



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# DIPLOMARBEIT

## Aktueller Stand der Windenergienutzung in Österreich

ausgeführt am Institut für

### Energietechnik und Thermodynamik

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Reinhard Willinger

durch

Andrijana Sokolovic Prokic

Mat. Nr.: 0027073

Wien, September 2013

# **Danksagung**

## **Abstract**

The importance of the use of renewable energy sources for electricity generation plays in recent years, not only in Austria but in global energy policy, a central role. While in Europe the demand for electricity continues to grow, the reserves of fossil fuels such as petroleum and natural gas for power generation will be less and less. For this reason, to be provided by renewable energy by 2020, 20 percent of the energy consumed in the EU.

Austria has undertaken in December 2008 in the energy and climate package of the European Union to increase the share of renewable energy to 34 percent. The wind power should play a significant role. As in Austria wind is free and inexhaustible available, the development of wind power must be strongly encouraged.

The aim of this thesis is to describe the current state of wind energy and the wind energy potential in Austria. While in recent years the interest in power generation by wind power is steadily increasing, the question arises whether the use of wind energy in the future is a safe alternative.

The first chapter of this work, form an overview of the basic physical conditions and the technical development of the wind turbine. Furthermore, I tried from different publications, literature research and statistics available in Austria a picture of wind turbines and their usable potential to describe. There are the existing facilities and their services as well as the largest wind farms in Burgenland and Lower Austria described and illustrated. Another I tried to present the results of the studies conducted so far and their realizable potential.

And finally, this work provides an overview of the questions in Austria available renewable energy sources such as hydropower, bioenergy and photovoltaics as well as their maximum annual harvest.

## **Kurzfassung**

Die Bedeutung der Nutzung regenerativer Energiequellen zur Stromerzeugung spielt in den letzten Jahren, nicht nur in österreichischer sondern vielmehr in weltweiter Energiepolitik, eine zentrale Rolle. Während in Europa der Strombedarf kontinuierlich wächst, werden die Reserven an fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas für die Energieerzeugung immer geringer. Aus diesem Grund sollen bis zum Jahr 2020 20 Prozent der in der EU verbrauchten Energie mit erneuerbaren Energien bereitgestellt werden.

Österreich hat sich im Dezember 2008 im Energie- und Klimapaket der Europäischen Union verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energieträger auf 34 Prozent zu erhöhen. Die Windkraft soll dabei eine wesentliche Rolle spielen. Da in Österreich Wind kostenlos und unerschöpflich zur Verfügung steht, muss die Entwicklung von Windkraft stark gefördert werden.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist den aktuellen Stand der Windenergienutzung sowie das Windenergiepotenzial in Österreich zu beschreiben. Während in den letzten Jahren das Interesse an Energiegewinnung durch Windkraft ständig steigt, stellt sich die Frage, ob die Windenergienutzung in der Zukunft eine sichere Alternative darstellt.

Die ersten Kapitel der vorliegenden Arbeit bilden einen Überblick über die physikalischen Grundbedingungen und die technische Entwicklung der Windkraftanlage. Weiterhin versuchte ich aus verschiedenen Publikationen, Literaturrecherchen und Statistiken ein Bild der in Österreich verfügbaren Windkraftanlagen und ihr nutzbares Potential zu beschreiben. Es wurden die bestehende Anlagen und ihre Leistungen sowie die größten Windparks in Burgenland und Niederösterreich beschrieben und dargestellt. Weiteres versuchte ich, die Ergebnisse der bisher durchgeführten Studien und ihre realisierbaren Potentiale darzustellen.

Und zum Schluss bietet diese Arbeit eine Übersicht über die in Österreich zur Verfügung gestellten regenerativen Energieträger wie Wasserkraft, Bioenergie und Photovoltaik sowie ihre maximale Jahresernte.

# Inhaltsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Danksagung.....   | i   |
| Abstract .....  | ii  |
| Kurzfassung .....   | iii |
| Nomenklatur.....  | vi  |
| 1. Rückblick in die Historie .....                            | 1   |
| 1.1 Windräder mit vertikaler Achse .....                      | 1   |
| 1.2 Windräder mit horizontaler Achse .....                    | 2   |
| 2. Grundlagen.....  | 4   |
| 2.1 Windentstehung.....                                       | 4   |
| 2.2 Höhenwindprofil .....                                     | 5   |
| 2.3 Grenzschichtprofil.....                                   | 6   |
| 2.4 Einfluss von Topographie und Rauigkeit .....              | 9   |
| 2.5 Messung der Windverhältnisse .....                        | 10  |
| 2.5.1 Schalenkreuzanemometer .....                            | 10  |
| 2.5.2 Ultraschallanemometer .....                             | 11  |
| 3. Systematische Beschreibung.....                            | 12  |
| 3.1 Bauformen von Windkraftanlagen .....                      | 12  |
| 3.1.1 Rotoren mit vertikaler Drehachse .....                  | 12  |
| 3.1.2 Rotoren mit horizontaler Drehachse .....                | 13  |
| 3.2. Konstruktiver Aufbau von modernen Windkraftanlagen ..... | 14  |
| 3.2.1. Fundament.....   | 14  |
| 3.2.2 Der Turm.....   | 15  |
| 3.2.3 Gondel.....   | 16  |
| 3.2.4 Rotor.....  | 17  |
| 3.3 Windenergie-Konzentratoren .....                          | 18  |
| 4. Physikalische Grundlagen der Windenergie -wandlung .....   | 21  |
| 4.1 Windleistung – Betzsche Theorie.....                      | 22  |
| 4.2 Aerodynamik des Rotors.....                               | 25  |
| 4.2.1 Tragflügeltheorie .....                                 | 26  |
| 4.2.2 Winddreiecke .....                                      | 28  |
| 5. Studien .....  | 29  |
| 5.1 Studien von 1981 bis 2007.....                            | 29  |
| 5.2 Windatlas und Windpotentialstudie Österreich 2011 .....   | 32  |
| 6. Windenergienutzung in Österreich.....                      | 37  |
| 6.1 Standorte .....   | 39  |

|  |    |
|--|----|
| 6.2 Bestehende Anlagen und Leistung .....                                  | 40 |
| 6.3 Größte Windparks Niederösterreichs - Vergleich .....                   | 41 |
| 6.4 Größte Windparks Burgenlands – Vergleich .....                         | 44 |
| 6.5 Betreiber .....  | 46 |
| 6.6 Statistische Daten .....   | 52 |
| 7. Bedeutung der erneuerbaren Energie im österreichischen Energiemix ..... | 57 |
| 7.1 Erneuerbare Energiequellen .....                                       | 59 |
| 7.2 Energiestrategie Österreich .....                                      | 61 |
| 7.3 Erneuerbare Energien in Zahlen .....                                   | 63 |
| 7.3.1 Wasserkraft .....  | 65 |
| 7.3.2 Biomasse .....   | 66 |
| 7.3.3 Erdwärme oder Geothermie .....                                       | 70 |
| 7.3.4 Photovoltaik .....   | 71 |
| 7.4 Ökostromgesetz 2012 .....  | 72 |
| 7.4.1 Gesetzliche Grundlagen in Österreich .....                           | 73 |
| 8. Zusammenfassung .....   | 76 |
| Literatur .....  | 78 |
| Abbildungsverzeichnis .....  | 80 |
| Tabellenverzeichnis .....  | 83 |
| Anhang .....   | 84 |

# Nomenklatur

## Lateinische Formelzeichen

| Symbol          | Bedeutung                                       | Einheit                           |
|-----------------|---|-----------------------------------|
| $A$             | Auftriebskraft                                  | N                                 |
| $A_c$           | Charnock-Konstante                              | -                                 |
| $b$             | Breite  | m                                 |
| $c$             | Anströmgeschwindigkeit                          | m/s                               |
| $c_A$           | Auftriebsbeiwert                                | -                                 |
| $c_w$           | Widerstandsbeiwert                              | -                                 |
| $c_{PBetz}$     | Leistungsbeiwert nach Betz                      | -                                 |
| $E$             | Kinetische Energie                              | kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> |
| $f$             | durchströmende Fläche                           | m <sup>2</sup>                    |
| $g$             | Erdbeschleunigung                               | m/s <sup>2</sup>                  |
| $\dot{m}$       | Massenstrom                                     | kg/s                              |
| $n$             | Drehzahl  | U/min                             |
| $P_{Wind}$      | Windleistung                                    | kg m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> |
| $P_{Betz}$      | Betz-Leistung                                   | kg m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> |
| $R$             | Rotorradius                                     | m                                 |
| $r$             | Radius  | m                                 |
| $s$             | Abstand   | m                                 |
| $t_1$           | Hinweg  | m                                 |
| $t_2$           | Rückweg   | m                                 |
| $u$             | Umfangsgeschwindigkeit                          | m/s                               |
| $u^*$           | Schubspannungsgeschwindigkeit                   | m/s                               |
| $v$             | Windgeschwindigkeit                             | m/s                               |
| $v_1, v_2$      | Geschwindigkeiten                               | m/s                               |
| $V_x, V_y, V_z$ | Geschwindigkeitskomponenten in x, y, z-Richtung | m/s                               |
| $V_{horiz}(t)$  | Horizontale Windgeschwindigkeit                 | m/s                               |
| $V_{Vektor}(t)$ | Windvektor                                      | m/s                               |
| $z_H$           | Hindernishöhe                                   | m                                 |
| $z_1, z_2$      | Höhen   | m                                 |
| $z_0$           | Rauhigkeitslänge                                | m                                 |

## Griechische Formelzeichen

| Symbol     | Bedeutung             | Einheit           |
|------------|-----------------------|-------------------|
| $\alpha$   | Anströmwinkel         | grad              |
| $\alpha_A$ | Anstellwinkel         | grad              |
| $\lambda$  | Schnelllaufzahl       | -                 |
| $\rho$     | Luftdichte            | kg/m <sup>3</sup> |
| $\Omega$   | Winkelgeschwindigkeit | rad/s             |

# 1. Rückblick in die Historie

## 1.1 Windräder mit vertikaler Achse

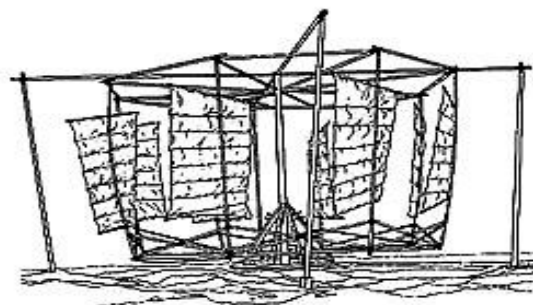
Die ersten historischen Quellen über die Existenz von Windmühlen aus dem persisch-afghanischen Grenzgebiet Seistan datieren aus dem Jahr 644 nach Christus. Es handelt sich um Windmühlen mit vertikaler Drehachse, die zum Getreidemahlen benutzt wurden. Die Ruinen dieser alten Windmühlen kann man noch heute im Iran und in Afghanistan sehen.

Diese seit Jahrhunderten betriebenen Windmühlen hatten eine vertikale Drehachse. Auf einem vertikalen Mast waren geflochtene Matten befestigt, die dem Wind Luftwiderstand entgegensetzten.



**Abbildung 1.1:** Vertikalachsen - Windmühle zum Getreidemahlen aus Afghanistan [31]

In China wurden die Windräder zum Entwässern der Reisfelder benutzt. Heute ist nicht mehr feststellbar, ob die Chinesen die Windmühlen bereits vor den Persern gekannt haben. Die chinesischen Windräder haben eine einfache Konstruktion aus Bambusrohren und Stoffsegel gehabt und verfügten über eine vertikale Drehachse. Im Gegensatz zu den persischen Windrädern hatten sie den Vorteil, dass sie den Wind unabhängig von seiner Richtung nutzen konnten. [1] [5]



**Abbildung 1.2:** Chinesisches Windrad zum Wasserschöpfen [31]



## 1.2 Windräder mit horizontaler Achse

Die klassischen Bockwindmühlen mit horizontaler Drehachse stammen aus dem Jahr 1180 aus dem damaligen Herzogtum Normandie. Schon damals hat man einen großen Nutzen der Windenergie erkannt, so dass sich der Bockwindmühlenbau über ganz Nord- und Osteuropa verbreitet hat.

Ein oder zwei Jahrhunderte später treten auch sogenannte Turmwindmühlen auf. Sie verfügten über einen steinernen, runden Turm, in dem sich das Windrad befand.

Im sechzehnten Jahrhundert entwickelten Holländer einen neuen Mühlentyp, die sogenannte "Holländer – Mühle".

### Bockwindmühle

Die Bockwindmühle ist der älteste Windmühlentyp in Europa. Das erste mal taucht sie in einem englischen Gebetbuch im 12. Jahrhundert auf. Von England und Frankreich breitet sie sich über Holland, Deutschland (13. Jh.) und Polen nach Russland (14. Jh.) aus. Heute ist es zwischen Historikern umstritten, wer sie zuerst erfand und wo sie herkommt.

Das gesamte kastenförmige Mühlenhaus ist auf einem Bock drehbar gelagert. Der Bock besteht aus einem zentralen Hausbaum oder Ständer, der mit vier diagonalen Kreuzstäben versteift ist. Er ragt bis zur halben Höhe in das Mühlenhaus und ist dort mit dem Mehlbalken verbunden. Das Mühlenhaus ist durch Mehlbalken in obere Etage, den Steinspeicher, und untere Etage, den Mehlspeicher, unterteilt. Die Bockwindmühle wurde ausschließlich zum Mahlen eingesetzt. Im 15. Jahrhundert hat man versucht die Windenergie auch zum Antrieb von Pumpen zu nutzen. Man hat die Bockwindmühle so modifiziert, dass die aus dem Wind gewonnene Energie an die unter der Mühle gelegene Pumpe weitergegeben wurde. So entstand die Wippmühle, die speziell für Entwässerung eingesetzt wurde. [1][5]

### Holländerwindmühle

Das Hauptcharakteristikum der Holländerwindmühle ist die drehbare Dachhaube. Das Ziel war das gesamte Mühlenhaus feststehend zu bauen und nur noch die Dachhaube mit dem Windrad drehbar zu lagern. Auf diese Weise konnte man größere und leistungsfähigere Mühlen bauen, sowie unterschiedliche Arbeitsmaschinen aufnehmen. Neben Wasserschöpfwerken und Getreidemahlsteinen wurden noch die Hammerwerke und Holzsägen angetrieben.

In Holland wurden diese Mühlen hauptsächlich zur Polderentwässerung eingesetzt, während sie im übrigen Europa vorwiegend zum Getreidemahlen genutzt wurden. [1][5]

### Windmühle Podersdorf am See

Die älteste Windmühle Österreichs ist die Windmühle Podersdorf am See (Abbildung 1.3). Sie wurde im Jahr 1849 gebaut und ist heute noch voll funktionsfähig.

In einem Archivstück vom August 1820 des Klosters Heiligenkreuz findet man die erste Erwähnung dieser Windmühle, die heute unter Denkmalschutz steht.



**Abbildung 1.3:** Windmühle Podersdorf am See, vor und nach Restauration [9]

Ursprünglich war sie als hölzerne Bockwindmühle gebaut. Nachdem sie von der Familie Lentsch 1849 erworben wurde, wurde sie mit Steinen und Ziegeln neu aufgebaut. Bei der hölzernen Bockwindmühle war das gesamte Gebäude drehbar. Nach der ersten Restauration war nur der Dachkegel drehbar.

Während des 2. Weltkrieges wurden das Dach und die Flügel zerstört. Sie wurde 1975 unter Denkmalschutz gestellt und von Bundesdenkmalamt, Landesregierung und Gemeinde vollständig renoviert. Seitdem wurde sie für die Öffentlichkeit wieder zugänglich. [9]

## 2. Grundlagen

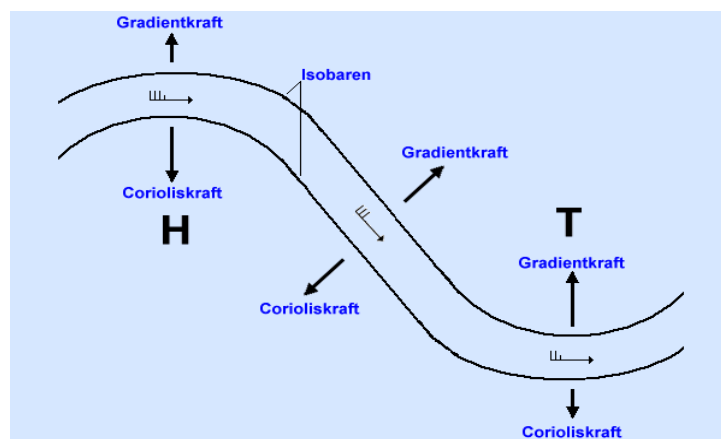
### 2.1 Windentstehung

Es ist nicht jeder Ort für die Errichtung einer Windkraftanlage geeignet, deshalb ist es nützlich im Voraus entsprechende Messungen bzw. Modellrechnungen an potentiellen Standorten zu machen.

Durch die unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche entstehen unterschiedliche Luftdrücke. Diese führen zur Entstehung des Windes. Die Luftmassen strömen von Gebieten höheren Luftdrucks in Gebiete mit tieferem Luftdruck und verteilen sich dort gleichmäßig bis der Druck ausgeglichen ist. Je höher der Unterschied im Luftdruck beider Gebiete ist, desto stärker die Verteilung der Luftteilchen bzw. der entstehende Wind.

Wenn man die angreifenden Kräfte an einem einzelnen Luftteilchen betrachtet, wirkt neben der sogenannten Gradientkraft zusätzlich die Corioliskraft. Die Gradientkraft entsteht als Folge des durch unterschiedlichen Luftdruck hervorgerufenen Druckgradienten. Die Corioliskraft wird auf jedes bewegte Teilchen in einem rotierenden Bezugssystem ausgeübt und steht immer senkrecht zur Bewegungsrichtung und Drehachse.

Der geografische Wind entsteht, indem sich ein Luftteilchen zwischen Hoch- und Tiefdruck einem Druckgefälle aussetzt und bekommt eine Beschleunigung so lange, bis Gradientkraft und Corioliskraft im Gleichgewicht sind. Die Teilchen bewegen sich dann parallel zu Isobaren. Bei Gebieten mit Tief- und Hochdruck sind die Isobaren gekrümmt. In diesem Fall wirkt noch eine dritte Kraft- die Zentrifugalkraft, der entstehende Wind wird Gradientwind genannt.



**Abbildung 2.1:** Der Gradientwind zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten [33]

## 2.2 Höhenwindprofil

Die Luftschicht zwischen Erdoberfläche und ungestörter Höhenströmung wird als atmosphärische Grenzschicht bezeichnet. Die Luftströmung in dieser Schicht wird durch Reibung am Boden, sowie durch vertikale Verteilung von Temperatur und Druck abgebremst. Mit zunehmender Höhe nimmt der Einfluss der Bodenreibung ab, und die Windgeschwindigkeit nimmt zu. Oberhalb dieser Grenzschicht befinden sich die geostrophischen Winde (Höhenwinde), die von der Bodenreibung unbeeinflusst sind.

Die Mächtigkeit der atmosphärischen Grenzschicht beträgt etwa 100 m in klaren Nächten mit geringer Windgeschwindigkeit und übersteigt 2 km bei schönem Sommerwetter.

Der unterste Teil dieser Schicht wird als Reibungs- oder Prandtlschicht bezeichnet (Abbildung 2.2), deren Dicke nachts nur 20 m stark sein kann und am Sommertagen eine Mächtigkeit von 150 m erreichen kann. Die Windzunahme innerhalb dieser Schicht ist am größten, weil die Strömungen, die hier herrschen, von der Rauigkeit der Erdoberfläche beeinflusst werden. An die Prandtlschicht schließt die Ekmanschicht an.

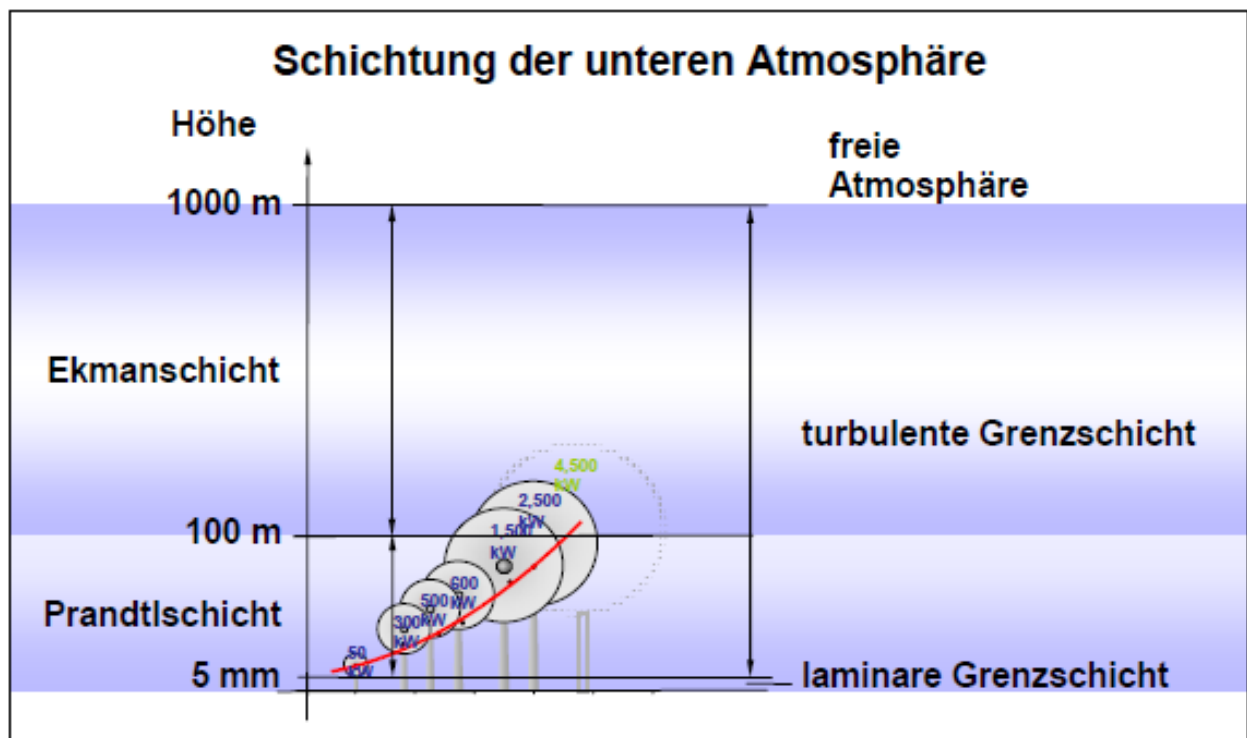


Abbildung 2.2: Prandtl- und Ekmanschicht [2]

## 2.3 Grenzschichtprofil

Auf der Erdoberfläche ist die Windgeschwindigkeit gleich null. In einem gewissen Abstand zur Erdoberfläche wird die Windgeschwindigkeit durch verschiedene Gegebenheiten wie z.B. große Gebäude, Bäume, Häuser beeinflusst. Diese beeinflusste Zone wird als planetarische Grenzschicht bezeichnet. Ihre Höhe und damit auch der Bereich bis zur ungestörten Windgeschwindigkeit variiert. Es hängt von Wetterlage, Bodenrauigkeit oder Topographie ab.

Geschwindigkeitsprofil kann man mit dem logarithmischen Gesetz beschreiben (Gleichung 2.1). Hierbei wird die Geschwindigkeit  $v$  von einem Punkt "1" mit der Höhe  $z_1$  über der Erdoberfläche auf einen Punkt "2" mit der Höhe  $z_2$  umgerechnet. Die Größe  $z_0$  ist die Rauigkeitslänge (oder Rauigkeitshöhe), die je nach Geländeausbildung unterschiedliche Werte annehmen kann (Tabelle 2.1).

