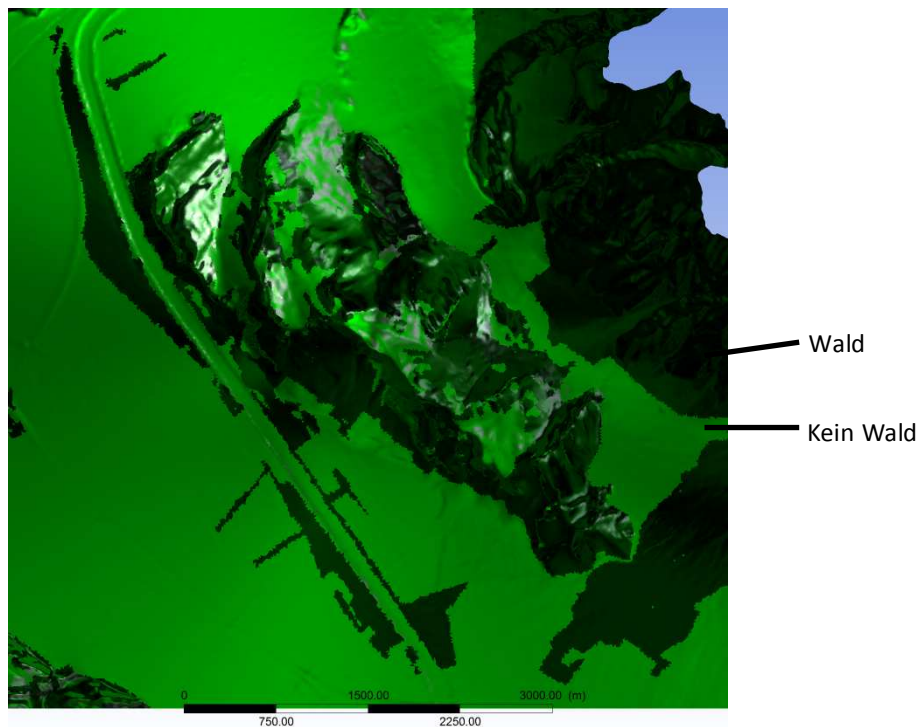


Bild 7: Unterteilung im Nesting in bewaldete und unbewaldete Gebiete

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Simulationen mit den oben beschriebenen Modellansätzen dargestellt. Diese gliedern sich in eine allgemeine Darstellung der Strömungssimulation bei Föhn im Rheintal sowie eine Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Potentiale zur Nutzung der Windenergie.

4.1 Strömungssituation bei Föhn

Die Strömung im Rheintal ist geprägt durch eine Hauptströmung aus der Richtung Süd, Süd-West. Die Strömung ist in Bild 8 durch Stromlinien visualisiert. Die Farbe der Stromlinien stellt dabei die Strömungsgeschwindigkeit dar. Es ist gut zu sehen, wie der Gonzen als Strömungsteiler wirkt und sich die Strömung in das Rheintal und das Seetzel aufteilt. Unter den gegebenen Randbedingungen geht die Hauptströmung entlang des Rheintals. Auch die Leitwirkung der Seitentäler, wie z.B. des Weistannentals, auf die Strömung ist gut zu erkennen. Ebenfalls zu erkennen ist die starke Überströmung des Fläscherbergs und des Luzisteigs (Bild 9), welche durch die Geschwindigkeitsvektoren dargestellt ist. Zudem liegt eine starke Beschleunigung der Strömung in Richtung Ans und Balzers vor. In Bild 9 kann im Detail die Aufteilung der Strömung durch den Gonzen gut beobachtet werden.

Bild 10 zeigt die Strömungssituation am Fläscherberg. Die Beschleunigung der Strömung über die Felswand führt zu erhöhten Geschwindigkeiten auf der Alp Lida. Ausgelöst durch die von der Alp Lida Richtung Norden ansteigende Topologie ergibt sich in Richtung Osten hinter der Alp Lida ein grosses Totwassergebiet. Auch ist die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in Richtung Ans und Balzers in Bild 10 zu erkennen.

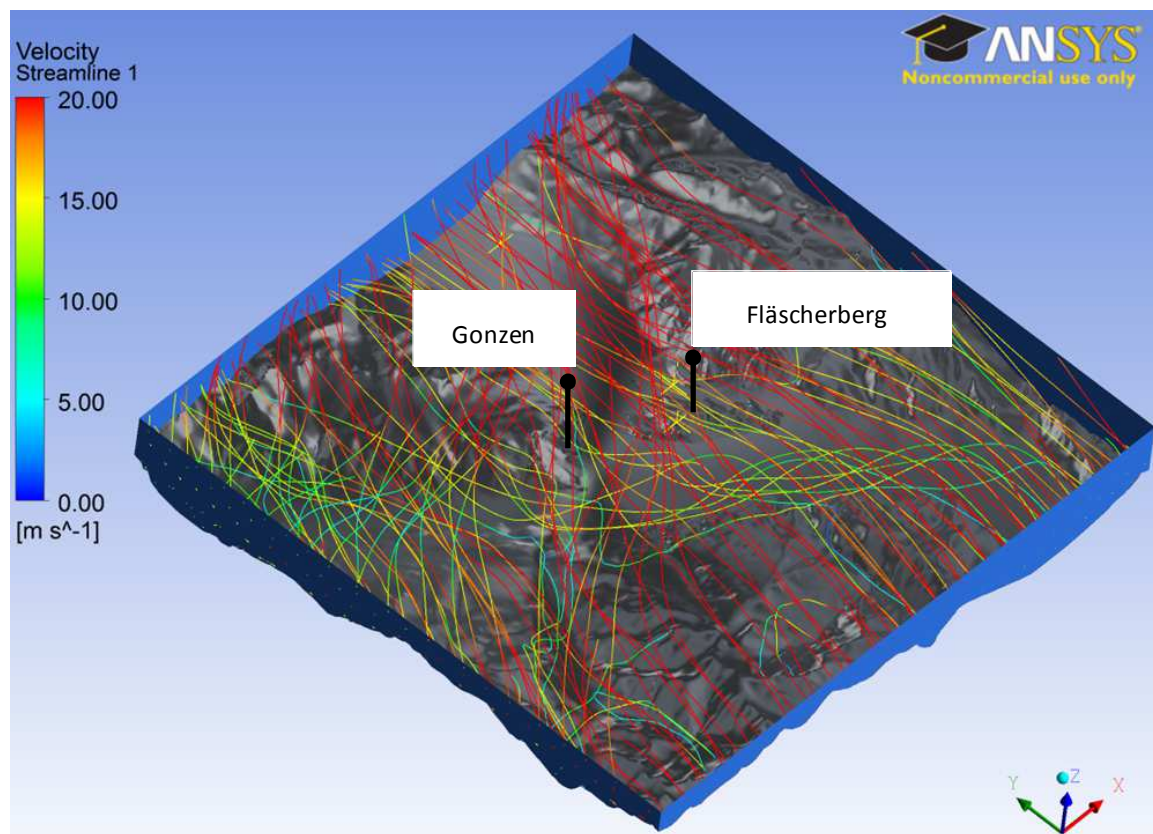


Bild 8: Strömungsverlauf im Gesamtgebiet

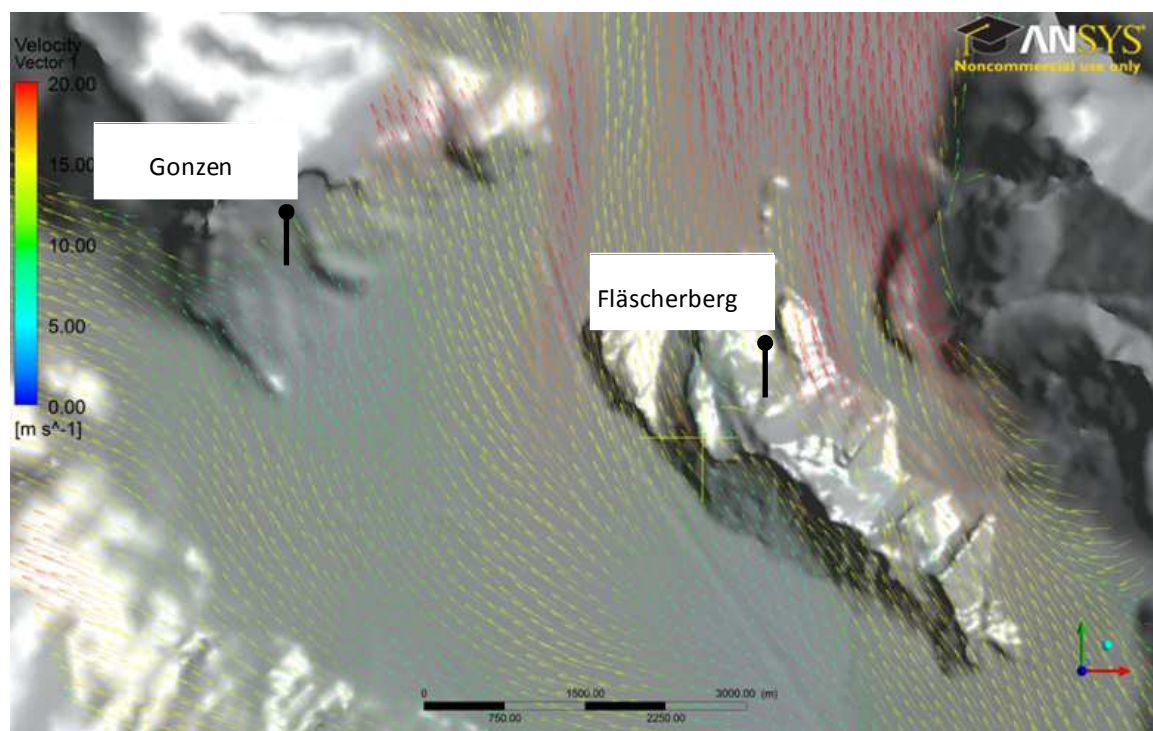


Bild 9: Strömungsgeschwindigkeiten um Fläscherberg/Gonzen (Nesting)

