

Windkraft und Landschaftsschutz

Schlussbericht

Gelterkinden, Bern, Liestal im Dezember 1996

Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, BEW, Bern

ÖKOSKOP

Allmend 1

Postfach 102

CH-4460 Gelterkinden

Tel. 061 / 981 44 60

Fax 061 / 981 44 28

e-mail: oekoskop@bluewin.ch

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	i
ZUSAMMENFASSUNG.....	iii
AUFTRAG	v
1. AUSGANGSLAGE UND ZIELE	1
2. PROJEKTABLAUF	4
3. METHODIK POTENTIALGEBIETE.....	6
3.1. Allgemeines.....	6
3.2. Selektierte Gebiete.....	7
3.3. Kriterien Wind	7
3.4. Kriterien Landschaft	9
3.4.1. Richtlinien aus Deutschland	9
3.4.2. Bestehende optische Belastungen	10
3.4.3. Schutzgebiete.....	10
3.4.4. Synthese.....	11
3.4.5. Vogelzug.....	11
3.5. Feldbegehungen	11
4. RESULTATE POTENTIALGEBIETE.....	13
4.1. Beurteilung bei der Begehung	13
4.1.1. Generell.....	13
4.1.2. Landschaftsbild	13
4.1.3. Naturschutz	13
4.2. Korrekturen am Modell.....	14
4.3. Anzahl geeigneter Rasterzellen	14
4.3.1. Anzahl Rasterzellen im GIS-Modell	14
4.3.2. Anzahl Rasterzellen für Potentialberechnungen	15
4.4. Karte der definitiven Potentialgebiete.....	16
4.5. Aggregation der Rasterzellen.....	16
5. VERNEHMLASSUNG BEI N+L KREISEN	17
5.1. Vorgehen.....	17

5.2. Resultate der Umfrage	17
5.3. Resultate der Besprechung.....	17
5.3.1. Diskussion des Vorgehens im Projekt.....	17
5.3.2. Verbindlichkeit der Resultate aus der Sicht Landschaftsschutz.....	18
5.3.3. Anregungen für weitere Aktivitäten.....	18
6. ABSCHÄTZUNG POTENTIAL UND KOSTEN.....	20
6.1. Grundlagen für die Berechnungen.....	20
6.1.1. Windverhältnisse.....	20
6.1.2. Die Distanz zu Erschliessungswegen und zu Einspeisungsmöglichkeiten.....	20
6.1.3. Die installierten Anlagegrössen und Anzahl Anlagen.....	21
6.1.4. Die Jahresenergieerträge.....	21
6.1.5. Die Installationskosten.....	22
6.1.6. Unterhalts- und Kapitalkosten.....	22
6.2. Resultate.....	23
6.2.1. Stromgestehungskosten	23
6.2.2. Potentialabschätzung	23
6.2.3. Bedeutung der Windkraft in der Schweiz.....	24
7. LITERATUR	25

Zusammenfassung

Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft sind die Potentialgebiete und das Potential für Windkraftanlagen für die ganze Schweiz erarbeitet worden. Folgende Ziele wurden verfolgt:

- für die ganze Schweiz diejenigen Potentialgebiete auszuweisen, die aus Sicht des Landschaftsschutzes und auf Grund der Windverhältnisse für eine Windenergienutzung grundsätzlich geeignet sind;
- das Vorgehen und die Resultate soweit als möglich bei den Interessenvertretern von Natur und Landschaft abzustützen;
- Anzahl und Grösse möglicher Windkraftanlagen in der Schweiz abzuschätzen;
- die Kosten für die Produktion der Windenergie abzuschätzen

Um die Potentialgebiete für die Schweiz zu erarbeiten, wurde ein geographisches Informationssystem (GIS) eingesetzt. Es wurde nicht flächenscharf sondern mit Rasterzellen von jeweils 250 m Seitenlänge gearbeitet. Für jede Zelle wird eine aggregierte Aussage zu den Windverhältnissen und zur Landschaft gemacht. Sowohl die Windverhältnisse als auch der Landschaftsschutz werden in jeweils drei Stufen eingeteilt.

Kriterien Wind	Kriterien Landschaft
sehr gute Windverhältnisse (W1): • Windgeschwindigkeit > 5,5 m/s im Jahresmittel	Potentialgebiete (L1): • Bestehende optische Belastungen ausserhalb von Schutzgebieten
gute Windverhältnisse (W2): • Windgeschwindigkeit 4,5-5,5 m/s im Jahresmittel	kritische Gebiete (L2): • bestehende optische Belastungen innerhalb von Schutzgebieten • keine bestehenden optischen Belastungen ausserhalb von Schutzgebieten
mässige Windverhältnisse (W3): • Windgeschwindigkeit 3,5-4,5 m/s im Jahresmittel	Tabugebiete (L3): • keine bestehenden optischen Belastungen innerhalb von Schutzgebieten

Tabelle 1: Kriterien Wind und Kriterien Landschaft

Die Berechnungen im GIS ergaben folgende Zellenzahlen, die für die Nutzung von Windkraft in Frage kommen können:

	sehr gute Windverhältnisse	gute Windverhältnisse	mässige Windverhältnisse
Potentialgebiete	16	638	2891
kritische Gebiete	135	634	2595
Tabugebiete	185	283	803

Tabelle 2: Anzahl Zellen in den Potentialgebieten

Die Resultate der GIS-Auswertung wurden mittels einer Stichprobe von 21 Flächen im Feld verifiziert. Dabei zeigte es sich, dass erheblich weniger Rasterzellen tatsächlich der ersten Priorität zugeteilt werden können. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde die Zellenzahl für die Potentialberechnungen nochmals um 30 % reduziert. Zudem wurden die Resultate nach Realisierungschancen für Windkraftanlagen weiter aggregiert.

1. Priorität	2. Priorität	3. Priorität
458	2562	2706

Tabelle 3: Aggregation der Zellenzahlen nach Realisierungschancen für Windkraftanlagen

Für die Potentialberechnungen wurden nur noch die Rasterzellen 1. und 2. Priorität berücksichtigt. Pro Rasterzelle können eine Anlage von 500 kW oder zwei Anlagen von 250 kW aufgestellt werden. Wird das ganze Potential ausgeschöpft, so können 3,4 % des Strombedarfs von 1995 mit Windenergie gedeckt werden. Die Studie geht davon aus, dass die dazu notwendigen rund 3300 Anlagen bis ins Jahr 2030 aufgestellt werden können. Insgesamt könnte eine Leistung 1565 MW installiert werden, was zu einer jährlichen Stromproduktion von 1'628 GWh führen würde. Die Produktionskosten verteilen sich dabei wie folgt:

Rp./kWh	Installierte Leistung in MW					Energieproduktion in GWh				
	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total
1. Priorität	56	144	40	2	242	66.6	161.3	40.6	4.5	270
2. Priorität	114	1044	163	2	1'323	139	1'069	148.3	1.7	1'358
Total	170	1'188	203	4	1'565	205.6	1'230	190	3.2	1'628

Tabelle 4: Installierte Leistung und Energieproduktion nach Produktionskosten

Die Installation von Windkraftanlagen wird zu einem guten Teil davon abhängen, wie sich die Interessenvertreter von Natur und Landschaft zur Förderung der Windkraft stellen. Deshalb wurden das Vorgehen und die Resultate des Projektes ausgewählten VertreterInnen präsentiert.

Die Erarbeitung einer Karte mit den erschliessbaren Windkraftgebieten wurde grundsätzlich begrüsst. Ebenfalls wurde das gewählte Vorgehen befürwortet. Es entspricht im wesentlichen einem Positionspapier der Schweizerischen Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege vom November 1996.

Aus der Karte kann kein rechtlicher Anspruch auf einen bestimmten Standort geltend gemacht werden. Eine fallweise Abklärung ist für jede Anlage notwendig. Aufbauend auf den ausgewiesenen Potentialgebieten müssten nun in einem weiteren Schritt die eigentliche Standortabklärung stattfinden.

Die Autoren der Studie sind davon überzeugt, dass die den Karten und Berechnungen zugrunde liegenden Annahmen insgesamt eher konservativ sind. Die Resultate sind daher in der Grössenordnung zutreffend.

Auftrag

Auftrag	Erarbeitung einer Übersichtskarte für die ganze Schweiz in der diejenigen Gebiete ausgeschieden sind, die sich für die Nutzung der Windkraft eignen. Dabei sind die Windverhältnisse und die Aspekte des Landschaftsschutzes zu berücksichtigen. Aufbauend auf dieser Karte sollen das Potential und die Gesteungskosten für Strom aus Windkraft bis ins Jahr 2030 abgeschätzt werden.
Auftraggeber	Bundesamt für Energiewirtschaft, BEW, Bern
Auftragnehmerin	Arbeitsgemeinschaft bestehend aus ÖKOSKOP, Postfach 102, CH-4460 Gelterkinden METEOTEST, Fabrikstrasse 29, 3000 Bern ENCO, Oristalstrasse 85, 4410 Liestal
Projektleitung	Ökoskop, Hans Buser: Gesamtprojektleitung, Landschaftsschutz Meteotest, Dr. Stefan Kunz: Windverhältnisse, GIS ENCO, Robert Horbaty: Potentialabschätzung, Gesteungskosten
Mitarbeit	Ökoskop: Daniel Wittwer, Claudius Berchtold, Christian Breitenstein, Lieve Bosmans, Vroni Buser Meteotest: Fredi Dällenbach ENCO: Pierre Strub

1. Ausgangslage und Ziele

Eines der wichtigsten Hindernisse bei der Realisierung von Windkraftanlagen sind Vorbehalte von Seiten des Natur- und Landschaftsschutzes. Dies obwohl die meisten VertreterInnen des Natur- und Landschaftsschutzes der Windenergie als saubere Energiequelle grundsätzlich positiv gegenüberstehen dürften.

