

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 100 (2002)

Heft: 12

Artikel: 3D-Visualisierung zur Beurteilung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen

Autor: Ulm, K. / Lange, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235948>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

3D-Visualisierung zur Beurteilung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen

Der Windkraft als alternative Energiequelle stehen Vorbehalte des Natur- und Landschaftsschutzes entgegen, weil Windkraftanlagen als technische Bauwerke einen Eingriff in das Landschaftsbild verursachen. Anhand eines aktuellen Windkraftprojektes auf dem Gotthardpass in der Schweiz werden computergestützte 3D-Visualisierungen möglicher Anlagetypen und -kombinationen durchgeführt, um den Eingriff in das Landschaftsbild detaillierter beurteilen zu können. Mit Hilfe einer Bewertung der Visualisierungen und dem dargestellten Landschaftseingriff, welche in Form einer Umfrage im World Wide Web realisiert wird, werden Massnahmen für eine optimale Integration von Windkraftanlagen in das Gotthardgebiet vorgeschlagen.

Les milieux de la protection de la nature et du paysage ont une attitude réservée face à la source d'énergie alternative que représente la force du vent, car les installations éoliennes, comme bâtiments techniques, constituent une entrave au paysage. A l'aide d'un projet d'éoliennes au col du Saint-Gothard en Suisse on procède à la visualisation 3D de différents types et combinaisons d'installations afin de pouvoir évaluer de façon plus détaillée l'impact sur le paysage. A l'aide d'une échelle des visualisations et de l'impact visualisé sur le paysage, réalisé sous forme d'une enquête dans le World Wide Web, des mesures d'intégration optimale sont proposées pour les éoliennes de la région du Saint-Gothard.

L'energia eolica, come fonte energetica alternativa, si confronta a riserve legate alla protezione della natura e del paesaggio perché gli impianti che la generano hanno un impatto strutturale sull'immagine del paesaggio. Grazie ad un attuale programma di energia eolica sul passo del San Gottardo, si stanno realizzando delle visualizzazioni tridimensionali di vari modelli e combinazioni di impianti per riuscire a valutare in dettaglio l'impatto sul paesaggio. Dopo aver eseguito una valutazione delle visualizzazioni e della loro rappresentazione dell'influsso sul paesaggio – cosa che avverrà sotto forma di un sondaggio nel World Wide Web – si presenteranno delle proposte per l'integrazione ottimale sul San Gottardo degli impianti generatori di energia eolica.

K. Ulm, E. Lange

1. Ausgangslage

Über die optimale Integration von Windkraftanlagen in die Landschaft wird heftig debattiert. Auf der Seite der Windkraftgegner unterstützt die Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL-FP) grundsätzlich die Windenergie als alternative Energiequelle, hat jedoch Vorbehalte bezüglich des Landschaftsschutzes vor allem bei

grösseren Anlagen ab 60 Meter Gesamthöhe [SL-FP 2001]. Dagegen möchte die Schweizerische Vereinigung zur Förderung der Windenergie (Suisse Eole) sowohl den landschaftsverträglichen Einsatz von Windkraftanlagen als auch grössere, wirtschaftlich interessantere Anlagen fördern [Suisse Eole 2001]. Im Vorfeld der vorliegenden Untersuchung wurden im Raum Gotthard-, Grimsel- und Oberalppass geeignete Standorte für Windkraftanlagen ermittelt [Meier, Ulm 2001], wobei relevante Kriterien für

eine nachhaltige Standortwahl beim Bau einer Anlage behandelt wurden (Erschliessung durch Strassen und Elektrizität, Exposition, Schutzgebiete, Lärm, Sicherheit, bestehende optische Belastung etc.). Im Gebiet des Gotthardpasses erfüllen einige Standorte die gestellten Anforderungen und Windmessungen identifizierten ein über den Erwartungen liegendes Windpotenzial. Für die vorliegende Studie wird der Gotthardpass aufgrund eines aktuellen Projektes als Modellstandort ausgewählt.