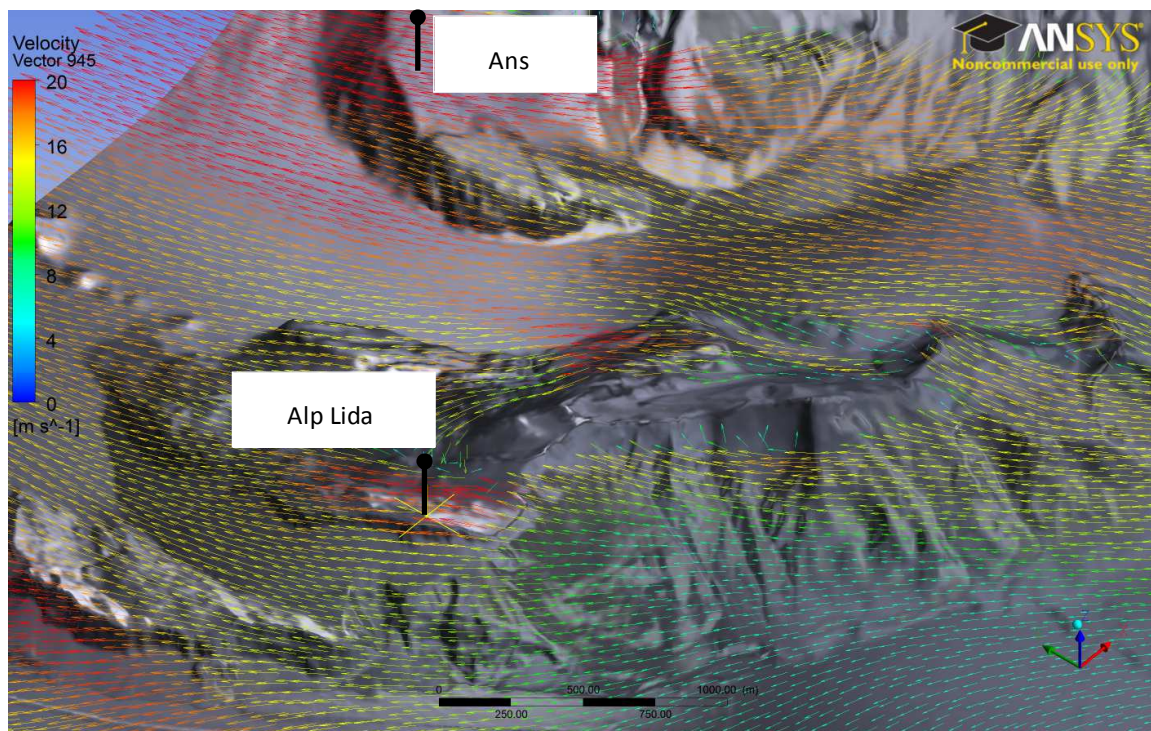


Bild 10: Strömungsgeschwindigkeiten auf Höhe Alp Lida am Fläscherberg (Nesting)

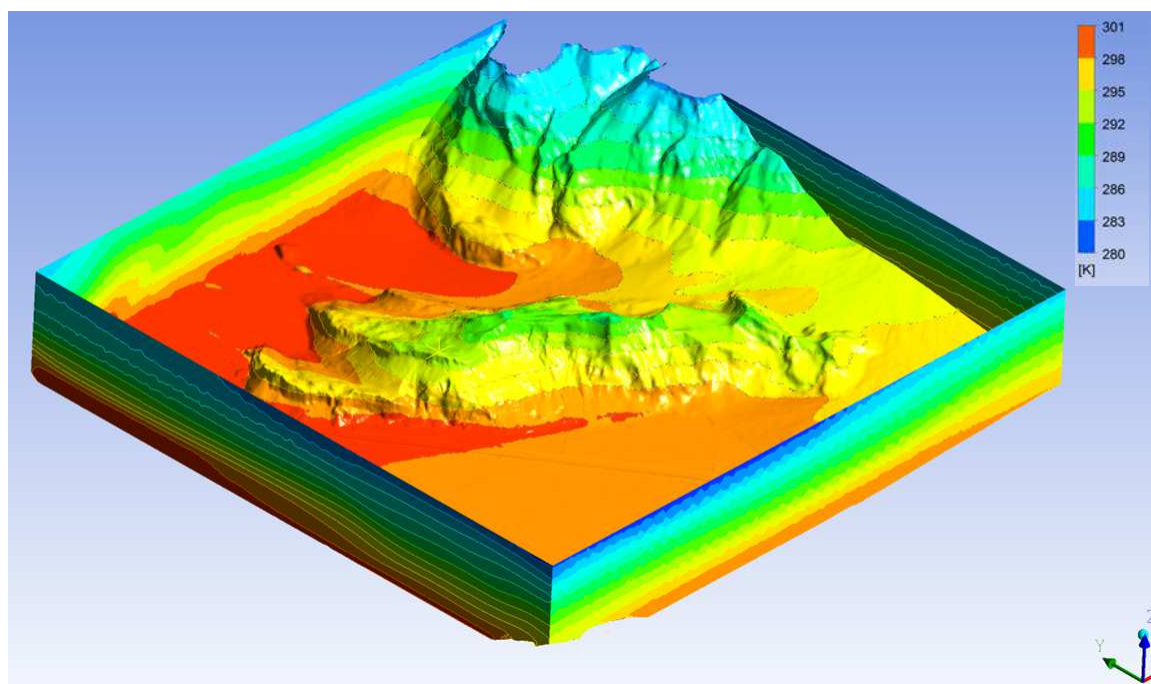


Bild 11: Temperaturschichtung (Nesting)

Bild 11 zeigt die Temperaturschichtung über dem Berechnungsgebiet. Sie beträgt unter der vorliegenden trockenen Wetterlage 1 K pro 100 m. Die dargestellten Temperaturen am Erdboden werden durch die Randbedingungen aus COSMO-2 vorgegeben.

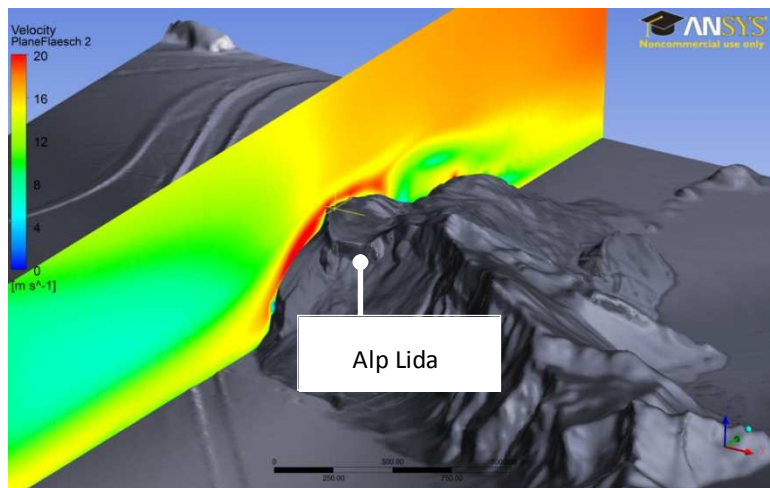


Bild 12a: Strömungsgeschwindigkeit auf Alp Lida

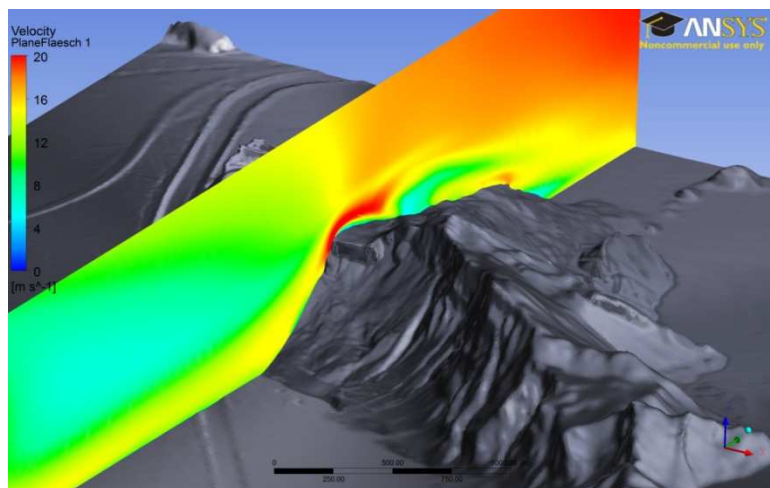


Bild 12b: Strömungsgeschwindigkeit auf Alp Lida

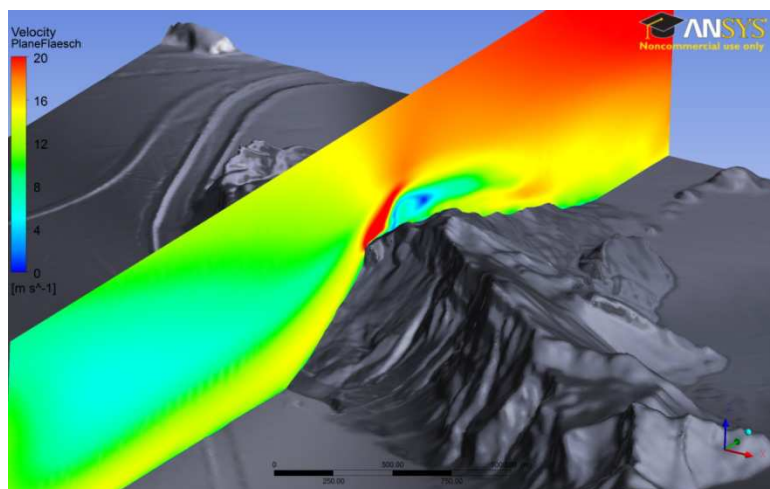


Bild 12c: Strömungsgeschwindigkeit auf Alp Lida

Die Bilder 12 a-c visualisieren die Strömung über den Fläscherberg in drei Nord-Süd Schnitten durch die Alp Lida. Die Beschleunigung der Strömung über die Felskante wird deutlich. Somit ergibt sich eine vertikal begrenzte Luftschicht über der Alp Lida, welche Geschwindigkeiten über 20 m/s aufweist. Die Ablösung der Strömung im Osten der Alp Lida mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten ist erkennbar.

4.2 Modellabgleich

4.2.1 Qualitativer Vergleich der Simulationsergebnisse

Zunächst werden die unterschiedlichen Vernetzungsansätze verglichen. Die Bilder 13 a-c zeigen die horizontalen Windgeschwindigkeiten 10 m über der Erdoberfläche über dem gesamten Berechnungsgebiet. Die Bilder zeigen die Ergebnisse basierend auf der Basisvernetzung, dem feinen Netz sowie der Vernetzung unter Berücksichtigung der Bewaldung. Es wird ausschliesslich die horizontale Windgeschwindigkeitskomponente dargestellt, weil nur diese Komponente zur Nutzung der Windenergie beitragen kann.

Die Berechnungsergebnisse zeigen qualitativ Unterschiede. Die Geschwindigkeiten erscheinen bei der feinen Vernetzung im Vergleich zur Basis generell geringer. Dies deutet auf eine bessere Abbildung der Oberflächenreibung im Modell hin. Dieser Effekt ist in der Vernetzung mit Berücksichtigung des Waldes noch stärker ausgeprägt. Für diese Vernetzung ergeben sich zudem deutliche Unterschiede für die Strömung im Fläscher Riet. Dort legt sich die Strömung viel mehr in Richtung des Bergs im Osten an. Der Wind wird somit mehr aus Richtung Süd vorhergesagt, während für die Basisvernetzung und das feine Netz die Windrichtung dort aus Süd-Ost kommt. Zeitaufgelöste Simulationen haben gezeigt, dass die Strömung im Fläscher Riet sehr instabil ist und die Strömung tatsächlich zwischen diesen beiden Ausprägungen umschlägt. Dieser Effekt konnte auch bei einer Messkampagne beobachtet werden.