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad \text{Gleichung 2.1}$$

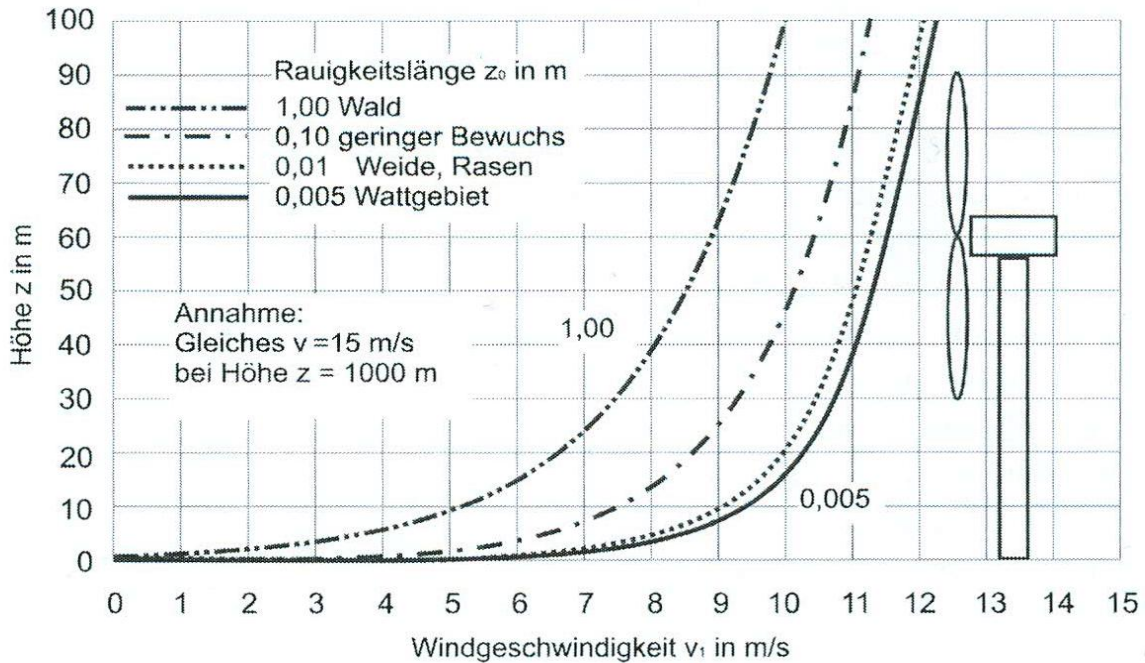
| Oberfläche                          | Rauhigkeitslänge $z_0$ in m |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Wasser oder Eis                     | 0.0001                      |
| Gemähtes Gras                       | 0.01                        |
| Langes Gras oder felsige Oberfläche | 0.05                        |
| Weideland                           | 0.2                         |
| Vorortbebauung                      | 0.6                         |
| Wälder, Städte                      | 1...5                       |

**Tabelle 2.1:** Rauigkeitswerte für verschiedene Geländeformen [4]

Ist die Windgeschwindigkeit in zwei Höhen bekannt, so kann sie für jede andere Höhe rechnerisch ermittelt werden. Die Windgeschwindigkeit an meteorologischen Stationen wird meist nur in einer Höhe gemessen, sodass man die Windgeschwindigkeit in einer weiteren Höhe über die Abschätzung der Rauigkeitslänge  $z_0$  ermittelt. [5]

Wie in Abbildung 2.3 dargestellt, sind die Windgeschwindigkeiten in der Bodengrenzschicht für die Höhenkoordinate  $z$ , für unterschiedliche Rauigkeitslängen  $z_0$  aufgetragen.

In Küstengebieten (offshore) ist die Oberflächerauigkeit durch herrschenden Seegang bestimmt. Dieser Seegang bildet sich nach Windgeschwindigkeit, ihrer Einwirkdauer und der Windrichtung aus. Die Wellenhöhen- und Längen machen praktisch die Rauigkeit der Meeresoberfläche aus.



**Abbildung 2.3:** Der Einfluss der Rauigkeitslänge auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe [4]

Für die Rauigkeitslänge  $z_0$  im offenen See gilt der Ansatz nach Charnock (Gleichung 2.2):

$$z_0 = A_c \cdot u^{*2} / g \quad \text{Gleichung 2.2}$$

$u^*$ ... Schubspannungsgeschwindigkeit

$g$ ... Erdbeschleunigung

$A_c$ ... Charnock-Konstante (sie hängt von der Entfernung zur Küste ab)

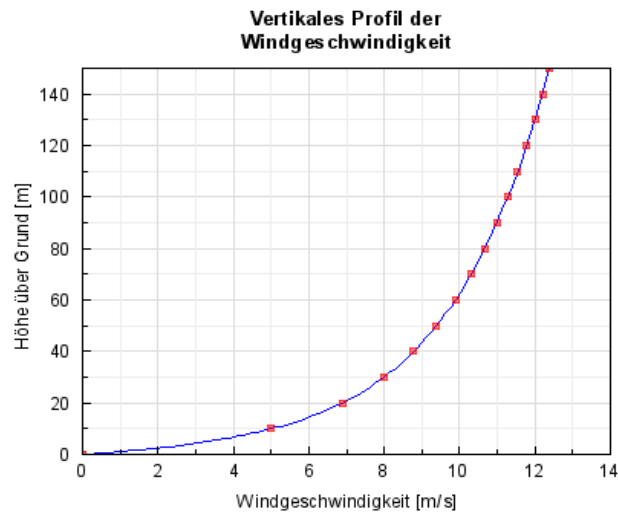
Neue Untersuchungen zeigen, dass das Windprofil offshore weitaus deutlicher von der atmosphärischen Schichtung als von der Rauigkeit abhängt.

Die oben beschriebenen Gleichungen ergeben das logarithmische Windprofil direkt mit Hilfe der Rauigkeitslänge. Bei zunehmender Rauigkeit vergrößert sich die Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe, d.h. geringe Rauigkeiten führen zu einem sehr steilen Profil.

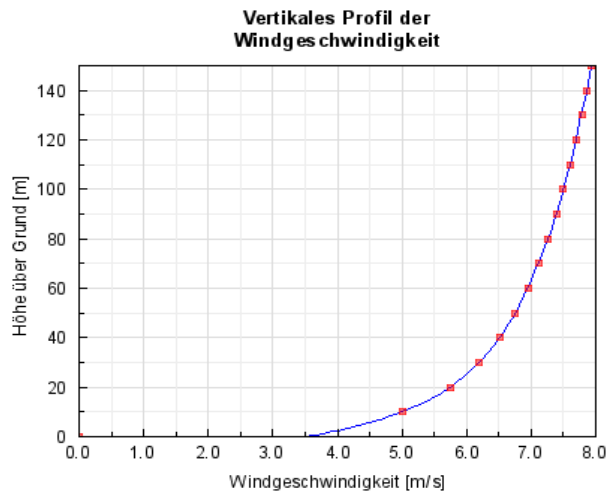
Abbildung 2.4 zeigt, wie ein Windgeschwindigkeitsprofil mit einer Rauigkeitslänge von 1.6 m und einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s, 10 m Höhe über Grund aussieht. Diese Rauigkeitslänge entspricht dem Geländeoberflächentyp in den großen Städten mit hohen Gebäuden und Wolkenkratzern. Die Abbildung 2.5 zeigt ein Windgeschwindigkeitsprofil mit kleinerer Rauigkeitslänge von 0.1 m, auch 10 m Höhe über Grund und 5 m/s Windgeschwindigkeit. Diese Rauigkeitslänge entspricht einem landwirtschaftlichen Gelände mit einigen Häusern und 8 m hohen Hecken im Abstand von ca. 500 m.

Man kann deutlich erkennen, dass das Profil in Abbildung 2.5 viel steiler ist, im Vergleich zu Abbildung 2.4. Der Grund dafür ist die geringere Rauigkeit bzw. Hindernishöhe.

Die Abbildung 2.4 zeigt schon bei 20 Meter Höhe eine Windgeschwindigkeit von 7 m/s, während diese Windgeschwindigkeit in Abbildung 2.5 erst bei 60 Meter Höhe über Grund erreicht wird.



**Abbildung 2.4:** Vertikales Profil bei der Rauigkeitslänge von 1.6 m [29]



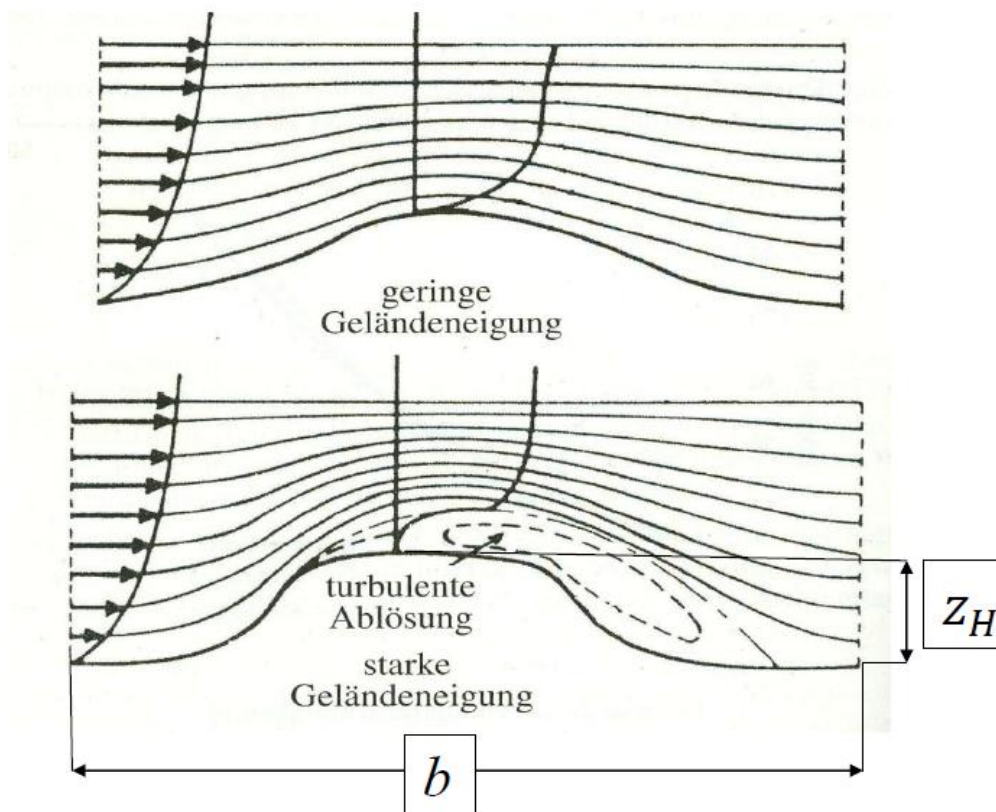
**Abbildung 2.5:** Vertikales Profil bei der Rauigkeitslänge von 0.1 m [29]

## 2.4 Einfluss von Topographie und Rauigkeit

Das logarithmische Windprofil wurde für ein flaches und ebenes Gelände formuliert. Die Bodenkontur (Topographie) wirkt sich direkt auf das Windprofil aus. Diese Auswirkungen können in der Rotorebene sehr erheblich sein und lassen sich durch strömungsmechanische Ansätze nur begrenzt erfassen.

Die Windfeldstörung kann durch verschiedene Hindernisse wie Gebäude, dichte Windschutzstreifen oder Wälder beeinträchtigt sein. Diese Störungen beginnen schon etwa in zwei- bis dreifacher Entfernung der Hindernishöhe vor dem Objekt (Abbildung 2.6). Für ein Verhältnis Breite  $b$  zu Höhe  $z_H$  von  $b/z_H < 5$  entsteht eine turbulente Zone, die bis etwa  $20 \cdot z_H$  reichen kann. Diese Zone baut sich umso schneller ab, je kleiner das Verhältnis Breite zu Höhe ist. Bei größeren Breiten muss man mit einer längeren Wirbelzone rechnen. [3]

Geländedeformationen führen zu einer Verformung des Profils. Auf Hügel- bzw. Bergspitzen kommt es zu einer Beschleunigung, das Profil wird steiler (Abbildung 2.6). Wenn die Steigungen und Gefälle im Gelände sehr stark sind und in Abhängigkeit von Temperaturprofil und Rauigkeit, kann es zur Bildung von turbulenten Ablösungen innerhalb des Windfeldes kommen, was im extremsten Fall zur Abnahme der Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe führt.



**Abbildung 2.6:** Einfluss von Topographie und Rauigkeit auf das vertikale Windgeschwindigkeitsprofil [5]



## 2.5 Messung der Windverhältnisse

Zur Messung der Windgeschwindigkeit werden Windmessmasten eingesetzt. Es handelt sich um Messsysteme, die auf einen Masten montiert werden, dessen Höhe der Rotornabenhöhe entspricht. Das Messsystem ist mit mehreren Anemometern und Windrichtungsmessern auf unterschiedlichen Höhen ausgestattet. Dadurch werden Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchte ermittelt.

### 2.5.1 Schalenkreuzanemometer

Das Schalenkreuzanemometer (Abbildung 2.7) hat eine vertikale Drehachse. Es besteht aus drei oder vier schalenförmigen Widerstandsflächen, die an einem Hebelarm angeordnet sind.

Anemometer können entweder ein analoges oder ein digitales Signal erzeugen. Mittels eines Tachogenerators wird eine Spannung durch Rotation erzeugt, die proportional zur Drehzahl und Windgeschwindigkeit ist. Oder es werden Impulse pro Umdrehung erzeugt, die über ein bestimmtes Zeitintervall gezählt werden und ein Maß für die Windgeschwindigkeit ergeben.

Die Sensoren lassen sich in verschiedene Kategorien unterteilen, je nach dem welche Komponenten des Windvektors gemessen werden. Man unterscheidet zwischen:

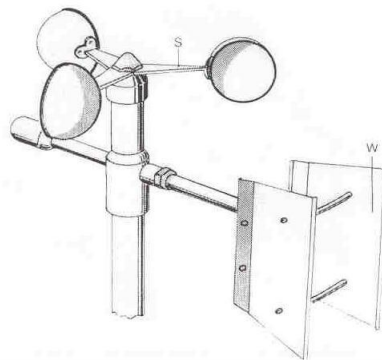
1. Vektor-Anemometer: Betrag (Skalar) des Windvektors
2. Horizontal-Anemometer: Horizontale Komponente
3. Longitudinal-Anemometer: Betrag und Richtung des Windvektors

Bei dem Vektor-Anemometer (Gleichung 2.3) wird angenommen, dass alle drei Komponenten der Windgeschwindigkeit wichtig sind. Diese Anemometer messen unabhängig vom Anströmwinkel.

$$V_{Vektor}(t) = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad \text{Gleichung 2.3}$$

Beim Horizontal-Anemometer wird angenommen, dass nur die Horizontalkomponente für den Energieumsatz maßgeblich ist. Das Horizontal-Anemometer misst die Kosinus-Komponente (Gleichung 2.4) des Windvektors und damit eine geringere Windgeschwindigkeit als das Vektor-Anemometer. [5]

$$V_{horiz}(t) = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad \text{Gleichung 2.4}$$



**Abbildung 2.7:** Schalenkreuzanemometer [24]

## 2.5.2 Ultraschallanemometer

Ultraschallanemometer (Abbildung 2.8) wurden für die Erforschung turbulenter Felder in der bodennahen Grenzschicht entwickelt. Mit Hilfe von drei Paar Sonotroden (Lautsprecher-Mikrofon – Kombination) wird die Strömung in den drei Raumkoordinaten erfasst.



**Abbildung 2.8:** Ultraschallanemometer [25]

Es werden einige Male pro Sekunde Ultraschallimpulse zwischen den Sondenpaaren hin und her geschickt. Die Ultraschallimpulse bewegen sich mit Schallgeschwindigkeit  $c$  zwischen den Sonotroden mit Abstand  $s$ . Die Windgeschwindigkeitskomponente  $v$  überlagert sich mit dem Schall und führt zu verschiedenen Laufzeiten für Hinweg  $t_1$  und Rückweg  $t_2$ . [5]

Gleichungen 2.5 und 2.6 werden zur Ermittlung der Windgeschwindigkeit in Richtung des Sondenpaares verwendet.

$$t_1 = \frac{s}{(c+v)} \quad t_2 = \frac{s}{(c-v)} \quad \text{Gleichung 2.5}$$

$$v = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad \text{Gleichung 2.6}$$

# 3. Systematische Beschreibung

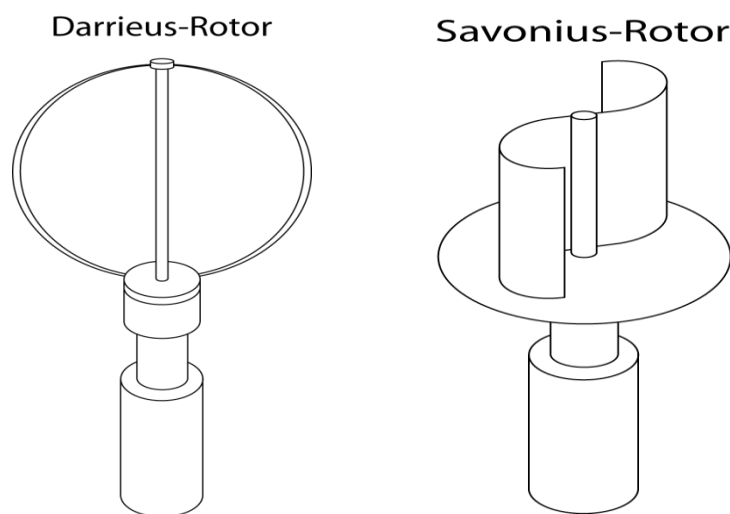
## 3.1 Bauformen von Windkraftanlagen

Betrachten wir die Lage der Drehachse des Windrotors, dann wird zwischen Rotoren mit vertikaler und horizontaler Drehachse unterschieden. Die meisten modernen Windkraftanlagen sowie die alten Windmühlen besitzen eine horizontale Drehachse. Ihre Vorteile liegen in der Blattwinkeleinstellung sowie in der optimalen Nutzung des aerodynamischen Auftriebsprinzips. Beispiele für vertikale Windkraftanlagen sind u.a. der Darrieus-Rotor oder der Savonius-Rotor (Abbildung 3.1). Sie sind windrichtungsunabhängig und besitzen eine geringe Schnellaufzahl.

### 3.1.1 Rotoren mit vertikaler Drehachse

#### Darrieus-Rotor

Der französische Erfinder und Luftfahrtingenieur Georges Jean Marie Darrieus (1888-1979) patentierte sein erstes Model 1927. Dieses Modell hat zwei Flügel und eine Höhe von 20 m gehabt und erzielte 10 KW Leistung. Am unteren Ende der Drehachse befindet sich der Stromgenerator. Wegen Windrichtungsunabhängigkeit müssen ihre Rotorblätter extrem starke Belastungen aufnehmen. Sie müssen also aus einem leichten, festen und wetterbeständigen Werkstoff hergestellt werden z.B. Aluminium-Strangpressprofile. Die Darrieus-Rotoren weisen überall den gleichen Querschnitt auf und sind daher leicht herstellbar. Sie werden meistens in Deutschland, England, Kanada und USA als Kleinwindkraftanlagen verwendet.



**Abbildung 3.1:** Rotorformen mit vertikaler Drehachse [1]

## Savonius-Rotor

Die Erfindung dieses Rotortyps aus dem Jahr 1924 geht auf den finnischen Schiffsoffizier S.J. Savonius zurück. Der Savonius-Rotor (Abbildung 3.1) besitzt keine Rotorblätter sondern nur zwei (oder mehr) gegeneinander versetzte Zylinderhälften, die zusammen mit der Achse verschweißt sind. Einen solchen Rotor kann man z.B. aus alten Ölfässern herstellen. Es lassen sich sehr gute Wirkungsgrade erreichen, sofern die Schalen nach innen hin offen zueinander sind. Dabei wirkt die Abluft aus der ersten Schale in der zweiten wieder antreibend.

### 3.1.2 Rotoren mit horizontaler Drehachse

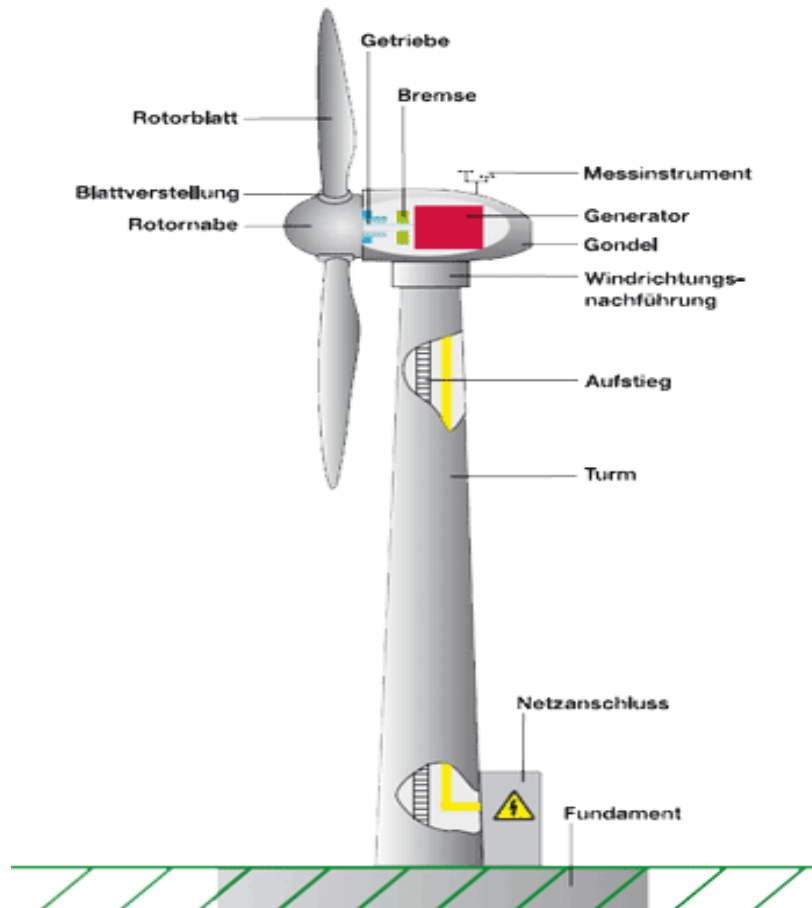
Rotoren mit horizontaler Drehachse werden ausschließlich mit der Propellerbauart hergestellt. Dazu gehören die europäischen Windmühlen, amerikanische Windturbine oder moderne Windkraftanlagen. Diese Bauart stellt ein führendes Konstruktionsprinzip in der Windenergie-technik dar [1]. Dafür sprechen folgende Merkmale:

- Durch Verstellen der Rotorblätter um ihre Längsachse kann die Rotordrehzahl und die Leistungsabgabe geregelt werden. Durch Verstellen der Rotorblätter ist der Schutz gegen Überdrehzahl bei extremen Windgeschwindigkeiten ermöglicht.
- Die aerodynamische Konstruktion der Rotorblätter ermöglicht die maximale Nutzung des Auftriebsprinzips was zum Erreichen des höchsten Wirkungsgrades führt.
- Durch Windrichtungsnachführung ist es möglich, die Windkraftanlage gegen den Wind auszurichten. Dies kann entweder durch Kraft des Windes selbst erfolgen oder durch Stellmotoren (Azimutantrieb oder Giermotoren genannt).

## 3.2. Konstruktiver Aufbau von modernen Windkraftanlagen

In diesem Kapitel wird nur eine kurze Ausführung vom konstruktiven Aufbau moderner Windkraftanlagen dargestellt.

Moderne Windkraftanlagen bestehen in der Regel aus den folgenden Hauptkomponenten: Fundament, Turm, Gondel und Rotor.



**Abbildung 3.2 :** Hauptkomponenten einer Windkraftanlage (Quelle: [www.windenergie.lima-city.de](http://www.windenergie.lima-city.de))

### 3.2.1. Fundament

Bei Fundamenten für Windkraftanlagen unterscheidet man zwischen Flachfundamenten und Tiefgründungen. Welche Art eingesetzt wird, hängt von den meteorologischen und betrieblichen Belastungen sowie von den örtlichen Bodenverhältnissen ab. Flachfundamente werden meistens für sandige und tragfähige Böden eingesetzt, wobei die Tiefgründungen bei festeren und felsigen Formationen verwendet werden.

### 3.2.2 Der Turm

Ein wesentlicher Bestandteil einer Windkraftanlage ist der Turm, dessen Bau bis zu 20 Prozent der Gesamtkosten einer Windkraftanlage ausmacht.

Da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe steigt und die Nabenhöhen außerhalb der turbulenten Bodengrenzschicht (Kapitel 2.3) höhere Energieerträge bringen, muss für jeden Standort die optimale Turmhöhe individuell berechnet werden.

Man unterscheidet drei Bauarten: Gittermast, Stahlrohrturm oder Betonturm. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Steifigkeit des Turmes. Die Gesamt-Turmkosten hängen von Materialkosten, Transportkosten sowie von den Fertigungskosten ab.

#### Gittermast

Die Gitterbauweise ist für Turmhöhen bis zu 30 m üblich. Gittertürme werden aus geschweißten bzw. mit einander verschraubten Stahlprofilen hergestellt. Sie sind vom Preis her viel billiger als die Stahlrohrtürme bei gleicher Steifigkeit, werden aber wegen visuellem Erscheinungsbild nicht verwendet.

#### Betonturm

Betontürme werden entweder vor Ort mit der Einschaltungstechnik hergestellt oder als Fertigbetonteilturm. Beim Fertigbetonteilturm werden fertige Betonsegmente vor Ort übereinander gesetzt und mittels innenliegender Stahlseile verspannt.

#### Stahlrohrturm

Stahlrohrtürme werden heutzutage am meisten benutzt. Sie werden in großen Werkhallen hergestellt und können daher das ganze Jahr über produziert werden. Die Türme haben eine zylindrische Form und werden aus Stahl gefertigt, was sie wegen hoher Materialaufwand sehr kostenintensiv macht. Die enorme Wandstärke ist notwendig, um das Eigengewicht und die Last von Gondel und Rotorblättern aushalten zu können. Der gesamte Turm wird in 3 bis 8 Teilen gefertigt und direkt am Standort mit 60 bis 80 Bolzen pro Teilungsebene verschraubt.

### 3.2.3 Gondel

Die Gondel enthält den gesamten Maschinensatz. Die Konstruktion besteht aus Stahl, in welcher die Komponenten befestigt sind. Die Außenfassade selbst besteht aus glasfaserverstärktem Kunststoff, um auch extremen Windgeschwindigkeiten widerstehen zu können. Sind die Komponenten des Antriebsstranges (Rotorwelle mit Lagerung, Getriebe, Generator, Kupplung und Bremse) auf dem Maschinenträger (meistens in dieser Reihenfolge) positioniert, dann spricht man von einer Anlage mit Getriebe (Abbildung 3.3). Das Getriebe übersetzt die Rotordrehzahl von ca. 18-50 U/min in die für den Generator notwendige Drehzahl von 1000-1500 U/min.