2. 3D-Modellierung

Die 3D-Modellierung und Visualisierung erfolgt mit der Software 3D Studio MAX [Autodesk 2001]. Sie ist in der Praxis der Landschaftsmodellierung relativ weit verbreitet (in Verbindung mit geeigneten Zusatzinstrumenten wie z.B. AutoCAD Land Development Desktop).

Das virtuelle 3D-Modell besteht aus den Komponenten Höhenmodell, Orthophoto und 3D-Objekte (Windkraftanlagen und Hochspannungsmasten). Das verwendete DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie wird mit der GIS-Software ARC/INFO aufbereitet und anschliessend als Punktwolke (mit Hilfe des Plug-Ins «Terrain Mesh Import») in 3D Studio MAX importiert. Das Höhenmodell wird in einen Nahbereich und einen Fernbereich aufgeteilt. Dank dieser Differenzierung kann der Detaillierungsgrad im wichtigen Nahbereich grösser gewählt und im Fernbereich die Datenmenge gleichzeitig reduziert werden.

Beim Orthophoto (Swissphoto) handelt es sich um ein einstufig bildbearbeitetes entzerrtes Luftbild mit einer Pixelauflösung von 75 cm. Um die Situation möglichst realitätsgerecht abzubilden, werden die Windkraftanlagen mit Rohrmasten sowie mit Gittermasten gemäss zwei Originalanlagen von Vestas [Vestas 2001] mit Hilfe von 3D Studio MAX nachgebildet und gemäss den Angaben der projektierenden Firma im Gelände platziert. Ebenfalls werden CAD-Daten der sich auf dem Gottard befindenden Hochspannungsmasten von einer Ingenieurfirma zur Verfü-

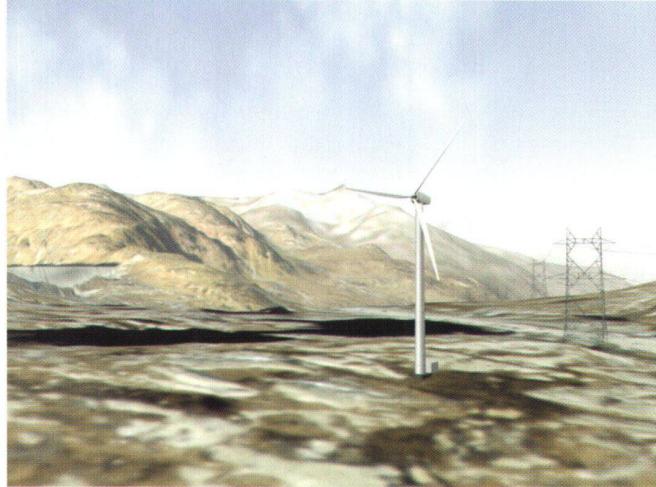


Abb. 1: Eine Windkraftanlage (Masthöhe: 40 Meter, Rotor-durchmesser: 40 Meter), Hypothese 1.

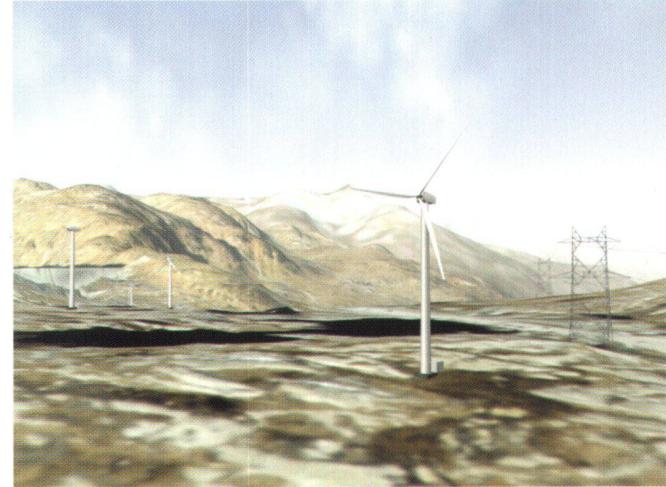


Abb. 2: Vier Windkraftanlagen gleicher Grösse (Windpark), Hypothese 1.

gung gestellt und entsprechend den realen Standorten positioniert.