Bezüglich der Simulation der Turbulenzgrade (Bilder 14 a-b) zeigen die Ergebnisse für die Basisvernetzung geringere Turbulenzwerte als für die feine Vernetzung. In Bereichen mit sehr hohen Geschwindigkeitsgradienten, wie z.B. auf Alp Lida, weist die Simulation basierend auf der feinen Vernetzung höhere Turbulenzgrade auf. Der Turbulenzgrad Tu wird hierbei definiert als:

$$Tu = \frac{\sqrt{\overline{u'u'}}}{\overline{u}} \quad (1)$$

$$\overline{u'u'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\overline{u} - u_i)^2 \quad (2)$$

Dabei stellt u' den Schwankungsanteil der Geschwindigkeit u dar. $\overline{u}$ ist die über die Zeit gemittelte Geschwindigkeit.

Auffällig sind vor allem die hohen Turbulenzgrade auf der Alp Lida. Dagegen werden um Ans sehr geringe Turbulenzgrade vorhergesagt. Dies liegt darin, dass auf Alp Lida durch die Überströmung der Kante und der Beschleunigung der Strömung eine starke Scherschicht ausgebildet, die mit hohen Turbulenzgraden einhergeht. Auf Ans dagegen legt sich die Strömung durch die leicht nach Osten ansteigende Fläche sauber an die Erdoberfläche an, was die niedrigen Turbulenzgrade erklärt.

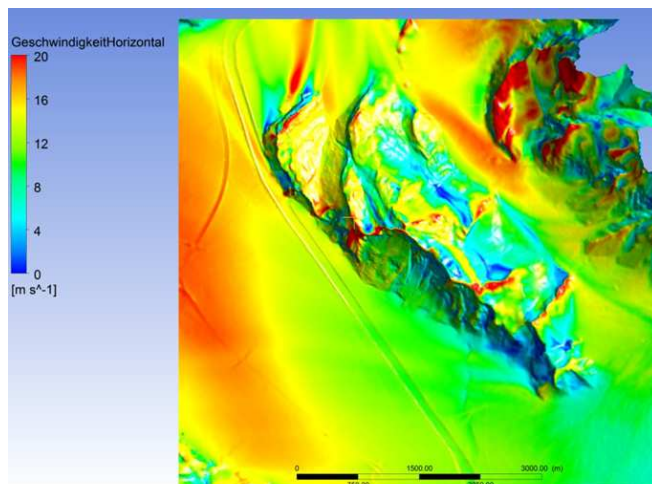


Bild 13 a: Vernetzung Nesting Basis 10 m über Grund

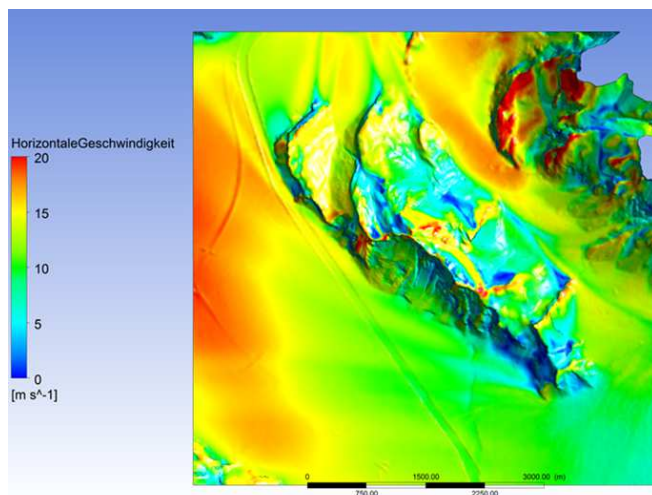


Bild 13 b: Vernetzung Nesting fein 10 m über Grund

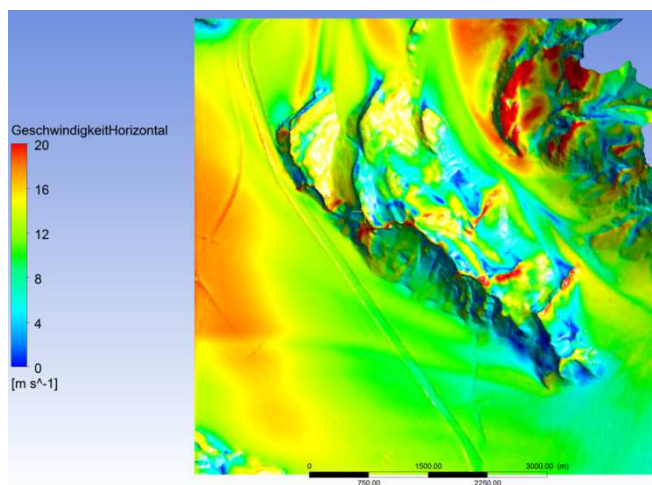


Bild 13 c: Vernetzung mit Unterteilung Wald-kein Wald 10 m über Grund

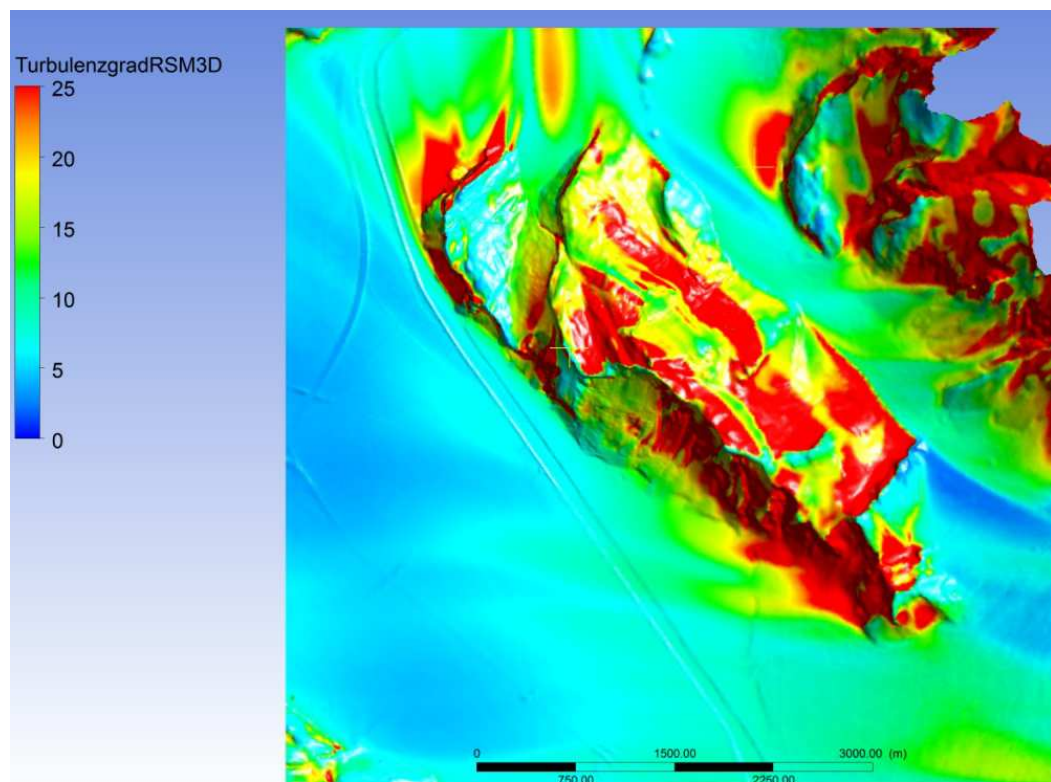


Bild 14 a: Turbulenzgrad Vernetzung Nesting Basis 10 m über Grund

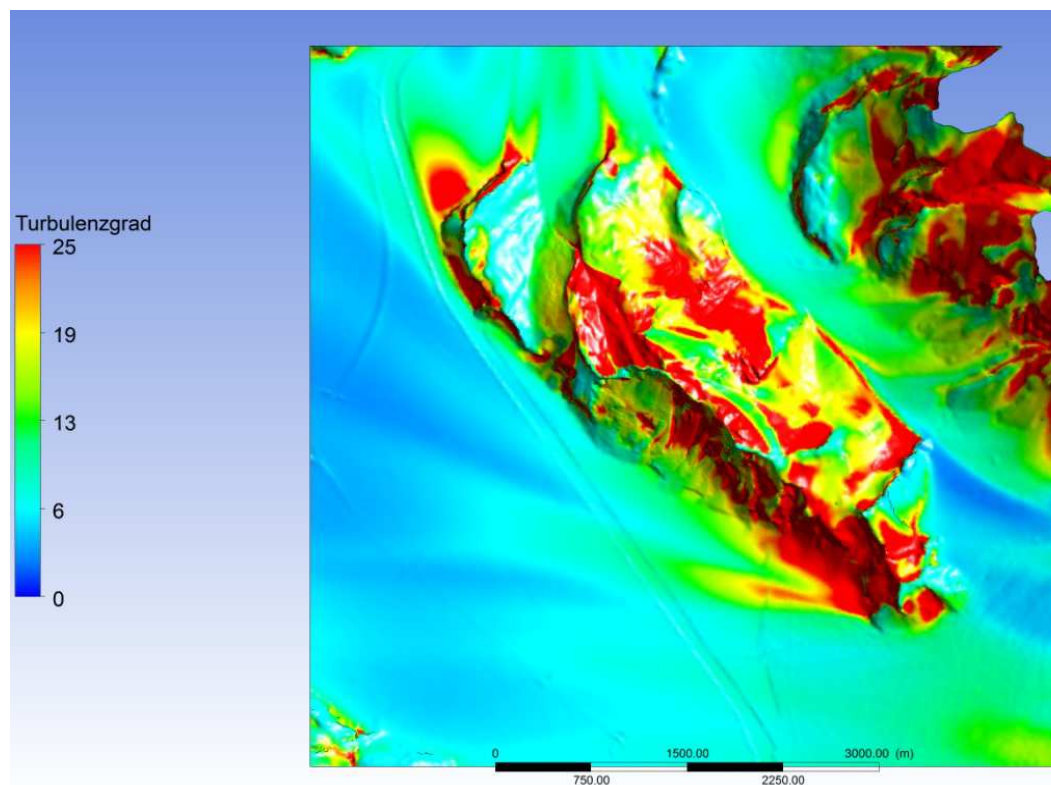


Bild 14 b: Turbulenzgrad Vernetzung Nesting Fein 10 m über Grund

4.2.2 Quantitativer Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messwerten

In Tabelle 1 sind die Messwerte an den Orten Alp Lida auf einer Höhe von 10 m und 27 m über dem Erdboden sowie für das Fläscher Riet auf 30 m, 42 m und 49 m über dem Erdboden für den 10.06.2010 aufgetragen. Die Daten wurden über den Tag gemittelt und beinhalten Informationen über Geschwindigkeiten, Luftdruck, Temperatur und Turbulenzgrad. Die Lage der Messpunkte ist in Bild 15 aufgetragen.

Bezüglich der Drücke gibt es eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messwerten und Simulationsergebnissen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Vernetzungsansätzen sind ebenfalls gering. Für die Temperaturen ergeben sich etwas grössere Abweichungen zwischen Berechnung und Messung. Die Differenz liegt auf Alp Lida bei 1 K und im Fläscher Riet bei 3 K. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Differenzen aus den COSMO-2 Randbedingungen resultieren, da die Temperaturen sich zwischen den einzelnen Vernetzungsansätzen kaum unterscheiden.