In einer Literaturschau über Umweltauswirkungen von Windkraftanlagen wurde vorgeschlagen, die Standortdiskussion von Windenergieprojekten von den Auseinandersetzungen auf konkreter, lokaler Ebene zu lösen (ÖKOSKOP 1994). Diesem Zweck soll eine flächendeckende Ausscheidung von Windpotentialgebieten dienen. Diese berücksichtigen die Windverhältnisse und die Aspekte des Landschaftsschutzes. Eine flächendeckende Ausscheidung von Windpotentialgebieten erlaubt es den beurteilenden Behörden und Institutionen, auf einer objektiven Basis die Aspekte Wind und Landschaftsschutz einander gegenüberzustellen.

Die Idee zu einem solchen Projekt basiert auf konkreten Erfahrungen und Forderungen aus Deutschland. Bernd-Olaf Flore schliesst seinen Artikel "Rücksichtslose Windpark-Planung?" (1993) mit folgendem Gedanken: "Beim umweltpolitisch insgesamt förderungswürdigen Ansatz der Windenergienutzung gilt es für den Naturschutz allerdings nachzufragen, auf welchen Flächen die Errichtung von Windparks toleriert werden kann. ... Naturschutz und Windparks schliessen sich an manchen Standorten nun einmal aus - Beispiele hierzu gibt es leider schon genug."

In einem kürzlich veröffentlichten Positionspapier (vgl. Anhang) hält die Schweizerische Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege zur Energiepolitik fest, dass erneuerbare Ressourcen, wie die Windenergie, aus energiepolitischen Überlegungen zu fördern seien. Für die Standortevaluation werden im selben Positionspapier die raumplanerischen Instrumente der Positiv- und Negativplanung als zweckmässig erachtet. Folgende Grundsätze sind hierbei zu berücksichtigen:

- „das Landschaftsbild und der Naturhaushalt sind einzubeziehen
- Zivilisationsanlagen, wozu Windenergieanlagen zu zählen sind, gehören in bereits durch Zivilisationsbauten geprägte Landschaften
- wichtige Erholungsgebiete sind zu verschonen
- die Belange des Vogelschutzes sind zu berücksichtigen ...
- die übrigen rechtlichen Schutzbestimmungen sind einzuhalten"

Die Idee wurde im Laufe der Erarbeitung erweitert. Basierend auf der erarbeiteten Karte wurde auch die Anzahl und die Grösse möglicher Windkraftanlagen sowie die Stromgestehungskosten abgeschätzt. Ziele der vorliegenden Arbeiten sind demnach:

- für die ganze Schweiz diejenigen Potentialgebiete ausweisen, die aus Sicht des Landschaftsschutzes und auf Grund der Windverhältnisse für eine Windenergienutzung grundsätzlich geeignet sind;
- das Vorgehen und die Resultate soweit als möglich bei den Interessenvertretern von Natur und Landschaft abzustützen;
- Anzahl und Grösse möglicher Windkraftanlagen in der Schweiz abzuschätzen;
- die Kosten für die Produktion der Windenergie abzuschätzen

- eine Quantifizierung der notwendigen Fördermittel vorzunehmen.

Exkurs: Windkraftanlagen

Mit Hilfe von Windkraftanlagen wird aus Wind Strom produziert. Rein äusserlich gesehen bestehen sie aus einem Mast, einer Gondel und einem Rotor. Je nach Leistung der Anlage variiert die Masthöhe und der Rotordurchmesser. Man unterscheidet folgende Typen.



250 kW-Anlagen

Diese Anlagen haben typischerweise einen Rotordurchmesser von 24 m und eine Masthöhe von 30-40 m. Es sind Anlagen dieser Grössenordnung auf dem Markt, welche sich gut in schwer zugänglichen Gelände montieren lassen. Längerfristig wird der Marktanteil dieses Anlagentyps abnehmen.

500-600 kW-Anlagen

Diese Windturbinen weisen meist einen Rotordurchmesser von 40-43 m auf und besitzen Masthöhen von 40-50 m. Da dieser Anlagentyp heute am meisten errichtet wird, kann davon ausgegangen werden, dass auch in Zukunft der grösste Teil des Potential mit Anlagen dieser Grössenklasse ausgeschöpft wird.

1-1,5 MW-Anlagen

Diese heute als Prototyp vorhandenen Grossanlagen weisen Rotordurchmesser von 60-70 m auf und haben Masthöhen von über 60 m. Nicht zuletzt aus Gründen des Landschaftsschutzes geht die vorliegende Arbeit davon aus, dass diese Anlagen in der Schweiz nicht verwendet werden.

Einzelanlage - kleiner Windpark - Windpark

Windkraftanlagen können als Einzelanlagen, als kleine Windparks mit bis zu 5 Anlagen oder als Windparks mit mehr als 5 Anlagen aufgestellt werden. Werden mehrere Anlagen aufgestellt entstehen Abschattungseffekte. Die einzelnen Anlagen müssen daher in einem minimalen Abstand voneinander aufgestellt werden. Eine ausführliche Potentialuntersuchung in Deutschland stellt fest, dass in diesem Fall von einem Landflächenbedarf von 100 m² je installierte kW-Leistung ausgegangen werden muss (DIEKMANN, 1995). Eine 500 kW-Anlage benötigt daher eine Mindestflächen von 5 ha. In der vorliegenden Arbeit wurde davon ausgegangen, dass pro untersuchte Rasterzelle eine Anlage von 500 kW oder zwei Anlagen von 250 kW aufgestellt werden kann.

Beanspruchte Fläche

Diese Fläche, die durch eine Windkraftanlage beansprucht wird, ist auf das Fundament beschränkt. Das Land zwischen den Anlagen steht weiterhin für landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung.

2. Projektablauf

Der zeitliche und finanzielle Rahmen des Projektes war beschränkt. Aus diesem Grunde war es naheliegend, für die Ausscheidung der Windpotentialgebiete ein geographisches Informationssystem (GIS) einzusetzen.

Es wurden diejenigen Flächen selektioniert, die sich für die Windkraftnutzung auf Grund ihrer Lage grundsätzlich eignen. Diese Gebiete wurden aus Sicht der Windverhältnisse und des Landschaftschutzes bewertet.

Die daraus resultierenden provisorischen Potentialgebiete der Schweiz wurden im Feld an Hand einer Stichprobe von 21 Gebieten überprüft. Gleichzeitig wurden für diese Gebiete die Erschliessungsdistanzen und die Einspeisungsmöglichkeiten für den Strom abgeschätzt.

Die Resultate der Feldbegehung führten zu Korrekturen bei den Berechnungen im GIS und zu den definitiven Potentialgebieten der Schweiz. Diese diente als Grundlage für die Abschätzungen des Produktionspotentials und der Stromgestehungskosten.

Parallel zu diesen Arbeiten wurden das Vorgehen und die Resultate der Arbeiten ausgewählten Interessenvertretern von Natur und Landschaft zur Stellungnahme unterbreitet.

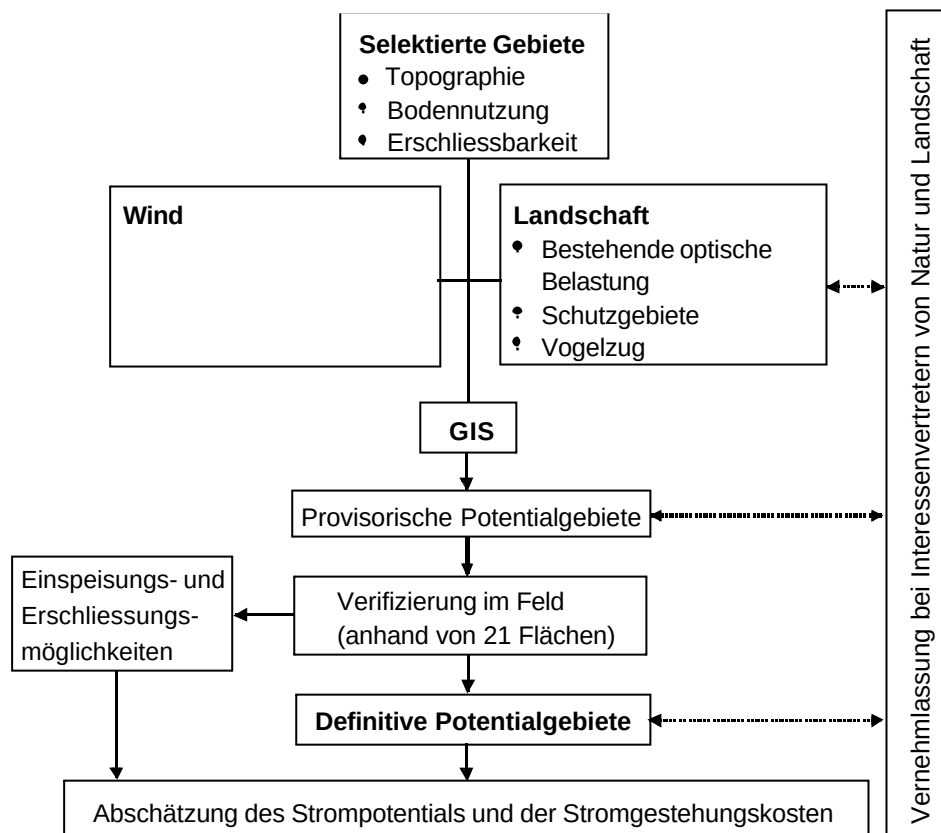


Abbildung 1: Projekttablauf

3. Methodik Potentialgebiete

3.1. Allgemeines

Für die Ermittlung der Potentialgebiete wurde ein Geographisches Informationssystem (GIS) verwendet. Umfangreiche Daten des Bundesamtes für Landestopographie (Geländemodell), des Bundesamtes für Statistik (Bodennutzung) und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (digital erhobene Schutzgebiete) wurden analysiert und überlagert. Daraus resultiert eine quantitative Bilanzierung der zur Verfügung stehenden Flächen und eine kartographische Darstellung. Für die Beurteilung wurden nur Kriterien verwendet, die für die ganze Schweiz auf digitalen Datenträgern zugänglich sind.

