

## Wasserstoff aus Windenergie in Ost-Patagonien - Eine Machbarkeitsstudie -

Dr. K. Mönnich, Dr. T. Neumann, M. Strack; DEWI  
H. Braess, Dr. K. Scheuerer; BMW, Traffic and Environment



### Summary:

*The results of a feasibility study are presented that is dealing with the large scale production of liquid hydrogen by means of wind energy in Argentina, East-Patagonia. For this, a wind potential assessment for East-Patagonia has been carried out. Using a GIS system the wind potential has been overlaid with a detailed infrastructure analysis to find out the most suitable areas to meet the project needs. Furthermore, two different project concepts have been developed and an estimation of specific energy costs was performed.*

*The results of this study have been presented on the EWEC 2003, Madrid, as well and will be included in the conference proceedings in English language.*

### 1. Einleitung

Aufgrund der endlichen Ressourcen von Öl und Gas ist der Einsatz von Benzin und Erdgas als Treibstoff für KFZ begrenzt. Zusätzlich ist aus Gründen des Umweltschutzes eine Umstellung auf einen umweltfreundlichen Treibstoff erwünscht. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht im wesentlichen Wasserdampf, deshalb ist dieser Treibstoff als umweltfreundlich anzusehen, wenn die Produktion von Wasserstoff aus regenerativen Energien erfolgt und nicht aus fossilen Ressourcen. BMW beauftragte das DEWI eine Machbarkeitsstudie über die Möglichkeiten der Wasserstoffproduktion durch Windenergie zu erstellen. Zielvorgabe ist die Gewinnung von 250 TWh/a flüssigem Wasserstoff. Mit dieser Größenordnung kann ein wesentlicher Anteil des KFZ-Flottenverbrauchs eines industrialisierten Landes gedeckt werden. Zur Erzielung einer akzeptablen Energiedichte bezüglich des Volumens wird der erzeugte Wasserstoff verflüssigt. Anschließend muss der verflüssigte Wasserstoff zum Verbraucher transportiert werden. Als Standort wurde Ost-Patagonien (Argentinien) gewählt, aufgrund des zu erwartenden hohen Windangebotes und der zur Verfügung stehenden freien Flächen.

In der Machbarkeitsstudie wird das Windpotential Ost-Patagoniens abgeschätzt und in Kombination mit einer Infrastrukturanalyse eine geeignete Fläche für einen Beispiel-Windpark bestimmt. Des weiteren werden Konzepte möglicher Projektrealisationen ermittelt und bezüglich technischer und wirtschaftlicher Möglichkeiten diskutiert. Tab. 1 zeigt die Projektdimensionen und einige Annahmen die für die Erstellung der Studie getroffen wurden. Die Ergebnisse dieser Studie sind auch auf der europäischen Windenergiekonferenz (EWEC) 2003, Madrid, in englischer Sprache vorgestellt worden und im erscheinenden Konferenzband enthalten. Annahmen die bezüglich der Wasserstofftechnologie getroffen wurden, stützen sich im wesentlichen auf [1], [2] und Informationen von BMW.

### 2. Analyse der Infrastruktur

Für die Suche nach einem geeigneten Standort für die Durchführung des gewünschten Projektes ist neben einem möglichst hohen Windpotential eine gute Infrastruktur notwendig. Insbesondere aufgrund der betrachteten Projektdimensionen ist diese sehr wichtig. Untersucht wurde die Verfügbarkeit möglicher Transportwege (Straßen, Eisenbahn, Flüsse, etc.) und Erreichbarkeit von Häfen ebenso wie die Verfügbarkeit notwendiger Ressourcen und Technik (Wasser, elektrisches Netz) und generelle Speichermöglichkeiten (Kavernen). Desweiteren konnten Gebiete ausgeschlossen werden, die nicht als Projektfläche in Frage kamen, wie z.B. Naturschutzgebiete, Flüsse, Gletscher, Wälder, Militäranlagen und Städte. Für diese Untersuchungen wurde ein geographisches Informationssystem (GIS) verwendet. Mit Hilfe des GIS sind sämtliche Gegebenheiten individuell berücksichtigt und deren Verfügbarkeit bewertet worden. Eine Einteilung in Klassen (Abb. 1 zeigt die Werteklassen der Transportinfrastruktur) mit einer anschließenden Verschneidung der einzelnen Infrastrukturbewertungen führt schließlich zu einer allgemeinen Gesamt-Infrastrukturbewertung.