Bezüglich der Geschwindigkeiten gibt es an den beiden Messorten erhebliche Unterschiede zwischen den Berechnungen. Das grobe Nesting weist die höchsten Geschwindigkeiten auf Alp Lida auf. Sie liegen um bis zu 4 m/s über den Werten der transienten Simulation unter Berücksichtigung der Bewaldung. Ein ähnliches Bild ergibt sich für das Fläscher Riet. Auch dort sind die Geschwindigkeiten für die transiente Simulation mit Bewaldung am niedrigsten. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die transiente Simulation, welche ebenfalls unter Berücksichtigung der Bewaldung durchgeführt wurde, die beste Übereinstimmung für die Geschwindigkeiten ergibt. Das Nesting mit der groben Vernetzung hingegen kann die Geschwindigkeitsgradienten zur Erdoberfläche nicht ausreichend wiedergeben und unterschätzt somit die Reibungsverluste, was in der Vorhersage von zu hohen Geschwindigkeiten resultiert. Generell liegen die Geschwindigkeiten für alle Ansätze im Vergleich zu den Messwerten höher.

Am wenigsten gut werden die Turbulenzgrade von der Simulation wiedergegeben. Hier zeigen sich sehr grosse Unterschiede im Vergleich mit den Messwerten. Der höchste Turbulenzgrad auf Alp Lida wird mit dem feinen Nesting mit 16% berechnet, alle anderen Modelle liegen deutlich unter diesem Wert. Die Messung ergibt dort 38%. Die Unterschiede lassen sich zum einen in der Art und Weise erklären, wie die Turbulenz ermittelt wird. Bei den Messungen werden vor allem Turbulenzen mit grossen Zeitskalen erfasst, weil dort nur alle 10 Minuten ein Wert aufgezeichnet wird (Bild 16). Die Simulation gibt jedoch nur die Turbulenzen mit kleinen Zeitskalen aus, welche mit dem Turbulenzmodell ermittelt werden. Zum zweiten ist offensichtlich die Feinheit der Vernetzung ein weiterer wichtiger Faktor zur Vorhersage des Turbulenzgrads. Für eine bessere Vorhersagegenauigkeit müsste die Feinheit des Netzes noch deutlich gesteigert werden. Dies würde jedoch zu sehr hohen, in der Praxis nicht mehr sinnvollen Berechnungszeiten führen.

4.2.3 Schlussfolgerung

Die Vernetzungsansätze Ergebnisse liefern vor allem in Bezug auf die Geschwindigkeiten und Turbulenzgrade recht unterschiedliche Ergebnisse. Beim Abgleich mit den Messwerten zeigt die transiente Simulation die beste Übereinstimmung insbesondere für die Geschwindigkeiten. Aus diesem Grund wird für die Bewertung der Windverhältnisse für verschiedene Standorte auf die Ergebnisse basierend auf einer transienten Berechnung mit Nesting unter Berücksichtigung des Waldes zurückgegriffen. Zudem werden die Ergebnisse aus der Berechnung für das Gesamtgebiet zur Standortsuche für Windkraftanlagen herangezogen.

Messtationen:

Ans

Fläscher Riet

Alp Lida

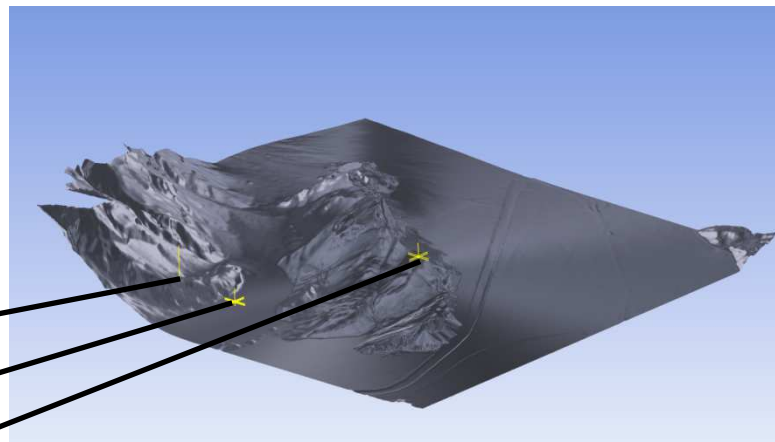


Bild 15: Bezeichnung der Messtationen

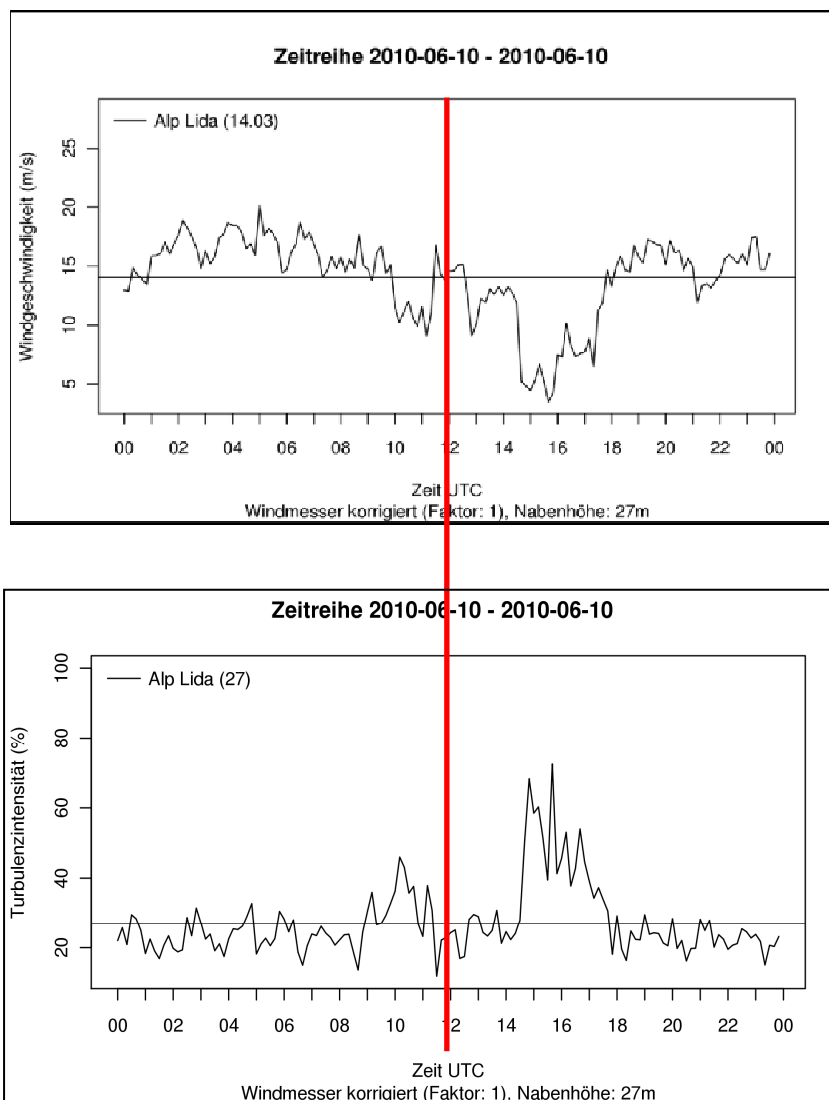


Bild 16: Verlauf der Messwerte auf Alp Lida für Geschwindigkeit und Turbulenz am 10.06.2010

Ad 1) Das Gebiet zwischen den Ortschaften Balzers und Vaduz weist sehr hohe Windgeschwindigkeiten bei Föhn auf. Insbesondere das Gebiet zwischen Balzers und Triesen erscheint somit für die Nutzung der Windenergie attraktiv. Die Turbulenzwerte bewegen sich auf einem sehr niedrigen Niveau.

Ad 2) Um Weite ergeben sich Windgeschwindigkeiten von rund 20 m über die gesamte untersuchte Höhe. Da in diesem Gebiet die Turbulenzwerte niedrig sind, erscheint dieser Standort als eine weitere Option.

Ad 3) Der Schollberg weist durchgängig Strömungsgeschwindigkeiten über 20 m/s auf. Er wäre somit ein idealer Standort zumal die Turbulenz dort ebenfalls sehr niedrig ist.

Ad 4) Auch oberhalb des Gonzen in Richtung Alp Palfries liegen Windgeschwindigkeiten vor, welche eine Nutzung der Windenergie als sinnvoll erscheinen lassen. Dort entsteht jedoch am Gonzen eine Strömungsablösung, was zu recht hohen Turbulenzen führt. Somit erscheint dieser Standort weniger gut als die Standorte 1 bis 4. Ausserdem ist die Zugänglichkeit dort nicht unbedingt gegeben.

Ad 5) Das Gebiet um das Autobahnkreuz Sargans weist recht hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt jedoch mit zunehmender Höhe ab, was die Grösse der Anlage limitiert. Die Turbulenzwerte bewegen sich dort auf sehr niedrigem Niveau.

Ad 6) Strömungsgeschwindigkeiten von annähernd 20 m/s findet man in Heiligkreuz im Seetal. Dort nehmen die Windgeschwindigkeiten mit der Höhe rasch ab, womit die Windenergienutzung eingeschränkt ist.

Ad 7) Durchgängig über 20 m/s bis zur Höhe von 130 m über dem Erdboden betragen die Windgeschwindigkeiten um die Ortschaft Flums im Seetal. Es herrschen somit ideale Windgeschwindigkeiten und zudem sehr niedrige Turbulenzen. Leider ist dort die Besiedlungsdichte jedoch sehr hoch, was den Bau einer Windkraftanlage stark einschränkt.