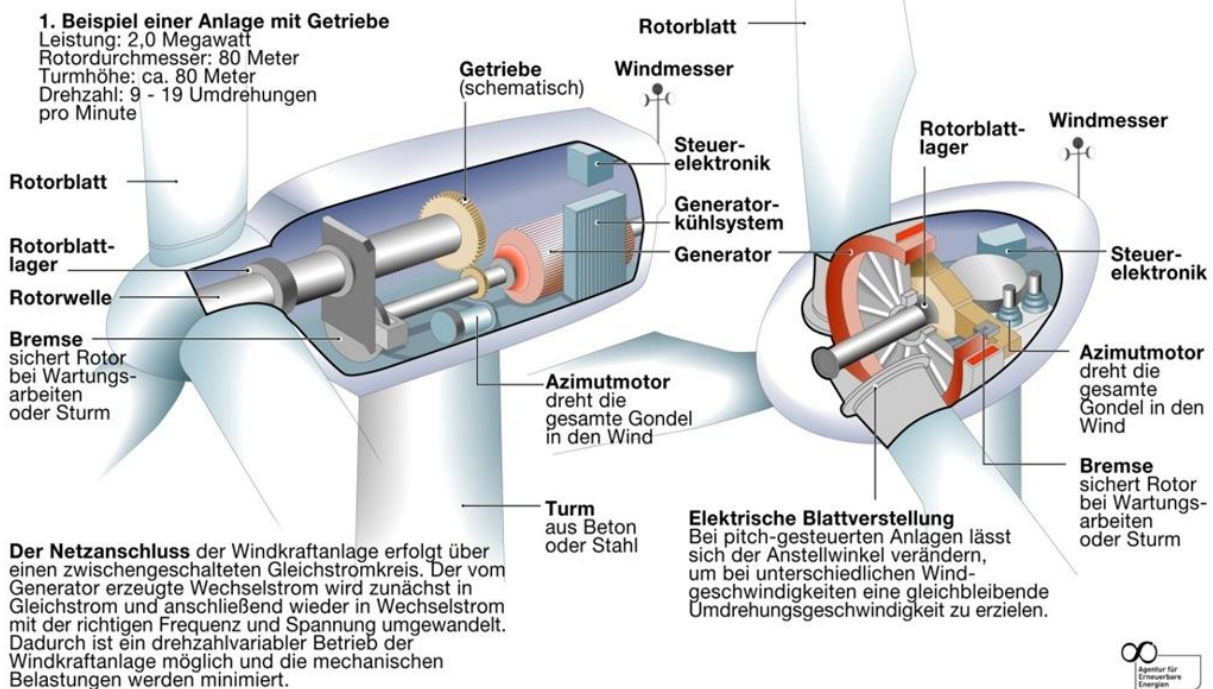
Es gibt auch getriebeLOSE Anlagen (Abbildung 3.3). Hier wird der Rotor mit einem speziellen Ringgenerator direkt angetrieben. Mit der Drehzahl des Rotors schwankt die Frequenz der erzeugten Spannung, deswegen muss diese durch einen Umrichter an die Netzfrequenz angepasst werden.

#### Windenergie

Bei Windkraftanlagen haben sich zwei verschiedene Konstruktionsprinzipien durchgesetzt: Anlagen mit Getriebe (1.) erhöhen die niedrige Drehzahl des Generators auf eine für den Generator günstige Drehzahl. Bei getriebeLOSEN Anlagen (2.) sitzt der Rotor des Generators direkt auf der Rotorwelle.

**1. Beispiel einer Anlage mit Getriebe**  
 Leistung: 2,0 Megawatt  
 Rotordurchmesser: 80 Meter  
 Turmhöhe: ca. 80 Meter  
 Drehzahl: 9 - 19 Umdrehungen pro Minute

**2. Beispiel einer getriebeLOSEN Anlage**  
 Leistung: 5,0 Megawatt  
 Rotordurchmesser: 114 Meter  
 Turmhöhe: ca. 124 Meter  
 Drehzahl: 8 - 13 Umdrehungen pro Minute



**Abbildung 3.3:** Getriebe/GetriebeLOSE Anlagen (Quelle: Windspeed-Energie)

Anlagen mit Getriebe sind wartungsintensiver als getriebeLOSE Anlagen, jedoch auch kleiner, leichter und kostengünstiger. Auf eine genauere Beschreibung der Funktionsweise einer Windkraftanlage wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

### 3.2.4 Rotor

Ein Rotor besteht aus einem oder mehreren Rotorblättern und aus einer Rotornabe. Die Rotorblätter werden durch die Kraft des Windes, erst ab einer Windgeschwindigkeit von 15 km/h, in Bewegung gesetzt. Wenn der Rotor seine maximale Drehgeschwindigkeit übersteigt, schaltet die Anlage selbst aus, um die Überbelastung der Bremsanlage zu vermeiden.

Dreiblatt-Rotoren haben sich in der Praxis bewährt, weil sie im Vergleich zu Ein-, Zwei- oder Vierblatt-Rotoren wesentlich schwingungsfreier arbeiten. Sie sind in einem Abstand von 120° angeordnet und mit Bolzen auf der Rotornabe befestigt. Für ihre Herstellung werden hauptsächlich glas- bzw. kohlefaserverstärkte Kunststoffe (GFK, CFK) verwendet. Weniger verbreitet sind Holz, Holz-Epoxid und Holz-Faser-Epoxid-Verbundwerkstoffe. Aluminium und Stahllegierungen werden für sehr kleine Windkraftanlagen verwendet.

Siemens Energy hat 2012 den Testbetrieb des 154-Meter-Rotors an der 6 Megawatt-Offshore - Windkraftanlage gestartet. Jedes der drei Rotorblätter hat eine Länge von 75 m. Somit sind dies die längsten Rotorblätter für Windturbinen in Betrieb (Abbildung 3.4).



**Abbildung 3.4:** Weltweit längstes Rotorblatt für Windturbinen  
(Quelle: [www.siemens.com](http://www.siemens.com))

Das spezielle Blattprofil zeichnet sich durch hohe Stabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht aus. Für ihre Herstellung wird das patentierte IntegralBlade-Verfahren verwendet, mit dem das Rotorblatt in einem Guss und ohne Klebstellen produziert werden kann. Diese 6 MW Anlage kann an Offshore - Standorten 25 Millionen Kilowattstunden sauberen Strom produzieren.



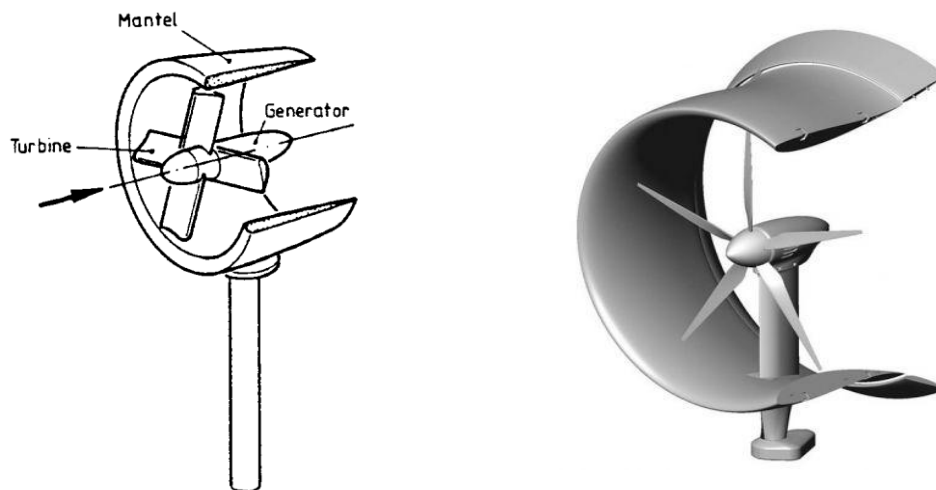
### 3.3 Windenergie-Konzentratoren

Hier werden einige Sonderbauformen der "Windkraftanlagen" erwähnt. Ob diese jemals eine praktische Bedeutung erlangen werden, ist zumindest in einigen Fällen bezweifelt. Der Grundgedanke ist, die Leistungsausbeute, bezogen auf die Rotorkreisfläche, zu vergrößern.

#### Mantelturbine

Die Ummantelung ist die einfachste Methode zur Steigerung des Rotorwirkungsgrades. Der Mantel verhindert die Einschnürung der Stromröhre vor dem Wandler, die beim freiumströmten Wandler unvermeidlich ist. Der erzielbare Leistungsbeiwert liegt bei  $c_p = 0,66$  (Abbildung 3.5).

Bei den ENFLO Windkraftanlagen (Abbildung 3.5) der Firma WindTec Systems AG wird das Prinzip der Mantelturbine erfolgreich angewandt. Hier wird der Rotor von einem aerodynamisch geformten Mantel (Diffusor) umschlossen. Laut Herstellern wurde dieses Prinzip bisher komplett vernachlässigt, obwohl sich die Leistung im Vergleich zu freifahrenden Windkraftanlagen gleichen Rotordurchmessers auf das bis zu 2,5-fache erhöht. Zum Einsatz kommt sie beispielsweise in Einfamilienhäusern, auf Segelyachten oder beim Camping.



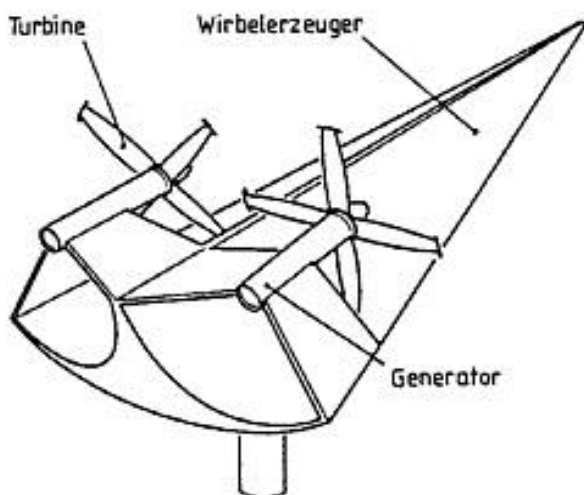
**Abbildung 3.5:** Einfache Mantelturbine und ENFLO Mantelturbine [1]

## Wirbelkonzentration mit Hilfe eines "Deltaflügels"

Bei der Umströmung eines Tragflügels treten konzentrierte Luftwirbel als sogenannte Randwirbel auf. Beim Deltaflügel (Abbildung 3.6) hat man versucht diesen Effekt für die Windenergie zu nutzen. Die Windrotoren sind so angeordnet, dass sie in den Randwirbel des Deltaflügels arbeiten. Dabei sollte der Leistungsbeiwert gegenüber dem konventionell angeströmten Rotor um das 10-fache steigen. Leider waren die Messergebnisse im Windkanal so enttäuschend, dass das Projekt aufgegeben wurde.

Im September 2008 wurde auf der GAFA Messe in Köln erstmals eine französische Innovation vorgestellt. Die Firma Nhelolis SAS hat ihre patentierte, waagrechte 3-D Turbine (Abbildung 3.6), die ebenfalls auf eine Luftbündelungstechnologie, welche auf dem Bernoulli-Prinzip beruht, präsentiert. Hier wurden die Rotorblätter eingesetzt, welche in optimaler Weise die Aufnahme der kinetischen Energie des Windes ausnutzen sollen.

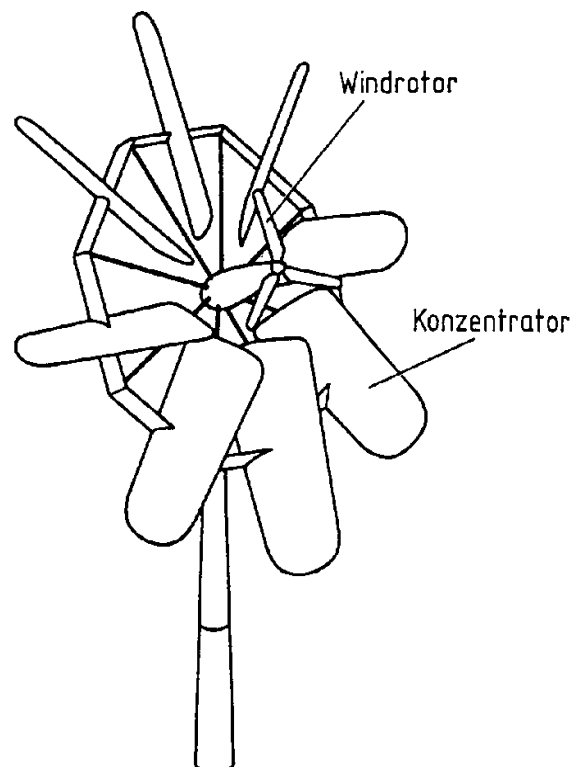
Die Windkanalmessungen zeigten, dass diese Innovation deutlich höhere Energieeffizienz aufweist als herkömmliche Windkraftanlagen.



**Abbildung 3.6:** Delta-Konzentrator und Nheowind 3D 50 [1]

## Konzentratorwindturbine

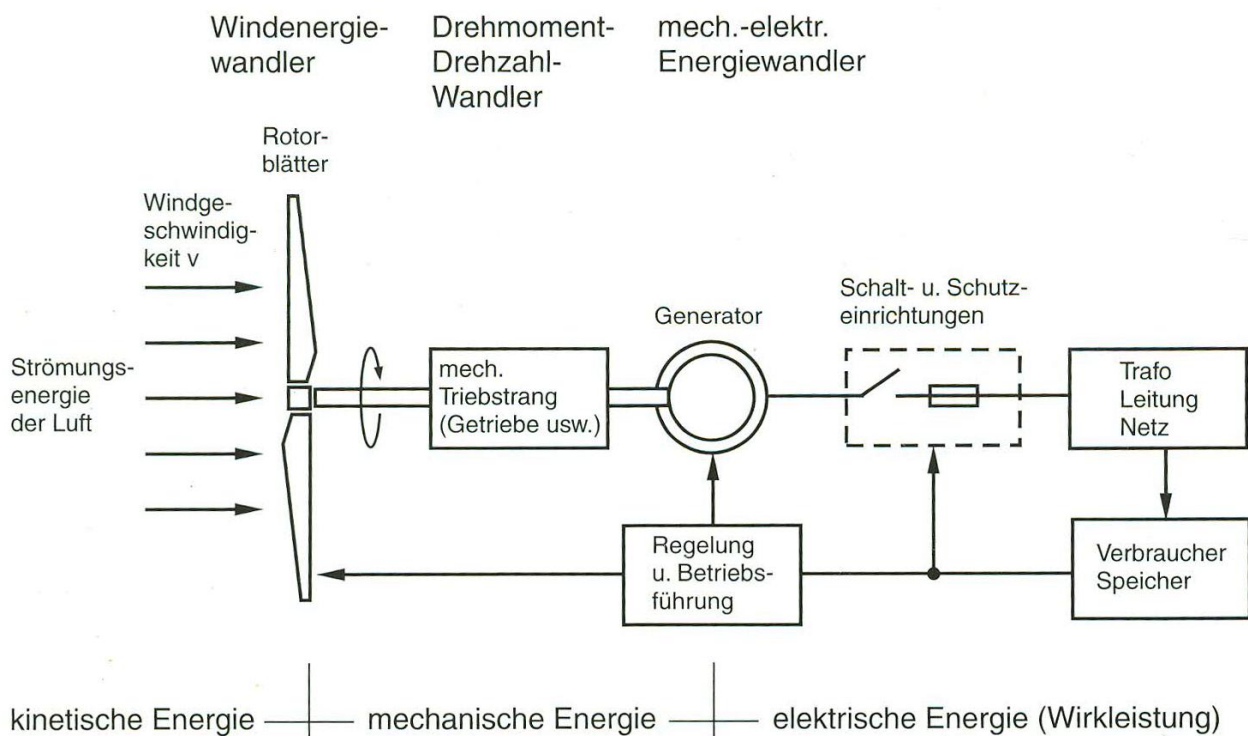
Eine weitere Variante der Windkonzentratoren, den sogenannten Berwian (Abbildung 3.7) entwarf der Bionik-Professor Ingo Rechenburg (TU-Berlin). Hier wird die Strömungsenergie nach dem Prinzip des aufgespreizten Vogelflügel mittels stationären Turbinenschaufeln zusammengefasst und dabei erhöht. Durch die Schaufeln wird im Zentrum des Konzentrators ein starker Wirbel erzeugt. Im Leitapparatzentrum befindet sich ein kleiner Windrotor, der die verstärkte Windleistung um das 6- bis 8-fache ausnutzt. Die Messungen im Windkanal haben bestätigt, dass diese Konzentratoren ihre theoretisch vorhergesagte Leistungsausbeute erreichen.



**Abbildung 3.7:** Konzentrator-Windturbine "Berwian" [1]

## 4. Physikalische Grundlagen der Windenergie - wandlung

Durch Rotorblätter einer Windkraftanlage (Abbildung 4.1) wird der bewegten Luft ein Teil der Strömungsenergie entzogen und in Rotationsenergie umgewandelt. Diese Energie wird über den mechanischen Triebstrang (Wellen, Kupplungen und Getriebe) direkt dem Läufer des Generators zugeführt und durch mechanisch – elektrische Konversion auf den Stator übertragen. Die entnommene elektrische Energie wird über Schalt – und Schutz einrichtungen sowie über Leitungen und Transformatoren dem Netz bzw. den Verbrauchern zugeführt. [7]



**Abbildung 4.1:** Wirkungskette und Umwandlungsstufen einer Windkraftanlage [7]

Albert Betz (1885-1968) war ein deutscher Physiker und ein Pionier der Windenergietechnik. Er hat durch die Anwendung elementarer physikalischer Gesetze gezeigt, dass man einem Luftstrom, der durch eine vorgegebene Querschnittfläche strömt, nur einen gewissen Betrag (nach Betz 59,3 %) an mechanischer Leistung entziehen kann. Betz erkannte, dass der optimale Leistungsentzug nur bei einem bestimmten Verhältnis der Strömungsgeschwindigkeit vor und hinter dem Energiewandler möglich ist. [1]

## 4.1 Windleistung – Betzsche Theorie

Die Windleistung, die mit der Geschwindigkeit  $v$  die Fläche  $f$  durchströmt, beträgt

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot v^3 \quad \text{Gleichung 4.1}$$

Sie ist proportional der Luftdichte  $\rho$ , der durchströmten Fläche  $f$  und der dritten Potenz der Geschwindigkeit  $v$ .

Die kinetische Energie der Luftmasse

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{Gleichung 4.2}$$

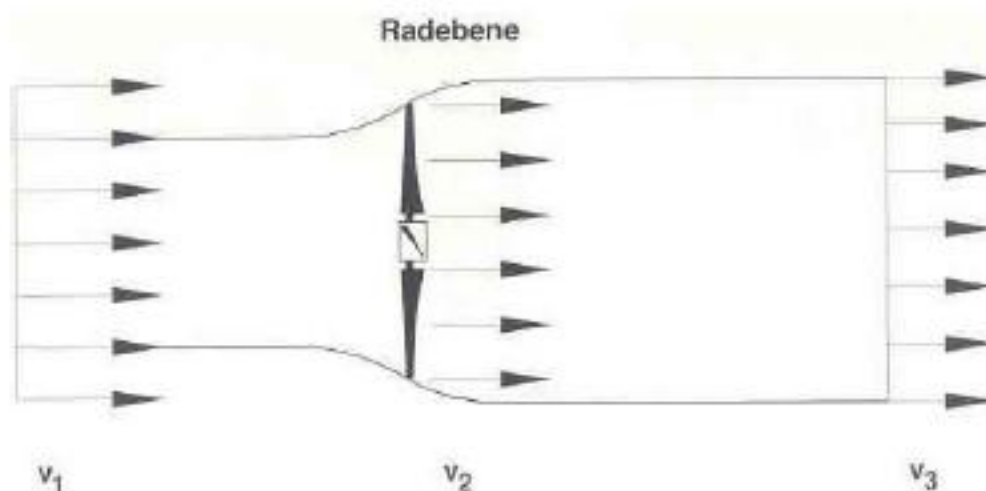
mit dem Massenstrom

$$\dot{m} = f \cdot \rho \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right) = f \cdot \rho \cdot v \quad \text{Gleichung 4.3}$$

ergibt die Leistung (Energie pro Zeiteinheit)

$$P_{Wind} = \dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot v^3 \quad \text{Gleichung 4.4}$$

Wie bereits erwähnt, wird die Leistung des Windes durch Abbremsung der Luftmassen in mechanische Energie umgewandelt, kann aber nicht vollkommen entzogen werden. Betz und Lanchester fanden heraus, dass die Energieausbeute am höchsten ist, wenn die ursprüngliche Windgeschwindigkeit  $v_1$  auf  $v_3 = 1/3 \cdot v_1$  hinter dem Rad abgebremst wird. In der Radebene herrscht dann die Geschwindigkeit  $v_2 = 2/3 \cdot v_1$  (Abbildung 4.2). [5]



**Abbildung 4.2:** Aufweitung der Stromlinien infolge Abbremsung der Strömung durch den Rotor einer Windturbine [5]

In diesem Fall bekommen wir die Betz- Leistung mit folgender Gleichung

$$P_{Betz} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot v^3 \cdot c_{P.Betz} \quad \text{Gleichung 4.5}$$

wobei der Leistungsbeiwert

$$c_{P.Betz} = 16/27 = 0,59 \quad \text{ist.} \quad \text{Gleichung 4.6}$$

Dieser Leistungsbeiwert gilt nur für Auftriebsläufer. Die Widerstandsläufer haben einen deutlich geringeren Beiwert von 0,19.

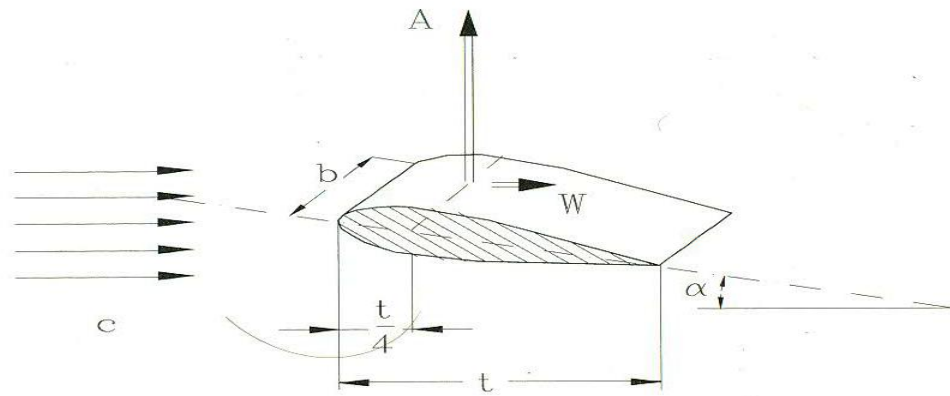
## Auftriebsläufer

Bei den Tragflügelprofilen oder der schräg angestellten Platte entsteht bei der Anströmung des Körpers eine resultierende Kraft, die sich aus Widerstands- und Auftriebskraft (Abbildung 4.3) zusammensetzt. Die Widerstandskomponente  $W$  liegt in Richtung der Anströmung und die Auftriebskomponente  $A$  senkrecht zu ihr. Die Auftriebskraft greift an einem Tragflügel etwa ein Viertel der Flügeltiefe  $t$  hinter der Flügelnase an, solange der Anstellwinkel  $\alpha$  klein ist.

$$A = c_A \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot t \cdot b \cdot c^2 \quad \text{Gleichung 4.7}$$

wobei  $c$  die Anströmgeschwindigkeit ist.

$$c = \sqrt{v^2 + u^2} \quad \text{Gleichung 4.8}$$



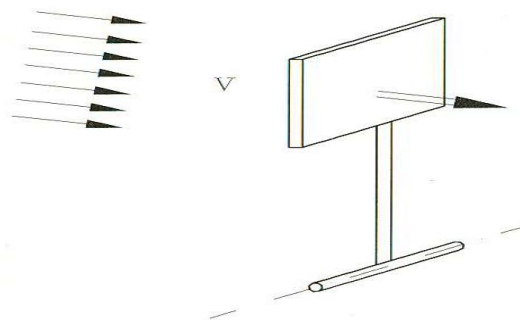
**Abbildung 4.3:** Auftriebskraft  $A$  und Widerstandskraft  $W$  am Tragflügel [5]  
Widerstandsläufer

Wenn der Wind auf eine Fläche  $f$  tritt (Abbildung 4.4), entsteht eine Kraft  $W$  die die Fläche in Windrichtung schiebt. Dadurch wird dem Wind Leistung nach dem Widerstandsprinzip entnommen und in mechanische Energie umgesetzt. Je kleiner der Widerstandsbeiwert, desto geringer der Luftwiderstand des Körpers.

