

Visual-acoustic simulation for landscape impact assessment of wind parks

Doctoral Thesis

Author(s):

Manyoky, Madeleine

Publication date:

2015

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010497623>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH NO. 22725

**VISUAL-ACOUSTIC SIMULATION FOR LANDSCAPE IMPACT
ASSESSMENT OF WIND PARKS**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

MADELEINE MANYOKY

MSc ETH Geom Eng, ETH Zurich

born on 11.07.1986

citizen of Basel, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey, examiner

Dr. Ulrike Wissen Hayek, co-examiner

Prof. Dr. Robert G. Ribe, co-examiner

2015

Summary

For a sustainable use of natural energy resources, renewable energies are becoming more important. Energy policies have changed in Europe and the US since the early 1970s, mainly driven by the oil crisis and later by reported risks due to climate change. Furthermore, the incident of the nuclear power plant Fukushima in March 2011 widely increased the effort of using renewable energy. In Switzerland, the Federal Council and Parliament decided in 2011 a step-wise withdrawal from nuclear energy and an adaptation of the Swiss energy system by 2050: the final energy and power consumption should be reduced, the amount of renewable energy enhanced, and the energy-related CO₂-emissions should be depleted. The Swiss Energy Law EnG is intended to ensure an economic and sustainable provision and distribution of energy, an economic and rational energy use, and an increased use of renewable energies. There is a strong political tendency in Switzerland to consistently exploit the existing energy efficiency potentials and to use renewable energy sources in a balanced and sustainable way.

The energy turnaround is increasingly encountered in spatial and landscape developments, as renewable energies, such as water, wind, and solar suppliers, have a direct effect on landscapes. Landscape, as defined by the European Landscape Convention, is the area perceived by people, whose character is the result of the action and interaction of natural and/or human factors. Landscapes provide important services, such as food and timber production, fresh water supply, and recreational opportunities, which contribute to human well-being. Human landscape perception, cognition, and values are affected by the landscape. Therefore, cultural landscape values arise from people's experiential and social values present in landscapes and contribute to cultural identity and diversity. Cultural landscape values are based on the landscape characteristic (landscape form), the human-landscape relationship (sense of place, aesthetics), and the practices in landscapes (recreation). Due to several factors including the expansion of settlement, production and transportation areas, or the intensification of agriculture causing a continuing pressure on the land, the quality of landscape services is affected. The expansion of renewable energies has an impact on the landscape as well, primarily caused by installations for power generation and infrastructure for distributing the electrical power. As the landscape development has direct influence on our living environment and thus potentially on our well-being, future land use has to be carefully and comprehensively planned to reach a sustainable landscape development.

In Switzerland, the implementation of wind energy proceeds very slowly due to objections of local stakeholders and organizations. One reason is that planning projects are often facing major rejection by the local public due to impacts of wind turbines and top-down planning processes. Concepts and procedures of impact assessments of wind parks mainly have the focus on identifying potentially suitable areas on the basis of economic-technical and environmental criteria. Clearly, top-down planning approaches fail to consider the public's judgment about the assessment of wind park impacts in particular places. As in Switzerland the public has the possibility to vote on planning decisions, such as renewable energy infrastructures, numerous projects are refused. How can landscape impact assessments of planned wind parks be enhanced in order to determine sustainable and socially accepted locations?

An environmental impact assessment in Switzerland comes into action when planned wind energy installations produce more than 5 MW. The environmental impact assessment covers aspects of nature and landscape protection and further environmental aspects, such as immissions, terrain, and water protection. However, the impact of planned energy projects on cultural landscape values are not sufficiently considered

because it is challenging to quantify them in biophysical or monetary terms. They can rather be identified when they are expressed by the people. Here, participatory processes can support the inclusion of knowledge, preferences, and social values of the public through communication and negotiation of alternative development options in spatial planning. This may increase public trust leading to a wider acceptance of planned renewable energy solutions. Therefore, public participation in landscape planning processes is important for integrating renewable energies in our landscapes.