Die Analyse erfolgt grob gesehen in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden diejenigen Flächen selektiert, die sich auf Grund der Bodennutzung, der Höhenlage, der Erschliessbarkeit und der Topographie grundsätzlich eignen. Die selektierten Gebiete werden auf Grund der Windverhältnisse und aus der Sicht des Landschaftsschutzes bewertet. Für beide gelangt je eine dreistufige Skala zur Anwendung. Einzelheiten zu Inhalt und Bewertung der einzelnen Informationsebenen finden sich in den folgenden Kapiteln und im Anhang.

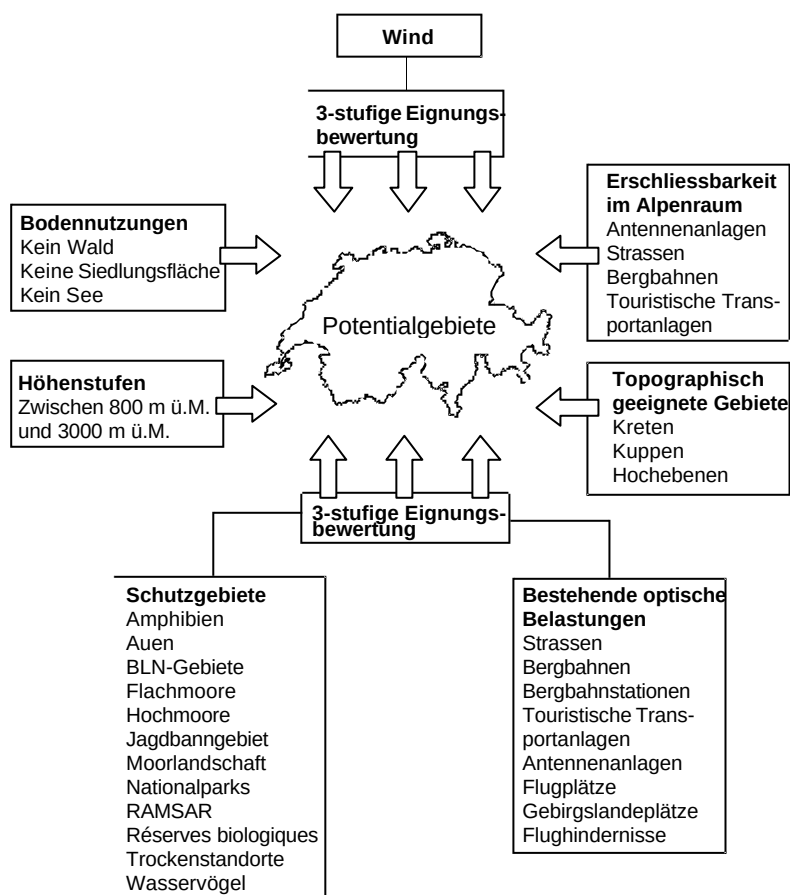


Abbildung 2: Selektion und Bewertung der Potentialgebiete

Die gesamte Analyse wurde in einem 250 x 250 m-Raster durchgeführt. Für den Einzelstandort kann dies zu Fehlbeurteilungen führen. In der Gesamtübersicht werden die Verhältnisse jedoch adäquat wiedergegeben. Die einzelne Rasterzelle entspricht einer Fläche von 6.25 ha oder in etwa dem Flächenbedarf eines 500 kW-Windkonverters bzw. zweier 250 kW-Anlagen (vgl. Exkurs Seite 2).

3.2. Selektierte Gebiete

Damit sich Flächen für die Nutzung der Windkraft eignen, müssen sie gewisse Grund-Voraussetzungen erfüllen:

- Die aktuelle Bodennutzung muss das Aufstellen von Windkraftanlagen erlauben. Aus diesem Grunde werden Wälder, geschlossene Siedlungen und Seen grundsätzlich ausgeschlossen.
- Generell werden nur Flächen berücksichtigt, die zwischen 800 m ü.M. und 3000 m ü.M. liegen. Unterhalb 800 m ü.M. ist in der Regel das Windangebot für eine Windkraft-Nutzung zu tief. Einzelne Ausnahmen von spezifisch geeigneten Standorten können diese Regel widerlegen, fallen aber flächenmässig nicht ins Gewicht. Oberhalb von 3'000 m ü.M. ist damit zu rechnen, dass die technischen Probleme beim Betrieb von Windkraftanlagen in dieser Höhe dermassen massiv sind, dass eine wirtschaftliche Windkraftnutzung verunmöglicht ist.
- Voraussetzung für das Betreiben von Windkraftanlagen sind topographisch geeignete Flächen, auf denen der Wind ausreichend bläst. Dies ist auf Kreden, Kuppen, Hochebenen und Passlagen der Fall.
- Schliesslich werden nur Flächen berücksichtigt, die ausreichend erschlossen sind. Für den Jura wird angenommen, dass dies überall der Fall ist. Im Alpenraum werden dagegen nur Flächen in der Nähe von bestehenden Erschliessungen berücksichtigt: Strassen, Bergbahnen, touristische Transportanlagen, Antennenanlagen.

3.3. Kriterien Wind

Grundsätzlich geeignet für die Windkraftnutzung in der Schweiz sind Hochebenen, Kreden und Kuppen. Konkave Geländeformen wie Täler und Mulden weisen normalerweise zu tiefe Windgeschwindigkeiten auf. Die Windgeschwindigkeit (Messung auf Standardhöhe 10 Meter über Grund) wurde folgendermassen klassiert:

sehr gute Windverhältnisse	mittlere Windgeschwindigkeit 5.5 m/s < v	W1
Gute Windverhältnisse	mittlere Windgeschwindigkeit 4.5 m/s < v < 5.5 m/s	W2
Mässige Windverhältnisse	mittlere Windgeschwindigkeit 3.5 m/s < v < 4.5 m/s	W3
ungeeignete Gebiete	mittlere Windgeschwindigkeit v < 3.5 m/s	O

Tabelle 5: Kriterien Wind

Aufgrund der bestehenden meteorologischen Daten und früherer Auswertungen wurde ein flächendeckendes einfaches statistisches Windmodell definiert, welches es erlaubt, für jeden Standort in der Schweiz die mittlere Windgeschwindigkeit abzuschätzen. Dabei wurde die Schweiz in zwei Regionen aufgeteilt: Jura und Alpenraum. Im Jura kann die mittlere Windgeschwindigkeit durch eine einfache Höhenabhängigkeit beschrieben werden.

Im Bereich der Alpen ist aufgrund der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation festzustellen und mit Messungen belegbar, dass die Windgeschwindigkeit einerseits generell mit der Höhe zunimmt, andererseits von Nordwest nach Südost mit zunehmender Distanz zum Alpennordrand abnimmt. Generell können folgende Gradienten angewendet werden:

- Zunahme der Windgeschwindigkeit um 1.5 m/s pro 1000 m Höhe
- Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit von Nordwest nach Südost um 2.5 m/s pro 100 km Distanz

Die folgende Grafik zeigt die Übereinstimmung des verwendeten Modells mit den Messungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (1983 bis 1992) für einige Stationen.

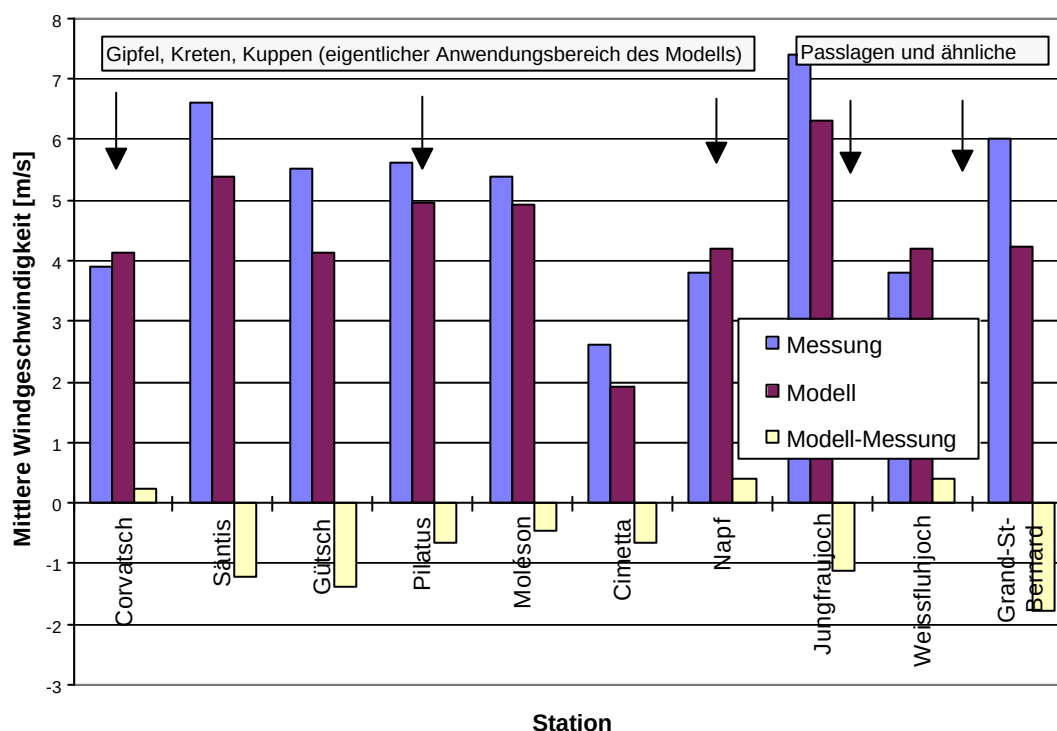


Abbildung 3: Vergleich Wind-Modell und Wind-Messungen

Das verwendete Modell macht eine generelle Unterschätzung der Windgeschwindigkeit um ca. 0.5 m/s. Dies ist bewusst so gehalten, um eine eher vorsichtige, konservative Potentialschätzung durchzuführen. Zudem sind die meteorologischen Messstationen eher an speziell exponierten Stellen angebracht, welche nicht generell repräsentative Kreten und Kuppen und Lagen auf Hochebenen sind.