Mit

$$c = v - u \quad \text{Gleichung 4.9}$$

$$W = c_W \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot f \cdot c^2 \quad \text{Gleichung 4.10}$$

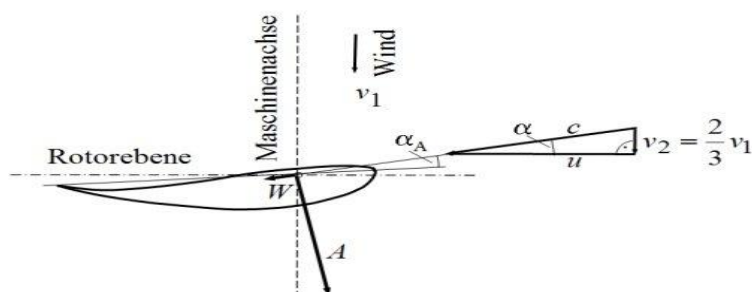


**Abbildung 4.4:** Nutzung des Luftwiderstandes als Antriebskraft [5]

## 4.2 Aerodynamik des Rotors

Die entnommene Leistung an Rotorblättern hängt nicht nur von der Strömungsgeschwindigkeit  $c$  der Luft sondern auch von den aerodynamisch günstig geformten Profilen ab. Zuerst wurden aerodynamische Untersuchungen an umströmten Profilen für die Entwicklung von Flugzeugflügeln vorgenommen. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden dann für die Entwicklung von Windkraftanlagen genutzt.

Diese Anströmgeschwindigkeit  $c$  (Abbildung 4.5) ist nicht mit der Windgeschwindigkeit  $v_1$  zu verwechseln. Sie ergibt sich aus dem vektoriellen Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit in der Rotorebene  $v_2$  (siehe Betz-Theorie) und der Umfangsgeschwindigkeit  $u$ . Die Umfangsgeschwindigkeit entsteht durch die Eigendrehung des Rotorblattes und sie nimmt mit dem Abstand zur Rotornabe linear zu, somit steigt auch die Anströmgeschwindigkeit linear von innen nach außen.



**Abbildung 4.5:** Winddreieck am Profil [5]

Um das Profil der Rotorblätter aerodynamisch auszulegen, verwenden wir die Formel für die Schnelllaufzahl  $\lambda$ . Sie gibt das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit zur ungestörten Windgeschwindigkeit  $v_1$  an.

Umfangsgeschwindigkeit

$$u = \Omega \cdot R \quad \text{Gleichung 4.11}$$

Schnelllaufzahl

$$\lambda = \frac{u}{v_1} = \frac{(\Omega \cdot R)}{v_1} = \frac{(2 \cdot \pi \cdot n \cdot R)}{v_1} \quad \text{Gleichung 4.12}$$



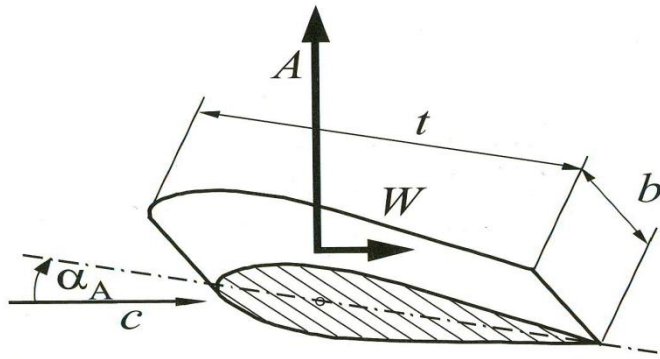
## 4.2.1 Tragflügeltheorie

Wie in Abbildung 4.6 zu sehen ist, wird ein symmetrisches Profil von vorne mit der Geschwindigkeit  $c$  angeströmt. Ist der Anstellwinkel null,  $\alpha_A = 0^\circ$ , so entsteht nur eine Widerstandskraft  $W$ . Stellt man den Flügel um einige Grad an (Abbildung 4.6) dann entsteht eine Auftriebskraft  $A$ , die proportional zur Flügelfläche  $t \cdot b$  ist und quadratisch mit der Geschwindigkeit  $c$  ansteigt [5].

$$A = c_A(\alpha_A) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot c^2 \cdot (t \cdot b) \quad \text{Gleichung 4.13}$$

$$W = c_W(\alpha_A) \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot c^2 \cdot (t \cdot b) \quad \text{Gleichung 4.14}$$

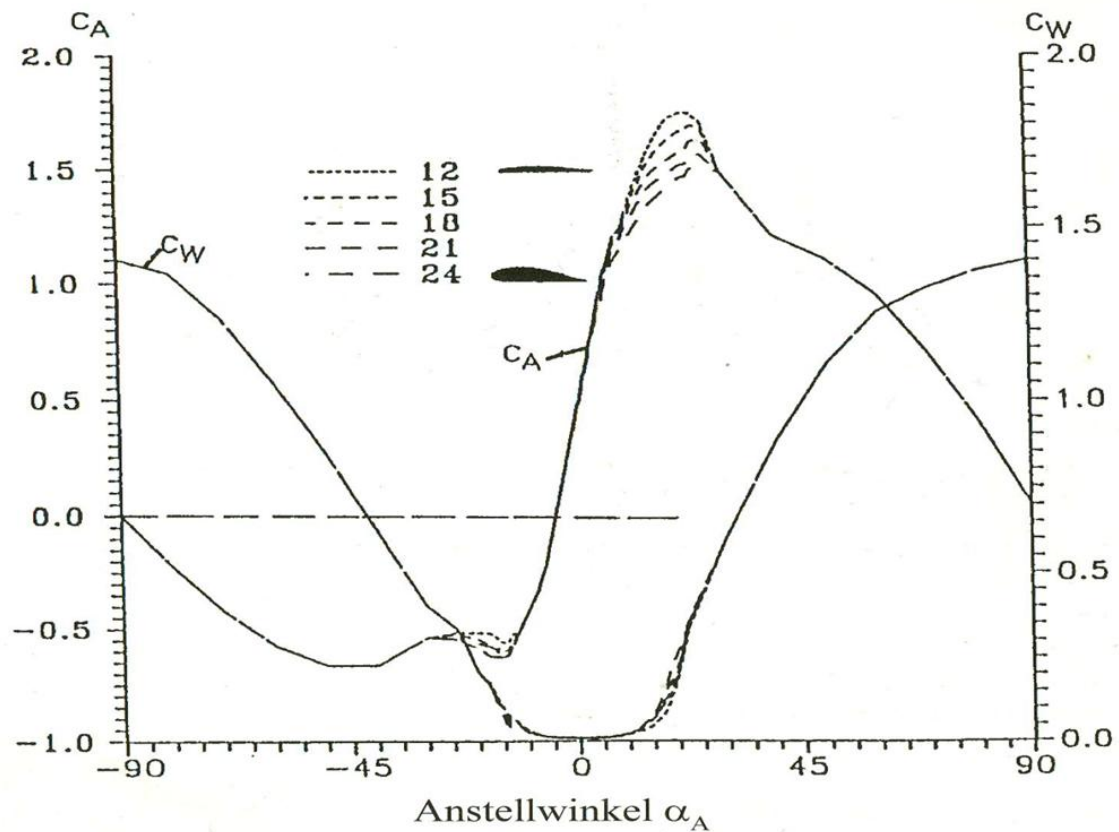
$c_A$ ...Auftriebsbeiwert  
 $c_W$ ...Widerstandsbeiwert



**Abbildung 4.6:** Auftrieb  $A$  und Widerstand  $W$  an einem Tragflügelement der Breite  $b$  [5]

Der Auftriebsbeiwert  $c_A = c_A(\alpha_A)$  sowie der Widerstandsbeiwert  $c_W = c_W(\alpha_A)$  geben die Abhängigkeit vom Anstellwinkel an. Die beiden Werte werden experimentell in einem Windkanal ermittelt.

Abbildung 4.7 zeigt, wie sich die Auftriebs- und Widerstandswerte in Abhängigkeit vom Anstellwinkel ändern. Mit zunehmendem Anstellwinkel steigt  $c_A$  bzw. die Auftriebskraft linear an (Bereich  $\alpha_A = 10^\circ$ ). Dann flacht die Kurve ab und erreicht einen Maximalwert. Steigt der Anstellwinkel weiter an, liegt die Strömung nicht mehr glatt am Profil an, sie reißt ab. Der Auftrieb in diesem Bereich ( $\alpha_A = 15^\circ$ ) wird wieder geringer. Der Widerstand bzw.  $c_W$  wächst mit zunehmendem Winkel  $\alpha_A$  sehr schnell an.



**Abbildung 4.7:** Korrigierte Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte in Abhängigkeit vom Anstellwinkel [5]

## 4.2.2 Winddreiecke

In jedem Schnitt  $r$  wird der Flügel mit einer bestimmten Geschwindigkeit  $c$  angeblasen. Diese Geschwindigkeit setzt sich aus der Geschwindigkeit in Rotornabe  $v_2 = \frac{2}{3} \cdot v_1$  und der Umfangsgeschwindigkeit  $u = \Omega \cdot r$  zusammen.

$$c^2(r) = \left(\frac{2}{3} \cdot v_1\right)^2 + (\Omega \cdot r)^2 \quad \text{Gleichung 4.15}$$

Der Anströmwinkel berechnet sich aus

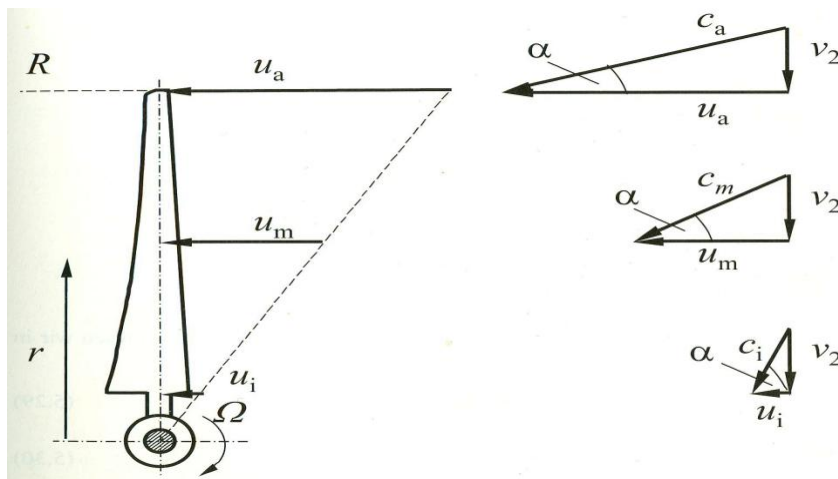
$$\tan\alpha(r) = \frac{v_2}{(\Omega \cdot r)} \quad \text{Gleichung 4.16}$$

Mit der Schnelllaufzahl 
$$\lambda = \frac{\Omega \cdot r}{v_1} \quad \text{Gleichung 4.17}$$

ergibt sich der Anströmwinkel

$$\tan\alpha = \frac{2}{3} \cdot \frac{R}{(\lambda \cdot r)} \quad \text{Gleichung 4.18}$$

Abbildung 4.8 zeigt, wie sich die Winddreiecke in Abhängigkeit von Radius und Umfangsgeschwindigkeit ändern.



**Abbildung 4.8:** Winddreiecke in verschiedenen Flügelschnitten [5]

# 5. Studien

## 5.1 Studien von 1981 bis 2007

Wie schon in Kapitel 2 erwähnt wurde, spielen regelmäßige Windmessungen die entscheidende Rolle zur Aufstellung von Windkraftanlagen. Durch sammeln möglichst vieler Messdaten aus einzelnen, topographisch unterschiedlichen Regionen, werden die Auswertungen interpoliert und in einer Windkarte dargestellt. Diese Messungen werden in Österreich von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) durchgeführt.

Um die Eignungszonen zur Nutzung der Windkraft ermitteln zu können, muss man die Windstärke in Nabenhöhe (ca. 100 m) einer Windkraftanlage in m/s messen. Dazu sind langjährige und valide Datengrundlagen notwendig. Technisch ist es möglich, die Windenergie ab einer mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit von 4 m/s zu nützen, die Wirtschaftlichkeitsgrenzen liegen ab 4-5 m/s.

Ziel jeder Studie ist ein Rückblick auf geschaffene Wertschöpfung und ein Ausblick auf die kommenden Jahre. In Österreich sind bis dato mehrere Studien zur Potentialabschätzung durchgeführt worden. Einige Studien stellen ein (theoretisches) technisches Potential dar, während andere die tatsächlich umsetzbare Windkraftproduktion abschätzen. Hier werden nur einige dieser Arbeiten dargestellt.

Die erste Studie (Pokorny 1981) wurde vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung in Auftrag gegeben. Die fertiggestellte Studie von W. Pokorny "Das österreichische Windenergiepotential – Windenergiekarte von Österreich" erbrachte ein sehr überraschendes Ergebnis von jährlich 6.600 - 10.000 GWh pro Jahr technisch nutzbarem Windenergiepotential. Anhand von Daten der Windmessungen und von damals verfügbaren Anlagen (Nabenhöhe 20 m, Rotordurchmesser 15 m, 50 kW Leistung) wurde eine Windkarte für Österreich erstellt (Abbildung 5.1). Die Gebiete mit guten Windverhältnissen, welche sich besonders zur Nutzung der Windenergie eignen, wurden kartographisch ausgewiesen. [6]

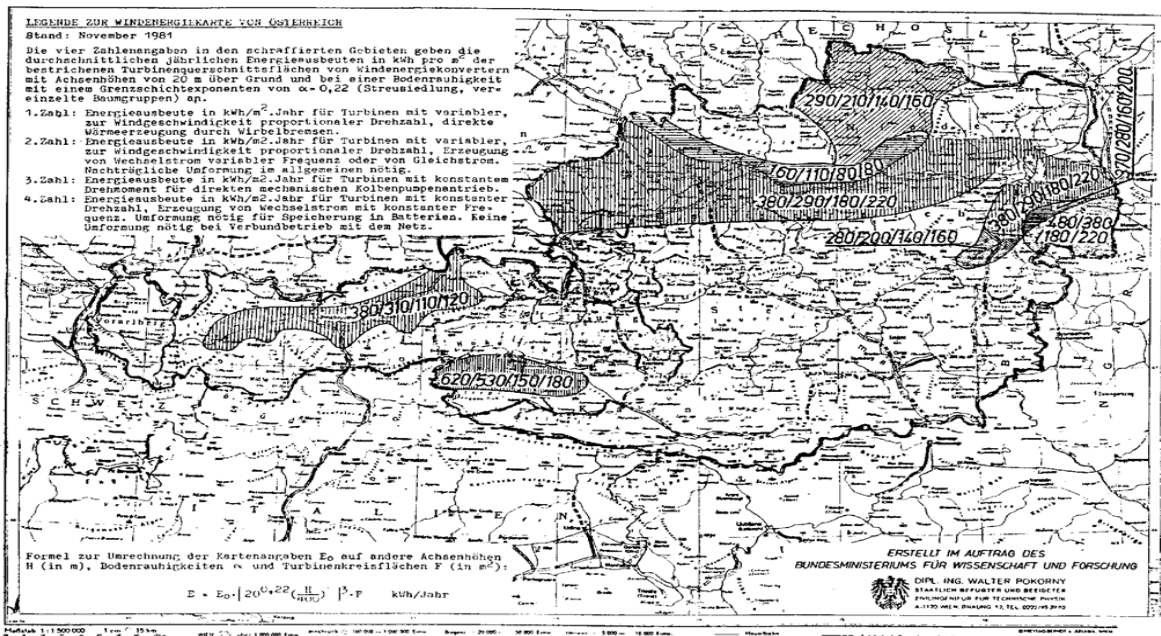


Abbildung 5.1: Windenergiekarte von Österreich [3]

Sind die Anlagen über das gesamte Bundesgebiet verteilt, wurde ein Potential von 6.600 GWh pro Jahr abgeschätzt, bei Konzentration auf die Gebiete mit guten Windverhältnissen kommt die Studie auf 10.000 GWh pro Jahr. Dafür werden unter damaligen technischen Gegebenheiten 150 000 Anlagen angegeben.

Die Abschätzung für einzelne Bundesländer erfolgte einige Jahre später (Pokorny, Neuwirth 1986). Dabei ergab die Berechnung, nach derselben Methodik wie im Jahr 1981, ein Gesamt-Potential (exklusive Wien und Kärnten) von 8 860 GWh pro Jahr.

Die Studie "Salletmaier, Winkellmeier 1994" zeigte, dass in Österreich ausreichend Standorte für Windkraftanlagen mit hoher Qualität und Wirtschaftlichkeit bestehen. Hierbei wurden für zwölf Standorte (Anlagen mit 50, 150, 225 und 500 kW Leistung) die durchschnittlichen Erträge pro gewählter Technologie und Standort berechnet. Die Daten wurden mit deutschen Anlagen und internationalen Beispielen verglichen. Zum Schluss formulierte die Studie bei einer Anlagengröße von 1 MW Leistung und 1300 Vollstunden eine installierte Leistung von 3500 MW. Dies wären 4550 GWh pro Jahr.

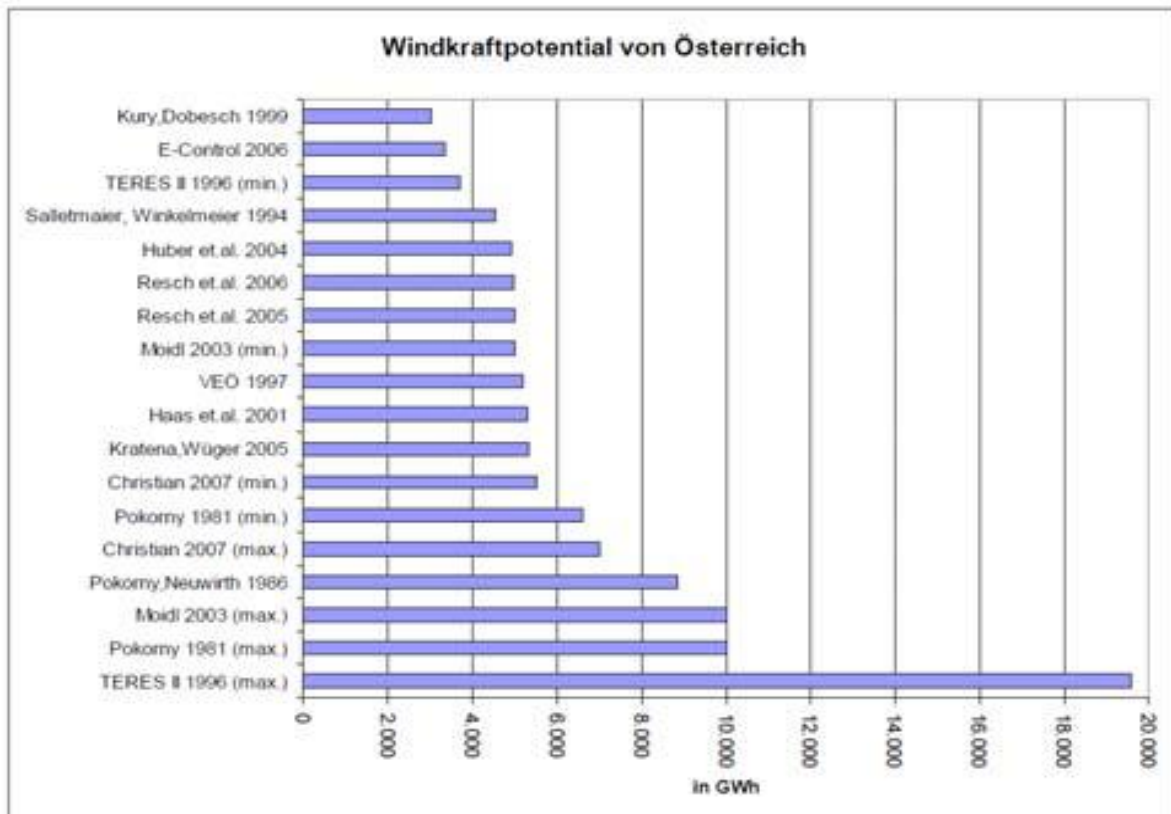
Eine Studie der TU Wien "VEÖ 1997" hat aufgrund der theoretisch nutzbaren Fläche für Österreich (Siedlungsräume, Wald-, Naturschutz-, und Hochgebirgsgebiete) und einem mittleren Energieertrag pro  $km^2$  das gesamte Windenergiepotential auf 5208 GWh pro Jahr abgeschätzt.

Im Jahr 1999 wurde eine neue Studie durchgeführt, die "Kury, Dobesch 1999". Das technische Potential wurde auf 3040 GWh pro Jahr abgeschätzt. Hierbei wurden die Erträge anhand von 56 Niederösterreichischen Ertragsdaten und abgeschätzten, regional differenzierten Volllaststunden (durchschnittlich für Niederösterreich 1690 Volllaststunden pro Jahr) prognostiziert. Es wurde davon ausgegangen, dass die durchschnittlich installierte Turbine 1 MW Leistung bei einem Rotordurchmesser von 55 Metern hat. Man ist davon ausgegangen, dass verschiedene Gebiete wie z.B. Nationalparks, Naturschutzgebiete, Wohngebiete, Sicherheitszonen für Flughäfen, Militärische Anlagen, Gewässer für die Errichtung von Windparks ausgenommen bleiben. [6]

In "Huber et.al. 2004" wird dargestellt, dass bei Standorten mit mehr als 5 m/s Windgeschwindigkeit und rund 1400 Volllaststunden ein langfristiges Potenzial von 5000 GWh pro Jahr besteht.

In "Resch 2005" wird bis 2020 ein realisierbares Potential von rund 5000 GWh pro Jahr angegeben. Die beiden letzten Studien haben dieselbe Methode angewendet: Gespräche mit Experten, Vergleiche mit anderen Ländern, Verwendung von Daten der Landnutzung, die Annahme einer Anlage von 2 MW Leistung. Diese Studien gehen von unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Investitionskosten und der laufenden Kosten aus. Trotz unterschiedlichen Eingangsannahmen ergeben sich dieselben Potenziale.

Die Abbildung 5.2 zeigt alle beschriebenen Studien in einem Überblick, eingeordnet vom größten bis zum kleinsten abgeschätzten Potenzial. Es ist bemerkbar, dass die vorliegenden Studien eine große Bandbreite (3000 bis 19000 GWh/Jahr) zeigen. Man muss bedenken, dass sich in den letzten 25 Jahren die Gegebenheiten und insbesondere die technischen Möglichkeiten in Österreich bedeutend verändert haben. Die meisten Studien haben die derzeitige verfügbare Technik der Windenergienutzung in Bezug genommen. Da die Technologie der Windenergienutzung in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung durchgemacht hat, sind die Studien aus den 90-er Jahren von diesem Standpunkt für die Zukunft irrelevant. Heute kommen Anlagen mit einer Leistung ab 2 MW zum Einsatz, wogegen in den 90-er Jahren die Leistungen 250 bis maximal 500 kW betragen.



**Abbildung 5.2:** Potenzialabschätzungen – Vergleich aller Studien [6]

Die letzte wichtige Studie wurde vom IG Windkraft im Jahr 2007, Stefan Moidl, "Das realisierbare Windenergiepotential in Österreich bis 2020" durchgeführt. Diese Studie hat alle bisherige Studien in Betracht genommen und durch die Ergebnisse und angenommenen technischen Möglichkeiten der Anlagen, die heute zum Einsatz kommen, ihre eigene Prognose aufgestellt.

- **Technische Überlegungen:** Die Windenergie-technik hat sich seit ihrem Anfang rasch entwickelt. Vor 15 Jahren waren noch 500 kW Anlagen mit 44 Meter Rotordurchmesser typische Größen. Heute sind 2 MW Anlagen mit 71 bis 90 Meter Durchmesser üblich. Die Nabenhöhen haben sich von typisch 60 m auf 98 bis 105 m erhöht.

Zur Zeit der Studie waren etliche Projekte für 3 MW Anlagen geplant und genehmigt. In Burgenland waren die zwei Enercon E-126 Anlagen im Windpark Potzneusiedl schon errichtet. Die Studie hat angenommen, dass sich durch die Betrachtung der vergangenen Entwicklung die Anlagenleistung verdreifacht hat, so dass in den nächsten Jahren die Anlagen mit einer Leistungsklasse von 3 und 5 MW zum Einsatz kommen werden. Zudem prognostiziert Moidl (2007), dass Windkraftanlagen bis 2020 mit einer Leistung von 6 MW (bis 8MW) ausreichend ausgereift sein werden.

- **Erträge:** Da sich die Effizienz der Anlagen durch drehzahlvariable und pitch - gesteuerte Anlagen immer erhöht, werden sich die spezifischen Winderträge mit vorausgesetzten guten Windverhältnissen weiter steigern. Daher scheint Moidl (2007) ein Schnitt von 2100 Volllaststunden zur Zeit der Studie angemessen.

- **Ergebnis der Studie:** Bis zum Jahr 2020 ist eine Gesamtzahl von etwa 1100 Anlagen mit 3500 MW realisierbar. Bei 2100 Volllaststunden haben diese Anlagen ein Regelarbeitsvermögen von 7300 GWh.[6]

## 5.2 Windatlas und Windpotentialstudie Österreich 2011

Im November 2011 wurde die letzte Studie über Windpotential, im Auftrag des Klima- und Energiefonds Österreich, durch Leitung vom DI Andreas Krenn, veröffentlicht.

Bei den bisherigen Studien wurden in den meisten Fällen nur Kriterien der Raumordnung berücksichtigt, wobei andere wesentliche Kriterien wie z.B. technische Realisierbarkeit und wirtschaftliche Rentabilität vollkommen vernachlässigt wurden. Diese Kombination mit Windkarten unbekannter Qualität führte zu hohen Ungenauigkeiten und geringer Aussagekraft der Ergebnisse. Aus diesem Grund wurde das Projekt "Windatlas und Windpotentialstudie Österreich" durchgeführt.