The main reported aspects that are known to affect the attitude towards wind parks, are the impacts on the visual landscape aesthetics and on the sense of place in a specific landscape context but also the noise of rotating turbine blades. Current planning instruments including 2D maps, 3D visualizations, and data for noise levels, however, fail to integrate these aspects for identifying optimal places for wind power technologies. To overcome this gap, a more comprehensive and understandable decision basis is needed to collaboratively assess the impact of planned wind parks on the landscape, including the perceptions and knowledge of the public. Recently, fast technological developments, such as interactive, physical-based, and highly detailed 3D simulations, offer new opportunities to provide information, for example, of the visual and the noise impact of planned wind turbines. Such new technical opportunities should be made available, adequately developed and tested for supporting planning processes.

This thesis provides a contribution to fill this gap, aiming to develop and test visual-acoustic simulations for an improved landscape impact assessment of wind parks. The thesis is structured around three main research questions. (1) How can a 3D landscape model with acoustic noise of wind turbines adequately be simulated and linked? (2) How can visual-acoustic simulations appropriately be validated? (3) How can visual-acoustic simulations be applied in landscape impact assessments of wind parks?

First, the thesis provides the theoretical background from which the research questions are derived, followed by an overall concept to answer these questions (*Research Article I*). Then, the research questions are addressed in the following three sections:

Section 1 comprises the development of visual-acoustic simulations, integrating realistic soundscapes of wind turbine noise into GIS-based 3D landscape visualizations of wind parks. In an interdisciplinary approach, the realistic acoustic soundscape and the interactive landscape visualizations are linked to a single simulation, using a game engine. Videos and sound recordings of an existing wind park at Mont Crosin (BE) serve as a reference to adequately develop and link the visual and the acoustic simulations. The presented development approach shows the generation of visual-acoustic simulations, which allow perceiving the visual and the acoustic impact of a planned wind park (*Research Article II*).

Section 2 comprises the validation of the developed visual-acoustic simulations. For the reference site of the existing wind park at Mont Crosin (BE), visual-acoustic simulations were generated. The major intention was to test if people's assessments of the scenic beauty and the annoyance with the wind turbine noise based on the simulations differ from those based on the videos of the reference site. Additionally, the weaknesses and strengths of the new simulations were identified. The videos were presented in the newly developed mobile visual-acoustic laboratory, allowing to calibrate and control the presentation conditions to assure comparability between the participants. The results show that there were only small differences in the rating of the annoyance of wind turbine noise between the real situation and the simulation. With regard to the visual landscape assessment, the simulation videos were rated lower than the real videos. However, the differences between the

recorded and the simulated landscape are below the defined threshold with fair correlations. This indicates validity of the simulations. Nevertheless, as we detected site specific differences in the ratings between the real and simulation video, they should be considered for future landscape assessments using such simulations. Overall, the approach for validating visual-acoustic simulations was successfully applied (*Research Article III*).

Section 3 comprises the application of the developed visual-acoustic simulations in an acceptability study. Three focus areas with different landscape characteristics (plains area – hills – mountains) were established for the valuation of alternative wind park scenarios. Video tours around the wind parks in these different landscapes were evaluated and people's preferences and values were successfully captured. Overall, we found a tendency that the same wind park scenarios were perceived differently dependent on the landscapes. With the application of the visual-acoustic simulation in the acceptability study, we demonstrate that the visual-acoustic simulations could provide an appropriate instrument for assessing the impact of planned wind parks on cultural landscape values for an improved landscape impact assessment (*Research Article IV*).

Overall, this PhD thesis presents a new approach for the development of visual-acoustic simulations. The developed simulations were then tested for validity and further applied in an acceptability study. The thesis shows that the simulations served well for capturing people's knowledge, preferences, and social values of different wind park scenarios, which allows assessing the impact on cultural landscape values, serving for determining suitable and more acceptable locations for wind parks. Within a broader context, the application of such simulations shows possibilities to derive recommendations for planning wind parks and, thus, may provide new solutions to the implementation of the energy strategy. In conclusion, this PhD thesis might help support participative planning to improve the communication of possible alternatives to assess landscape impacts together with the public for a more acceptable and sustainable landscape development.