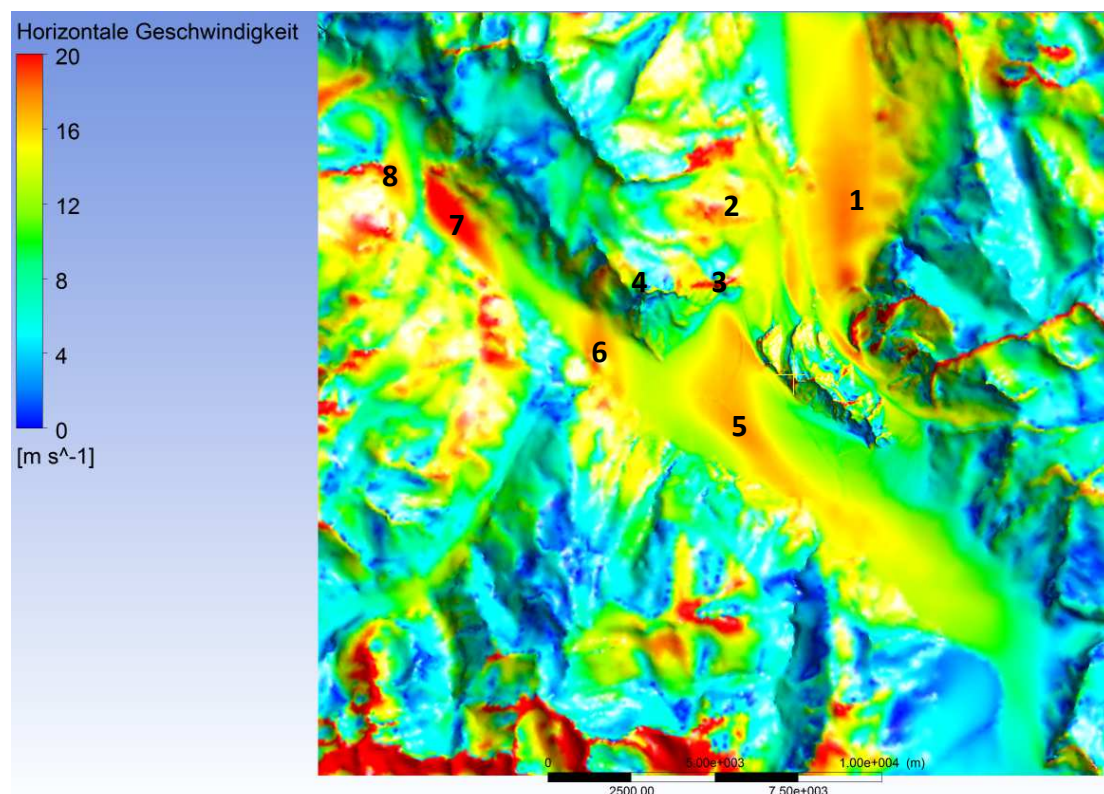


Bild 17 a: Horizontale Strömungsgeschwindigkeiten 10 m über Grund im Gesamtgebiet

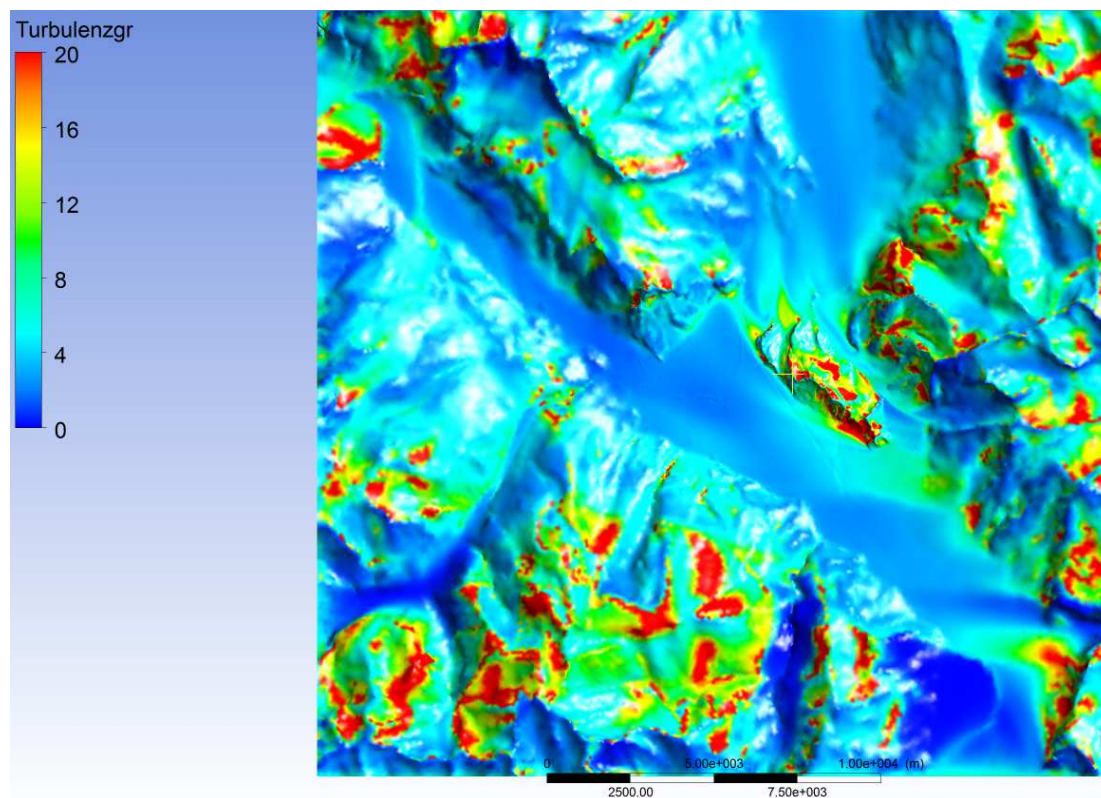


Bild 17 b: Turbulenzgrad 10 m über Grund im Gesamtgebiet

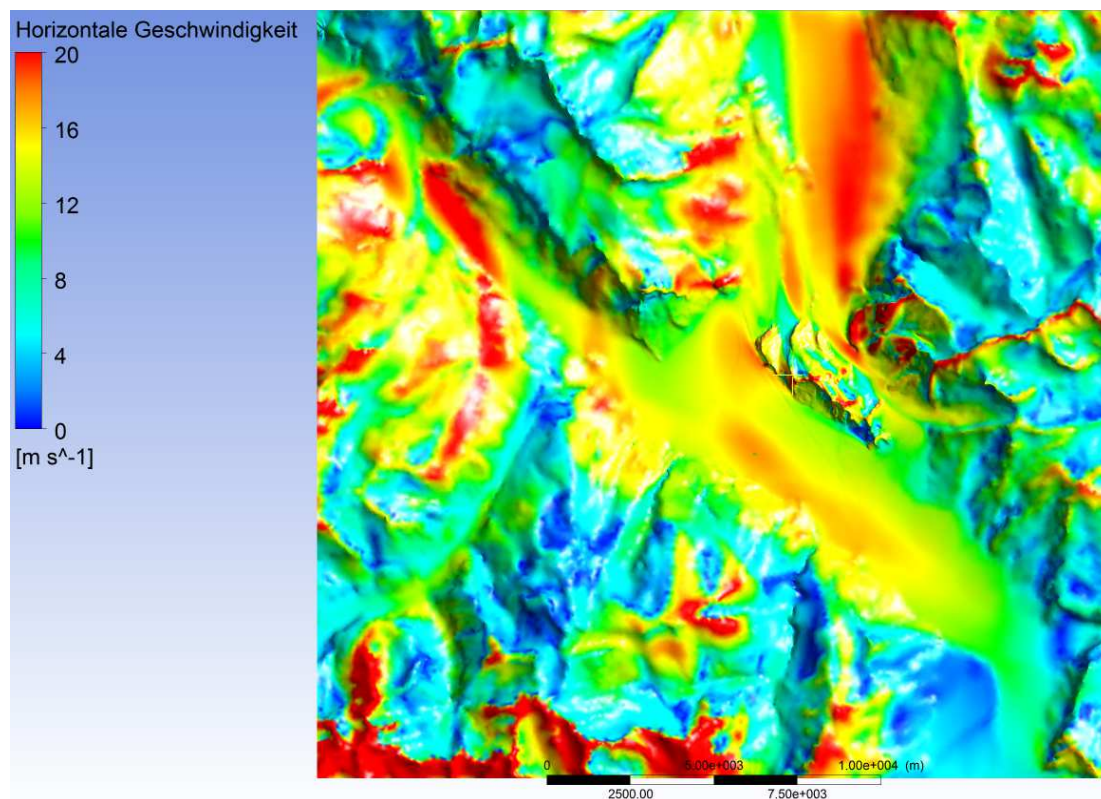


Bild 18 a: Horizontale Strömungsgeschwindigkeiten 50 m über Grund im Gesamtgebiet