Folgende Schwerpunkte wurden bearbeitet:

- Sammlung, Evaluierung und Aufbereitung qualitativ hochwertiger Windmessdaten. Es wurden insgesamt 254 Standorte betrachtet.
- Mit dem dynamischen Modell wurden die atmosphärischen Prozesse eines klimatologisch relevanten Zeitraumes von 10 Jahren (1981 bis 1990) mit einer horizontalen Auflösung von 2 km x 2 km Gitterweite simuliert.
- Danach wurden Daten aus den ersten beiden Schwerpunkten als Datengrundlage in die geostatistische Modellbildung angewendet.
- Parallel dazu definierte man technische und wirtschaftliche Kriterien, die für die Abschätzungen des technisch maximal mobilisierbaren Potentials von Bedeutung sind.
- Mit den Ergebnissen des theoretischen Windangebots und unter Berücksichtigung der wesentlichen Einflussgrößen wurde eine dynamische WebGIS-Applikation programmiert, die das in Österreich theoretisch maximal mobilisierbare Windenergiepotential simulieren kann.
- Der letzte Schwerpunkt war, das Projekt sowohl einem möglichst breiten Publikum als auch nationalen und internationalen Fachkreisen vorzustellen.

Die dynamische Modellierung umfasste die Zeiträume von 1981 bis 1990 sowie das Jahr 1999. Für das erste Jahr 1999 wurden für die Modellierung folgende Quellen angefordert und aufbereitet: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Messstellen der Landesregierung, Messdaten aus geförderten Windmessprogrammen, privat finanzierte Windmessungen und Energieertragsdaten von bestehenden Windkraftanlagen. Zusätzlich wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Südtiroler Wetterdienst und von MeteoSwiss Daten zur Verfügung gestellt. Zuerst wurden die Stationen mittels hoch aufgelöstem digitalen Höhenmodell SRTM, CORINE Landcover sowie Luftbilddaufnahmen vorselektiert [30]. Zum Schluss wurden für das erste Modellierungsjahr (1999) folgende Stationen zur Verfügung gestellt:

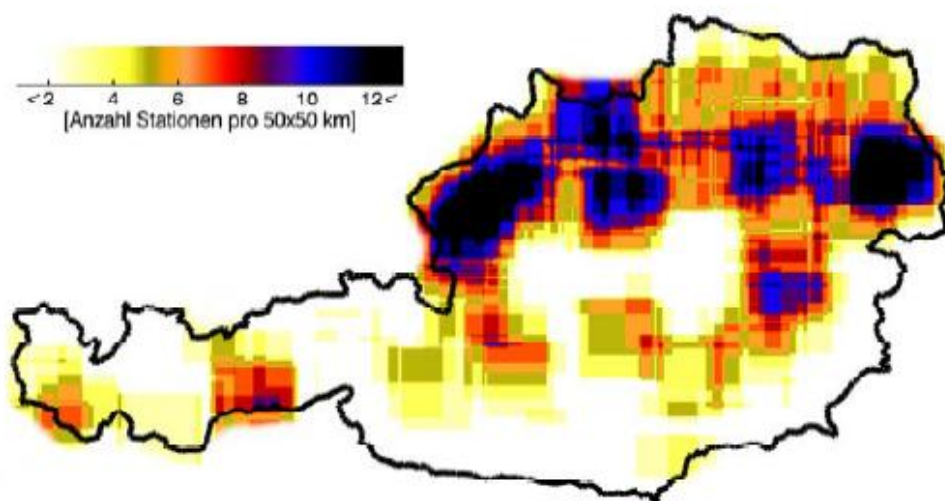
- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| • Private Windmessungen   | 124 Stationen |
| • ZAMG                    | 65 Stationen  |
| • Landesregierung         | 36 Stationen  |
| • Deutscher Wetterdienst  | 8 Stationen   |
| • Südtiroler Wetterdienst | 6 Stationen   |
| • Universität Innsbruck   | 2 Stationen   |
| • MeteoSwiss              | 13 Stationen  |

In den achtziger Jahren war das Stationsmessnetz der ZAMG noch nicht genügend ausgebaut. Um die Simulationsergebnisse für den Zeitraum von 1981 bis 1990 trotzdem validieren zu können, wurden verfügbare Daten der ausgewählten teilautomatischen Stationen (TAWES) mit Hilfe eines statistischen Verfahrens namens "quantile mapping" rekonstruiert.

Mit den dynamischen Model MM5 wurden die atmosphärischen Prozesse mit einer horizontalen Auflösung von 2 km x 2 km simuliert, wobei die Simulation mit dem Reanalyse Datensatz ERA40 angetrieben wurde. Um die dynamische Modellierung durchführen zu können, wurde auf ein bestehendes Simulationsergebnis namens reclip:more zurückgegriffen. Dieser Datensatz umfasst den gesamten Alpenraum in einer Horizontalauflösung von 10 km x 10 km und bezieht sich auf Zeiträume 1981 bis 1990 sowie das Jahr 1999. Am Ende der Simulation liegen für jeden Punkt im 3D Gitter die dynamisch modellierten Zeitreihen von allen meteorologischen Parametern vor.

Für das geostatische Modell wurde das 3D Windfeld von MM5 auf vorgegebene Höhenschichten in vertikaler und auf ein 100 m x 100 m Gitter in horizontaler Richtung interpoliert. Mit Hilfe eines digitalen Geländemodells wird der komplexen Topographie in höherer Auflösung Rechnung getragen. Mit Hilfe von Messdaten wird der Bias der dynamischen Modellierung bestimmt, welcher regional gemittelt korrigiert wird. Mit Hilfe des digitalen Geländemodells werden Geländeformen bestimmt und mit Korrekturtermen versehen. Am Schluss wird die Windkarte noch lokal an die Messwerte angepasst.

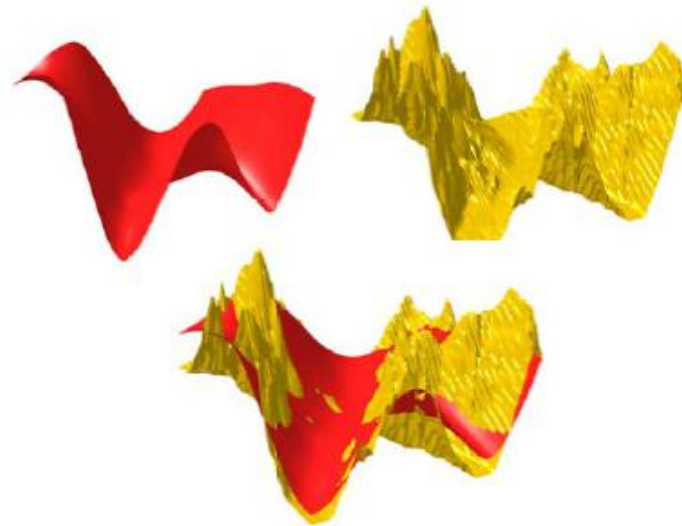
Um die Topographie in die gewünschte horizontale 100 m x 100 m Auflösung abbilden zu können, dienen die Inputgrößen wie z.B. Modellergebnisse der dynamischen Simulation mit dem numerischen Wettermodell MM5, Messdaten von offiziellen Wetterstationen sowie von privaten Windmessungen aus Windenergieprojekten und mit dem SRTM ein digitales Höhenmodell. Bei Messungen auf 10 m Höhe in der Nähe von Häusern und Bäumen war es schwierig die Windgeschwindigkeit abzuschätzen. Solche Messungen wurden aussortiert. Die Abbildung 5.3 zeigt die Verteilung der ins geostatische Modell eingeflossenen Messstationen über das österreichische Staatsgebiet als Grafik der Stationsdichte. Je dunkler die Region, umso mehr Messdaten sind dort eingeflossen. Eine gute Messdichte zeigt sich in den Bundesländern Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich sowie in der Brennerregion. [30]



**Abbildung 5.3:** Dichte der ins Model eingeflossenen Messstationen [30]



Die Abbildung 5.4 zeigt wie unterschiedlich die Ergebnisse mit MM5 und SRTM in komplexem Gelände wie den Alpen sind. Die Differenzen in Seehöhen am einzelnen Punkten belaufen sich bis zu 500 m. Im SRTM kommen die Täler und Bergspitzen viel detaillierter zum Vorschein. Die Topographie im MM5 (oben links) und im SRTM (oben rechts) wurden in der Abbildung unten übereinander gelegt. Täler sind im SRTM in der Regel tiefer und Bergspitzen höher als im MM5.



**Abbildung 5.4:** Unterschiedliche Topographie mit MM5 und im SRTM [30]

Um zur finalen Windkarte zu gelangen, wurden verschiedene Korrekturschritte durchgeführt. Die folgende Formel fasst alle Teilkorrekturen zusammen:

$$v = \underbrace{v(\text{MM5})}_{\text{Interpolation auf } 100 \times 100 \text{ m}} + \Delta z \cdot \frac{dv}{dz} + \underbrace{\varepsilon_{\text{bias}}}_{\substack{\text{regionale} \\ \text{Biaskorrektur}}} + \underbrace{\varepsilon_{\text{hang}}}_{\substack{\text{Hangneigungs-} \\ \text{korrektur}}} + \underbrace{\varepsilon_{\text{kamm}}}_{\substack{\text{Korrektur} \\ \text{Kämme}}} + \underbrace{\varepsilon_{\text{graben}}}_{\substack{\text{Korrektur} \\ \text{Graben}}} + \underbrace{\varepsilon_{\text{lokal}}}_{\substack{\text{Lokale} \\ \text{Korrektur}}}$$

Gleichung 5.1

Die horizontal 2 km x 2 km aufgelösten MM5 Daten wurden mittels einer Interpolation auf ein 100 m x 100 m Gitter herunter gerechnet. Ein Höhengradient  $dv/dz$  wurde mit MM5 Daten bestimmt, der an jedem Punkt mit der Differenz  $dz$  in den beiden Topographiemodellen SRTM und MM5 multipliziert wird. Die neue Windkarte benennen wir mit  $MM5_{100}$ . Zum Schluss wurden die rechnerischen Ergebnisse mit den Messdaten verglichen. Die Abbildung 5.5 zeigt deutlich eine Überschätzung der mittleren Windgeschwindigkeit. Die Überschätzung ist auf MM5 zurückzuführen.

Mit Berücksichtigung aller vorgegebenen Messdaten, der durchgeführten Simulationen und Korrekturen, sowie die Berücksichtigung von Schutzgebieten, Verkehrswegen, Siedlungen und Landnutzung wurde eine finale Windkarte erstellt. Die Gebiete mit gelber, dunkelgelber und oranger Farbe weisen die höchsten Windgeschwindigkeiten auf (Abbildung 5.6). Auch hier ist zu sehen, dass die Bundesländer Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich die besten Windverhältnisse besitzen.

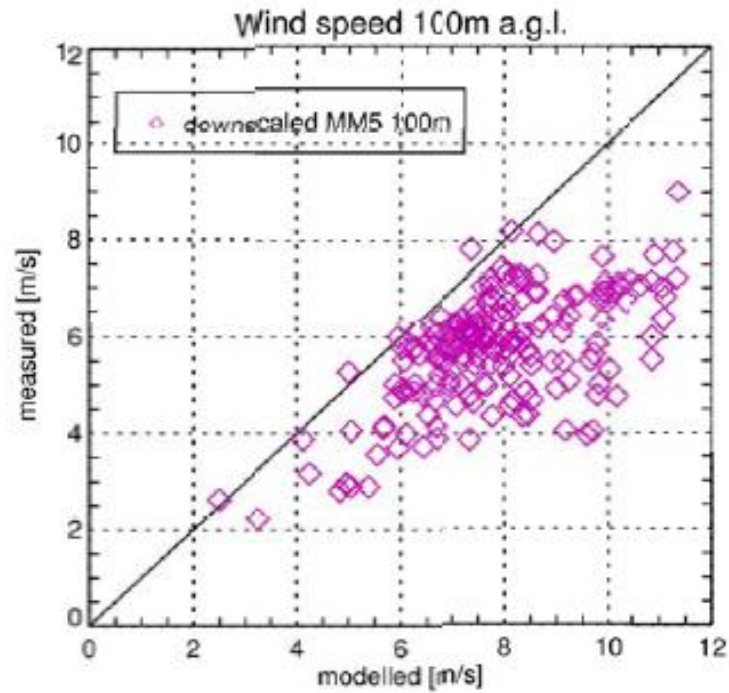


Abbildung 5.5: Abweichungen des  $MM5_{100}$  zu Messdaten auf 100 m über Grund [30]

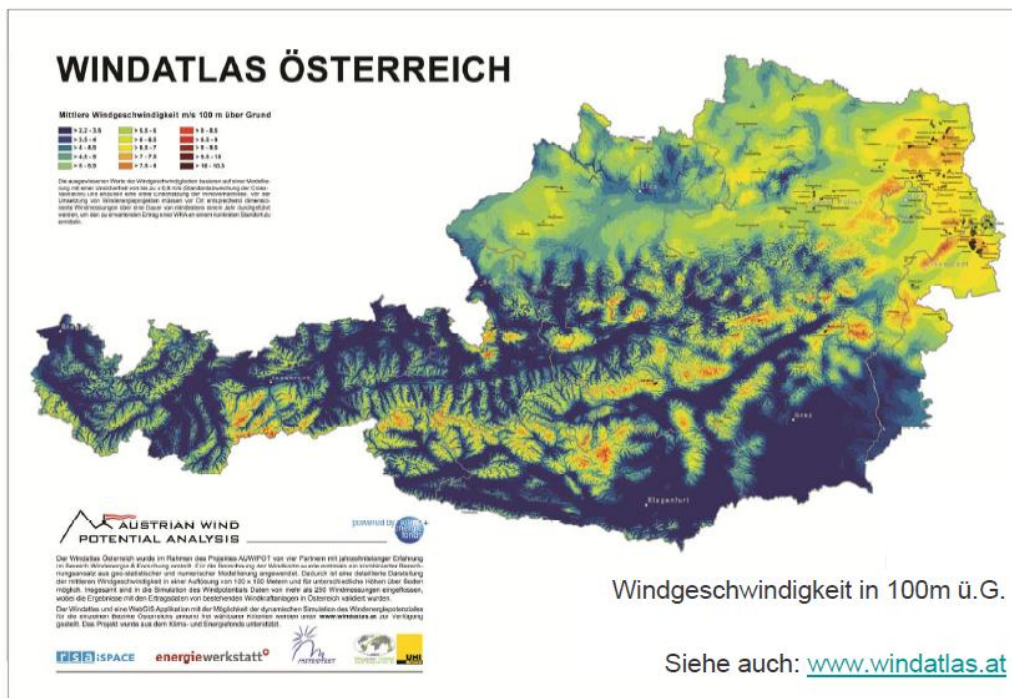


Abbildung 5.6: Windatlas Österreich für Windgeschwindigkeiten 100 m über Grund [30]

## Endergebnis - Realisierbares Potenzial

| Szenario 2012: 2MW-Turbines - 650 €/m <sup>2</sup> - 9,7 €Cent/kWh |                                     |                               |                     |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Bundesland   | t.m.m. Potential Szenario 2012 [MW] | Realisierbares Potential [MW] | Auslastungsgrad [%] |
| Vorarlberg   | 46                                  | 5                             | 11%                 |
| Tirol  | 140                                 | 15                            | 11%                 |
| Salzburg   | 96                                  | 10                            | 10%                 |
| Kärnten  | 618                                 | 30                            | 5%                  |
| Steiermark   | 2.422                               | 250                           | 10%                 |
| Burgenland   | 2.394                               | 1000                          | 42%                 |
| Oberösterreich   | 310                                 | 100                           | 32%                 |
| Niederösterreich   | 5.006                               | 1700                          | 34%                 |
| Wien   | 10                                  | 10                            | 100%                |
| <b>Gesamt</b>  | <b>11.042</b>                       | <b>3120</b>                   |                     |

| Szenario 2020: 3MW-Anlagen, 625 €/m <sup>2</sup> , 11 €Cent/kWh |                            |                      |                                    |                          |                     |
|---|----------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Bundesländer  | t.m.m. Potential 2020 [MW] | Auslastungsgrad 2020 | Realisierbares Potential 2020 [MW] | Bestand Sommer 2011 [MW] | Umsetzungsgrad REAL |
| Vorarlberg  | 361                        | 10%                  | 36                                 | 0                        | 0%                  |
| Tirol   | 858                        | 10%                  | 86                                 | 0                        | 0%                  |
| Salzburg  | 698                        | 10%                  | 70                                 | 0                        | 0%                  |
| Kärnten   | 2.398                      | 5%                   | 120                                | 1                        | 0%                  |
| Steiermark  | 6.888                      | 10%                  | 689                                | 50                       | 7%                  |
| Burgenland  | 4.749                      | 25%                  | 1.187                              | 369                      | 31%                 |
| Oberösterreich  | 1.497                      | 15%                  | 225                                | 26                       | 12%                 |
| Niederösterreich  | 14.469                     | 15%                  | 2.170                              | 557                      | 26%                 |
| Wien  | 22                         | 100%                 | 22                                 | 7                        | 34%                 |
| <b>Gesamt Österreich</b>  | <b>31.940</b>              |                      | <b>4.605</b>                       | <b>1.011</b>             |                     |

| Szenario 2030: 4MW-Anlagen, 600 €/m <sup>2</sup> , 15 €Cent/kWh |                            |                      |                                    |                          |                     |
|---|----------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Bundesländer  | t.m.m. Potential 2030 [MW] | Auslastungsgrad 2030 | Realisierbares Potential 2030 [MW] | Bestand Sommer 2011 [MW] | Umsetzungsgrad REAL |
| Vorarlberg  | 1.386                      | 15%                  | 208                                | 0                        | 0%                  |
| Tirol   | 4.174                      | 15%                  | 626                                | 0                        | 0%                  |
| Salzburg  | 4.063                      | 15%                  | 609                                | 0                        | 0%                  |
| Kärnten   | 4.766                      | 10%                  | 477                                | 1                        | 0%                  |
| Steiermark  | 11.747                     | 15%                  | 1.762                              | 50                       | 3%                  |
| Burgenland  | 5.043                      | 30%                  | 1.513                              | 369                      | 24%                 |
| Oberösterreich  | 3.578                      | 20%                  | 716                                | 26                       | 4%                  |
| Niederösterreich  | 16.514                     | 20%                  | 3.303                              | 557                      | 17%                 |
| Wien  | 8                          | 100%                 | 8                                  | 7                        | 93%                 |
| <b>Gesamt Österreich</b>  | <b>51.279</b>              |                      | <b>9.221</b>                       | <b>1.011</b>             |                     |

**Tabelle 5.1:** Realisierbares Potenzial 2012/2020/2030 [30]

In Tabelle 5.1 wurde das theoretisch maximal mobilisierbare Potential unter Berücksichtigung bundesländer-spezifischer Vorgaben für die Jahre 2012/2020/2030 dargestellt. Mit der Thema, warum das abgeschätzte Potenzial vom 3.120 MW Leistung im Jahr 2012 (Stand: 1.378 MW) nicht erreicht wurde, hat sich diese Studie nicht beschäftigt.

## 6. Windenergienutzung in Österreich

Die erste große Ausbaumwelle in Österreich fand von 2003 bis 2006 statt, Abbildung 6.1. Mit der Änderung des Ökostromgesetzes im Jahr 2006 kam es zum Baustillstand. Ende 2009 kam es erneut zu Änderungen des Ökostromgesetzes, was einen Neustart ermöglichte. Es hat aber drei Jahre lang gedauert, das Niveau der ersten Ausbaustufe zu erreichen. Erst mit dem Ökostromgesetz 2012 wurde eine optimale Basis geschaffen, die zu einer zweiten Ausbaumwelle geführt hat. [28]

Mit 295,65 MW Windleistung war das Jahr 2012 das stärkste Ausbaumjahr der Branche in Österreich aller Zeiten. Ende 2012 hat Österreich 763 installierte Windräder mit einer Leistung von 1.378 MW Strom im Netz gehabt (Abbildung 6.1). Das entspricht 2.9 TWh pro Jahr Stromertrag bzw. 4.8 Prozent des österreichischen Strombedarfs. Am stärksten war das Burgenland mit einem Ausbau von 223 MW, was genau drei Viertel des österreichweiten Windkraftausbaus in diesem Jahr entspricht.

2013 sollte das nächste Rekordjahr werden. Geplant ist die Errichtung von 150 Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 422 MW. Davon 73 Anlagen im Burgenland mit rund 220 MW Leistung und 58 Anlagen in Niederösterreich mit rund 155 MW. Mittlerweile sind Anlagen mit 3-MW-Klasse Standard, die zum überwiegenden Teil zum Einsatz kommen.

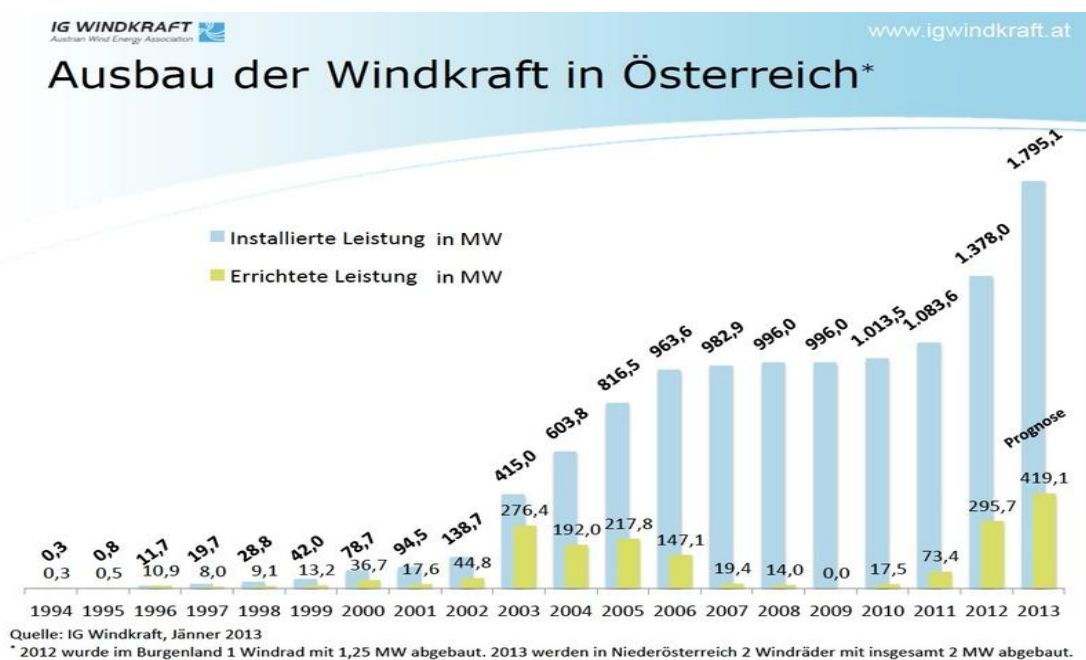


Abbildung 6.1: Windkraft in Österreich [32]

| Bundesland       | Stand    | 12.01.12 | Stand    | 01.01.13 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
|                  | Leistung | Anlagen  | Leistung | Anlagen  |
| Niederösterreich | 606,1    | 376      | 679,1    | 410      |
| Burgenland       | 390,5    | 213      | 612      | 286      |
| Steiermark       | 52,7     | 34       | 52,7     | 34       |
| Oberösterreich   | 26,4     | 23       | 26,4     | 23       |
| Wien             | 7,4      | 9        | 7,4      | 9        |
| Kärnten          | 0,5      | 1        | 0,5      | 1        |
| Österreich       | 1.083,60 | 656      | 1.378,00 | 763      |

**Tabelle 6.1:** Ausbau im Jahr 2012 [32]

Tabelle 6.1 zeigt den genauen Zubau von Windkraftanlagen im Jahr 2012. In Niederösterreich wurden 34 und im Burgenland 73 neue Windkraftanlagen aufgestellt. In den restlichen Bundesländern sind keine neuen Anlagen zugebaut worden.

Bemerkenswert ist, dass allein der Zubau 2012 in Niederösterreich Strom für 42.000 Haushalte erntet. Zudem sind 440 neue Arbeitsplätze (davon 40 Dauerarbeitsplätze) errichtet. Es wurden insgesamt 120 Millionen Euro investiert.

Im Burgenland wurden im gleichen Zeitraum 367 Millionen Euro in den Zubau von Windkraftanlagen investiert, was zu einer Stromernte für 143.000 Haushalte führte. Zudem wurden bei der Errichtung 1.500 neue Arbeitsplätze geschaffen, von welchen 120 als Dauerarbeitsplätze bleiben. [32]



**Abbildung 6.2:** Verteilung der Windkraftanlagen in Österreich Ende 2012 [32]

## 6.1 Standorte

### Einzelanlage

Eine Einzelanlage hat im Grunde einen kleinen Flächenverbrauch. Für den sichtbaren Sockel wird eine Fläche von 10 bis 15 m<sup>2</sup> beansprucht, für die Fundamentfläche, die mit Erde überdeckt wird, 80 bis maximal 150 m<sup>2</sup>. Die Standfläche hat im Grunde lediglich einen Durchmesser von 3 bis 4 m.

### Windpark

Ein Windpark entsteht durch Aufstellung von mehreren benachbarten Windkraftanlagen. Die Abstandsflächen zwischen einzelnen Windkraftanlagen sind abhängig von der Leistungsfähigkeit der Einzelanlagen, sowie von der Bauhöhe. [13]

Windparks kann man in zwei Arten unterteilen, gewachsene und geplante Windparks. Bei gewachsenen Windparks werden die Anlagen nacheinander in räumlicher Nähe zueinander errichtet. Die geplanten Windparks werden durch Hersteller oder Betreiber in Zuge eines Bauvorhabens errichtet bzw. geplant. Windparks können nicht einfach überall angelegt werden. Sie entstehen nur in bestimmten Regionen, die durch Behörden nur für diese Zwecke vorgesehen wurden. Daher ist eine Genehmigung erforderlich, welche bestimmte Gesetze und Kriterien einzelner Bundesländer erfüllt.