Zusammenfassung

Für eine nachhaltige Nutzung von natürlichen Energiere Ressourcen werden erneuerbare Energien immer wichtiger. Die Energiepolitik in Europa und in den USA hat sich seit anfangs der 1970er-Jahre stark verändert, hauptsächlich aufgrund der Ölkrise und später durch die Risiken des Klimawandels. Darüber hinaus hat der Vorfall des Atomkraftwerks Fukushima im März 2011 einen weiteren Anstieg der Nachfrage zur Nutzung von erneuerbaren Energien ausgelöst. In der Schweiz haben der Bundesrat und das Parlament im Jahr 2011 einen stufenweisen Ausstieg aus der Atomenergie und eine sukzessive Anpassung des Schweizer Energiesystems bis 2050 beschlossen. Gemäss dem Schweizerischen Bundesrat sollen mit der Energiestrategie 2050 unter anderem der Endenergie- und Stromverbrauch reduziert, der Anteil an erneuerbaren Energien erhöht und die energiebedingten CO₂-Emissionen gesenkt werden. Das Schweizerische Energiegesetz EnG bezweckt Folgendes: die Sicherstellung einer wirtschaftlichen und umweltverträglichen Bereitstellung und Verteilung der Energie, die sparsame und rationelle Energienutzung, und die verstärkte Nutzung von einheimischen und erneuerbaren Energien. In der Schweiz ist somit eine starke politische Tendenz zu erkennen, die erneuerbaren Energiepotenziale auf eine ausgewogene und nachhaltige Weise zu nutzen.

Die Energiewende findet vermehrt Einzug bei Raum- und Landschaftsentwicklungen, da Anlagen zur Gewinnung von erneuerbarer Energie, wie Wasser, Wind und Sonne, meist einen direkten Einfluss auf die Landschaft haben. Die Landschaft, definiert gemäss der Europäischen Landschaftskonvention, ist der Raum, der von den Menschen wahrgenommen wird, und dessen Charakter aus den Wechselwirkungen von natürlichen und/oder menschlichen Faktoren resultiert. Landschaften bieten wichtige Dienstleistungen, wie Nahrungs- und Holzproduktion, Wasserverfügbarkeit und Erholungsmöglichkeiten, die zum Wohlergehen der Menschen beitragen. Die Landschaftswahrnehmung, die Kognition (z. B. die Bedeutungszuweisung) und die Werte der Menschen werden von der Landschaft beeinflusst. Kulturelle Landschaftswerte ergeben sich somit aus der Wahrnehmung und den gesellschaftlichen Werten, die der Mensch der Landschaft zuordnet. Diese Werte tragen zur kulturellen Identität und Vielfalt bei. Die kulturellen Landschaftswerte basieren auf der Landschaftscharakteristik (Landschaftsform), der Beziehung zwischen Mensch und Landschaft (Identität, Ästhetik) und den Aktivitäten in der Landschaft (Erholung). Faktoren wie die Siedlungsentwicklung, der Ausbau von Produktions- und Verkehrsflächen oder die Intensivierung der Landwirtschaft verursachen einen anhaltenden Druck auf das Kulturland, womit auch die Qualität der Landschaftsdienstleistungen betroffen ist. Auch der Ausbau der erneuerbaren Energien hat einen Einfluss auf die Landschaft, hauptsächlich aufgrund der Anlagen für die Stromerzeugung und die Verteilung der Energie. Da die Landschaftsentwicklung einen direkten Einfluss auf unseren Lebensraum und somit auch auf das Wohlbefinden der Menschen hat, muss eine zukünftige Landnutzung sorgfältig und umfassend geplant werden, um eine nachhaltigere Landschaftsentwicklung zu ermöglichen.

In der Schweiz stösst der Ausbau der Windenergie häufig auf Kritik. Die Planung und Umsetzung von Windenergieprojekten gestaltet sich schwierig und führt zu einer zunehmenden Frustration bei Verwaltung und Windenergiefirmen. Ein Hauptproblem sind Top-Down-Prozesse, denen es an der Bewertung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Windparks an bestimmten Standorten fehlt. Konzepte und Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen von Windturbinen zur Standortevaluation von potenziell geeigneten Flächen, basieren meist auf wirtschaftlich-technischen und ökologischen Kriterien. Da in der Schweiz die Bevölkerung

direkt über Planungsentscheidungen abstimmen kann, wie auch beispielsweise über die Umsetzung von erneuerbaren Energieprojekten, werden zahlreiche Projekte abgelehnt. Daher stellt sich die Frage: Wie kann die Bewertung der Landschaftsverträglichkeit von Windparks verbessert werden, um nachhaltigere und gesellschaftlich akzeptierte Standorte zu finden?