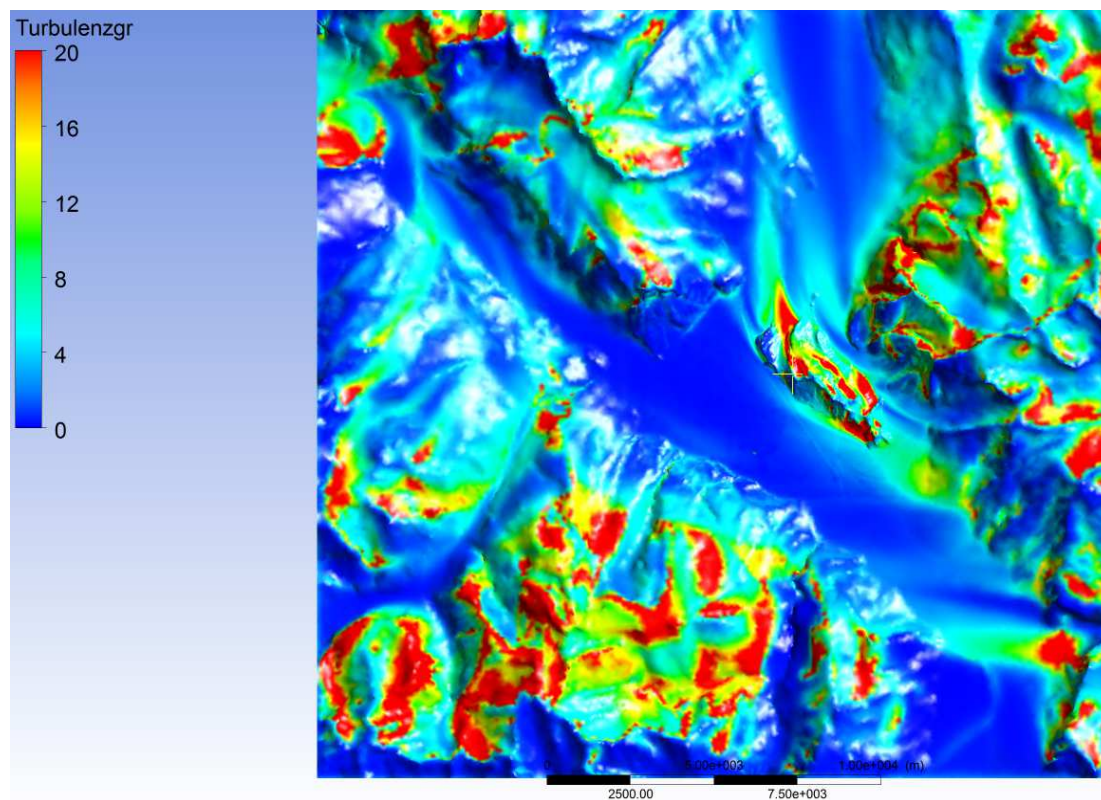


Bild 18 b: Turbulenzgrad 50 m über Grund im Gesamtgebiet

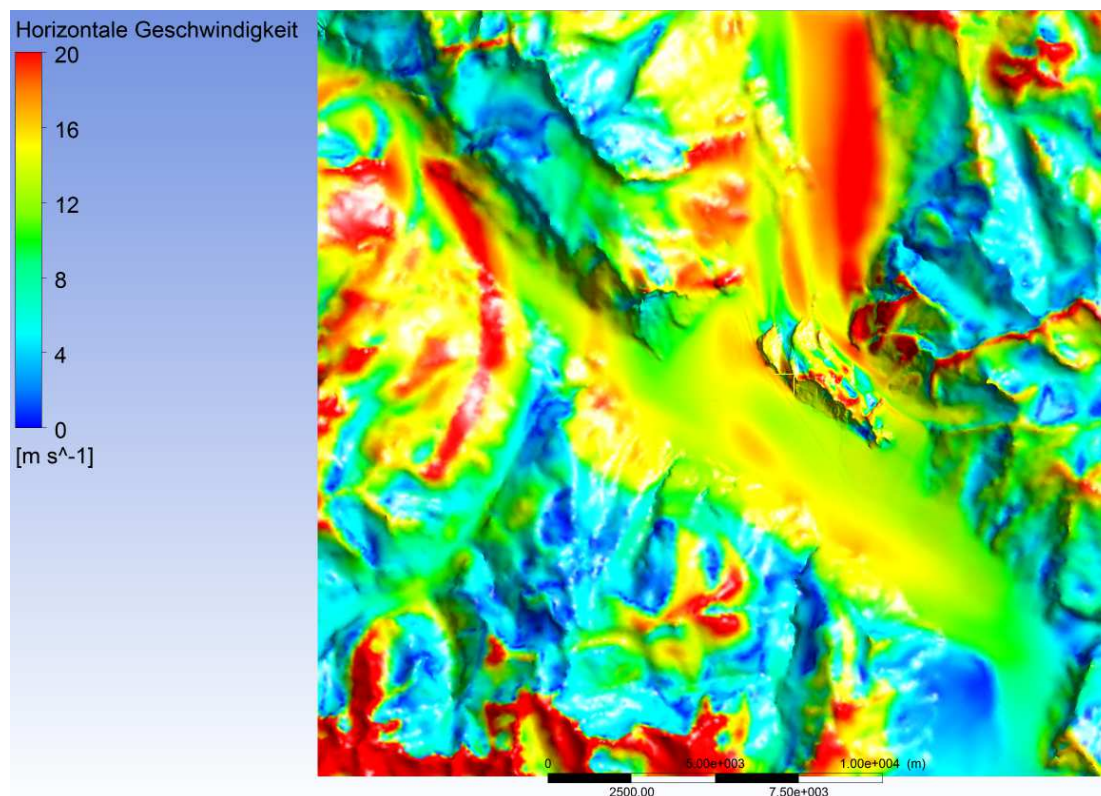


Bild 19 a: Horizontale Strömungsgeschwindigkeiten 90 m über Grund im Gesamtgebiet

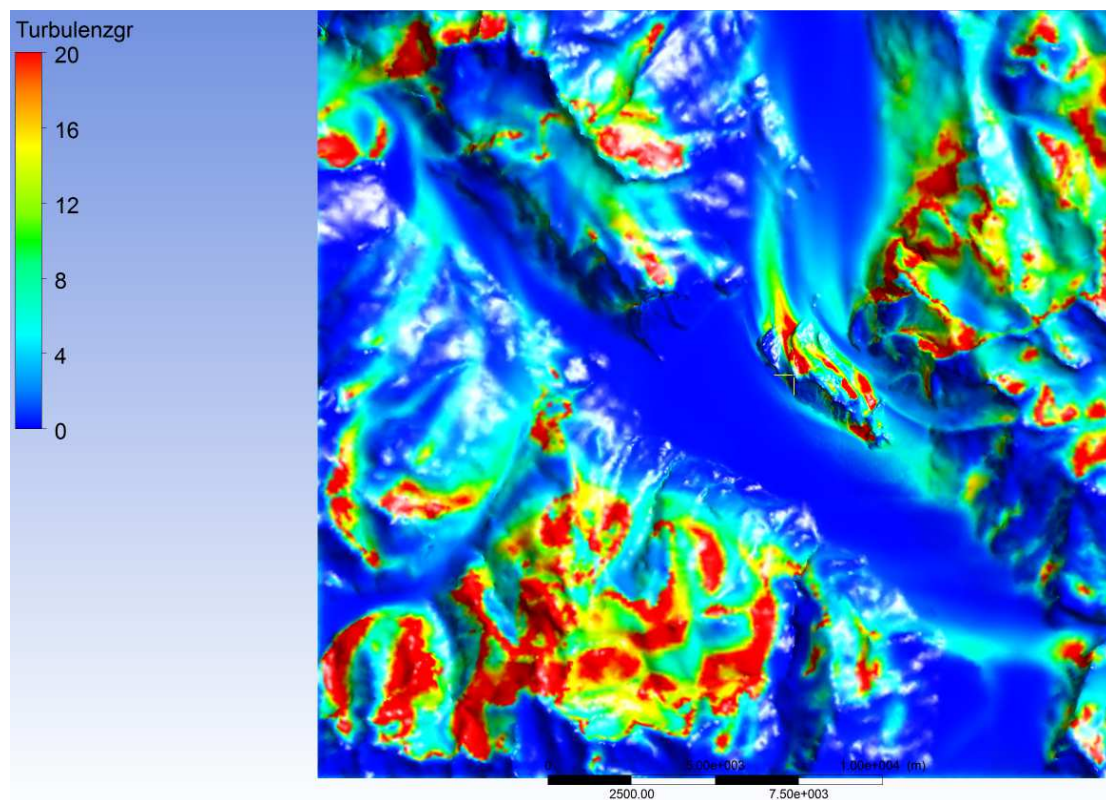


Bild 19 b: Turbulenzgrad 90 m über Grund im Gesamtgebiet

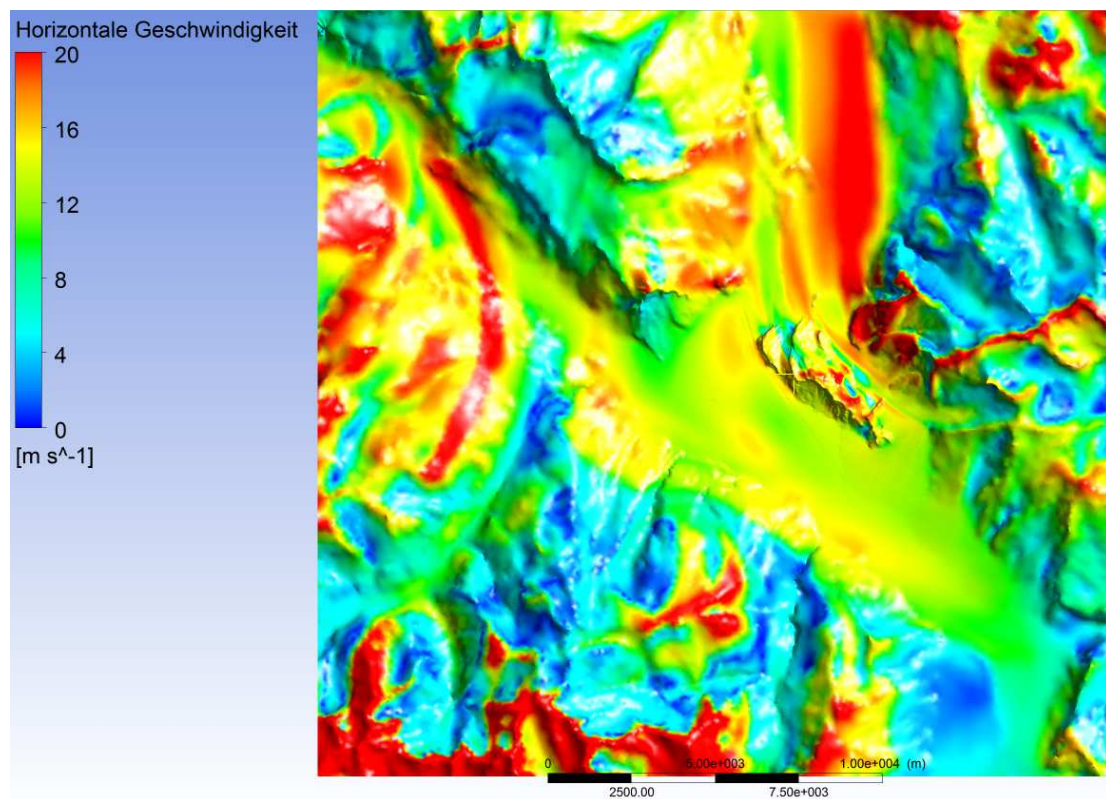


Bild 20 a: Horizontale Strömungsgeschwindigkeiten 130 m über Grund im Gesamtgebiet

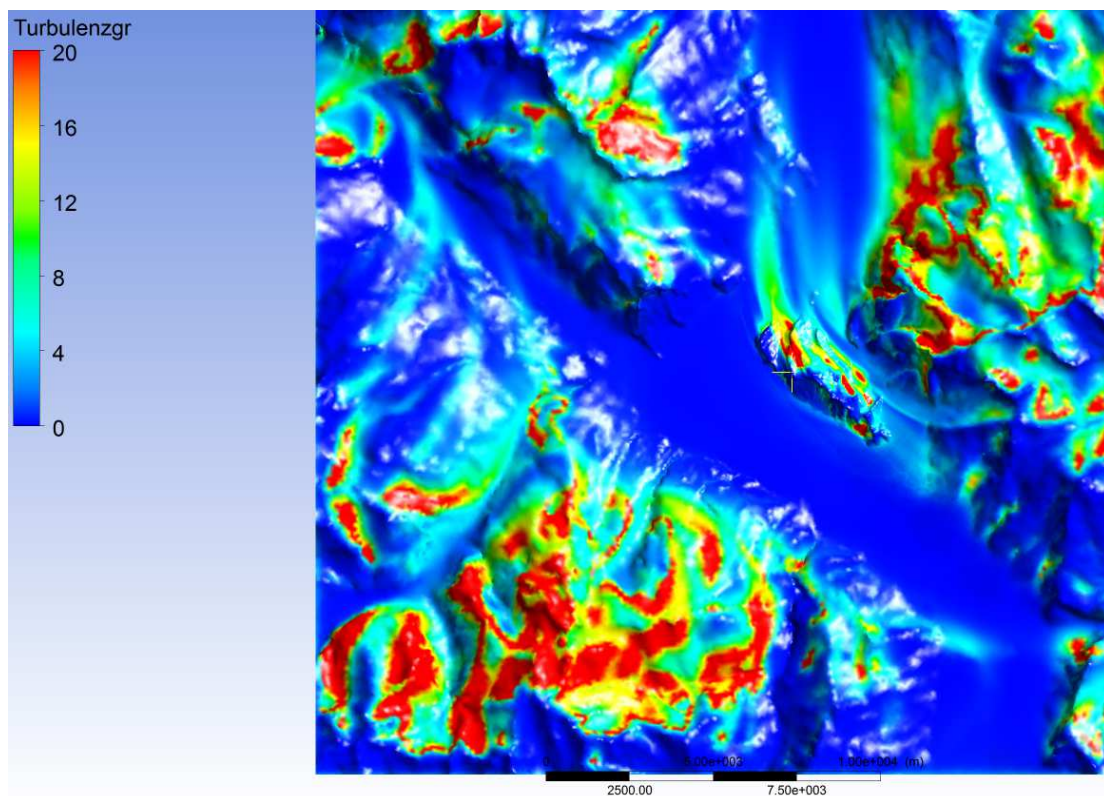


Bild 20 b: Turbulenzgrad 130 m über Grund im Gesamtgebiet

Ad 8) Nördlich von Flums findet sich ein weiteres Gebiet, an dem sich hohe Windgeschwindigkeiten in Verbindung mit niedrigen Turbulenzgraden finden. Auch hier wäre eine weitere Untersuchung der Windverhältnisse sicherlich sinnvoll.