Das Windmodell ist gültig für Kuppen, Kreten, Hochebenen und günstig gelegene Passlagen. Deshalb ist für die Ermittlung des Flächenpotentials die Geländeform zu analysieren.

Mittels digitalem Geländemodell (250 m x 250 m-Rasterweite) werden aus dem Gelände alle Kreten, Kuppen und Hochebenen extrahiert. Dazu wird eigens ein Berechnungsalgorithmus entwickelt. Nur diese extrahierten Flächen werden in der weiteren Berechnung berücksichtigt.

Der verwendete Raster ist teilweise zu grob, um ein gutes Abbild der Realität zu ergeben. Es können darin nur Geländeformen, welche grösser als 750 Meter sind, analysiert werden. Insbesondere Passlagen waren damit nicht eindeutig zu erkennen und wurden daher in der weiteren Bilanzierung nicht betrachtet. Insofern gibt die Abschätzung der Flächenpotentials eher zu tiefe Werte an.

3.4. Kriterien Landschaft

3.4.1. Richtlinien aus Deutschland

Die Diskussion um geeignete Standorte für Windkraftanlagen ist in Deutschland schon relativ weit gediehen (ÖKOSKOP, 1994). Die Erarbeitung der Kriterien wurde deshalb weitgehend auf die Literatur aus Deutschland abgestützt. Die Bundesländer Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein haben Richtlinien erlassen für den Bau von Windkraftanlagen. Auch der Naturschutzbund Deutschland hat Richtlinien für das Aufstellen von Windkraftanlagen zusammengestellt (NABU). Beide Richtlinien machen Aussagen über Gebiete, die für die Errichtung von Windkraftanlagen grundsätzlich geeignet bzw. nicht geeignet sind.

grundsätzlich geeignete Gebiete	nicht geeignete Gebiete
• die Nähe vorhandener Bauwerke, d.h. ohnehin belastete Gebiete und ein wenig bewegtes Relief	• Naturschutzgebieten und Gebiete mit einer „besonderen Naturlausstattang“ mit einer Pufferzone von 200 bis 500 m • Flächen, die der Erholung dienen mit einer Pufferzone von 50 bis 500 m • Flächen, die landschaftlich besonders reizvoll sind mit einer Pufferzone von 50 bis 500 m

Tabelle 6: Angaben aus Deutschland

Die Schweizerische Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege (SL) verfasste im November 96 ein Positionspapier zum Thema Windkraft und Landschaftsschutz (RODEWALD, 1996, vgl. Anhang). Darin werden die oben aufgeführten Kriterien grundsätzlich bestätigt.

Die Vorgaben aus diesen Richtlinien wurden soweit als möglich berücksichtigt. Wichtige Voraussetzung war, dass die notwendigen Grundlagendaten digital vorhanden waren. Letztlich traf dies für die bestehenden optischen Belastungen und für die Schutzgebiete zu (vgl. Kapitel 3.4.2. und 3.4.3).

Über Flächen, die der Erholung dienen oder landschaftlich besonders reizvoll sind, waren keine digitalen Daten vorhanden. Diese wurden daher in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Auf der Grundlage des verwendeten Rasters konnte im GIS kein Kriterium für „ein wenig bewegtes Relief“ modelliert werden. Die Feldbegehungen zeigten aber, dass zu viele Gebiete als potentiell geeignet berechnet wurden. Daher wurde für die Abschätzung des Potentials die Anzahl Zellen nochmals um 30 % reduziert (vgl. Kapitel 4.3).

3.4.2. Bestehende optische Belastungen

Bestehende optische Belastungen mit einer Umgebung von 500 m werden als grundsätzlich geeignet für den Bau von Windkraftanlagen angesehen. Folgende bestehende optischen Belastungen und deren Umgebung wurden berücksichtigt:

- Autobahnen
- Autobahnzufahrten
- Hauptstrassen
- Bergbahnen
- Station Bergbahn
- Flugplätze
- Antennenanlagen
- Gebirgslandeplätze
- Tourist. Transportanlagen.
- Flughindernisse > 25 m

3.4.3. Schutzgebiete

Bundesinventare (BUWIN) und Naturschutzgebiete (IRENA, Trockenstandorte) mit einer Umgebung von 300 m wurden als grundsätzlich nicht geeignet für die Errichtung von Windkraftanlagen betrachtet. Folgende Informationen wurden berücksichtigt:

- Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN-Gebiete), 1993
- Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung, 1991
- Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung, 1992
- Bundesinventar der Wasser- und Zugvogelreservate in internationaler und nationaler Bedeutung, 1992
- Bundesinventar der eidgenössischen Jagdbanngebiete, 1992
- Ramsar-Feuchtgebiete der Schweiz, 1990
- Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung, 1994
- Flachmoore, regional
- Bundesinventar der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung, 1995
- Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung, 1996
- Schweizerischer Nationalpark
- Réserves Biogénétiques
- IRENA-Gebiete
- Trockenstandorte der Schweiz

3.4.4. Synthese

Die Überlagerung von Schutzgebieten und von bestehenden optischen Belastungen führt zur Bewertung der Gebiete. Die drei Bewertungsstufen sind wie folgt definiert:

Potentialgebiete	Bestehende optische Belastungen ausserhalb von Schutzgebieten	L1
kritische Gebiete	- bestehende optische Belastungen innerhalb von Schutzgebieten - keine bestehenden optischen Belastungen ausserhalb von Schutzgebieten	L2
Tabugebiete	keine bestehenden optischen Belastungen innerhalb von Schutzgebieten	L3

Tabelle 7: Kriterien Landschaft

3.4.5. Vogelzug

Als wichtiges Argument gegen das Aufstellen von Windkraftanlagen wird oft der Vogelzug angeführt. In Gesprächen mit der Vogelwarte Sempach, Dr. Bruno Bruderer, wurde deshalb abgeklärt, ob und wie der Vogelzug für die Ausscheidung der Potentialgebiete berücksichtigt werden kann. Nach diesen Gesprächen wurde auf dessen Berücksichtigung verzichtet. Ausschlaggebend war, dass die Beeinträchtigung mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht sehr bedeutend sein wird. Die Vögel fliegen in der Regel in grösseren Höhen. Ausserdem können sie Windkraftanlagen ausweichen. Zudem findet der Vogelzug nicht auf geographisch klar eingrenzenden „Zugstrassen“ statt. Er verschiesst sich damit der angewandten Methodik. Für Details zu dieser Thematik verweisen wir auf den Anhang.

3.5. Feldbegehungen

Ziel der Feldbegehungen war es, die provisorischen Potentialgebiete anhand von Stichproben zu überprüfen. Dazu wurden 21 Flächen im Feld aufgesucht und beurteilt. Für jede Rasterzelle (250 x 250 m) in den Flächen wurde beurteilt, ob die Resultate der GIS-Berechnungen in Bezug auf die Topographie und die landschaftlichen Verhältnisse und die zugrundeliegenden Vorgaben richtig waren. Zudem wurde die Erschliessbarkeit der Standorte und die Einspeisungsmöglichkeiten für den Strom abgeklärt. Ausserdem wurde jeder der Standorte fotografisch dokumentiert.

Die Resultate der Feldbegehung wurden auf einem Erhebungsbogen protokolliert. Für jede beurteilte Zelle war nachher sichtbar, ob und wie sich die Beurteilung im Feld verändert hat. Jede Veränderung wurde kurz begründet. Die Feldprotokolle wurden quantitativ ausgewertet.

Für die Begehung wurden Flächen unterschiedlicher Eignung sowohl aus Sicht des Windes wie auch aus Sicht der Landschaft ausgewählt. Bezogen auf die neunteilige Matrix wurden folgende Standorte besucht:

	sehr gute Windverhältnisse	gute Windverhältnisse	mässige Windverhältnisse
Potential- gebiete	Tête de Ran Les Diablerets untersuchte Zellen: 10	Titlis I Mont Crosin Mont d'Amin Moléson untersuchte Zellen: 43	La Vudalla untersuchte Zellen: 26
kritische Gebiete	Le Suchet Chasseral Mont Racine Le Noirmont Le Chasseron untersuchte Zellen: 49	Jeux du Plane Combes Dernier Schelten Titlis II Col du Marchairuz untersuchte Zellen: 65	Brunnersberg untersuchte Zellen: 6
Tabugebiete	Mt. Sâla untersuchte Zellen: 13	Le Vermeilley untersuchte Zellen: 12	Weissenstein untersuchte Zellen: 1

Tabelle 8: Ausgewählte Gebiete für die Verifikation im Feld und Anzahl untersuchter Zellen

Geographisch verteilen sich die begangenen Flächen auf den Jura westlich von Grenchen, das westliche Alpenvorland und das Titlis-Gebiet.