Sind alle 3D-Objekte in der Szene vereint, können mit Hilfe von virtuellen Kameras Bilder von beliebigen Standpunkten aus und in beliebige Blickrichtungen gemacht werden. Um die meteorologischen Gegebenheiten des Gotthardgebiets näherungsweise in den virtuellen Bildern einzufliessen zu lassen, wird im Modell zusätzlich Nebel simuliert.

3. Umfrage im World Wide Web

Die Bewertung der Landschaftsvisualisierung wird mit Hilfe einer Internet-gestützten Umfrage realisiert. Um möglichst viele in die Windkraft-Problematik involvierte Personen zu erreichen, wird bei der Schweizerischen Vereinigung zur Förderung der Windkraft (Suisse Eole) und bei der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL-FP) sowie bei weiteren Experten auf die Umfrage aufmerksam gemacht. Außerdem werden alle Studenten und Doktoranden aller Studiengänge der ETH Zürich kontaktiert und die Umfrage im Forum der Landschaftsarchitekten (LAFORUM-L) der Universität Karlsruhe bekannt gegeben. Die Web-Umfrage kann in inaktiviertem Zustand auf www.windkraft.ch.tf betrachtet werden.

4. Ergebnisse der Umfrage

Durch die Umfrage sollen aufgestellte Hypothesen überprüft und allgemeine Standpunkte hinsichtlich Windkraft und Landschaftsschutz evaluiert werden. Einige Anhaltspunkte zur Qualität und Realitätsnähe der virtuellen Bilder sollen erhalten werden, um die Eignung der Umfrage zu prüfen.

Innerhalb von sechs Tagen sind nahezu 1700 Antworten eingegangen. Davon sind 75% männliche Teilnehmer und 70% zwischen 20 und 30 Jahre alt. Aus allen Kantonen sind Antworten eingegangen, vor allem aber aus den Stadt-Kantonen (Zürich, Bern, Basel etc.). 8% der Beteiligten leben im Ausland, davon sind über drei Viertel aus Deutschland, wo schon einige Erfahrung mit Windkraft und deren landschaftsästhetischen Konflikten vorhanden ist. Die Qualität und Realitätsnähe der virtuellen Bilder werden von der ganzen Stichprobe mit genügend bis gut bewertet.

Hypothese 1: Einzelanlage und Windpark Unabhängig von der Anzahl werden Windkraftanlagen als Eingriff in das Landschaftsbild beurteilt, da in der Bevölkerung eine grundsätzliche Haltung für oder gegen das Erscheinungsbild von Windkraftanlagen vorhanden ist (Abb. 1, 2).
Ergebnis der Befragung:

Die Gültigkeit der aufgestellten Hypothesen muss verneint werden. Der Eingriff durch einen Windpark mit vier Anlagen wird allgemein als störender empfunden als durch eine Einzelanlage gleicher Größe. Zu betonen ist, dass von über 70% der Befragten die Einzelanlagen und der Windpark als wenig bis eher wenig störend bezeichnet wird, was als positiver Aspekt für die Windkraftnutzung zu notieren ist.

Hypothese 2: Grössenwahrnehmung Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes wird unabhängig von der Größe der Anlage empfunden, da durch das Ausbleiben von Vergleichsgrössen in einer gebirgigen und strukturarmen Landschaft die effektiven Grössen schwer wahrnehmbar sind (Abb. 3, 4).