Annahme: Windanlagentechnologie 5 MW, 112m-Rotor => 0.5 km<sup>2</sup> pro WEA

Jahr	2002	2025
Leistung pro km <sup>2</sup>	10	10 MW
Kapazitätsfaktor	40	40 %
Elektrische Energieproduktion	35	35 GWh/a per km <sup>2</sup>
Wirkungsgrad LH <sub>2</sub> -Produktion	45	61 %
Energieproduktion LH <sub>2</sub>	16	21 GWh/a per km <sup>2</sup>
Zielvorgabe Energie LH <sub>2</sub>	250	250 TWh/a
Zu installierende Leistung	159	117 GW

Tab. 1: Getroffene Annahmen für Projektberechnungen und -dimensionen.

### 3. Windpotential

Das Windpotential wurde auf Basis verfügbarer meteorologischer Daten berechnet. Dies sind geostrophische Winddaten (NCAR/NCEP Reanalyse-Daten) und Winddaten von meteorologischen Bodenstationen des Servicio Meteorológico Nacional, Argentinien. Die wichtigsten Bodenstationen wurden besucht. Als topographische Basis wurden weltweit verfügbare Landnutzungsdaten mit einer Auflösung von 1 km und für die Höheninformationen Gtopo30-Daten (U.S. Geological Survey's EROS Data Center) mit einer horizontalen Auflösung von 30 arc Sekunden verwendet, beides teilweise ergänzt durch Informationen aus verfügbaren topographischen Karten und Satellitenbildern. Auf diese Weise konnten aus den Bodendaten unter Verwendung der Methode des europäischen Windatlasses [3] regionale Windstatistiken berechnet werden. Es muss jedoch einschränkend erwähnt werden, dass in Patagonien nur sehr wenige meteorologische Stationen existieren. Besonders im gering besiedelten Inland sind kaum Stationen vorhanden. Deshalb sind für diese Regionen fast keine Informationen vorhanden und die Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse entsprechend hoch. Auch für die weiteren Berechnungen wurde die Methode nach dem europäischen Windatlas angewendet. Die Daten der meteorologischen Station konnten überprüft werden anhand von Energieertragsdaten eines nahegelegenen Windparks. Aufgrund dieser Prüfung wurde die erstellte Windstatistik als realistisch für die Region und deshalb als geeignet für die weiteren Berechnungen bewertet. Für die anderen meteorologischen Stationen war eine solche Plausibilisierung nicht möglich, da bisher keine Windanlagen in deren Umgebung existieren. Daher weisen diese Daten eine erhöhte Unsicherheit auf.

Die Abschätzung des Windpotentials erfolgte in mehreren Stufen. Eine erste sehr großräumige Abschätzung des Windpotentials wurde auf Basis der vorhandenen geostrophischen Winddaten durchgeführt. Diese Abschätzung führt zu dem Ergebnis, dass die Windgeschwindigkeiten kontinuierlich Richtung Süden ansteigen (Abb. 2). Generell ist diese Tendenz auch in den Daten der meteorologischen Stationen wieder zu finden, jedoch nicht in dem Maße wie die geostrophischen Daten annehmen lassen. Besonders im Süden Patagoniens sind die Unterschiede gering. Das Untersuchungsgebiet wurde aufgrund der ersten Abschätzung auf den südlichen Bereich, im wesentlichen die Provinz Santa Cruz, beschränkt.