4. Resultate Potentialgebiete

4.1. Beurteilung bei der Begehung

4.1.1. Generell

Das Computermodell eignet sich gut für die Grobevaluation der Standort für Windkraftanlagen. Es musste an keinem Standort die Eignung für Windkraftanlagen generell verneint werden. Vor allem beim Landschaftsbild mussten aber Korrekturen vorgenommen werden.

Auf Grund der Vorgaben für das GIS-Modell sind zudem bei einzelnen Zellen Resultate entstanden, die sich im Feld als falsch herausgestellt haben (generelle Rechenfehler, einzelne Bedingungen zu wenig berücksichtigt).

4.1.2. Landschaftsbild

Bei der Beurteilung des Landschaftsbildes zeigte sich, dass eine grössere Anzahl Zellen anders bewertet werden müssen, als dies in GIS-Modell geschehen ist. Insbesondere der Anteil der Zellen erster und zweiter Priorität wurde markant reduziert. Nach der Feldbegehung waren nur noch knapp 50 % der Zellen erster Priorität übriggeblieben. Bei den Zellen zweiter Priorität fand eine Reduktion um 25 % statt.

Werden die Resultate etwas detaillierter analysiert, so muss festgestellt werden, dass diese Reduktion vor allem aus Gründen des Landschaftsschutzes vorgenommen wird. Vor allem an den exponierten Stellen (Kreuzen) können die Anlagen deutlich in Erscheinung treten und weit sichtbar sein. Dadurch kann das Landschaftsbild optisch nachhaltig beeinträchtigt werden. Besonders empfehlenswert für Windkraftanlagen sind aus Natur- und Landschaftsschutzgründen die Hochebenen. Diese Flächen sind von der Ferne oft wenig einsehbar und treten vor allem in der Silhouette des Horizontes selten in Erscheinung.

Generell wurden die voraussichtlichen Probleme mit dem Landschaftsschutz wie folgt beurteilt:

voraussichtlich kleine Probleme	voraussichtlich mittlere Probleme	voraussichtlich grosse Probleme
6	13	9

Tabelle 9: Anzahl Gebiete und voraussichtliche Probleme mit dem Landschaftsschutz

4.1.3. Naturschutz

Generell wurden eher kleine Problem mit dem Naturschutz vorausgesehen. Dies dürfte insbesondere damit zusammenhängen, weil nur kleine Flächen beansprucht werden. Alle unter-

suchten Flächen lagen in eher unproblematischen, trockenen Gebieten und keine in Feuchtgebieten, die beim Bau empfindlich gestört werden könnten.

voraussichtlich kleine Probleme	voraussichtlich mittlere Probleme	voraussichtlich grosse Probleme
21	3	0

Tabelle 10: Anzahl Gebiete und voraussichtliche Probleme mit dem Naturschutz

4.2. Korrekturen am Modell

Auf Grund der Begehungen wurden folgende Veränderungen am GIS-Modell vorgenommen:

- Die Buffern der bestehenden optischen Belastungen in der Landschaft wurden von ursprünglich 1000 m auf 500 m reduziert. Dadurch wird man der Kleinräumigkeit der Landschaft besser gerecht.
- Das topographische Modell wurde stärker eingegrenzt, so dass weniger Flächen als geeignet erscheinen.

Die korrigierten Resultate der definitiven Karte stimmen besser mit den Resultaten der Feldbegehungen überein. Trotzdem gelang es nicht vollständig das GIS-Modell mit der Wirklichkeit in Übereinstimmung zu bringen. Hier zeigt sich die beschränkte Genauigkeit der Datengrundlage, die auf einem relativ groben Raster von 250 x 250 m beruht.

4.3. Anzahl geeigneter Rasterzellen

4.3.1. Anzahl Rasterzellen im GIS-Modell

Das korrigierte Flächenpotential beträgt 8'180 Rasterzellen (vgl. untenstehende Tabelle). Dies entspricht einer Fläche von 511 km² oder etwas mehr als 1 % der Fläche der Schweiz. Die übrigen Flächen sind generell für die Windenergienutzung ungeeignet.

	sehr gute Windverhältnisse	gute Windverhältnisse	mässige Windverhältnisse
Potentialgebiete	16	638	2891
kritische Gebiete	135	634	2595
Tabugebiete	185	283	803

Tabelle 11: Anzahl Zellen in den Potentialgebieten

Diese Resultate wurden nach drei Prioritäten aggregiert:

- In der ersten Priorität sind diejenigen Gebiete zusammengefasst, bei denen wir mit sehr guten Realisierungschancen für Windkraftanlagen rechnen.
- Bei den Flächen zweiter Priorität rechnen wir mit guten Realisierungschancen für Windkraftanlagen.

- Bei den Flächen dritter Priorität rechnen wir mit eher geringen Chancen für die Errichtung von Windkraftanlagen. Dazu tragen insbesondere die voraussichtlich grossen Konflikte mit dem Landschaftsschutz bei.

4.3.2. Anzahl Rasterzellen für Potentialberechnungen

Für die weiteren Berechnungen (vgl. Kapitel 6) wurden die Potentialgebiete in zwei Schritten weiter reduziert:

- Alle Gebiete dritter Priorität wurden aus Gründen des Landschaftsschutzes gar nicht mehr berücksichtigt. Hier werden sich zu viele Konflikte mit dem Landschaftsschutz ergeben.
- Die Gebiete erster und zweiter Priorität wurden nochmals um 30 % reduziert. Die Beurteilung im Feld hat gezeigt, dass das korrigierte Flächenpotential immer noch zu hoch ist (vgl. Kapitel 4.2)

Die Anzahl der geeigneten Rasterzellen ist im Verlauf des Projektes über mehrere Stufen ermittelt und reduziert worden. Die folgende Graphik gibt einen Überblick über diesen Vorgang:

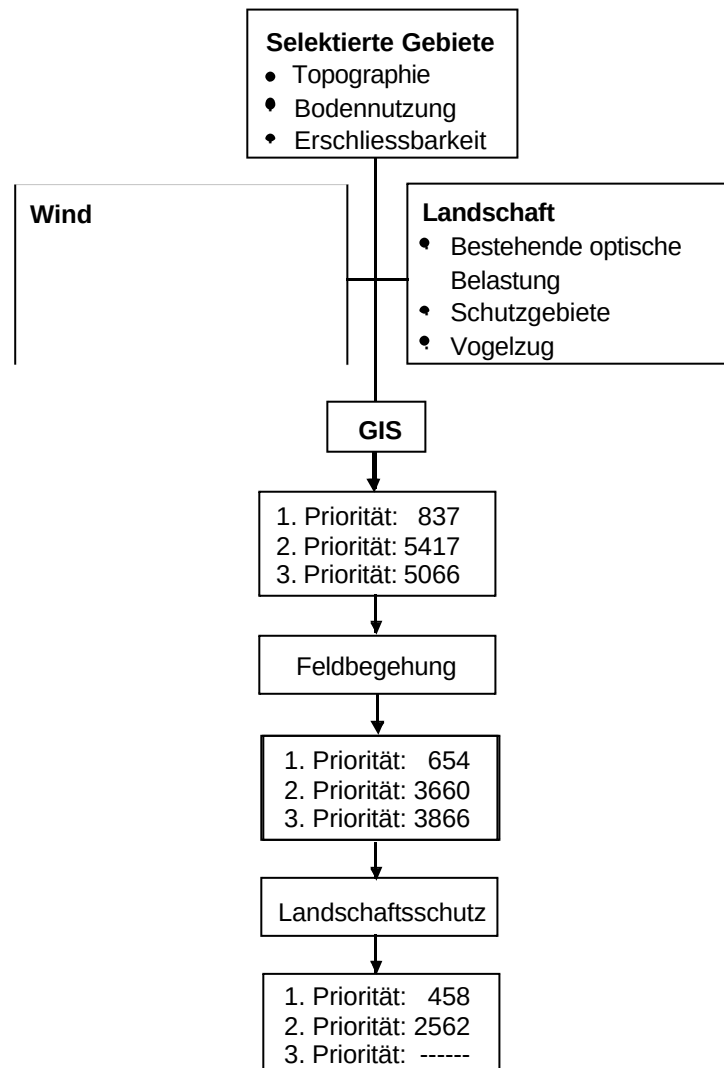


Abbildung 4: Entwicklung der Anzahl geeigneter Rasterzellen im Verlaufe des Projektes.

4.4. Karte der definitiven Potentialgebiete

Die beiden Karten 1:1'000'000 auf den folgenden Seite zeigen die Resultate der Potentialberechnungen in der geographischen Verteilung. Es sind jeweils die drei Prioritätsstufen dargestellt. Die erste Karte gibt eine Übersicht über die gesamte Schweiz. Die zweite zeigt Details der Berechnungen für den Raum Berner Jura (Chasseral, Mont Crosin).

Zusätzlich zu diesen Karten existiert eine Karte im Massstab 1:500'000, auf der die Potentialgebiete in der neunstufigen Gliederung ersichtlich sind. Diese Karte kann separat bezogen werden.