### Kriterien Niederösterreich

Der Landtag von Niederösterreich hat am 25.3.2004 beschlossen, das NÖ Raumordnungsgesetz 1976, LGBl. 8000 in Bezug auf § 19 zu ändern, in der Novelle vom 20.06.2011 wurde § 19 modifiziert. Ein Mindestabstand von Windkraftanlagen muss ca. 1200 m zu gewidmetem Wohnbauland und Bauland-Sondergebiet eingehalten werden.[12]

Weitere Kriterien:

- Landwirtschaftliche Wohngebäude: mindestens 750 m Abstand
- Abstände zu hochrangigen Straßen sind einzuhalten
- Sicherheitszonen wie Flughafen Wien-Schwechat, Flughafen Spitzerberg, Krankenhaus Hainburg sind mit bestimmten Abständen einzuhalten.

### Kriterien Burgenland

Für das Mittelburgenland und den Raum um Eisenstadt wurde eine 1000 m Schutzzone (ausgenommen Industriegebiete) als Mindestabstand festgelegt. [12]

Weitere Kriterien:

- 1000 m zu gewidmeten Wohnbauland
- 750 m zu landwirtschaftlichen Einzelgehöften
- 500 m zu Autobahn-Raststationen

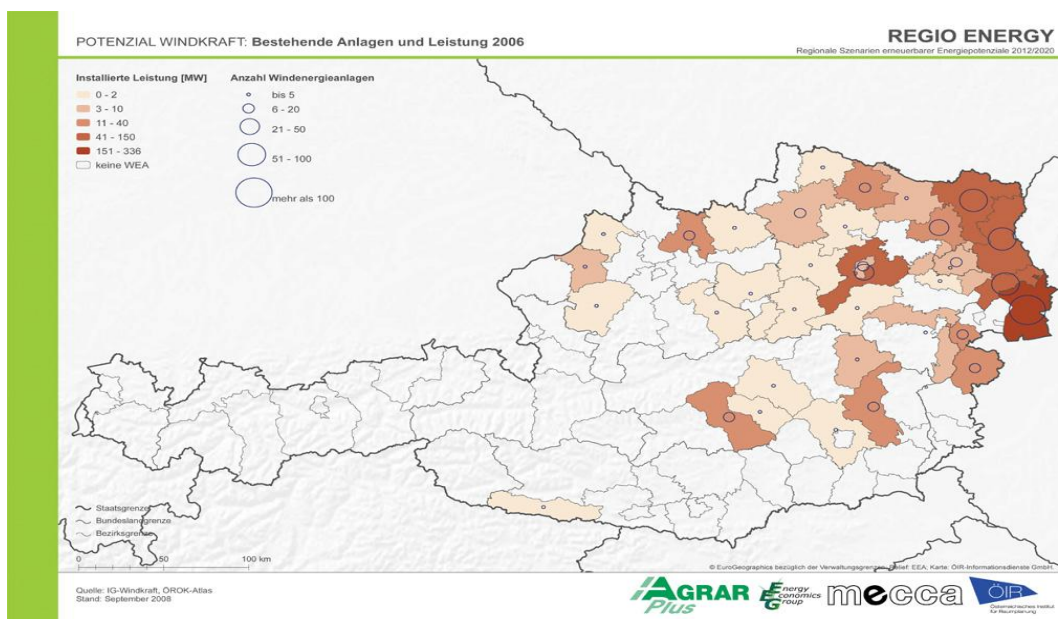
Des Weiteren wird zwischen Windpark im Binnenland (onshore), an der Küste (nearshore) und auf See (offshore) unterschieden. Sie können bis über 100 Anlagen umfassen und wenige MW bis viele 100 MW Einspeiseleistung erbringen.

Ein Windpark ist im Vergleich zu Einzelanlage immer bevorzugt. Die Hauptgründe hierfür sind:

- Kostenersparnis für den Netzanschluss und Erschließung
- Leichtere Wartung, Instandhaltung und Überwachung
- Einfacheres Genehmigungsverfahren

## 6.2 Bestehende Anlagen und Leistung

Abbildung 6.3 zeigt, wie die geographische Lage der Anlagen auf die Ostregion konzentriert ist. Über 90% der Anlagen stehen in Niederösterreich, dem Burgenland und Wien. Die Top 5 Bezirke bei der installierten Leistung sind Neusiedl am See, Gänserndorf, Bruck an der Leitha, Mistelbach und St.Pölten Land. [8] Heutzutage werden nur mehr große Windparks errichtet, denn Einzelanlagen führen zu mangelnder Produktivität und höheren Kosten. [11] Die Neuanlagen haben eine durchschnittliche Größe von ca. 2 MW.



**Abbildung 6.3:** Bestand der Windkraftnutzung in Österreich [8]

Der wichtigste Faktor, warum die Ostregion Österreichs ein Potenzial an Windenergiegewinnung hat, sind die besonderen meteorologischen Gegebenheiten in dieser Region. Nördlich und östlich von Wien treffen zwei großräumige Windsysteme zusammen [12]. Die Nordwestströmung kommt vom Atlantik her, und die Ostwinde aus der Pannonischen Tiefebene. Die Windverhältnisse, die dadurch entstehen, sind mit Windverhältnissen an der Nordseeküste zu vergleichen. Diese Region gilt nicht nur Österreichweit, sondern auch weltweit als eine der besten Windregionen überhaupt.

Die Karte zeigt eine äußerst hohe Dichte an Windrädern auf burgenländischer sowie auf niederösterreichischer Seite, was zwischen den Ortschaften Bruck/Leitha im Westen und Kittsee im Osten deutlich zu sehen ist. Ebenfalls eine hohe Dichte ist zwischen Obersdorf, Gänserndorf und Mistelbach im Norden zu sehen.

Bereits 50 Prozent des gesamten Strombedarfs in Niederösterreich stammt aus erneubarer Energie, davon 10 Prozent aus Windkraft und der überwiegende Teil von Wasserkraft. Das Ziel des Landes Niederösterreich ist bis 2015 den gesamten Strombedarf mit erneubarer Energie abzudecken.

Die errichteten Windräder im Burgenland decken bereits die Hälfte des burgenländischen Strombedarfs. Dazu kommen noch 10 Prozent Strom aus Biomasse -Anlagen.

## 6.3 Größte Windparks Niederösterreichs - Vergleich

### Kettlasbrunn

- 20 Anlagen, Enercon E70/2000 (Leistung 2 MW, Rotordurchmesser 70 m)
- Nabenhöhe 114 m
- Nennleistung 40 MW
- Betreiber EVN-Naturkraft

### Obersdorf

- 17 Anlagen, Enercon E66/1800 (Leistung 1.8 MW)
- Nabenhöhe 98 m
- Nennleistung 31,2 MW
- Betreiber ÖKOENERGIE *GmbH*

### Kreuzstetten

- 20 Anlagen, Vestas V90/2000 (Leistung 2 MW, Rotordurchmesser 90 m)
- Nabenhöhe 105 m
- Nennleistung 30,6 MW
- Energie für 19.750 Haushalte
- CO2 Einsparung 48.309 t
- Betreiber Windkraft Simonsfeld, EWS Consulting

### Oberssiebenbrunn

- 13 Anlagen, Vestas V90/2000 (Leistung 2 MW, Rotordurchmesser 90 m)
- Nabenhöhe 105 m
- Nennleistung 26 MW
- Betreiber ÖKOENERGIE *GmbH*



WEB Windenergie AG, EVN-Naturkraft, Windkraft Simonsfeld und ÖKOENERGIE sind vier führende Betreiber Niederösterreichs. Die Anlagen, die in den letzten fünf Jahren gebaut wurden, sind meistens von der Firma Vestas und Enercon. In Österreich sind die Anlagen von 1,8 MW bis 2 MW Leistung und einem Rotordurchmesser von 80 m bis 92 m bevorzugt, was einer Nabenhöhe von 98 m bis 114 m entspricht.

| <i>Name</i>                | <i>Nennleistung (MW)</i> | <i>Anzahl</i> | <i>Baujahr/Zubau</i>     |
|----------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| Aspersdorf                 | 2                        | 1             | 2005/09                  |
| Auersthal                  | 20                       | 10            | 2006/06                  |
| Berg (AT)                  | 18                       | 9             | 2005/10                  |
| Berg-Erweiterung           | 2                        | 1             | 2010                     |
| Bruck an der Leitha        | 9                        | 5             | 2000/10                  |
| Böheimkirchen              | 0,11                     | 1             | 1996                     |
| Dürnkrot-Götzendorf I + II | 20,5                     | 10            | 2012                     |
| Ebenfurth                  | 3,9                      | 3             | 2003/08                  |
| Ertl                       | 0,5                      | 1             | 2000                     |
| Eschenau                   | 1                        | 2             | 2000/11                  |
| Freudenau                  | 0,6                      | 1             | 1998/01                  |
| Gföhl                      | 0,2                      | 1             | 1996                     |
| Glinzendorf                | 19,45                    | 11            | 1996/12,1999/02,2012     |
| Grafenschlag I             | 0,6                      | 1             | 1997/12                  |
| Groissenbrunn              | 0,5                      | 2             | 1996                     |
| Groissenbrunn              | 0,5                      | 1             | 1997                     |
| Groß-Engersdorf            | 11,5                     | 5             | 2010/12                  |
| Gänserndorf                | 15,5                     | 10            | 2006,2000/12             |
| Hagenbrunn I + II + III    | 2,52                     | 4             | 1996/11, 2000, 2000/12   |
| Haindorf                   | 3,6                      | 2             | 2000/08                  |
| Haindorf                   | 12,6                     | 7             | 2004/01                  |
| Hipples                    | 4,62                     | 7             | 2000/06                  |
| Hoher Kölbling             | 10,8                     | 6             | 2006/06                  |
| Hollabrunn                 | 1,8                      | 1             | 2003                     |
| Hollern                    | 18                       | 9             | 2004                     |
| Höbersbrunn I+II           | 4                        | 2             | 2005,2                   |
| Höflein                    | 1,8                      | 1             | 2003/04                  |
| Höflein                    | 5,2                      | 4             | 2004/12, 2002/06         |
| Japons                     | 16                       | 8             | 2005,2005/09, 2005/10    |
| Kettlasbrunn               | 40                       | 20            | 2006                     |
| Kilb                       | 0,6                      | 1             | 2004                     |
| Kleinhain                  | 9                        | 5             | 2006                     |
| Kreuzstetten I+II+III      | 30,6                     | 20            | 2005/10, 2007/11,2008/11 |
| Langmannersdorf            | 6                        | 3             | 2004/11                  |
| Leitzersdorf               | 4                        | 4             | 1999/12                  |
| Lichtenegg                 | 1,8                      | 1             | 2003                     |
| Maria Jeutendorf           | 0,11                     | 1             | 1996                     |
| Matzneusiedl               | 0,5                      | 1             | 1996/03                  |
| Maustrenk-Erweiterung      | 2                        | 1             | 2010/07                  |

|                            |      |    |                                   |
|----------------------------|------|----|-----------------------------------|
| Michelbach                 | 0,23 | 1  | 1995/07                           |
| Obersdorf                  | 31,2 | 17 | 2004/07, 2006                     |
| Obersiebenbrunn            | 26   | 13 | 2006                              |
| Oberstrahlbach             | 1,8  | 3  | 1997/12                           |
| Ottenschlag                | 0,5  | 1  | 1996                              |
| Parbasdorf                 | 1,8  | 3  | 1998/02                           |
| Petronell Carnuntum        | 22   | 11 | 2005/03                           |
| Pillichsdorf               | 18   | 9  | 2006                              |
| Pottenbrunn                | 5,7  | 8  | 1998,2000/08,2005/12              |
| Poysdorf-Wilfersdorf       | 28   | 14 | 2007/11                           |
| Prellenkirchen             | 27,2 | 16 | 2002/12, 2003                     |
| Prinzendorf                | 30   | 15 | 2003/06                           |
| Prinzendorf 2              | 12   | 6  | 2009/12                           |
| Purgstall-Hochriess        | 0,25 | 1  | 1996                              |
| Pömmern                    | 0,2  | 1  | 1996                              |
| Rannersdorf                | 8    | 4  | 2005/09                           |
| Reittern                   | 0,5  | 1  | 1996                              |
| Retz                       | 0,25 | 1  | 1996/12                           |
| Scharndorf                 | 22   | 11 | 2003                              |
| Scharndorf-Erweiterung     | 2    | 1  | 2010/07                           |
| Schauerberg                | 3,6  | 2  | 2006/06                           |
| Schrick                    | 21,7 | 14 | 2011/06,2003/04,2005/10,2011,2012 |
| Seyring                    | 2,01 | 3  | 1997/06,2000/11                   |
| Simonsfeld                 | 1,2  | 2  | 1998/02                           |
| Spannberg/Hohenruppersdorf | 12   | 6  | 2005/12                           |
| St. Pölten                 | 0,36 | 2  | 1994,1996                         |
| Stattersdorf               | 2,4  | 4  | 2005/06                           |
| Steigberg                  | 2    | 1  | 2003                              |
| Stockerau                  | 2,4  | 4  | 2000/08                           |
| Velm-Götzendorf            | 12,5 | 10 | 2004                              |
| Vosendorf                  | 1,2  | 2  | 1996/12,2008/09                   |
| Wagram/Donau               | 0,15 | 1  | 1994                              |
| Wilfersdorf                | 18   | 9  | 2005                              |
| Wilhelmsburg               | 0,25 | 1  | 1996                              |
| Wolkersdorf                | 1,1  | 2  | 1996/12,2001/06                   |
| Zistersdorf                | 30   | 1  | 1995/02                           |
| Zistersdorf-Maustrenk      | 12   | 6  | 2005/11                           |

**Tabelle 6.2:** Windkraftanlagen in Niederösterreich [Quelle: [www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)]

Tabelle 6.2 zeigt Windparks in Niederösterreich mit dazugehöriger Nennleistung und Baujahr. Die Windkraftanlagen, die in den Jahren 1994 bis 1998 gebaut wurden, haben eine Leistung von 0,15 bis 0,5 MW gehabt und waren als Einzelanlage aufgestellt. Man hat erst später ab 2000 angefangen mehr in große Projekte und Windparks zu investieren. Es zeigte sich einerseits, dass die Errichtung von Windparks längere Planungsphasen, höhere Investitionen und einen größeren Genehmigungsaufwand erforderlich macht. Andererseits sind Netzanschluss-, Wartungs- und Überwachungskosten deutlich niedriger als für Einzelanlagen.

## 6.4 Größte Windparks Burgenlands – Vergleich

### Parndorf

- 37 Anlagen, Enercon E66/1800, Vestas V53/850, G 1,5sl, NEG Micon NM 64/1500 (Leistung 1,5;1,8;2 MW)
- Nabenhöhe von 60 bis 86 m
- Nennleistung 61,75 MW
- Betreiber Austrian Wind Power, Ökostrom AG, WEB Windenergie AG

### Neudorf

- 33 Anlagen, Vestas V80/2000, V90/2000, Dewind D8 (Leistung 2 MW)
- Nabenhöhe von 100 bis 105 m
- Nennleistung 66 MW
- Betreiber WEB Windenergie AG, Austrian Wind Power GmbH

### Gols

- 27 Anlagen, Vestas V90/2000, V80/2000, Dewind D6 (Leistung 2 MW)
- Nabenhöhe von 80 bis 105 m
- Nennleistung 49,5 MW
- Betreiber Austrian Wind Power GmbH, WEB Windenergie AG, Windpark Gols GmbH, Püspöck

| <i>Name</i>          | <i>Nennleistung (MW)</i> | <i>Anzahl</i> | <i>Baujahr/Zubau</i>  |
|----------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|
| Deutschkreutz        | 16,3                     | 8             | 2005,2                |
| Gols                 | 49,5                     | 27            | 2005/06               |
| Kittsee              | 39                       | 20            | 2004,2011,2012        |
| Mönchhof Dreijoch    | 60                       | 20            | 2011,2                |
| Mönchhof Heidäcker   | 39                       | 13            | 2012                  |
| Mönchhof I+II        | 14                       | 7             | 2001,2                |
| Neudorf/Neuhof       | 66                       | 33            | 2003/12,2005/08       |
| Neusiedl am See      | 39,6                     | 22            | 2003                  |
| Neusiedl an der Zaya | 9                        | 5             | 2002/10               |
| Pama                 | 10                       | 8             | 2003/01               |
| Parndorf             | 61,75                    | 37            | 2003/05,2004/11,2005, |
| Pottelsdorf I+II     | 11,2                     | 5             | 2004/02,2005/06       |
| Potzneusiedl         | 32                       | 11            | 2005,2011,            |
| Sigleß               | 6                        | 3             | 2005/12               |
| Weiden               | 39,6                     | 22            | 2003                  |
| Zurndorf             | 9,3                      | 7             | 2001/10,2005          |

**Tabelle 6.3:** Windkraftanlagen in Burgenland [Quelle: [www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)]

Die größten Betreiber im Burgenland sind WEB Windenergie und Austrian Wind Power. Wie Tabelle 6.3 zeigt, hat Burgenland keine Einzelanlage, sondern nur Windparks, die aber von ihrer Größe viel mehr Räumlichkeiten brauchen als jene in Niederösterreich. Da alle Anlagen ab dem Jahr 2001 errichtet wurden, handelt es sich um die Anlagen der neuen Generation wie Enercon E101/3000 und Enercon E66/1800, die eine Leistung zwischen 1800 und 3000 kW haben.

Es ist sehr wichtig zu erwähnen, dass es in Österreich nur einen Windpark gibt, der Anlagen über 3 MW Leistung hat. Es handelt sich um den Windpark Potzneusiedl, der zwei Anlagen mit je 7580 kW Leistung hat. Die Anlagen der Firma Enercon E126/7500 wurden 2011 gebaut. Eine davon dient als Forschungsstation, um die Weiterentwicklung der Stromproduktion mit Windenergie voranzutreiben. Die Anlagen haben eine Nabenhöhe von 135 m und es ist ein Jahresertrag von 15,75 Mio. kWh/Jahr zu erwarten. Die beiden Anlagen ernten Strom für ca. 45.000 Haushalte und reduzieren CO<sub>2</sub>-Emission um 11000 t/Jahr.

## 6.5 Betreiber

### Austrian Wind Power

Austrian Wind Power wurde im Jahr 2002 gegründet. Sie ist der größte Ökostromproduzent Österreichs, mit 10 Windparks, 147 Windkraftanlagen und einer Leistung von insgesamt 273 MW. Die jährliche Ökostromproduktion beträgt rund 500 Millionen kWh (Stand 18. Jänner 2012) [14]. Nach der Änderung des Ökostromgesetzes 2003 und durch die positive Einstellung der Politik und Bevölkerung, startet die Austrian Wind Power mit der intensiven Nutzung der Windressourcen. Zuerst wurden 2003 die Windparks Neusiedl am See, Weiden, Gols und Pama errichtet, danach 2004/2005 Neudorf, Kittsee, Parndorf, Deutschkreuz und Potzneusiedl. 2011 wurden zwei Enercon E-126 im Windpark Potzneusiedl errichtet (siehe Kapitel 6.4).

### Bestehende Windparks

| Windpark        | Anzahl     | Typ                             | Summe Leistung [MW] |
|-----------------|------------|---------------------------------|---------------------|
| Deutschkreuz    | 8          | REpower MM82<br>Enercon E 82    | 16,30               |
| Gols            | 11         | DeWind D6                       | 13,75               |
| Kittsee         | 18         | Enercon E 66<br>Enercon E 82    | 35,40               |
| Neudorf         | 22         | DeWind D8<br>Vestas V 80        | 44,00               |
| Neusiedl am See | 18         | Enercon E 65                    | 32,40               |
| Pama            | 8          | DeWind D6                       | 10,00               |
| Parndorf        | 23         | Enercon E 66                    | 41,40               |
| Potzneusiedl    | 7          | Enercon E 70/4<br>Enercon E 126 | 25,00               |
| Weiden          | 26         | Enercon E 66                    | 46,80               |
| Zurndorf        | 6          | Enercon E 70/4<br>Enercon E 40  | 7,80                |
| <b>Gesamt</b>   | <b>147</b> |                                 | <b>272,8</b>        |

## Erweiterung bestehender Windparks

| Windpark               | Anzahl | Typ                           | Summe Leistung [MW] |
|------------------------|--------|-------------------------------|---------------------|
| Parndorf<br>Start 2013 | 2      | Enercon E 101                 | 4,60                |
| Zurndorf<br>Start 2012 | 5      | Enercon E 82<br>Enercon E 101 | 13,60               |

## Bau neuer Windparks

| Windpark               | Anzahl | Typ           | Summe Leistung [MW] |
|------------------------|--------|---------------|---------------------|
| Andau<br>Start 2012    | 38     | Enercon E 101 | 114,00              |
| Halbturn<br>Start 2011 | 15     | Enercon E 101 | 45,00               |
| Mönchhof<br>Start 2011 | 2      | Enercon E 101 | 6,00                |

**Tabelle 6.4:** Bestehende und Geplante Windparks – Austrian Wind Power [14]

Im Andau entsteht momentan der größte Windpark Österreichs mit einer Gesamtleistung von 237 MW. Diese 79 Anlagen mit 3 MW Leistung sind Windräder der neuen Generation, jede Anlage produziert Strom für ca. 2.000 Haushalte. Der Windpark wird von drei Betreibern betrieben: Austrian Wind Power (Tochterunternehmen der BEWAG), ImWind und Püspök Group. Der Austrian Wind Power gehören 38 Anlagen, ImWind 10 Anlagen und der Püspök Group 31. Der erste Spatenstich erfolgte am 4. Mai 2012, die Investitionskosten betragen ca. 450 Millionen Euro.

Die eingesetzten Anlagen sind alle Getriebelos und von Typ Enercon E-101 mit einer Nennleistung von 3 MW, sowie einem Rotordurchmesser von 101 Metern. Die Anlagen sind mit einer Rotorblattheizung ausgestattet, um den Eiswurf zu vermeiden bzw. zur Ertragssteigerung in den Wintermonaten. Die Nennleistung wird bei 12 m/s erreicht, wobei die Anlaufwindgeschwindigkeit bei 2,5 m/s liegt. Um die Überlasten bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten zu vermeiden, liegt die Abschaltgeschwindigkeit zwischen 28 und 32 m/s, was etwa 100 bis 122 km/h entspricht.

Die Anlagen neuer Generation werden meistens auf Hybridtürmen (Abbildung 6.4) aufgestellt. Diese Türme bestehen aus zwei Teilen. Im unteren Bereich befindet sich ein ca. 60 Meter hoher Betonturm, der direkt am Standort errichtet und dann vorgespannt wird. Der Betonturm trägt drei Turmsegmente aus Stahlblech mit einer Gesamthöhe von ebenfalls rund 60 Metern. Der Vorteil ist, dass durch die Herstellung des Betonrohres vor Ort die Landtransportkosten und die Transportproblematik entfallen. Da der Betonteil im unteren Bereich des Hybridturmes im Durchmesser beliebig angepasst werden kann, ist eine ausreichende Eigenfrequenz der Gesamtanlage sichergestellt. [15]

Im Andau werden fast alle Windkraftanlagen auf Hybridtürmen mit 135 Meter Nabenhöhe errichtet, was einer Gesamthöhe von 186 Meter entspricht. Bei einer Anlage soll ein 99 Meter hoher Hybridturm zum Einsatz kommen, was einer Gesamthöhe von 150 Meter entspricht.



**Abbildung 6.4:** Nordex Hybridturm [15]

## EVN-Naturkraft

Die EVN-Naturkraft ist einer der größten und erfahrensten Ökoenergieproduzenten Österreichs. Sie ist eine 100%-ige Ökostromtochter des niederösterreichischen Landesenergieversorgers EVN und beschäftigt sich seit Jahren ausschließlich mit der Produktion von Strom aus erneuerbaren Energieträgern Wasser, Wind und Sonne.

Die Firma wurde am 19.02.1999 gegründet und verfügt heute über 67 Lauf- und 5 Speicherkraftwerke, 12 Windparks mit einer Gesamtleistung von 191 MW, sowie 5 Photovoltaikanlagen. Sie ist neben Österreich auch in Bulgarien und Deutschland tätig. [16]

| Standort         | Anlagen | Typ                              |
|------------------|---------|----------------------------------|
| Gänsersdorf I    | 5       | Bonus B62/1300                   |
| Gänsersdorf Nord | 5       | Enercon E70/E4                   |
| Glinzendorf      | 9       | Repower MM92                     |
| Japons II        | 7       | Dewind D8                        |
| Kleinhain        | 5       | Enercon E66/1800                 |
| Kettlasbrunn     | 20      | Enercon E70/2000                 |
| Markgrafneusiedl | 9       | Vestas V90                       |
| Neusiedl/Zaya    | 5       | Enercon E66/1800                 |
| Pöttelsdorf II   | 4       | Bonus B82/2300                   |
| Prellenkirchen   | 16      | Bonus B52/1000, Enercon E66/1800 |
| Tattendorf       | 8       | Vestas V90/2000                  |
| Zagging          | 8       | Enercon E66/1800                 |

**Tabelle 6.5:** Bestehende Windparks EVN-Naturkraft [16]

## W.E.B. Windenergie

Die WEB Windenergie AG ist eine der ältesten Kraftwerksbetreiber Österreichs, die auf Basis erneuerbarer Energien mit Schwerpunkt auf Windkraft arbeitet. Das Unternehmen wurde 1994 gegründet und nutzt seit Jahren die natürliche Kraft des Windes.