Wenn in der Schweiz Windenergieanlagen geplant werden, die mehr als 5MW produzieren, wird eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt. Die Prüfung umfasst Aspekte des Natur- und Landschaftsschutzes sowie weitere umweltspezifische Aspekte zu Immissionen und zum Boden- und Wasserschutz. Allerdings sind die Auswirkungen der geplanten Energieprojekte auf die kulturellen Landschaftswerte nicht ausreichend berücksichtigt, da sie biophysikalisch oder monetär schwer zu quantifizieren sind. Die Auswirkungen von geplanten Anlagen auf die kulturellen Landschaftswerte können dann identifiziert werden, wenn sie direkt durch die Bevölkerung bestimmt und evaluiert werden. Hier kann die partizipative Planung helfen, das Wissen, die Präferenzen und die gesellschaftlichen Werte der Bevölkerung durch Kommunikation und Diskussion über verschiedene Entwicklungsoptionen in die Raumplanung zu integrieren. Dies kann wiederum das Vertrauen fördern, was zu einer höheren Akzeptanz von erneuerbaren Energieprojekten führen kann. Partizipative Prozesse in der Landschaftsplanung sind daher für die Integrierung von erneuerbaren Energieanlagen in unsere Landschaften von grosser Bedeutung.

Wichtige Gründe für eine ablehnende Haltung der Bevölkerung gegenüber Windkraftanlagen sind die Veränderung des Landschaftsbilds sowie der Lärm, den Windturbinen erzeugen. Planungsinstrumente wie 2D Karten, 3D-Visualisierungen und Angaben zu Geräuschpegel reichen nicht, um diese Aspekte ausreichend in die Standortevaluation von Windkraftanlagen einzubeziehen. Es fehlen umfassendere und verständlichere Bewertungsinstrumente, welche eine kombinierte visuelle und akustische Bewertung der Landschaftsveränderung durch Windkraftanlagen kollaborativ ermöglichen und erlauben, die Wahrnehmung und das Wissen der Bevölkerung einzubeziehen. Die rasche technische Entwicklung erlaubt, 3D-Simulationen interaktiv, basierend auf physikalischen Modellen und mit hohem Detailgrad zu erstellen. Dies erschliesst die Möglichkeit für die partizipative Planung, umfassendere Informationen zu visuellen und akustischen Auswirkungen von geplanten Windkraftanlagen zu liefern. Für den Einsatz in der partizipativen Planung müssen jedoch solche Simulationen zuerst entwickelt und als Instrument zur Bewertung der Landschaftsverträglichkeit getestet werden.

Diese Forschungsarbeit liefert einen Beitrag zur Beantwortung der Forschungslücke, indem visuell-akustische Simulationen entwickelt und getestet werden, um die Landschaftsverträglichkeit von Windparks umfassender abschätzen zu können. Die Forschungsarbeit ist durch drei leitende Forschungsfragen strukturiert. (1) Wie können Geräuschsimulationen von Windturbinen und 3D-Landschaftsvisualisierungen von Windparks geeignet entwickelt und korrekt verknüpft werden? (2) Wie können die entwickelten visuell-akustischen Simulationen angemessen validiert werden? (3) Wie können die entwickelten visuell-akustischen Simulationen zur Bewertung der Landschaftsverträglichkeit von Windparks eingesetzt werden?

Die Forschungsarbeit liefert zu Beginn theoretische Grundlagen und zeigt konzeptuell auf, wie die drei leitenden Forschungsfragen beantwortet werden können (*Publikation I*). Basierend auf den leitenden Forschungsfragen ist die Arbeit in drei Teile gegliedert.

Teil I umfasst die Entwicklung einer GIS-basierten visuell-akustischen Simulation, die sowohl eine ästhetische Bewertung des Landschaftsbildes als auch eine akustische Bewertung der neuen Infrastrukturen im

jeweiligen Landschaftskontext ermöglicht. In einem interdisziplinären Ansatz werden realitätsnahe Modellierungen der akustischen Geräuschlandschaft mit interaktiven 3D-Landschaftsvisualisierungen von Windparks zu einer visuell-akustischen Simulation verknüpft. Referenzvideos und -Tonaufnahmen eines bestehenden Windparks am Mont Crosin (BE) dienen als Grundlage zur Entwicklung und zur Verknüpfung der visuellen und der akustischen Simulationen. Der entwickelte Ansatz erlaubt die Erstellung von visuell-akustischen Simulationen, die eine Wahrnehmung der visuellen und der akustischen Auswirkungen eines geplanten Windparks ermöglichen (*Publikation II*).