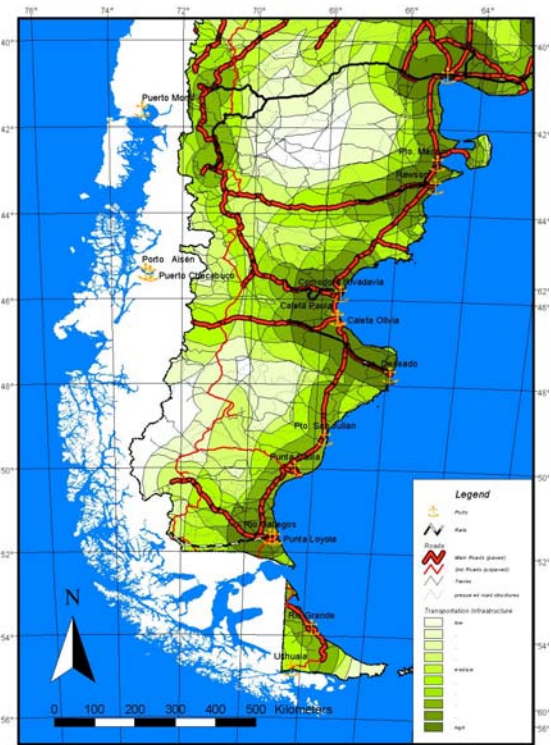


Abb. 1: Bewertungsklassen der Transportinfrastruktur.

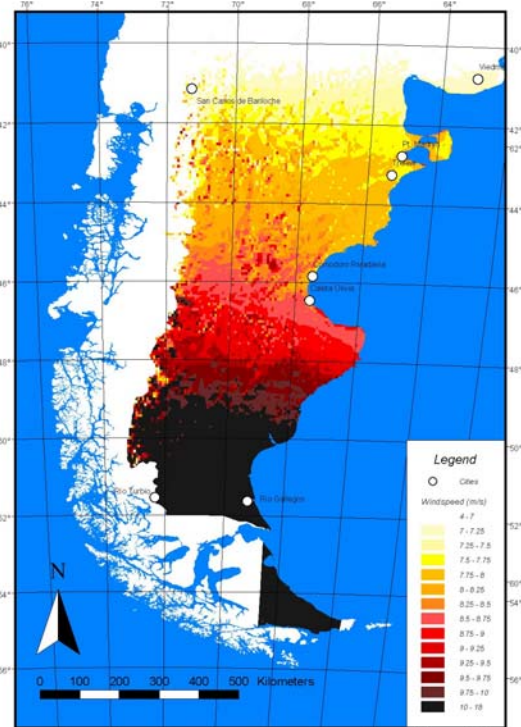


Abb. 2: Windpotential Ost-Patagoniens auf Basis der geostrophischen Winddaten.

Für die Bestimmung des Windpotentials wurden die Daten der meteorologischen Stationen für jeden berechneten Gitterpunkt räumlich interpoliert. Ermittelt wurde das Windpotential entsprechend Abb. 3. Das ermittelte Windpotential wurde in Klassen eingeteilt, die mit den Infrastruktur-Klassen verschnitten wurden. Als Ergebnis werden Bewertungen der Flächen in Hinblick auf deren Eignung für die Projektziele erhalten. Die höchste Bewertung ist südwestlich von Comodoro Rivadavia zu finden (Abb. 4). Außerdem wird die Region um Rio Gallegos als geeignet bewertet. Aufgrund der geringeren Unsicherheit der meteorologischen Datenbasis der Region Comodoro Rivadavia wurde diese Region als exemplarische Projektfläche ausgewählt (schraffierte Fläche Abb. 4). Für diese Region wurde das Windpotential in hoher Auflösung ermittelt.