Ergebnis der Befragung:
Die Wahrnehmung der relativen Größe (60 Meter im Vergleich zu 120 Meter) ist zwar für einen grossen Teil der Befragten möglich, interessanterweise wird aber die Beeinträchtigung von 35% als gleich empfunden. Dies deutet darauf hin, dass die Anlagen von diesen Testpersonen eher grundsätzlich als störend empfunden werden und die jeweilige Größe der Anlage nur eine nebенästhetische Rolle spielt. Es ist anzumerken, dass bei der Umfrage die Bilder der Anlagen aufgrund der verwendeten Technik von Pop-up Fenstern

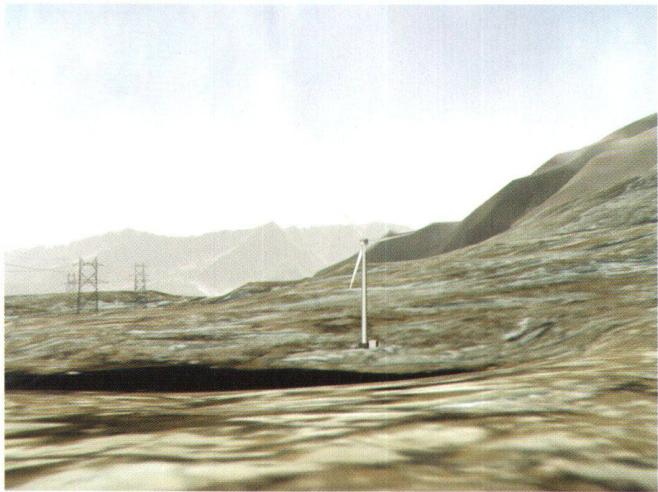


Abb. 3: Mittlere Windkraftanlage (Masthöhe: 40 Meter, Rotordurchmesser: 40 Meter), Hypothese 2.

nicht direkt nebeneinander verglichen werden konnten.

Hypothese 3: Rohrmast und Gittermast
Windkraftanlagen mit Rohrmasten wirken zwar aus der Nähe betrachtet ästhetischer, jedoch lösen sich die Konturen von Gittermasten mit zunehmender Entfernung vom Beobachter scheinbar auf. Der Eingriff in das Landschaftsbild wird dementsprechend bei Windkraftanlagen mit Rohrtürmen aus der Nähe, bei Anlagen mit Gittermasten aus der Ferne als weniger störend empfunden (Abb. 5, 6).

Ergebnis der Befragung:

Gittermasten werden aus der Nähe wie auch aus der Ferne als störender empfunden als Rohrmasten. Die Beeinflussung des Landschaftsbilds ist bei Konstruktionen mit Gittermasten entsprechend grösser.

Hypothese 4: Farbgebung

Nach oben aufhellende Farbverläufe fördern die atmosphärische Auflösung der Rohrmasten in die Ferne und vermindern den Eingriff in das Landschaftsbild, wobei eine starke Abhängigkeit vom Anlage- und Beobachterstandort und dem jeweiligen Landschaftstyp zu verzeichnen ist (Abb. 7).

Ergebnis der Befragung:

Weisse Masten sowie Masten mit einem grauen Farbverlauf werden als gut verträglich mit dem Landschaftsbild gewer-

tet. Die Hypothese kann aufgrund des guten Ergebnisses für den grauen Verlauf als bestätigt betrachtet werden, wobei anzubringen ist, dass die Akzeptanz der Farbgebung stark vom vorhandenen Landschaftstyp abhängig ist.

Hypothese 5: Windkraftanlagen gleicher Energieproduktion

Eine grosse Windkraftanlage wird der verteilten Nutzung durch einige kleine Anlagen mit vergleichbarer Energieproduktion vorgezogen.

Ergebnis der Befragung:

Die Antworten erlauben keine klare Aussage, ob eine grosse Anlage oder mehrere kleine Anlagen bevorzugt wird, es ist aber eine schwache Tendenz in Richtung Bevorzugung einer grossen Windkraftanlage zu verzeichnen.