4.5. Aggregierung der Rasterzellen

Für die Kostenberechnungen und die Abschätzung des Potentials wurde erhoben wieviele Zellen jeweils beieinander liegen. Die Grösse der aggregierten Flächen entscheidet darüber, ob Einzelanlagen, kleine oder grössere Windparks aufgestellt werden können.

Aggregationsklassen	Anzahl Zellen in Gebieten erster Priorität	Anzahl Zellen in Gebieten zweiter Priorität
1-5 Zellen: Einzelanlagen und kleine Windparks	107	1408
> 5 Zellen: grössere Windparks	547	2252

Tabelle 12: Aggregierung der Rasterzellen

5. Vernehmlassung bei N+L Kreisen

5.1. Vorgehen

Bei ausgewählten Interessenvertretern von Natur und Landschaft wurde Mitte September auf schriftlichem Weg eine Stellungnahme zum Vorgehen bei der Erarbeitung der Potentialgebiete der Schweiz erbeten. Folgenden Stellen wurde ein Fragebogen zugestellt:

- Fachstelle Naturschutz VD
- Fachstelle Naturschutz NE, Phillip Jacot-Descombes
- Fachstelle Naturschutz BE, Markus Graf
- BUWALT, Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Rita Wyder
- Schweizerischer Bund für Naturschutz, Josef Rohrer
- WWF Schweiz
- Schweiz. Stiftung für Landschaftsschutz und -pflege, Raimund Rodewald

Anfangs Dezember fand zusätzlich ein Treffen statt, bei dem die Resultate der Arbeiten vorgestellt und im Detail diskutiert wurden. Leider nahmen an diesem Treffen nur Frau Wyder und die Herren Graf, Rohrer und Rodewald teil.

5.2. Resultate der Umfrage

Die eingegangenen Antworten lassen darauf schliessen, dass die Erarbeitung einer Karte mit den erschliessbaren Windkraftgebieten grundsätzlich begrüsst wird. Ebenfalls wird das gewählte Vorgehen grundsätzlich befürwortet. Im Detail werden allerdings Korrekturen verlangt. So wird etwa bemängelt, dass die kantonalen Richtplangebiete und die KLN-Gebiete nicht in die Beurteilung eingeflossen seien. In der Regel wird auch ein grösserer Puffer um die Schutzgebiete angeregt (1000 m).

Gemeinsam ist allen Stellungnahmen, dass die vorliegende Karte nicht ein Freipass darstellen dürfe für die Errichtung von Windkraftanlagen. Für jedes einzelne Projekt müsse auf jeden Fall noch eine Detailabklärung des Standortes vorgenommen werden.

5.3. Resultate der Besprechung

5.3.1. Diskussion des Vorgehens im Projekt

Grundsätzlich wird das Projekt begrüsst. Die Tatsache, dass die VertreterInnen von Natur- und Landschaft frühzeitig einbezogen und informiert werden wird positiv hervorgehoben. Das Vorgehen im Projekt wird im Grundsatz begrüsst. Es entspricht im grossen und ganzen dem Positionspapier der Schweizerischen Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege vom November 1996 (vgl. Anhang).

Längere Diskussionen lösen die verwendeten digitalen Grundlagen aus. Hauptkritik ist, dass die kantonalen Richtpläne sowie kantonale und kommunale Schutzgebiete nicht berücksichtigt wurden. Dazu muss festgehalten werden, dass sich das Projekt auf digital vorhandene Bundesdaten abstützt. In diesem Sinne werden „Bundes“-Potentialgebiete ausgewiesen. Die verwendeten Grundlagen entsprechen dem Datenstand von Mitte 1996.

5.3.2. Verbindlichkeit der Resultate aus der Sicht Landschaftsschutz

Das ausgewiesene Potential von rund 3500 Anlagen in der Schweiz wird zur Kenntnis genommen. In der heutigen Situation, wo nur sehr wenige Anlagen gebaut werden, besteht noch kein grosser Bedarf, den Bau von Windkraftanlagen stärker zu steuern. Wenn noch 50 Anlagen bis zum Jahr 2000 aufgestellt werden sollen, so sollten diese in den ausgewiesenen Flächen problemlos untergebracht werden können. Falls ein Boom für den Bau von Windkraftanlagen ausgelöst wird, so wären ordentliche Raumplanungsverfahren für die Ausscheidung von eigentlichen Windkraftgebieten ins Auge zu fassen.

Aus der Karte kann kein rechtlicher Anspruch auf einen bestimmten Standort geltend gemacht werden. Eine fallweise Abklärung ist für jede Anlage notwendig. Aufbauend auf den ausgewiesenen Potentialgebieten müssten nun in einem weiteren Schritt die eigentliche Standortabklärung stattfinden.

5.3.3. Anregungen für weitere Aktivitäten

In einem ersten Schritt könnte eine Checkliste entwickelt werden, wie mit den vorliegenden Resultaten umgegangen werden muss. Diese sollte Anleitung geben über den Umgang mit der Potentialkarte und über das Vorgehen von der Potentialkarte zur Standortwahl.

Langfristig müssten detaillierte Abklärungen der Standorte 1. Priorität vorgenommen werden. Dabei sind die Kantone zu begrüssen (Naturschutz, Landschaftsschutz, Raumplanung, usw.) und deren Informationen zu verwenden. Auf regionaler Stufe müsste die gleiche Methodik verfeinert angewandt werden.

Parallel dazu müsste ein (Umwelt-Qualitäts-)Handbuch für die Projektierung und den Bau von Windkraftanlagen erarbeitet werden. Im BUWAL bestehen Erfahrungen mit verwandten Themenbereichen.

Es wäre wünschbar und wichtig, wenn für den Bau von Windkraftanlagen ein einziger Ansprechpartner (oder -organisation) vorhanden wäre. Auf dem Gebiet des technischen Umweltschutzes wurden positive Erfahrungen gemacht bei der Diskussion um die Entsorgung von Autoschrott, wo das Autogewerbe die Entsorgung koordiniert organisiert. Der Aufbau einer „Windagentur“ würde in diesem Sinne begrüsst. Insbesondere könnten eigentliche Round-Table-Gespräche unter Mitwirkung aller Beteiligten (Landschaftsschutz, Windindustrie, EW, usw.) der Entwicklung der Windenergie in der Schweiz dienlich sein. Ein Vorschlag, welcher auch von

Energie 2000 bereits eingebracht wurde. Interessant wären auch informelle Gespräche zwischen BKW bzw. Juvent SA und den Vertretern von Natur und Landschaft.

6. Abschätzung Potential und Kosten

6.1. Grundlagen für die Berechnungen

Die Potentialgebiete und die Feldbegehungen dienten als Grundlagen, die für die Abschätzung der Windpotentials. Folgende Informationen wurden verwendet:

Anzahl Rasterzellen erster und zweiter Priorität, die für eine Installation in Frage kommen.

- Die Windverhältnisse
- Die Distanz der Rasterzellen zu Erschliessungswegen
- Die Distanz der Rasterzellen zu Einspeisungsmöglichkeiten

Andere Grundlagen für die Potentialabschätzung basieren auf Annahmen bzw. auf der Literatur und auf Erfahrungswerten aus Deutschland:

- Die installierten Anlagegrössen und Anzahl Anlagen
- Die Jahresenergieerträge
- Die Installationskosten
- Die Unterhalts- und Kapitalkosten

6.1.1. Windverhältnisse

Die entsprechenden Resultate können dem obigen Kapitel 4 entnommen werden.

6.1.2. Die Distanz zu Erschliessungswegen und zu Einspeisungsmöglichkeiten

Die Grundlagen für die Erschliessbarkeit der potentiellen Windkraftanlagen stammen aus den Berechnungen des GIS. Folgende Daten wurden zugrunde gelegt:

Verteilung Windkraftanlagen bezüglich Erschliessung (250 kW und 500 kW) Total					
		Einzelanlagen = 1'150		Windparks = 2'175	
Distanz zu Weg	Distanz zu Netz	1. Priorität	2. Priorität	1. Priorität	2. Priorität
< 250 m	250-500 m		16	8	29
	> 500 m	3	98	16	202
250-500 m	250-500 m		36	6	66
	> 500 m	45	272	68	523
> 500 m	250-500 m			8	7
	> 500 m	131	549	247	995
Total		179	971	353	1822
Total = 3'325 Anlagen, 1. Priorität = 523, 2. Priorität = 2'793					

Tabelle 13: Erschliessbarkeit der Windkraftanlagen

6.1.3. Die installierten Anlagegrößen und Anzahl Anlagen

Die mögliche installierbare Leistung ist im wesentlichen von der zur Verfügung stehenden Fläche abhängig ist (ca. 100 m² pro kW-Leistung). Auf Grund der kleinräumigen Verhältnisse in der Schweiz wird angenommen, dass nur 250 kW- und 500 kW-Anlagen installiert werden. Es wird angenommen, dass die heutige Windenergieproduktion bis zum Jahr 2000 verzehnfacht wird, dass bis zum Jahr 2010 eine weitere Verzehnfachung realisiert werden kann und dass das gesamte Potential bis zum Jahr 2030 ausgeschöpft wird. Damit müssten in den erwähnten Zeitspannen folgende Anzahl Anlagen gebaut werden:

Anzahl der Windkraftanlagen im zeitlichen Verlauf (250 kW und 500 kW-Anlagen)							
	Einzelanlagen u. kl. Windparks			Windparks			
Jahr	2000	2010	2030	2000	2010	2030	Total
1. Priorität	30	83	66	72	158	123	532
2. Priorität		206	765		407	1'415	2'793
Total	30	289	831	72	565	1'538	3'325

Tabelle 14: Verteilung der geplanten Windkraftanlagen im zeitlichen Verlauf

Für die Potentialberechnungen wurde angenommen, dass tendenziell gute Standorte (1. Priorität) eher am Anfang, bei höheren Stromgestehungskosten und mit der Zeit die schlechteren Standort bei tiefen Kosten erschlossen. (für detaillierte Unterlagen siehe Tabellen "Inst. Leistung" und "Energieproduktion im Anhang")

6.1.4. Die Jahresenergieerträge

Der mögliche Energieertrag ist stark von den am Standort herrschenden Windverhältnissen abhängig. Auf der Basis der Jahresauswertung von 1500 Anlagen, mit einer Gesamtleistung von 311 MW Deutschland (ISET, 1995), wird untenstehend der zu erwartende Energieertrag aufgeführt. Die Werte aus Binnenlandstandorten in Deutschland wurden aufgrund der Erfahrungen mit den bisherigen Installationen in der Schweiz, noch um rund **20 % reduziert** (Höhe ü.M., turbulenterer Winde, Vereisung, etc.).