Generell weniger vorteilhaft erscheint das Gebiet nördlich hinter dem Fläscherberg von Neugüeter Richtung Trübbach. Dies ist bedingt durch die Strömungsablösung am Fläscherberg verbunden mit einer Strömungsablösung in diesem Gebiet. Sie geht mit starken Turbulenzen einher, welche sich bis Weite erstrecken.

4.3.2 Bewertung einzelner Standorte

Anhand des Nestings sollen im Folgenden detailliert die Windverhältnisse an drei spezifischen Standorten untersucht werden. Es handelt sich dabei um die Alp Lida auf dem Fläscherberg sowie Ans und Fläscher Riet, welche beide in der Nähe von Balzers liegen. Dieses sind Standorte für Windkraftanlagen, welche bereits seit einiger Zeit diskutiert werden. Die Strömungssituation für die Standorte ist in den Bildern 21 a-d für unterschiedliche Niveaus über dem Erdboden in Form der horizontalen Windgeschwindigkeit dargestellt. Der Standort Alp Lida ist mit der Nummer 1, der Standort Ans mit der Nummer 2 und das Fläscher Riet mit der Nummer 3 gekennzeichnet.

4.3.2.1 Alp Lida (1)

Alp Lida zeigt ein räumlich stark eingegrenztes Feld mit hohen Windgeschwindigkeiten (Bilder 12 a-c). Diese resultieren aus der Verdrängung der Luftströmung durch den Fläscherberg und die daraus resultierende Beschleunigung der Strömung über die Felskante. An der Felskante selbst entsteht eine kleine Ablösezone, so dass die Geschwindigkeiten dort unmittelbar am Boden gering sind. In den höheren Luftmassen findet man jedoch Geschwindigkeiten von rund 20 m/s. Die Windverhältnisse sind in unmittelbarer Nähe zur

Felskante für die Nutzung der Windenergie am besten. Bedingt durch die starke lokale Beschleunigung der Luft und der damit verbundenen Scherströmungen entstehen hohe Turbulenzgrade, die für die Nutzung der Windenergie als nicht optimal zu bezeichnen sind. Die Anströmung erfolgt aus südöstlicher Richtung (Bild 22 a) und 10 m über dem Erdboden leicht nach unten gerichtet (Bild 22 b). Mit zunehmender Höhe dreht die vertikale Strömungsrichtung jedoch nach oben.

4.3.2.2 Ans (2)

Ans zeigt flächig hohe Windgeschwindigkeiten, welche ein sehr gutes Potential für die Nutzung der Windenergie darstellen. Da die Fläche um Ans mit der Windrichtung ansteigt, entsteht dort eine Staupunktströmung. Dies verhindert Ablösungen der Strömung, wodurch sich ein sehr niedriges Niveau für die Turbulenz ergibt. Die Anströmung erfolgt wie auf der Alp Lida aus südöstlicher Richtung. Die Strömung hat vertikal nur eine geringe Neigung.

4.3.2.3 Fläscher Riet (3)

Im Fläscher Riet sind lokal ebenfalls sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten zu finden. Die Strömung wird um die östliche Bergflanke unterhalb von Ans abgelenkt und beschleunigt. Die dort entstehende Strähne mit hohen Windgeschwindigkeiten erweist sich jedoch als sehr instabil und schwankt stark über der Zeit in ihrer Lage. Somit fällt es schwer, einen idealen Standort für eine Windturbine festzulegen. Bezüglich der Turbulenz bewegt sich der Standort auf einem sehr moderaten Niveau. Die Strömungsrichtung ist Süd und die Strömung verläuft nahezu waagrecht.