5. Optimale Integration von Windkraftanlagen in die Landschaft

Gemäss der Umfrage wird der Eingriff durch Windkraftanlagen allgemein als eher wenig störend empfunden, wobei dieses Resultat sicher standortabhängig ist, da es sich beim Untersuchungsgebiet bedingt durch die Strommasten um einen Raum mit einer landschaftsästhetischen Vorbelastung handelt. Es kommt hinzu, dass in der Schweiz bisher kaum Windkraftanlagen errichtet wurden. Die Über-



Abb. 4: Grosse Windkraftanlage (Masthöhe: 80 Meter, Rotordurchmesser: 80 Meter), Hypothese 2.

tragung der Erkenntnisse auf ähnliche Landschaftstypen mit bestehender optischer Vorbelastung (z.B. Hochspannungsmasten, Staudamm etc.) ist begrenzt zulässig.

Der Eingriff durch einen Windpark mit vier Anlagen wird allgemein als störender empfunden als der Eingriff durch eine Einzelanlage (siehe Hypothese 1). Auch grosse Anlagen werden als solche erkannt und stellen eine grössere Beeinträchtigung des Landschaftsbildes dar.

Es ist daher zu empfehlen, im Vorfeld jeder Planung eines Windkraftprojektes zu ermitteln, wie viel Leistung durch die Turbinen produziert werden soll, um die für den projektierten Standort optimale Anzahl und geeignete Grösse einzugrenzen. Was die Ästhetik betrifft, liegen klare Vorteile bei den Windkraftanlagen mit Rohrmasten, da Konstruktionen mit Gittermasten oftmals mit Hochspannungsmasten verglichen werden. Durch die Verwendung von Rohrkonstruktionen kann zumindest ein charakteristisches Erscheinungsbild von Windkraftanlagen erreicht werden.

Ein grosses Potenzial zur Verminderung der Landschaftsbeeinträchtigung durch Windkraftanlagen liegt in der Farbgebung des Mastes. Die herkömmlich verwendete weisse Farbgebung wird vergleichsweise gut akzeptiert, wohl nicht zuletzt wegen der Unterstützung des technischen Charakters der Anlage. Gute



Abb. 5: Windkraftanlage mit Rohrmast (nah), Hypothese 3.

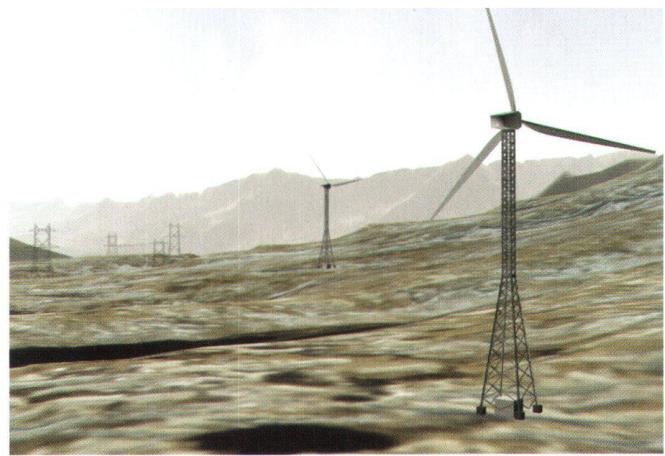


Abb. 6: Windkraftanlage mit Gittermast (nah), Hypothese 3.

Ergebnisse können mit nach oben hin aufhellenden Farbverläufen erzielt werden. Anzustreben ist eine standortspezifische Farbgebung je nach Landschaftstyp. Grundsätzlich ist jedoch zu betonen, dass es praktisch nicht möglich ist, Windkraftanlagen vor dem Betrachter zu verstecken – vor allem wegen ihrer Grösse, der Bewegung der Rotorblätter und der jahreszeitlich bedingten farblichen Veränderung der Landschaft.