Durch technische Innovationen und vielfältige Betriebserfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass die spezifische Energieproduktion längerfristig steigen wird, was durch den erhöhten Energieertrag in späteren Jahren berücksichtigt ist.

v Wind (10 m Höhe)	> 5.5 m/s (Klasse 1)			4.5 - 5.5 m/s (Klasse 2)			3.5 - 4.5 m/s (Klasse 3)		
Jahr	2000	2010	2030	2000	2010	2030	2000	2010	2030
250 kW -Anlage	300	320	350	250	270	300	200	220	250

500 kW -Anlage	600	650	700	500	550	600	400	450	500
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabelle 15: Entwicklung der Jahresenergieerträge / Anlage in Mwh

6.1.5. Die Installationskosten

Die Unterschiede in den spezifischen Installationskosten von Einzelanlagen und Windparks sind eher gering. Die eingesparten Kosten beim Bau, Montage, Zufahrt und durch Rabatte, werden mindestens teilweise wieder wett gemacht durch die aufwendigere Netzeinbindung (Verstärkung von Leitungen, weitere Distanzen, etc.) und das verteuerte Planungsverfahren (Umzonungen, UVB, etc.).

Da die vorliegenden Unterlagen und Auswertungen bestehender Installationen zudem keine detaillierten Differenzierungen von Einzelanlagen zu kleinen Windparks (< 5 Anlagen) zulassen, treffen wir folgende Annahmen:

- die spezifischen Installationskosten (Fr. kW) für Einzelanlagen und kleine Windparks (< 5 Anlagen) sind gleich hoch.
- die spezifischen Installationskosten für Windparks (> 5 Anlagen) sind um 10 % geringer (DIEKMANN, 1995).

Die untenstehende Tabelle der Installationskosten beinhaltet die Kosten für die Planung und den Bau der Anlagen. Zudem berücksichtigt sie die Kosten für Erschliessung und Einspeisung des Stromes ins Netz unter Berücksichtigung der Resultate der Feldbegehung. Alle Kostenannahmen basieren auf den Erfahrungswerten aus der Schweiz und aus einer Auswertung der Kosten in Deutschland (DIEKMANN, 1995). Details s. Anhang (Tabellen "Installationskosten").

	Einzelanlagen / kl. Windparks			Windparks		
Jahr	2000	2010	2030	2000	2010	2030
250 kW -Anlage	2'825.-	2'657.-	2'444.-	2'542.-	2'391.-	2'200.-
500 kW -Anlage	2'450.-	2'281.-	2'012.-	2'205.-	2'053.-	1'812.-

Tabelle 16: Entwicklung der mittleren Installationskosten in Fr. / kW

6.1.6. Unterhalts- und Kapitalkosten

Für die Unterhaltskosten und die Kapitalkosten wurden untenstehende Annahmen getroffen (Siehe auch Tabelle "Jahreskosten" im Anhang). Für die Unterhaltskosten wurde angenommen, dass sich diese mit der Zeit dank besserer Technik reduzieren werden.

	Unterhaltskosten			Kapitalkosten (Annuität)		
Jahr	2000	2010	2030	2000	2010	2030
250 kW -Anlage	3.5 %	3 %	2.5 %	10 %	10 %	10 %
500 kW -Anlage	3.5 %	3 %	2.5 %	10 %	10 %	10 %
250 kW -Anlage	94.-	75.-	58.-	288.-	252.-	232.-

500 kW -Anlage	81.-	65.-	48.-	233.-	217.-	191.-
----------------	------	------	------	-------	-------	-------

Tabelle 17: Entwicklung der Jahreskosten in % und Fr./kW

6.2. Resultate

6.2.1. Stromgestehungskosten

Aufbauend auf den obigen Grundlagen ergeben sich die untenstehenden Stromgestehungskosten. Diese variieren aufgrund der mittleren Windgeschwindigkeiten, der Zufahrtsmöglichkeiten zum Standort und des Netzanschlusses (Details s. Tab. "Installationskosten im Anhang).

	Einzelanlagen / kl. Windparks			Windparks		
Jahr	2000	2010	2030	2000	2010	2030
250 kW -Anlage	-. 39	-.33	-.26	-. 35	-.29	-.23
500 kW -Anlage	-. 34	-.28	-.21	-. 31	-.25	-.19

Tabelle 18: Entwicklung der mittleren Stromgestehungskosten in Rp./kWh

6.2.2. Potentialabschätzung

Aufgrund obiger Informationen können - unterteilt in die Zeiträume bis 2000, bis 2010 und bis 2030 - folgende Aussagen zum Potential gemacht werden.

Rp./kWh	Installierte Leistung in MW					Energieproduktion in GWh				
	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total
1. Priorität		7	32	2	41		7.8	32	1.5	41.3
2. Priorität										
Total		7	32	2	41		7.8	32	1.5	41.3

Tabelle 19: Potential bis ins Jahr 2000

Rp./kWh	Installierte Leistung in MW					Energieproduktion in GWh				
	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total
1. Priorität		102	8		110		112.1	8.6		120.7
2. Priorität		131	148	2	281		143.4	133.3	1.7	278.4
Total		233	156	2	391		255.5	141.9	17.	399.1

Tabelle 20: Potential bis ins Jahr 2010

Rp./kWh	Installierte Leistung in MW					Energieproduktion in GWh				
	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total
1. Priorität	56	35			91	66.6	41.4			108
2. Priorität	114	913	15		1'042	139	925.5	15		1'080
Total	170	948	15		1'133	205.6	966.9	15		1'188

Tabelle 21: Potential bis ins Jahr 2030

6.2.3. Bedeutung der Windkraft in der Schweiz

Gesamtelektrizitätsverbrauch der Schweiz 1995: 47'882 GWh 100 %

Mögliche Elektrizitätsproduktion aus Wind: 1'628 GWh 3.4 %

Rp./kWh	Installierte Leistung in MW					Energieproduktion in GWh				
	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total	< -. 20	20-30	30-40	> -.40	Total
1. Priorität	56	144	40	2	242	66.6	161.3	40.6	4.5	270
2. Priorität	114	1044	163	2	1'323	139	1'069	148.3	1.7	1'358
Total	170	1'188	203	4	1'565	205.6	1'230	190	3.2	1'628