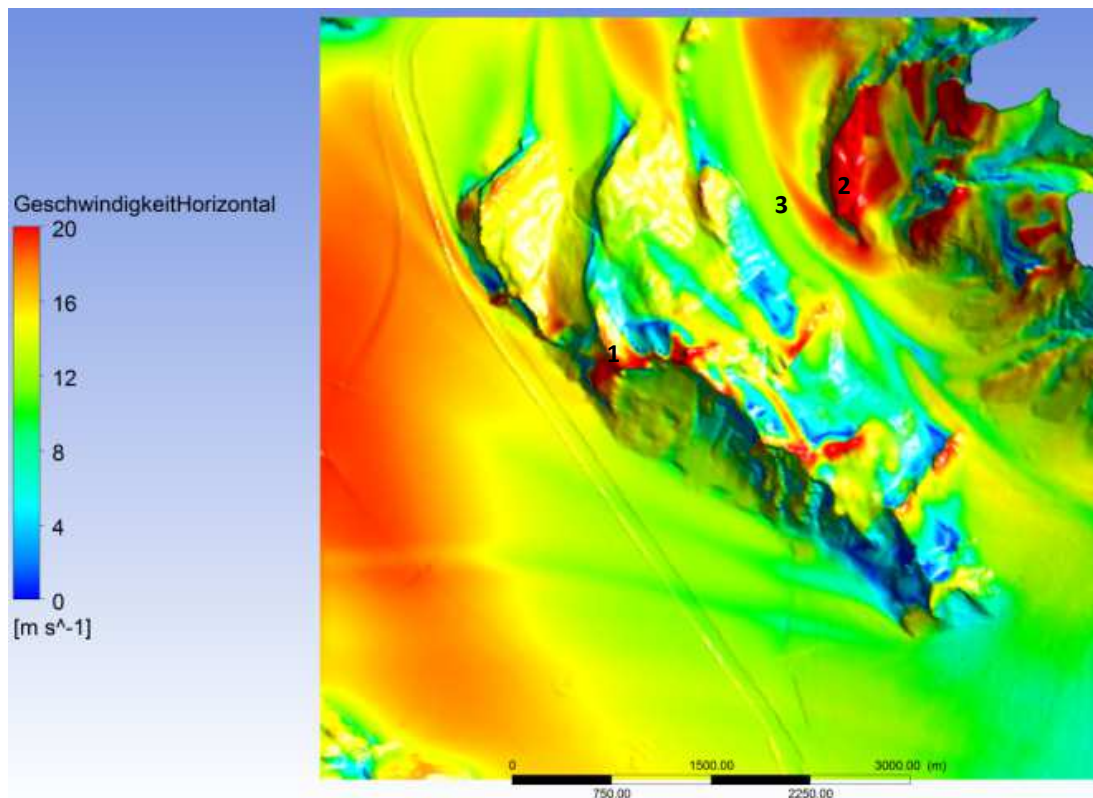


Bild 21 a: Horizontale Geschwindigkeit auf 30 m über Erdboden

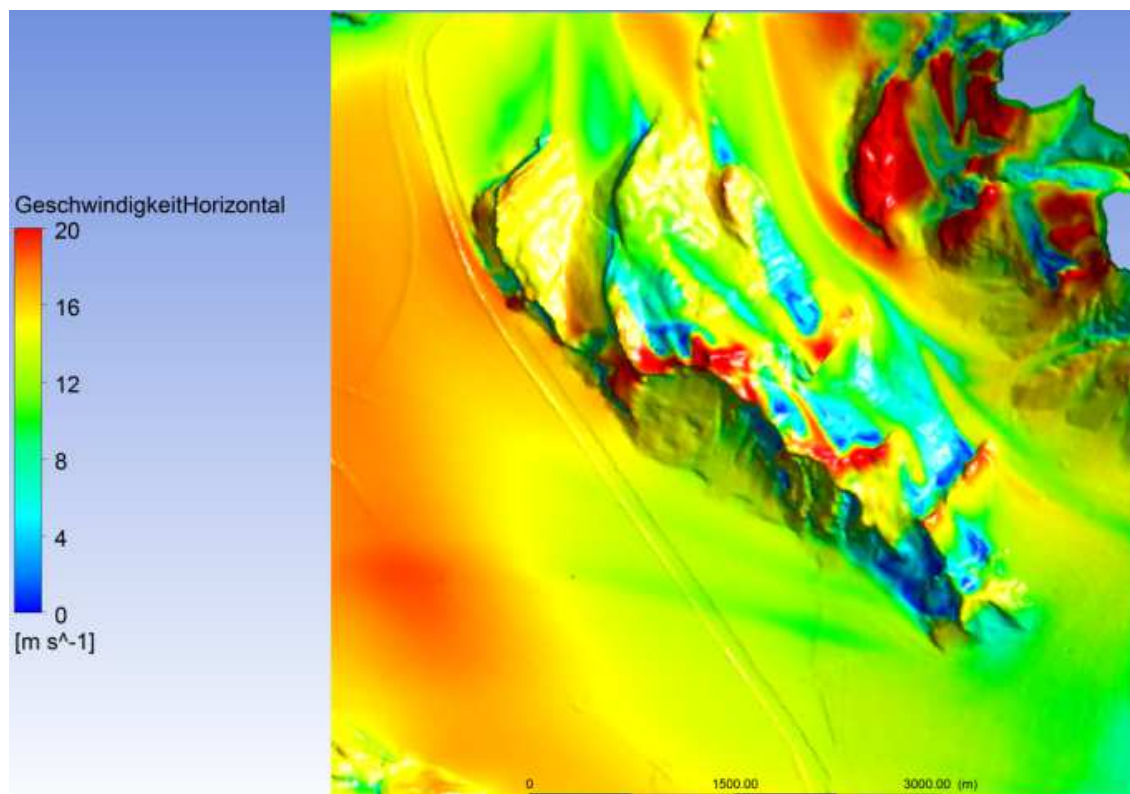


Bild 21 b: Horizontale Geschwindigkeit auf 50 m über Erdboden

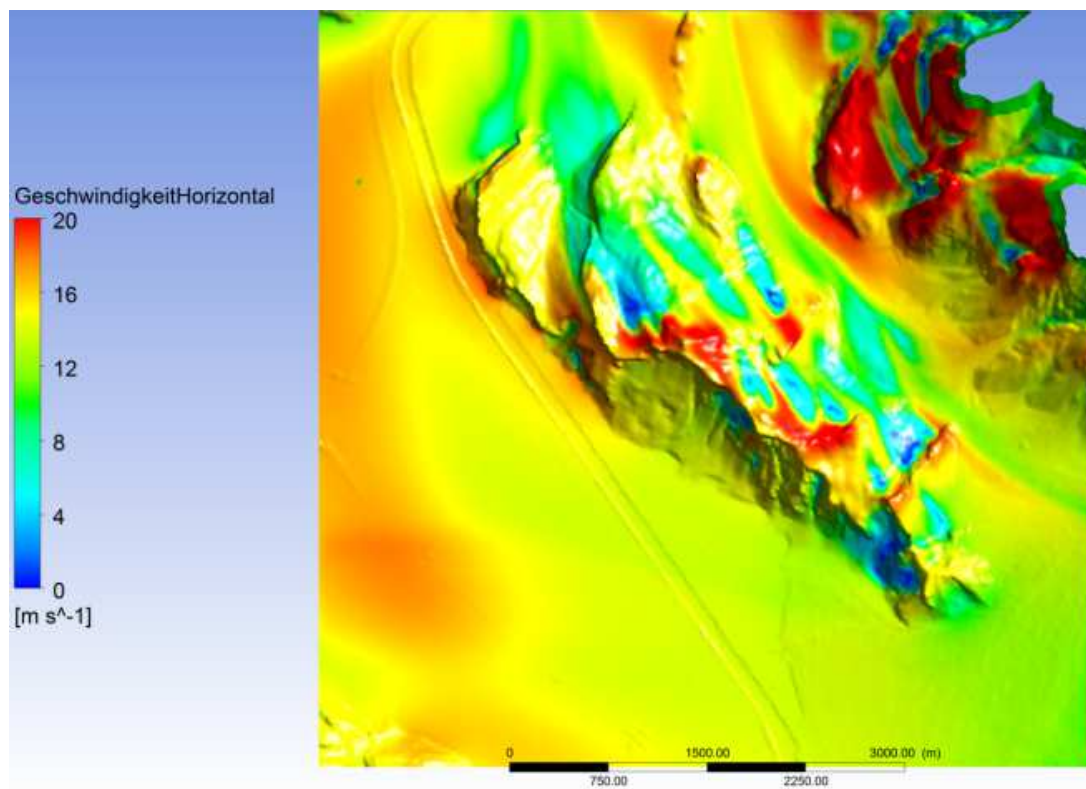


Bild 21 c: Horizontale Geschwindigkeit auf 90 m über Erdboden

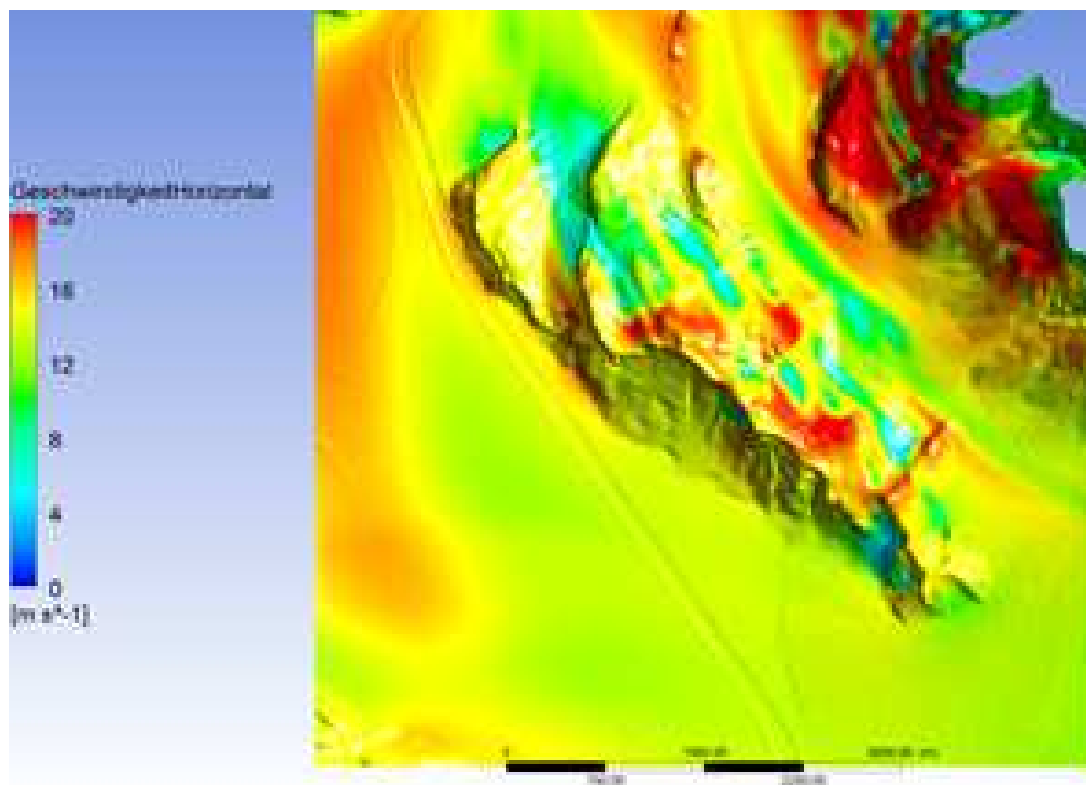


Bild 21 d: Horizontale Geschwindigkeit auf 130 m über Erdboden

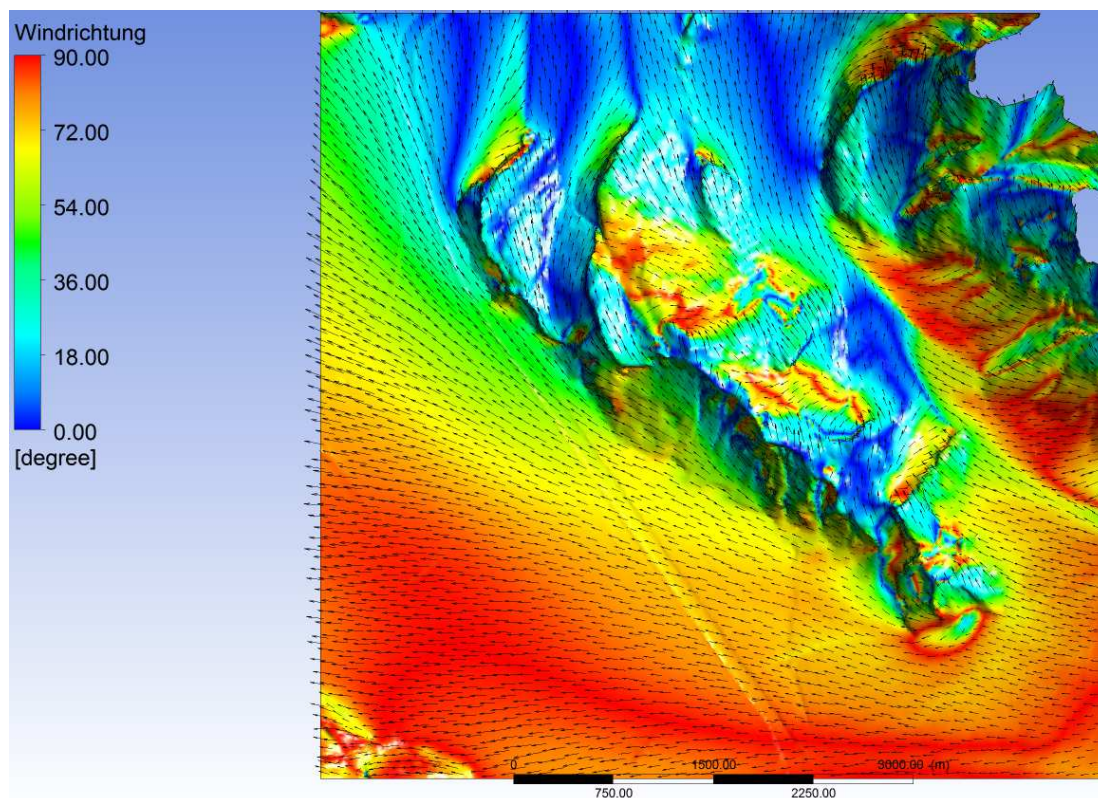


Bild 22 a: Betrag der Windrichtung 10 m über Grund

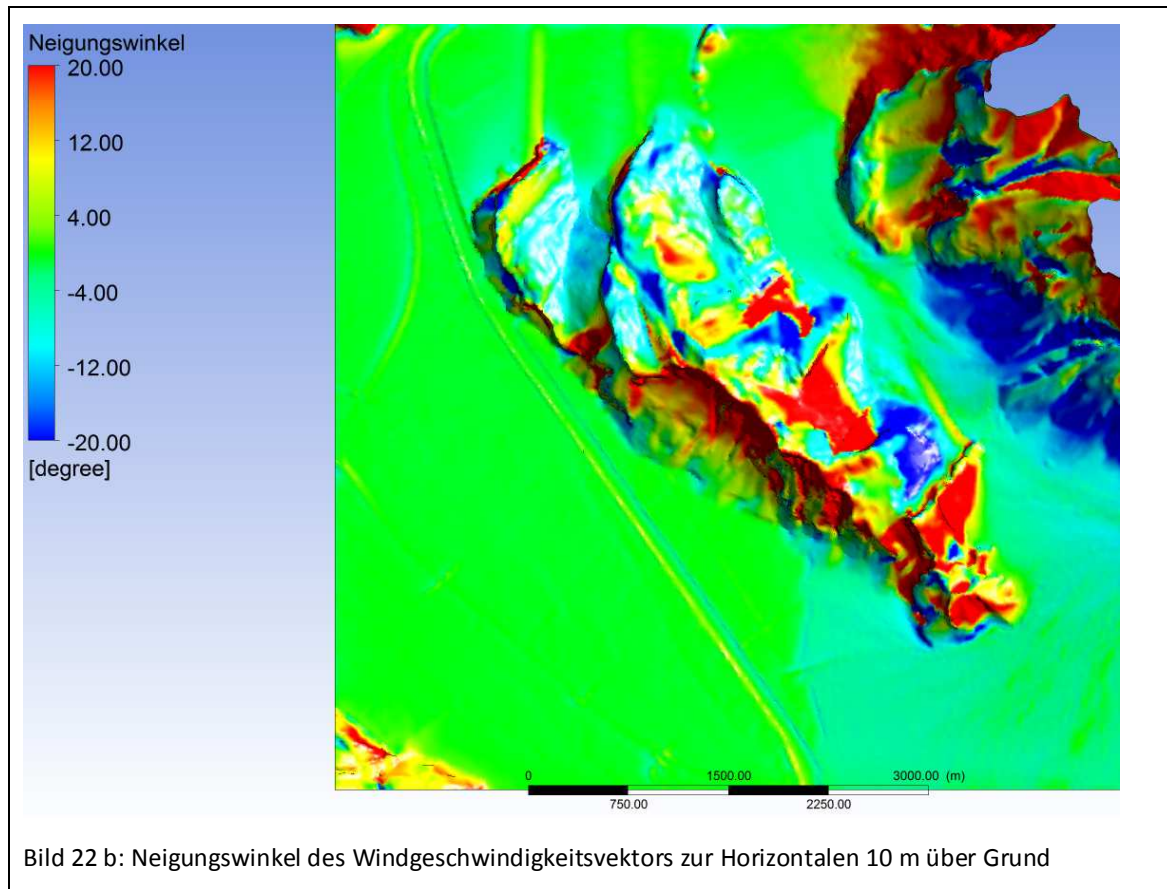


Bild 22 b: Neigungswinkel des Windgeschwindigkeitsvektors zur Horizontalen 10 m über Grund