6. Ausblick

Zur Zeit stellen Windkraftwerke vielfach noch ein ungewohntes Erscheinungsbild dar. In Deutschland sind Windkraftanlagen in den vergangenen Jahren wie Pilze aus dem Boden geschossen. Es ist zu vermuten, dass eine breite Akzeptanz nur erzielt werden kann, wenn die Windkraftanlagen generell als Symbol für eine saubere Energieproduktion angesehen werden. Andererseits sollten gerade landschaftlich sensible Bereiche gemieden werden.

Durch die Ausscheidung von Vorranggebieten für die Windkraftnutzung auf der Ebene der Richtplanung könnte die Wahl von geeigneten Standorten erleichtert und instrumentalisiert werden. Ergänzend dazu könnten durch eine Visualisierung auf der detaillierten Projektebene bereits in einer frühen Phase der Planung möglicherweise viele Vorbehalte gegenüber Windkraftanlagen und deren Konfliktpotenzial mit dem Landschaftsschutz abgebaut werden.

Für eine umfassende Bewertung des Landschaftseingriffes ist zusätzlich zur statischen Visualisierung auch eine Animation der drehenden Rotorblätter wünschenswert, da diese für den visuellen Eindruck von Windkraftanlagen eine entscheidende Rolle spielen.

Dank

Der Studie liegt ein aktuelles Projekt der NEK Umwelttechnik AG zugrunde. Für die gute Zusammenarbeit sei herzlich gedankt. Bedanken möchten wir uns auch bei der Colenco Power Engineering AG (Baden) für die Bereitstellung der Daten der Hochspannungsmasten.

Anmerkungen:

DHM25 © swisstopo (BA024771)

Orthophoto © Endoxon AG

Web Umfrage und detaillierte Resultate: www.windkraft.ch.tf

Literatur:

- Meier P., Ulm K. (2001): Standortevaluation für Windkraftnutzung, Semesterarbeit ETH Zürich, 36 Seiten und Anhang.
 SL-FP (2001): Windkraft und Landschaftsschutz, Positionspapier der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, 2 Seiten.
 Suisse Eole (2001): Windkraft und Landschaftsschutz, Positionspapier der Schweizerischen Vereinigung zur Förderung der Windenergie, 4 Seiten.

Links:

- Autodesk (2001): www.autodesk.ch
 Vestas (2001): www.vestas.com

Kilian Ulm
 Zweierrstrasse 15/3
 CH-8004 Zürich
 kilian.ulm@gmx.ch

Dr. Eckart Lange
 Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung (IRL)
 ETH Zürich
 CH-8093 Zürich-Hönggerberg
 lange@irl.arch.ethz.ch

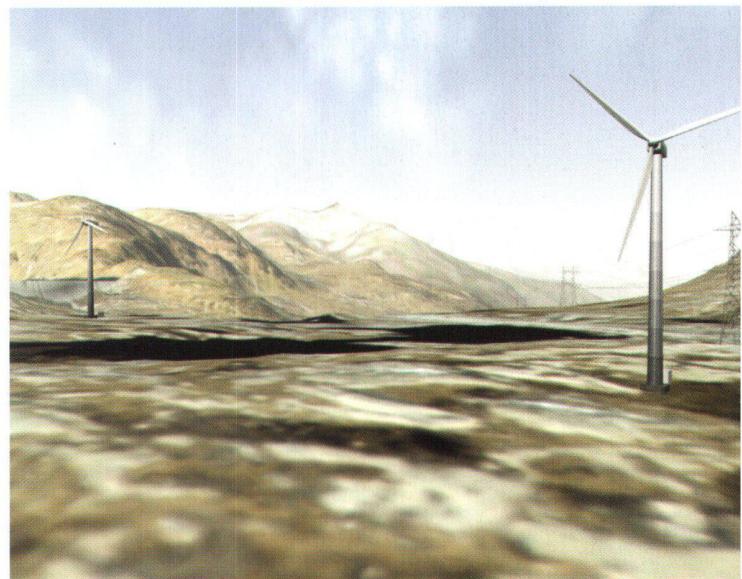


Abb. 7: Windkraftanlage mit grauem Verlauf, Hypothese 4.