Tabelle 22: Gesamtpotential

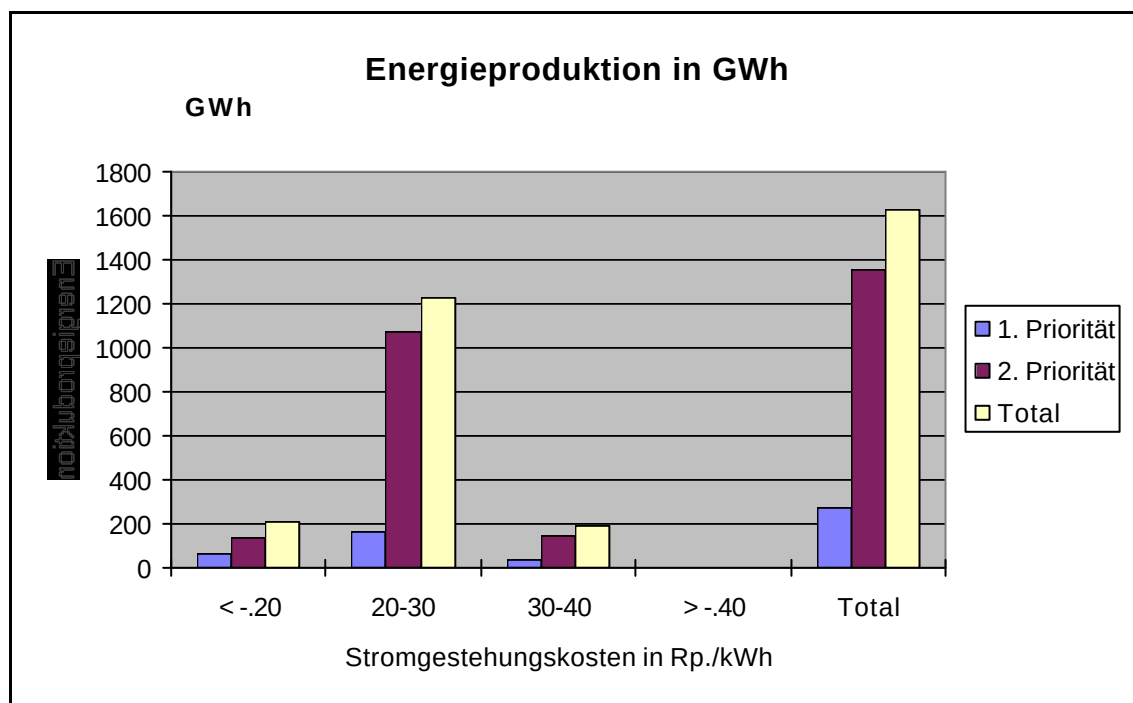


Abbildung 5: Energieproduktion in kWh und Gestehungskosten

7. Literatur

- Arkeseijn, L.A.G; Westra, C.A., 1991: The visual impact of wind turbines. A review of existing knowledge and dominant factors. In: Van Hulle, F.J.L. [Hrsg.]: Wind Energy. Technology and Implementation. o.O, Elsevier Science Publishers. S. 705-709.
- Bauer, I.; Caspers, E., 1993: Umweltfreundliche Windkraft. In: LÖLF-Mitteilungen, 1993,1. S. 50-53.
- Berkhuizen, J.C.; Postma, A.D., 1991: Impact of windturbines on birdlife. In Van Hulle, F.J.L. [Hrsg.]: Wind Energy. Technology and Implementation. o.O., Elsevier Science Publishers. S. 717-721.
- Berkhuizen, J.C.; Slob, A.F.L., 1989: The impact of environmental aspects on wind energy in The Netherlands. In: Wind-Energy-and-the-Environment-IEE-Energie-Series, 1989, 4. S. 6-13.
- Binswanger, Hans Chr.: Windenergie - eine falsche Alternative. In: Süddeutsche Zeitung 8. 8. 1995, S. 20.
- Böttger, M., 1990: Biologisch-ökologische Begleituntersuchungen zum Bau und Betrieb von Windkraftanlagen. Endbericht. NNA-Berichte, Sonderheft, 3,1990. Schneverdingen: Norddeutsche Naturschutzakademie. 123 S.
- Brandman, M.; Allen, G., 1984: Permitting and environmental compliance of wind energy development: noise considerations In: Americ.-Wind-Energy-Assn-Wind-Energy-Expo-84-and Natl-Conf., 1984. Pasadena. S. 1-7.
- Bruderer; Bruno. 1996: Vogelzugforschung im Bereich der Alpen 1980-1995. Der Ornithologische Beobachter 93: Seiten 119-130.
- Bruderer; Bruno. Publikation in Vorbereitung: The study od bird migration by radar. Part 2: Major achievements. Naturwissenschaften
- Brux, H., 1993: Regenerative Energien: Verschandeln sie die Landschaft ? Der Konflikt zwischen Windkraftanlagen und Landschaftsbild. In: Energie, 45,1993,6. S. 19-23.
- Bundesamt für Energiewirtschaft [Hrsg.], 1990: Meteonorm Wind-Leitfaden für Windenergieplaner. 190 S. Aarau: Nova Energie.
- Bunzel-Drücke, Margret; Schulze-Schwefe, Karl-Heinrich: Windkraftanlagen und Vogelschutz im Binnenland. In: Natur und Landschaft. 69, 1994, 3. S. 100-103.
- Bunzel-Drücke, M.; Schulze-Schwefe, K.-H., 1994: Windkraftanlagen und Vogelschutz im Binnenland. In: Natur und Landschaft, 69,1994,3. S. 100-103.
- Carlman, J.: Public opinion on the use of windpower in Sweden. In: EWEC 86, Conference, Papers. European Wind Energy Ass. p. 569-573
- Clarke, A., 1989: Wind farm location and environmental impact. In: Intl-J-Ambient-Energy. 10, 1989, 3. S. 129-144.
- Davidson, R., 1993: Bird fears hold up Altamont Plans. In: Windpower monthly, 1993, 4. S. 12.
- Davidson, R., 1993: Experts work together on reducing bird kills. In: Windpower monthly, 1993, 2. S. 14
- Davidson, R., 1994: Research incomplete on lattice towers and birds. In: Windpower monthly, 1994, 3. S. 17
- Filbrandt, U., 1992: Naturschutz vom Winde verweht? In: Naturschutz heute, 1992,24. S. 36-37.
- Flore, B.-O., 1993: Rücksichtslose Windpark-Planung? In: Wattenmeer International. Aug. Deutschland. 1993,1. S. 29.

- Frank, Renate: Windenergie bringt eine Milliarde Umsatz und 440 Arbeitsplätze. In: Basler Zeitung. 8. 3. 1996.
- Grauthoff, M., 1991: Windenergie in Nordwestdeutschland. Nutzungsmöglichkeiten und landschaftsökologische Einpassung von Windkraftanlagen. Europäische Hochschulschriften, Reihe XLII: Ökologie, Umwelt und Landschaftspflege, 6. Frankfurt a.M., Peter Lang. 279 S.
- Helsloot, L.; Tacken, M., 1986: Windkrachtcentrales in het landschap, een belevingsonderzoek. In: ISO-rapport, 1986,57. S. 28-35.
- Hinzen, Ajo; Mayr, Claus: Naturschutzprobleme durch Windkraftanlagen. In: LÖBF-Mitteilungen. 1995, 1. S. 55-57.
- Höf, F., 1992: Standortermittlung und Standortsicherung für Wind- und Sonnenenergieanlagen. Ein neues Aufgabenfeld für die Regionalplanung. Werkstattbericht, 20. Kaiserslautern, Universität. 4, 160 S.
- Kelch, ? : 1993: Windkraftanlagen und Landschaftsbild. Vortrag anlässlich der Husumer Windenergietage 1993 am 22.09.1993. [Fotokopie, Quelle unbekannt] S. 434-438.
- Kellet, J., 1989: The environmental impact of wind energy developments. In: Town-Planning-Review, 61,1990,2. Sheffield, City Polytechnic. S. 139-155.
- Kleinschmidt, Volker; Schauerte-Lüke, Norbert; Bergmann, Ralf: Rahmenkonzept für Windkraftanlagen und -parks im Binnenland · Ein Beispiel aus Nordrhein-Westfalen. In: Natur und Landschaft. 69, 1994, 1. S. 9-18.
- La Roche, Emanuel: Nordfriesen verfluchen die Windkraft. In: Tages-Anzeiger: 28.10.1996, S.4.
- Luke, A., 1993: Bird solutions species specific. In: Windpower monthly, 1993,9. S. 47-48.
- Luke, A., 1994: Bird deaths prompt rethink on wind farm in Spain. In: Windpower monthly, 1994, 2. S. 14-16.
- Mayr, Claus: Privilegierung von Wind- und Wasserkraftanlagen. In: Naturschutz und Landschaftsplanung. 28, 1996, 6. S. 190.
- Mertens, K., 1994: Erfahrungen mit Windkraftanlagen in der Schweiz [Fotokopie, Quelle unbekannt], 2 S.
- Meteotest, 1990: Windenergienutzung im Kanton Bern - Schlussbericht, 50. Bern, Meteotest.
- Meteotest, 1995: Meteorologische Grundlagen für die Sonnenenergienutzung. 186 S. Aarau: Nova Energie.
- Mielke, Bernd: Räumliche Steuerung bei der Planung von Windenergie-Anlagen. In: Naturschutz und Landschaftsplanung. 28, 1996. 4. S. 101-107.
- Moenck,R., ca 1993: Auswirkungen der Windenergienutzung auf den Naturhaushalt. [Fotokopie, Quelle unbekannt] S. 54-61.
- Naturschutzbund Deutschland (NABU). [Hrsg.]: Windenergie und Naturschutz. Bonn: NABU. 1 Bl. Ökoskop: Umweltauswirkungen von Windkraftanlagen. Gelterkinden: Ökoskop. 1994.
- Schreiber, M., 1993: Tabuzonen für Windparks. In: Ökologische Briefe, 16. S. 3-5.
- Schreiber, M., 1993: Windkraftanlagen und Watvogel-Rastplätze. Störungen und Rastplatzwahl von Brachvogel und Goldregenpfeiffer. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, 25, 1993, 4. S. 133-139.
- Schweiz. Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege, 1996: Windkraft und Landschaftsschutz, Positionspapier der SL, 1 Bl.
- Siebert, H.: 1992: Windenergie: Gegenwind der Ökologen. In: Bonner Umwelt- und Energie-Report, 13,1992,1. S. 42-45.
- Steele, A., 1991: An Environmental Impact Assessment of the Proposal to Build a Wind Farm at Langdom Common in the North Pennines, UK. In: Environmentalist, 11, 1991,3.

- Vasudevan, M.S. [u.a.], 1989: Environmental acceptability of the advanced wind energy converter. In: Wind-Energy-and-the Environment-IEE-Energy-Series. 1989,4. S. 81-89.
- Vauk, G., 1989: Biologisch-ökologische Begleituntersuchungen zum Bau und Betrieb von Windkraftanlagen. Statusreport für das Jahr 1989 zum Forschungsvorhaben... des Bundesmin. f. Forschung und Technologie. In: NNA-Publikation, 40. S. 376-391.
- Wardt, V.D.; Staats, J.W., 1988: Landschaften mit windturbinen. Leiden. S. 139-141.
- Wattenmeer international, 2.Juni,1991: Windenergie, Wo liegen die Grenzen?. 16 S.
- Wittelmann ???
- Wobben, A., 1988: Frische Brise. Chancen von Windenergieanlagen mittlerer Leistung. In: Energiewirtschaftl. Tagesfragen, Sonderteil, 38,1988,4. S. W30-W34.