#### 4. Projektkonzepte

Die Projektkonzepte unterscheiden sich im wesentlichen durch ihre verschiedenen Energieableitungsarten. Konzept 1 geht von einer direkten Kopplung jeder einzelnen Windanlage mit einem Elektrolyseur aus. Die Energieableitung erfolgt in Form von gasförmigem Wasserstoff per Pipeline zur Verflüssigungsanlage am Hafen. (Abb. 5). Konzept 2 geht davon aus, das sich sowohl Elektrolyseur als auch Verflüssiger am Hafen befinden. Die Energieableitung erfolgt als elektrische Energie über Hochspannungsleitungen von den Windanlagen zum Elektrolyseur (Abb. 5).

#### 5. Kostenabschätzung

Tab. 2 zeigt einen Vergleich der geschätzten spezifischen Energiekosten des produzierten Flüssigwasserstoffs. Da die Kostenunterschiede zwischen beiden Konzepten so gering sind, das sie im Rahmen der Unsicherheiten liegen, gilt Tab. 2 für beide Konzeptarten. Einen hohen Anteil an den Kosten haben die Transportkosten. Tab. 2 enthält die Kosten für den Schiffstransport von Comodoro Rivadavia nach Buenos Aires.

#### 6. Fazit

Für den Süden Ost-Patagoniens wurde ein hohes Windenergiepotential mit Kapazitätsfaktoren um die 40% berechnet. Aufgrund der schlechten Datenbasis weist das berechnete Windenergiepotential jedoch große Unsicherheiten auf, insbesondere im Inland. Eine Verschneidung des Windpotentials mit der Infrastruktur führte auf die Auswahl der Regionen Comodoro Rivadavia und Rio Gallegos als geeignet für die Projektziele.

Der enorme Flächenbedarf kann in Ost-Patagonien prinzipiell gedeckt werden. Die Errichtung der notwendigen Windparks hätte jedoch einen großen Einfluss auf das Landschaftsbild. Die Produktion von Flüssigwasserstoff durch Windenergie ist technisch machbar. Die benötigte Technik befindet sich aber besonders in den notwendigen Größenordnungen noch im Forschungsstadium. Wir-

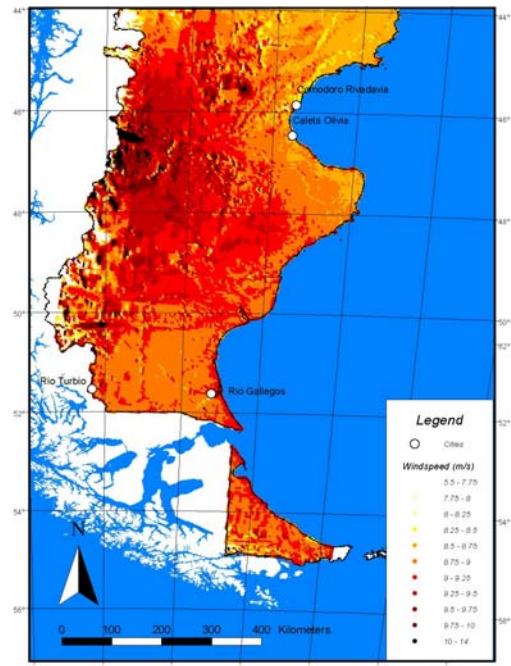


Abb. 3: Windpotential der Provinz Santa Cruz.