Sie verfügt über 176 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 265 MW und produziert daraus 543 Millionen kWh Ökostrom pro Jahr. 105 Anlagen befinden sich in Österreich, weitere 55 in Deutschland und die restlichen Kapazitäten in Tschechien, Frankreich und Italien [17].

| Standort                   | Anlagen    | Typ                         |
|----------------------------|------------|-----------------------------|
| Auersthal                  | 10         | Vestas V90                  |
| Aspersdorf                 | 1          | Vestas V90                  |
| Breitenlee                 | 3          | Vestas V52                  |
| Dürnkrot-Götzendorf        | 5          | Vestas V90                  |
| Gols                       | 3          | Vestas V80, V90             |
| Grafenschlag               | 2          | Vestas V44                  |
| Hagenbrunn                 | 4          | Vestas V44, V47             |
| Hohenrappersdorf-Spannberg | 3          | Vestas V80                  |
| Höflein                    | 6          | Vestas V90                  |
| Langmannersdorf            | 2          | Vestas V80                  |
| Matzen                     | 1          | NEG-Micon NM 750            |
| Maustrenk                  | 7          | Vestas V90                  |
| Mistelbach                 | 1          | Vestas V29                  |
| Neuhof                     | 11         | Vestas V80, V90             |
| Oberstahlbach              | 3          | Vestas V44                  |
| Parbasdorf                 | 3          | Vestas V44                  |
| Parndorf                   | 1          | Vestas V52                  |
| Pottenbrunn                | 8          | Enercon E-40/5.40/6.44, V80 |
| Sering                     | 3          | Vestas V47, NM 1800, NM 750 |
| Sigleß                     | 3          | Vestas V90                  |
| Sternwald                  | 7          | Vestas V80, V90             |
| Stattersdorf               | 4          | Enercon E40                 |
| Tauernwind                 | 13         | Vestas V66                  |
| Vösendorf                  | 1          | Vestas V44                  |
| <b>Gesamt</b>              | <b>105</b> |                             |

**Tabelle 6.6:** Bestehende Anlagen und Windparks WEB Windenergie [17]

Wie aus der Tabelle 6.6 ersichtlich wird, gehört die Mehrzahl der Anlagen dem Hersteller Vestas und es werden meistens Typ V80 und V90 verwendet. Diese Anlagen haben 2 MW Leistung und 80 oder 90 Meter Rotordurchmesser. Der größte Windpark von WEB Windenergie ist Tauernwind mit 13 Anlagen Type Vestas V66. Am produktivsten ist aber Windpark Auersthal mit 10 Anlagen je 2 MW Leistung mit jährlichem Ertrag von 48,15 GWh.



## Ökoenergie GmbH

Im Jahr 1996 setzte Ökoenergie Gruppe die erste Windkraftanlage in Betrieb. Mittlerweile gehört die Ökoenergie Gruppe zu einem gefragten Spezialisten in Sachen erneuerbare Energien und umweltfreundlicher Technologien. Das Unternehmen betreibt heute 1 Kleinwasserkraftwerk, 57 Windkraftanlagen in Niederösterreich und ist an der Biomasse Wolkersdorf GmbH, Biomasse Obersdorf GmbH und an der Bioenergie Wolkersdorf GmbH beteiligt.

Die 57 Windräder ernten 222 GWh Strom pro Jahr, was ca. 56000 Haushalte versorgen kann [18].

| <b>Standort</b> | <b>Anlagen</b> | <b>Typ</b>               |
|-----------------|----------------|--------------------------|
| Breitensee      | 1              | Enercon E-40             |
| Eibesbrunn      | 4              | Enercon E-70             |
| Eschenau        | 2              | Enercon E-40             |
| Großengersdorf  | 5              | Enercon E-82             |
| Höbersbrunn     | 2              | Enercon E-70             |
| Höflein         | 6              | Enercon E-40, E-66, E-70 |
| Obersdorf       | 5              | Enercon E-66             |
| Obersiebenbrunn | 13             | Enercon E-70             |
| Schrick         | 5              | Enercon E-40, E-66, E-70 |
| Stockerau       | 4              | Enercon E-44             |
| Weinviertel     | 8              | Enercon E-70             |
| Wolkersdorf     | 2              | Enercon E-40             |
| <b>Gesamt</b>   | <b>57</b>      |                          |

**Tabelle 6.7:** Bestehende Anlagen und Windparks Ökoenergie GmbH [18]

## Windkraft Simonsfeld

Die Windkraft Simonsfeld GmbH gehört zu den größten Windstromproduzenten Österreichs. Das Unternehmen wurde 1996 gegründet und betreibt 60 Windkraftanlagen in Österreich und zwei Anlagen in Bulgarien.[19]

Wie aus Tabelle 6.8 zu sehen ist, sind Windpark Steinberg-Prinzendorf und Poysdorf-Wilfersdorf die Windparks mit größtem jährlichen Ertrag. Der Windpark Prinzendorf I mit neun Vestas V80 und Prinzendorf II mit sechs Vestas V90 produzieren 76,8 GWh reinen Ökostrom jährlich. Die Gesamtkosten für die Errichtung betragen 19,6 Mio. Euro. Der Windpark Poysdorf-Wilfersdorf umfasst 14 Anlagen vom Typ Vestas V90-2 MW mit einer installierten Leistung von 28 MW. Der Jahresertrag beträgt rund 74,2 Millionen kWh. Im Vergleich zu konventionelle Stromgewinnung werden jährlich 50000 Tonnen CO2 eingespart.

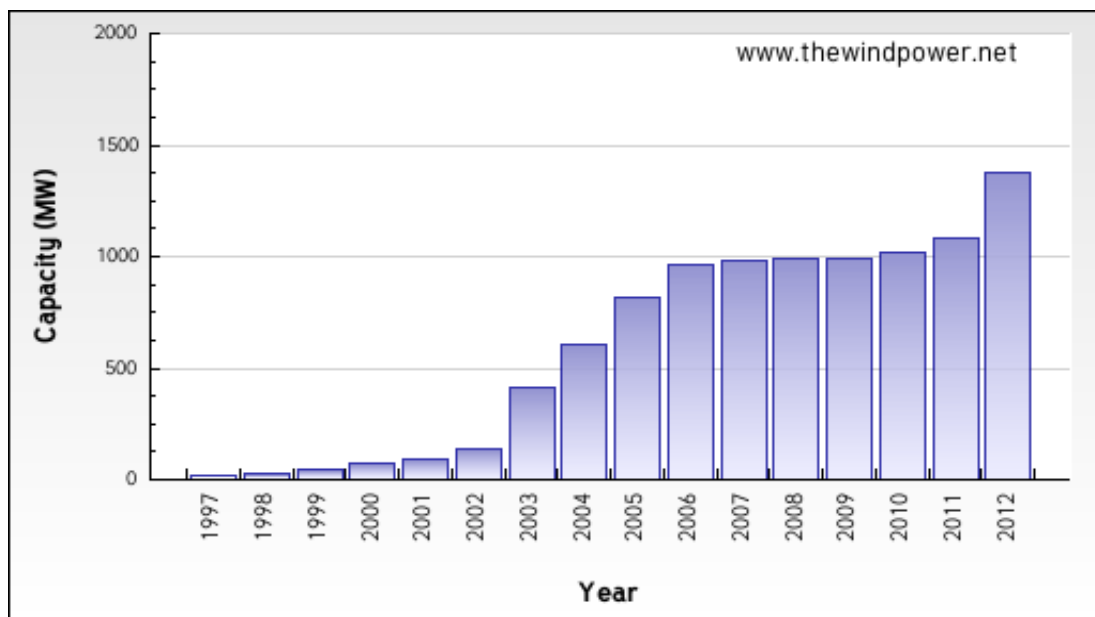
| Windpark              | Anzahl    | Baujahr     | Leistung         | Jahresproduktion      |
|-----------------------|-----------|-------------|------------------|-----------------------|
| Simonsfeld            | 2         | 1998        | 1,2 MW           | 2,1 Mio. kWh          |
| Hipples               | 7         | 2000        | 4,62 MW          | 9,2 Mio. kWh          |
| Steinberg-Prinzendorf | 15        | 2003, 2008  | 30 MW            | 74,4 Mio. kWh         |
| Rannersdorf-Ebersdorf | 4         | 2005        | 8 MW             | 20,0 Mio. kWh         |
| Poysdorf-Wilfersdorf  | 14        | 2005, 2007  | 28 MW            | 74,2 Mio. kWh         |
| Kreuzstetten          | 13        | 2005 - 2008 | 26 MW            | 69,3 Mio. kWh         |
| Dürnkrot              | 5         | 2012        | 10,25 MW         | 26,5 Mio. kWh         |
| <b>Gesamt</b>         | <b>60</b> | <b>-</b>    | <b>108,07 MW</b> | <b>275,7 Mio. kWh</b> |

**Tabelle 6.8:** Bestehende Windparks Windkraft Simonsfeld [19]

## 6.6 Statistische Daten

In diesem Kapitel werden statistische Daten bezüglich Windparks, Standorten und Typen von Windkraftanlagen zusammengefasst. Die Abbildung 6.5 zeigt deutlich den Bauausbruch vom Jahr 2003 bis zum Jahr 2006 sowie den Baustielstand im Jahr 2009. Im Jahr 2012 wurden 27,2 Prozent mehr Anlagen gebaut, was dem neuen Ökostromgesetz zu verdanken ist, siehe Kapitel 7.4.

- Ende 1997: 20 MW
- Ende 1998: 30 MW (+50 %)
- Ende 1999: 42 MW (+40 %)
- Ende 2000: 77 MW (+83.4 %)
- Ende 2001: 94 MW (+22.1 %)
- Ende 2002: 139 MW (+47.9 %)
- Ende 2003: 415 MW (+198.6 %)
- Ende 2004: 606 MW (+46.1 %)
- Ende 2005: 819 MW (+35.2 %)
- Ende 2006: 965 MW (+17.9 %)
- Ende 2007: 982 MW (+1.8 %)
- Ende 2008: 995 MW (+1.4 %)
- Ende 2009: 995 MW (- %)
- Ende 2010: 1,014 MW (+2 %)
- Ende 2011: 1,084 MW (+7 %)
- Ende 2012: 1,378 MW (+27.2 %)



**Abbildung 6.5:** Produktionskapazität von 1997 bis 2012 (Quelle: IG Windkraft)

Liste von 7 Zonen, wo sich die meisten Anlagen befinden:

- Unklassifizierte Anlagen (193,042 kW, 83 Anlagen)
- Burgenland (553,300 kW, 266 Anlagen)
- Kärnten (500 kW, 1 Anlagen)
- Niederösterreich (568,865 kW, 349 Anlagen)
- Oberösterreich (24,420 kW, 22 Anlagen)
- Steiermark (67,300 kW, 42 Anlagen)
- Wien (6,850 kW, 8 Anlagen)

# Windkraftanlagen: Typen vs. Anzahl

## Burgenland

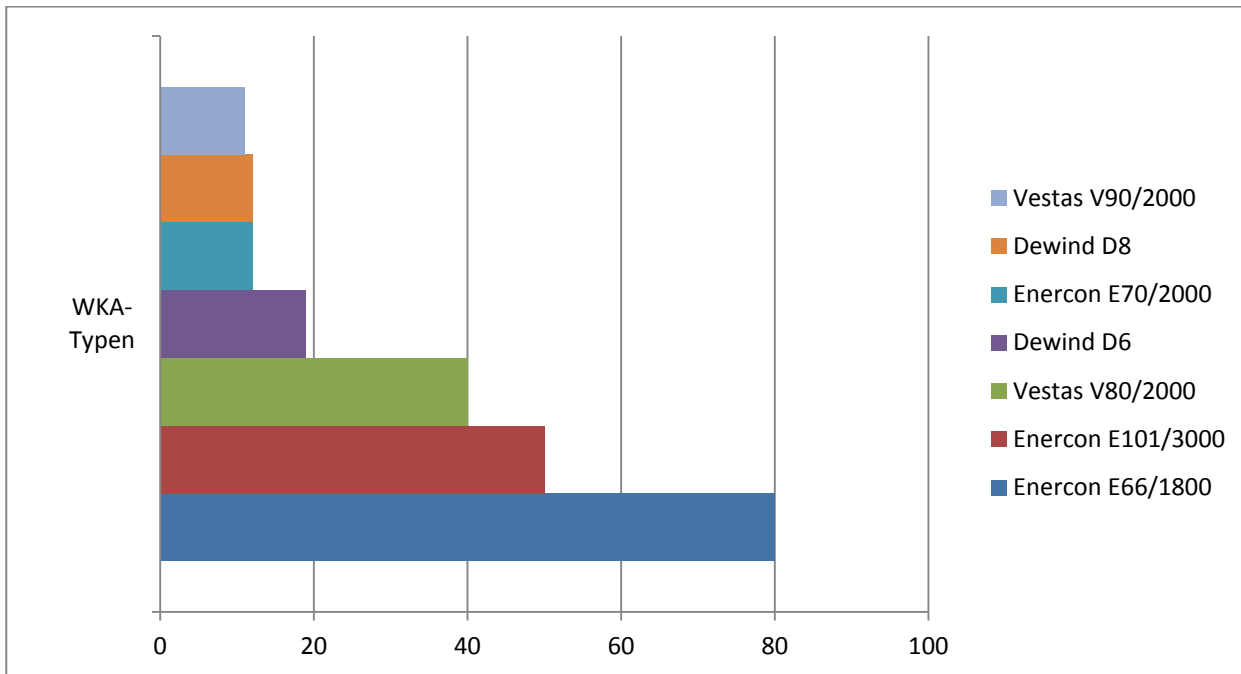


Abbildung 6.6: Häufigste Windkraftanlagen in Burgenland

## Niederösterreich

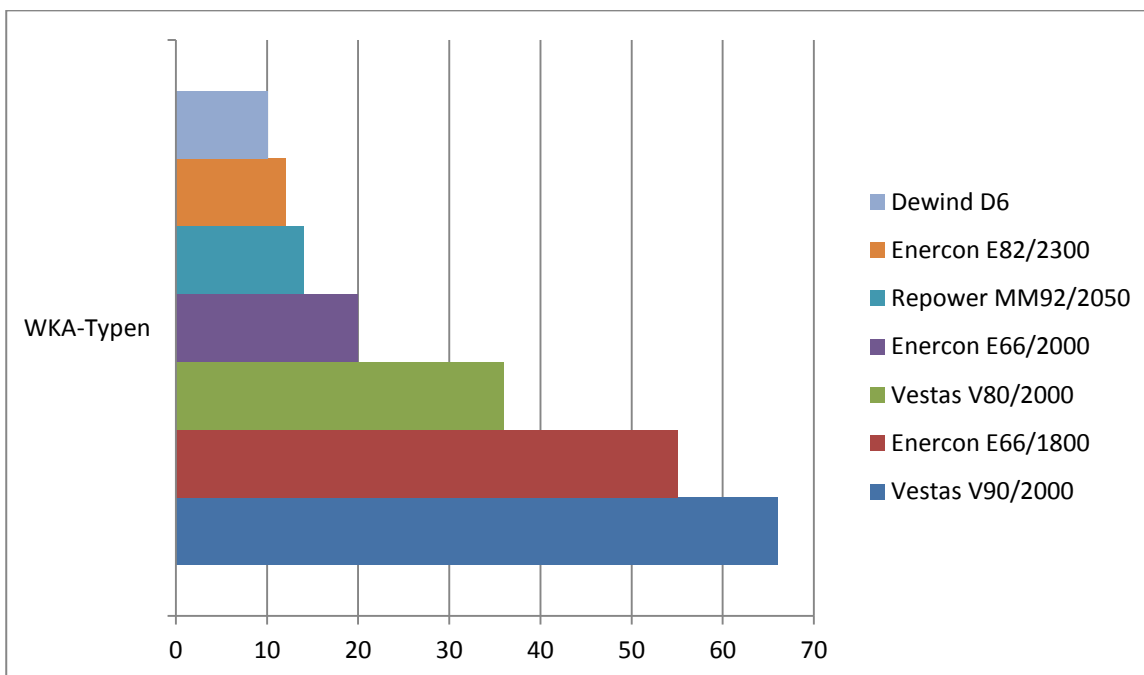
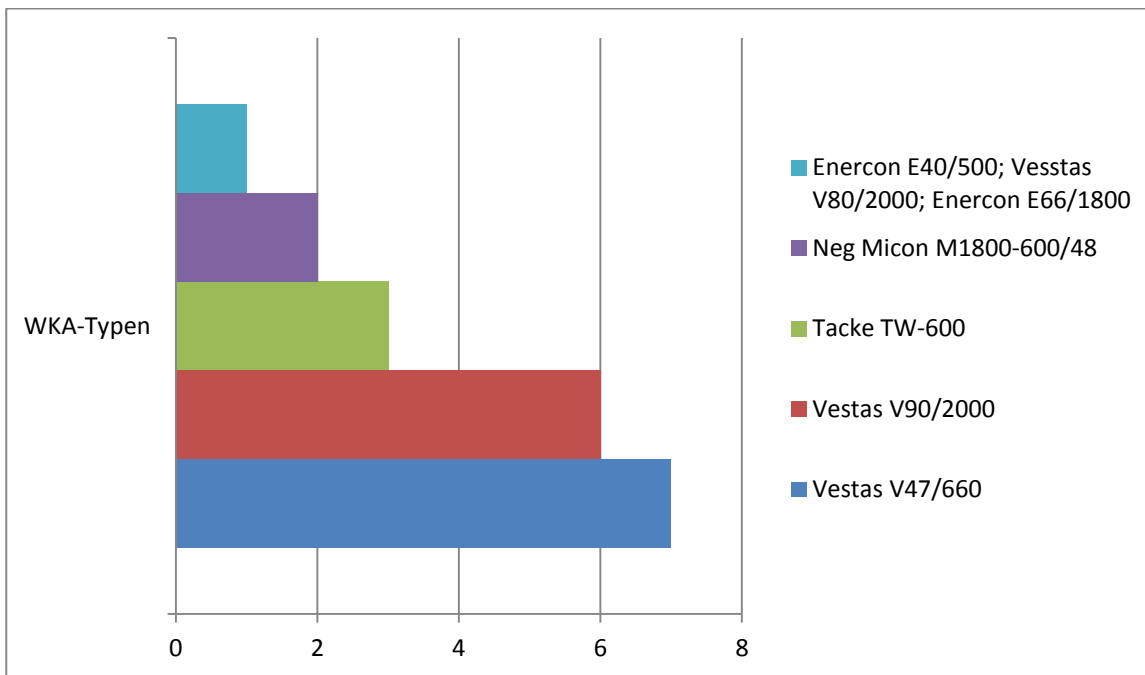


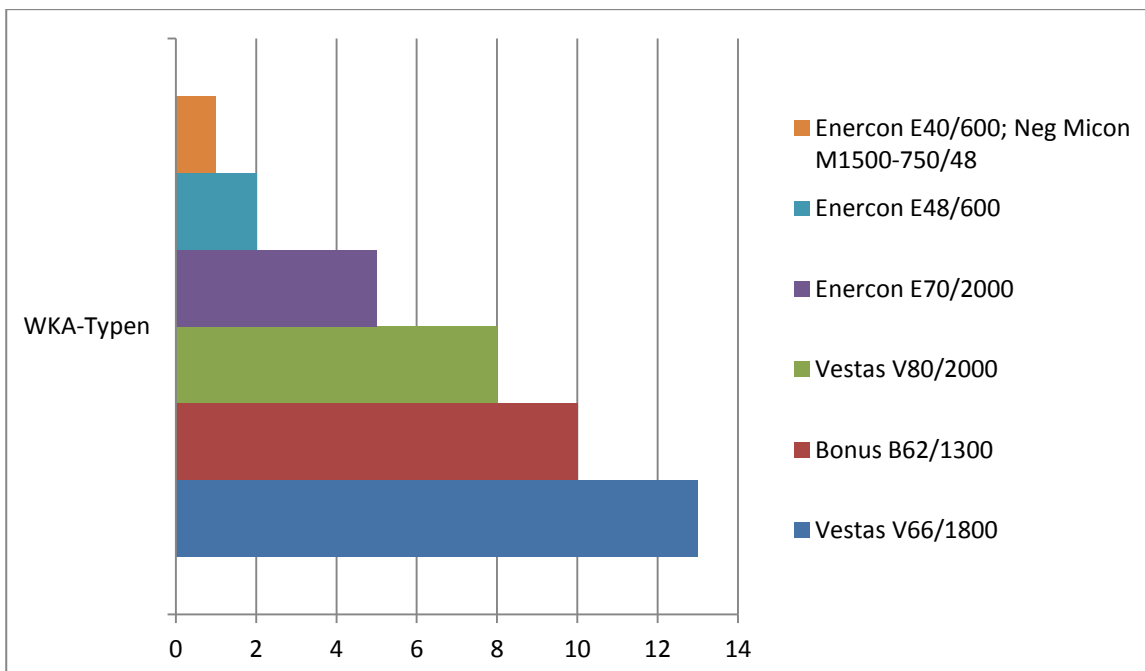
Abbildung 6.7: Häufigste Windkraftanlagen in Niederösterreich

## Oberösterreich



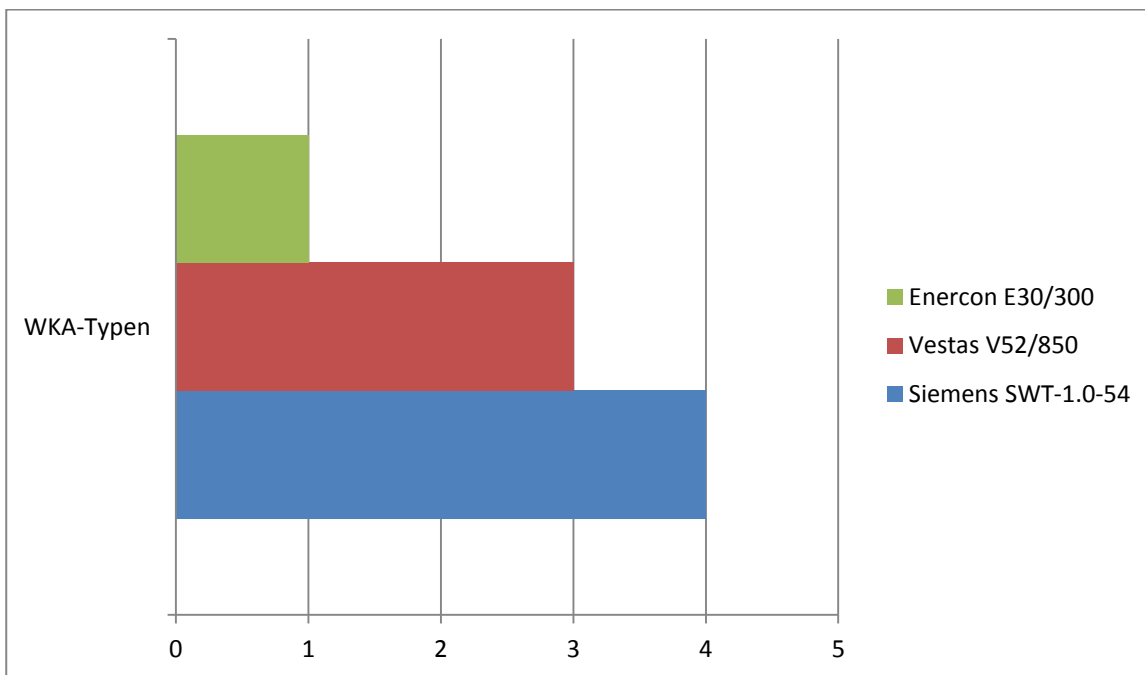
**Abbildung 6.8:** Häufigste Windkraftanlagen in Oberösterreich

## Steiermark



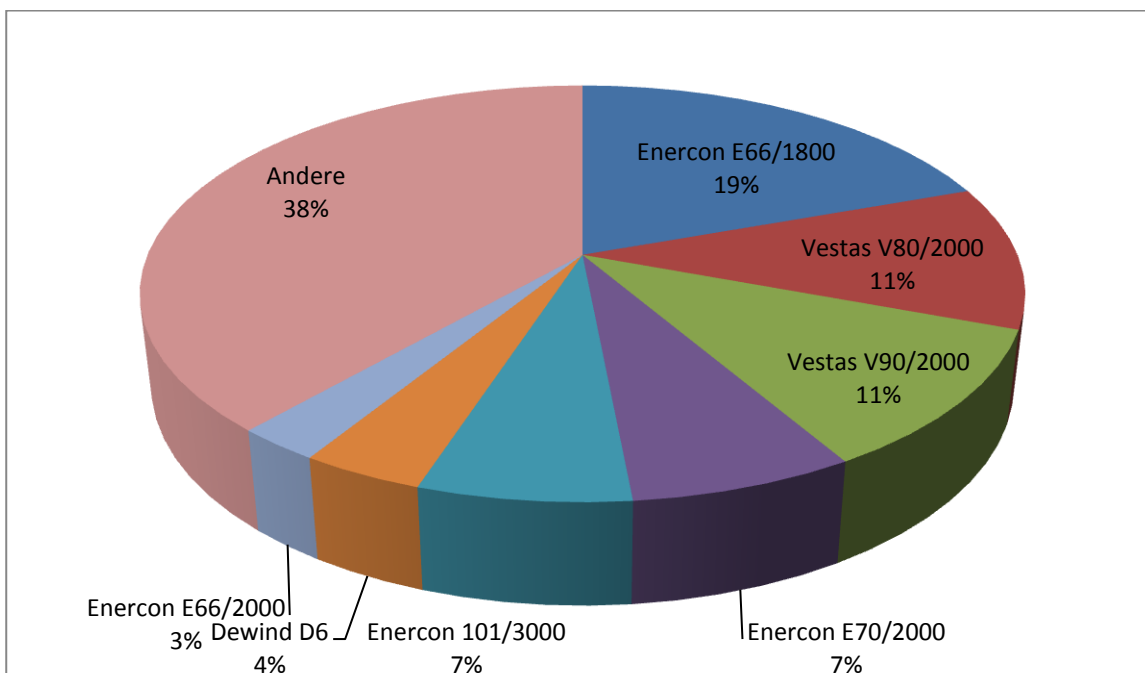
**Abbildung 6.9:** Häufigste Windkraftanlagen in Steiermark

## Wien



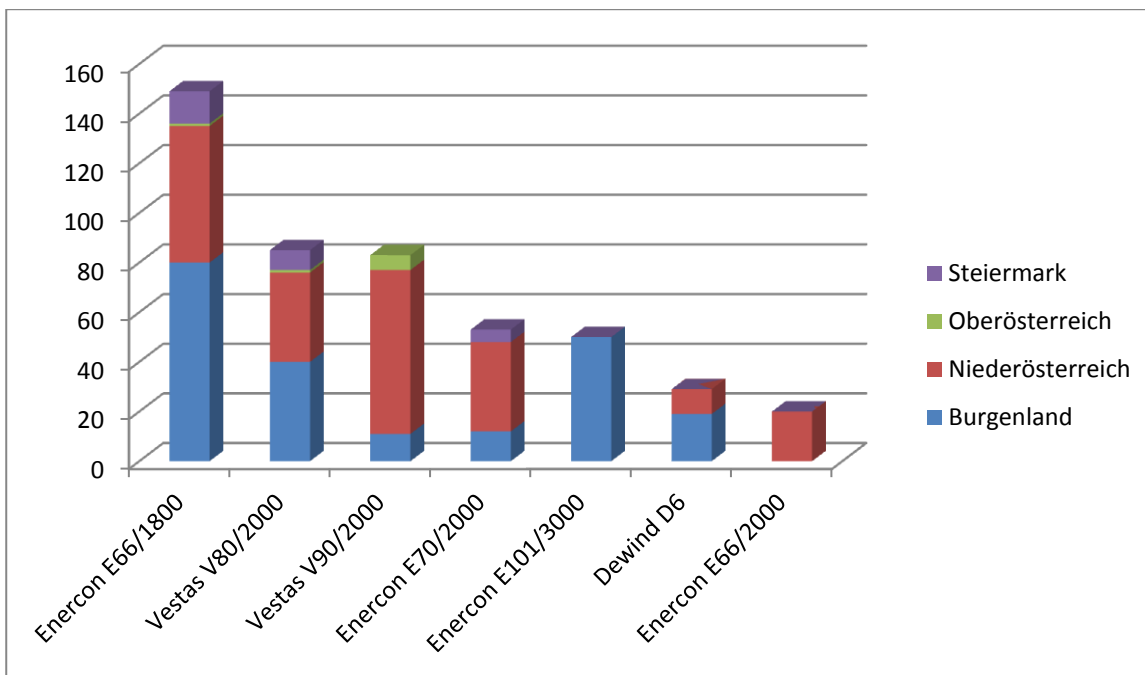
**Abbildung 6.10:** Häufigste Windkraftanlagen in Wien

Kärnten hat nur eine Windkraftanlage des Typs Enercon E40/500.