Teil 2 umfasst die Validierung der entwickelten visuell-akustischen Simulationen. Für die Referenzsituationen des bestehenden Windparks am Mont Crosin (BE) wurden visuell-akustische Simulationen generiert. Das Ziel ist es zu testen, ob es einen Unterschied zwischen der Wahrnehmung der Videos der Simulationen (Simulations-Video) und der Referenzsituationen (reelles Video), hinsichtlich der Bewertung des Landschaftsbildes und der akustischen Belästigung gibt. Zusätzlich werden die Stärken und die Schwächen der Simulationen identifiziert. Die Videos werden in einem neu entwickelten visuell-akustischen Labor präsentiert, welches erlaubt, die Wiedergabebedingungen zu kalibrieren und zu kontrollieren, um eine Vergleichbarkeit der Bewertungen zwischen den Teilnehmern zu ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass es nur wenige Unterschiede in der akustischen Bewertung der Windturbinengeräusche gibt. Bezüglich der Landschaftsbildbewertung wurden die Simulationen negativer bewertet als die realen Situationen. Dennoch sind diese Unterschiede kleiner als der festgelegte Grenzwert und mit ausreichender Korrelation, was auf die Validität der Simulationen hindeutet. Da wir jedoch standortspezifische Unterschiede in der Bewertung zwischen den Simulationen und den realen Situationen festgestellt haben, sollten diese Unterschiede bei einem zukünftigen Einsatz der visuell-akustischen Simulationen zur Bewertung der Landschaftsverträglichkeit beachtet werden. Insgesamt konnte der entwickelte Ansatz für die Validierung von visuell-akustischen Simulationen erfolgreich angewendet werden (*Publikation III*).

Teil 3 umfasst den Einsatz der entwickelten Simulationen in einer Akzeptanzstudie. Für drei Studiengebiete in unterschiedlichen Landschaften (Flachland, Hügelgebiet und Gebirge) wurden alternative Windpark-Szenarien simuliert und in einer Akzeptanzstudie bewertet. Videosequenzen um und durch die Windparks in den verschiedenen Landschaften wurden bewertet und die Präferenzen und Werte der Teilnehmer erfolgreich erfasst. Die Resultate zeigen die Tendenz, denselben Windpark in den verschiedenen Landschaften unterschiedlich wahrzunehmen. Mit dem Einsatz der visuell-akustischen Simulationen in der Akzeptanzstudie konnte gezeigt werden, dass die Simulationen ein geeignetes Instrument sein können, um den Einfluss von geplanten Windenergieprojekten auf kulturelle Landschaftswerte zu bewerten und so eine umfassendere Landschaftsverträglichkeit zu ermöglichen (*Publikation IV*).

Die Dissertation präsentiert einen neuen Ansatz zur Entwicklung von visuell-akustischen Simulationen. Die entwickelten Simulationen wurden auf die Validität hin getestet und in einer Akzeptanzstudie erfolgreich eingesetzt. Mit der Kombination von Geräuschmodellierungen mit realistischen 3D-Landschaftsvisualisierungen und dem Einsatz als Instrument für die Ermittlung der Landschaftsverträglichkeit wird eine Bewertung der Geräusche und der visuellen Ästhetik von Windpark-Szenarien ermöglicht. Mit Hilfe der Simulationen können Informationen zur Beeinträchtigung der kulturellen Landschaftswerte von unterschiedlichen Windparkszenarien erfasst werden, die zur Bestimmung von geeigneten und akzeptierten Standorten für Windparks essentiell sind. In einem weiteren Kontext kann der Einsatz solcher visuell-akustischen Simulationen Empfehlungen für

Windparkplanungen liefern und somit die Umsetzung der Energiestrategie unterstützen. Die Resultate und die Erkenntnisse der vorliegenden Doktorarbeit können die partizipative Planung unterstützen, um eine gesellschaftlich akzeptierte und nachhaltigere Landschaft zu entwickeln.