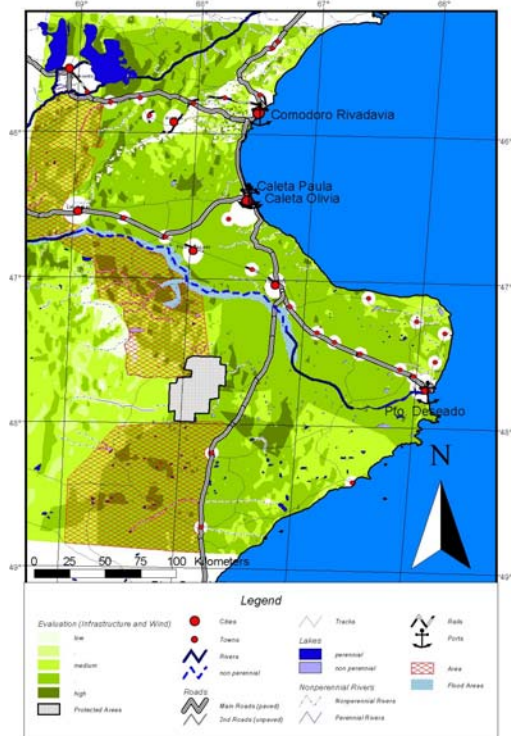


Abb. 4: Klassen der Eignung für die Region Comodoro Rivadavia. Windpotential und Infrastruktur sind hier verschnitten worden.

Jahr	€/ kg LH <sub>2</sub>		€/ l Dieseläquivalent	
	Betriebszeitraum		Betriebszeitraum e	
	10 Jahre	20 Jahre	10 Jahre	20 Jahre
2003	9.65	7.14	2.81	2.08
2025	4.43	3.30	1.29	0.96

Tab. 2: Spezifische Energiekosten



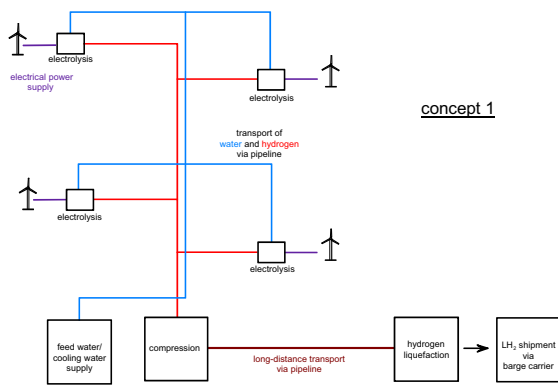


Abb. 5: Konzept 1: Wasserstoffableitung.

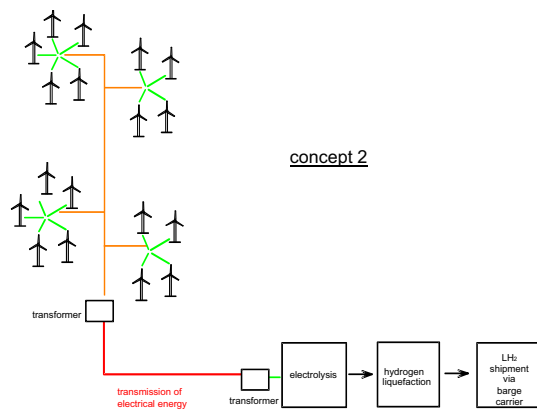


Abb. 6: Konzept 2: Elektrizitätsableitung.

kungsgrade, insbesondere von Elektrolyseuren, Verflüssigungsanlagen und des Transportes, sind heutzutage niedrig. Dies führt zu hohen spezifischen Kosten im Vergleich zu fossilen Energien. Eine Verbesserung der Wirkungsgrade zusammen mit einer größeren Industrialisierung der Windanlagenherstellung kann in Zukunft zu deutlich reduzierten spezifischen Energiekosten führen.

## 7. Literatur

- [1] Matthias Altmann, Susanne Gaus, Hubert Landinger, Christoph Stiller, Reinhold Wursten: Wasserstoffherzeugung in Off-shore Windparks. L-B Systemtechnik GmbH, Ottobrunn 2001, Studie durchgeführt von GEO Gesellschaft für Energie und Ökologie mbH.
- [2] U. Wagner, J. Angloher, Th. Dreier: Techniken und Systeme zur Wasserstoffherstellung. wiba Koordinationsstelle der Wasserstoff-Initiative Bayern, erstellt durch "Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München", München 2000
- [3] I. Troen, E.L. Petersen: Europäischer Windatlas. Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, 1990.