**Abbildung 6.11:** Prozentualer Anteil der Windkraftanlagentypen in Österreich

## Anlagen vs. Bundesländer



**Abbildung 6.12:** Vergleich der Anlagentypen vs. Bundesländer

|                   | Burgenland | Niederösterreich | Oberösterreich | Steiermark |
|-------------------|------------|------------------|----------------|------------|
| Enercon E66/1800  | 80         | 55               | 1              | 13         |
| Vestas V80/2000   | 40         | 36               | 1              | 8          |
| Vestas V90/2000   | 11         | 66               | 6              | 0          |
| Enercon E70/2000  | 12         | 36               | 0              | 5          |
| Enercon E101/3000 | 50         | 0                | 0              | 0          |
| Dewind D6         | 19         | 10               | 0              | 0          |
| Enercon E66/2000  | 0          | 20               | 0              | 0          |

**Tabelle 6.9:** Anlagen vs. Bundesländer

## 7. Bedeutung der erneuerbaren Energie im österreichischen Energiemix

Eines der Ziele dieser Diplomarbeit ist, die Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen und erneuerbaren Energieangebots in Österreich darzustellen. Energie ist eine zentrale Notwendigkeit menschlicher Existenz. Die Menschheit hat in den vergangenen Jahren unterschiedliche Energiequellen zu nutzen gelernt. Viele von ihnen haben sich mit der Zeit verändert oder gänzlich aufgelöst.

Energiequellen, die gegenwärtig im Einsatz sind:

- Fossile Energie (Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl)
- Regenerative Energie (Sonnenenergie, Biomasse, Windenergie, Wasserkraft)
- Kernenergie
- Erdwärme

Die Diskussionen über die Begrenztheit der Ressourcen, vor allem Erdöl und Erdgas, sind schon seit vielen Jahren ein zentrales Thema der Weltenergiepolitik. Die anderen fossilen sowie die nuklearen Energieträger weisen ebenfalls eine eingeschränkte Verfügbarkeit auf. Wenn wir in Zukunft einen gleichbleibenden Verbrauch dieser Energieträger fortsetzten, werden die Weltressourcen bald ausgeschöpft. Für das weltweite Energiesystem ist nicht mehr die theoretische Reichweite des Energieträgers entscheidend, sondern der Zeitpunkt, ab dem die Förderung die Nachfrage nicht mehr decken kann. [4]

Tabelle 7.1 zeigt, dass fossile und nukleare Energieträger (Erdöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, Uran) aufgrund ihrer Reichweite keine Alternative darstellen. Die Werte in Tabelle 7.1 gelten für das Jahr 2007. Ist ihr gegenwärtiger Verbrauch höher - oder würde man den Verbrauch dieser Energieträger zukünftig noch steigern (was höchstwahrscheinlich ist), so würde ihre Reichweite entsprechend sinken.

|                       | Reserven | Ressourcen | Verbrauch | Reichweite |
|-----------------------|----------|------------|-----------|------------|
| Erdöl                 | 6835     | 3430       | 165       | 41 Jahre   |
| Erdgas                | 6948     | 7859       | 115       | 60 Jahre   |
| Stein- und Braunkohle | 20852    | 416515     | 146       | 143 Jahre  |
| Uran und Thorium      | 1633     | 3240       | 26        | 63 Jahre   |

**Tabelle 7.1** Reserven, Ressourcen und jährlicher Verbrauch fossiler und nuklearer Energieträger in EJ, sowie die daraus abgeleiteten Reichweiten, Stand 2007 [4]



Die weltweiten Erdölreserven betragen  $1,2 \cdot 10^9$  Barrel. Um sich diese Zahl vorstellen zu können, ist eine Umrechnung pro Kopf der Weltbevölkerung erforderlich. Bei gut 7 Milliarden Menschen ergeben sich 172 Barrel pro Kopf, was ca. 23350 Litern entspricht.

Der Energieverbrauch hat sich in Österreich in den vergangenen 40 Jahren fast verdoppelt. Den starken Anstieg merkt man bei Gas, erneuerbaren Energieträgern und Strom, während der Kohleinsatz leicht zurückging (Tabelle 7.2). Da wir Naturgas aus Russland und Norwegen und Erdöl aus Russland und Kasachstan importieren, hängt Österreich in hohem Maße von ausländischen Energielieferungen ab. Nachdem im Jahr 2005 der Braunkohlebergbau in der Steiermark geschlossen wurde, beträgt die Auslandsabhängigkeit bei Kohle schlicht 100%. [21]

| Import-/Exportstruktur in Tj |                      |         |         |         |           |           |           |         |
|------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Energieträgergruppen         | 1970                 | 1980    | 1990    | 2000    | 2005      | 2010      | 2011      |         |
| Importe                      | 485.154              | 735.861 | 775.749 | 925.951 | 1.241.027 | 1.260.636 | 1.288.307 |         |
| Exporte                      | 30.568               | 33.492  | 51.174  | 125.265 | 206.540   | 344.992   | 296.148   |         |
| davon:                       | Kohle                | 147.929 | 116.932 | 132.896 | 128.723   | 167.495   | 141.126   | 128.157 |
|                              |                      | 278     | 346     | 69      | 41        | 251       | 182       | 92      |
|                              | Erdöl                | 296.057 | 493.942 | 425.878 | 519.732   | 647.439   | 581.850   | 566.216 |
|                              |                      | 5.679   | 6.811   | 22.722  | 63.208    | 90.650    | 90.349    | 92.709  |
|                              | Gas                  | 35.731  | 112.380 | 187.917 | 222.784   | 339.585   | 431.046   | 464.503 |
|                              |                      | 0       | 0       | 0       | 633       | 37.098    | 172.459   | 125.966 |
|                              | Erneuerbare          | 501     | 1.217   | 4.438   | 4.945     | 13.078    | 34.982    | 39.531  |
|                              |                      | 189     | 652     | 2.113   | 6.691     | 14.707    | 18.761    | 16.983  |
|                              | Brennbare Abfälle *) | 0/0     | 0/0     | 0/0     | 0/0       | 0/0       | 0/0       | 0/0     |
|                              | Fernwärme *)         | 0/0     | 0/0     | 0/0     | 0/0       | 0/0       | 0/0       | 0/0     |
|                              | Strom                | 4.936   | 11.390  | 24.620  | 49.767    | 73.431    | 71.631    | 89.900  |
|                              |                      | 24.422  | 25.683  | 26.270  | 54.691    | 63.835    | 63.240    | 60.398  |

Q: STATISTIK AUSTRIA, Energiebilanzen. Tj-Terajoule. \*) Importe/Exporte.

**Tabelle 7.2:** Import/Export Vergleich von 1970 bis 2011 [21]

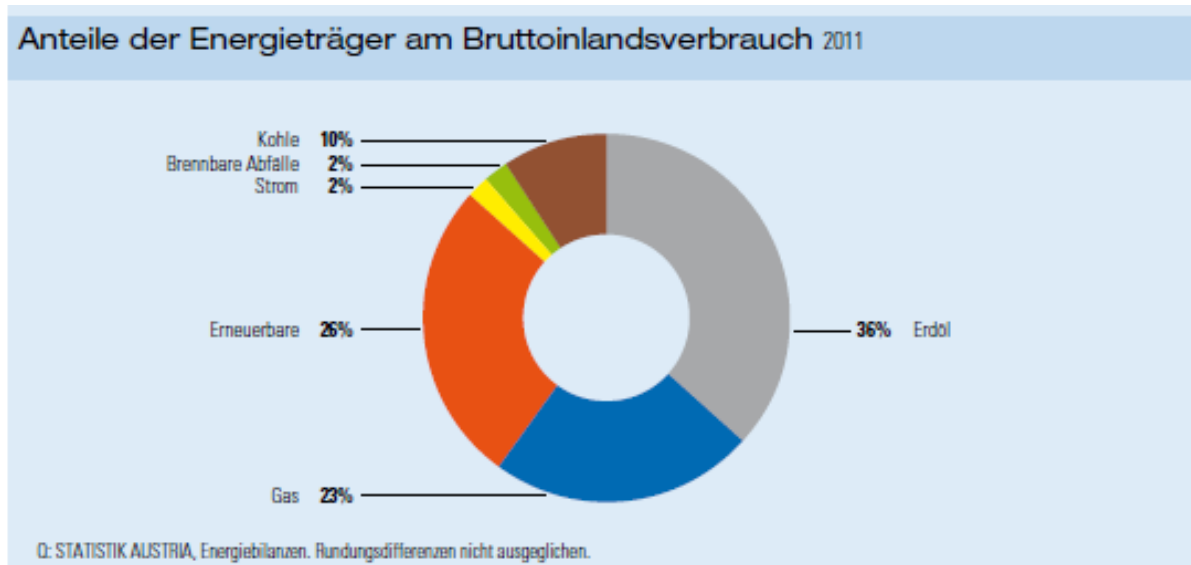
Der Großteil des heimischen Energieeinsatzes wird immer noch durch fossile Energieträger wie Öl und Gas gedeckt. Der Energiekonsum sank 2011 im Vergleich zu 2010 in allen Sektoren (Dienstleistungen -1,6%, Transport -2,3%, Sachgüterproduktion -2,2 %, Landwirtschaft -5,5 %, Haushalte -9,3%). Trotzdem betrug 2011 der Pro-Kopf-Verbrauch in Österreich 4,05 Tonnen Rohöläquivalenz (RÖE) und lag damit über dem EU Durchschnitt von 3,4 Tonnen.

Rohöläquivalenz oder auch Öleinheit (ÖE) ist eine Maßeinheit für die in Form von Heizstoffen vorhandene Energie bzw. den Energieverbrauch. Der Energieverbrauch wird meist in Millionen oder Milliarden Tonnen angegeben, manchmal auch in Barrel (1 kg ÖE=10.000 kcal=11,63 kWh; 1 Barrel=158,987 Liter).

Wie in Abbildung 7.1 dargestellt, betrug 2011 der Anteil des Bruttoinlandsverbrauchs an Erdöl 36%, an erneuerbarer Energieträger 26% und Gas 23%. Die erneuerbare Energie trägt nicht nur zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emission bei, sondern reduziert auch die Abhängigkeit von Energieimporten.

Für Österreich ist die Nutzung der Kernenergie (Nuklearenergie) weder eine nachhaltige Form der Energieversorgung noch eine tragfähige Option zur Bekämpfung des Klimawandels. Die Gaskrise

im Jahr 2009 hat deutlich gezeigt, dass der Umstieg auf erneuerbare Energieträger von volkswirtschaftlicher Bedeutung ist. [22]

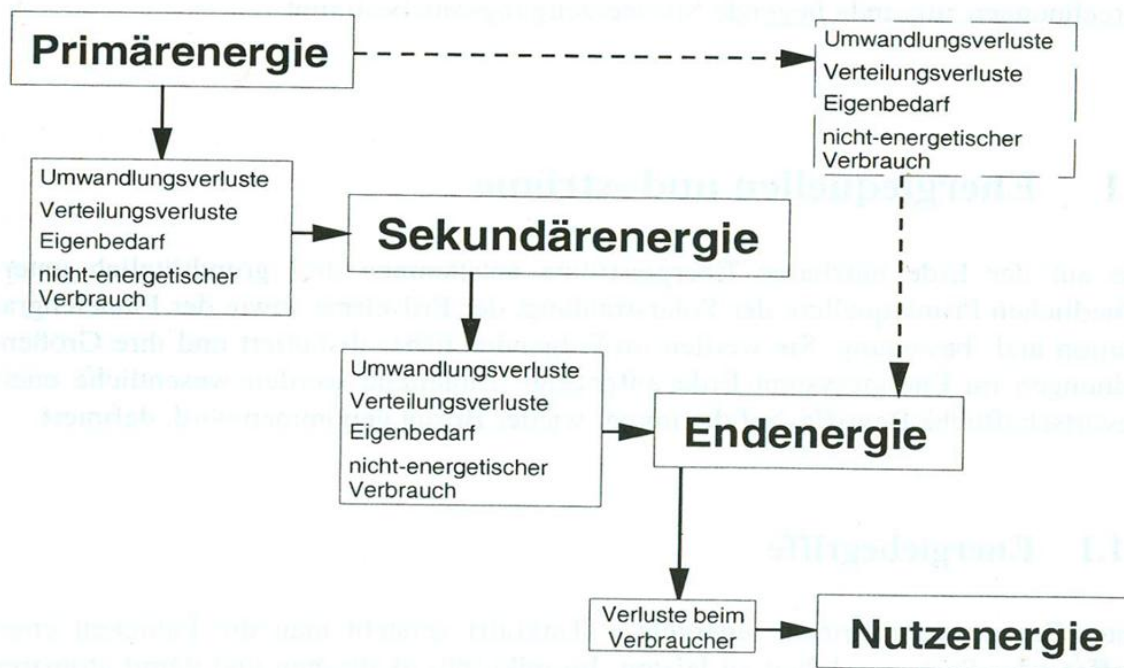


**Abbildung 7.1:** Bruttoinlandsverbrauch Stand 2011 [21]

## 7.1 Erneuerbare Energiequellen

Unter Energie (von griech.: *energeia*=Tatkraft) versteht man die Fähigkeit eines Stoffes oder Systems Arbeit zu leisten [20]. Unter einem Energieträger wird ein Stoff verstanden, aus dem Nutzenergie gewonnen werden kann. Dies kann entweder direkt oder durch mehrere Energieumwandlungen geschehen. Diesbezüglich unterteilt man die Energieträger (Abbildung 7.2) in Primär - bzw. Sekundärenergieträger sowie Endenergieträger.

- Unter Primärenergieträgern werden Stoffe, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden, verstanden. Dazu gehören Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse, Windkraft, Solarstrahlung, Erdwärme.
- Sekundärenergieträger sind Energieträger die direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen in technischen Anlagen aus Primär – oder aus anderen Sekundärenergieträgern hergestellt werden. Dazu gehören Benzin, Heizöl, Koks und Rapsöl.
- Unter Endenergieträgern werden Energieträger verstanden, die der Endverbraucher bezieht z.B. Heizöl im Öltank des Endverbrauchers, Holzhackschnitzel im Lagerraum, elektrische Energie, Fernwärme. Sie werden aus Primär – und Sekundärenergieträger gewonnen und um die Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenverbrauch und den nicht energetischen Verbrauch vermindert.
- Unter Nutzenergie wird die Energie verstanden, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers zur Verfügung stehen. Sie wird aus Endenergie gewonnen, vermindert um die Verluste dieser letzten Umwandlung.



**Abbildung 7.2:** Energieumwandlungskette (nach Spitzer 1997) [20]

Eine weitere Unterteilung der verfügbaren Energien bzw. Energieträger ist die folgende:

1. Fossil biogene
  2. Fossil mineralische
  3. Erneuerbare Energien bzw. Energieträger
- Unter fossil biogenen Energieträgern werden die Energieträger Kohle (Braun- und Steinkohlen) und flüssige sowie gasförmige Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas) verstanden.
  - Fossil mineralische Energieträger sind Stoffe, aus welchen durch eine Kernspaltung oder -fusion Energie gewonnen werden kann z.B. Uran, Thorium, Wasserstoff.
  - Die regenerativen oder erneuerbaren Energien sind die Primärenergien, die als unerschöpflich angesehen werden. Die eingestrahelte Energie von der Sonne (Solarstrahlung) ist für viele erneuerbare Energien verantwortlich (z.B. für Windenergie, Wasserkraft, Biomasse). Zur erneuerbaren Energie gehören auch die Gezeitenergie, die aus Planetengravitation und -bewegung gespeist wird, sowie die geothermische Energie (Erdwärme). Die im Abfall bzw. Müll enthaltene Energie (Bioenergie) ist nur dann erneuerbar zu bezeichnen, wenn sie nicht fossil biogenen oder fossil mineralischen Ursprungs ist (Siehe Kapitel 7.3).

## 7.2 Energiestrategie Österreich

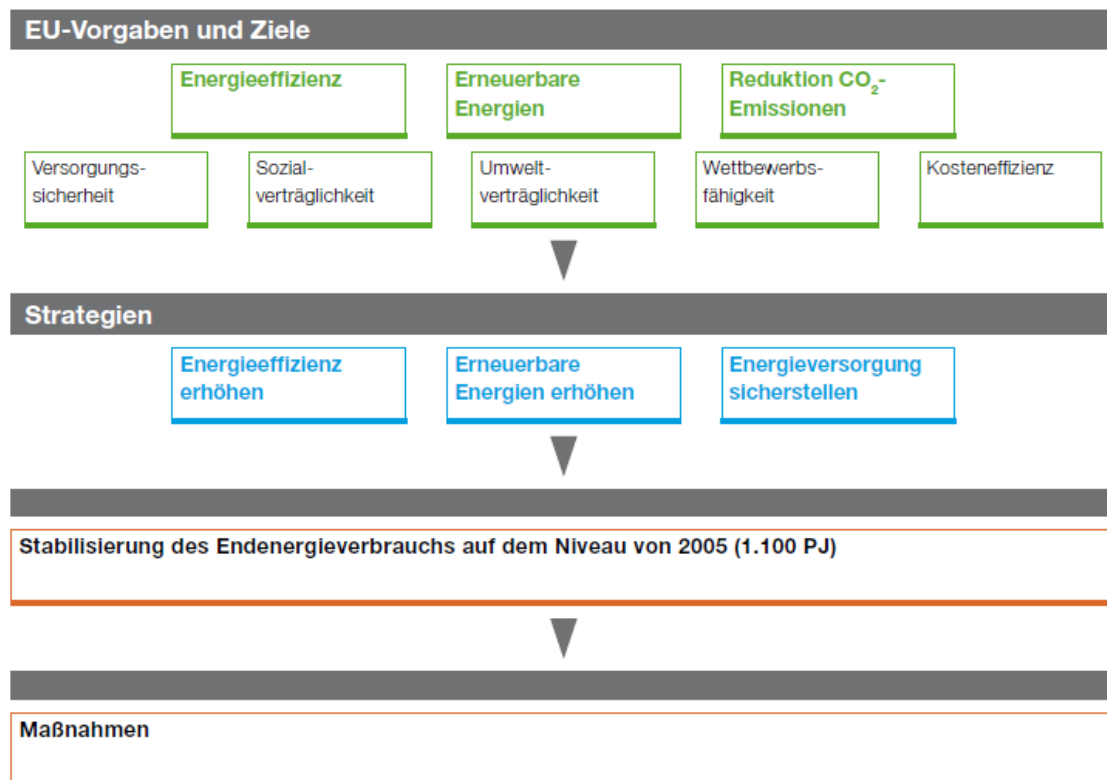
Österreichs Energiepolitik steht vor großen Herausforderungen. Die bisherigen Energieszenarien sagen eine Zunahme des Energieverbrauchs, einen Anstieg der Treibhausgase und eine Importabhängigkeit der fossilen Energieträger voraus. Um den globalen Klimawandel zu bekämpfen und Versorgungssicherheit zu gewährleisten, müssen Wirtschaftswachstum und Energiekonsum weitgehend entkoppelt, sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich reduziert werden.

Im Auftrag der Bundesregierung wurde eine Energiestrategie Österreich zusammengefasst. Eine Gruppe von 150 führenden ExpertInnen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft haben in konstruktiver Zusammenarbeit die gesetzten Ziele für 2020 erarbeitet.

Österreich ist gemäß dem im Dezember 2008 verabschiedeten Energie- und Klimapaket der Europäischen Union (Abbildung 7.3) dazu verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 auf 34 Prozent zu erhöhen und gleichzeitig seine Treibhausgasemissionen in Sektoren, die nicht dem Emissionshandel (Nicht-ETS) unterliegen, bis 2020 um mindestens 16 Prozent (bezogen auf die Emissionen des Jahres 2005) zu reduzieren. Weiters soll die Energieeffizienz bis 2020 um 20 Prozent im Vergleich zum Referenz-Szenario erhöht werden. [22]

Um diese Ziele zu erreichen wurden drei Strategien vorgeschlagen:

- Um die konsequente Steigerung der Energieeffizienz in allen wesentlichen Sektoren zu erreichen, müssen folgende Maßnahmen durchgeführt werden:
  - Gebäude: Raumwärme- und Kühlbedarf muss reduziert werden
  - Energieverbrauch in Haushalten und Betrieben muss reduziert werden
  - Effiziente Mobilität (Alternative Antriebe – E-Mobilität) muss gefördert werden
- Für die nationale Energieversorgung und Stärkung der Energieversorgungssicherheit hat der Ausbau erneuerbarer Energien in Österreich eine enorme Bedeutung. Dadurch werden neue hochqualifizierte Arbeitsplätze geschaffen.
  - In der Stromerzeugung: die Potenziale im Bereich Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Photovoltaik müssen ausgenutzt werden.
  - Raumwärme soll auf Basis von regionalen Konzepten der Energieraumplanung und entsprechend der regionalen Stärken entweder aus Fernwärme (Abwärme, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Biomasse) oder durch Einzelheizungen (Solarthermie, Biomasse, Umgebungswärme) optimiert bereit gestellt werden.
  - Im Verkehrsbereich: Erfüllung der EU-Richtlinie 10 Prozent Erneuerbare Energie durch Biotreibstoffe und E-Mobilität.
- Die langfristige Sicherstellung der Energieversorgung. Ziel ist den Energieverbrauch gering zu halten und eigene Energieressourcen zu nutzen und auszubauen.
  - Übertragungs-, Verteilernetze und Speicher für Strom müssen geschaffen werden.
  - Leitungsgebundene Energieträger.



**Abbildung 7.3:** EU Vorgaben und Ziele für 2020 [22]

Um den Anteil der Erneuerbaren Energieträger auf 34 Prozent zu steigern, muss man neue Anlagen schaffen, siehe Tabelle 7.3. Die Summe der erneuerbarer Energie betrug im Jahr 2008 326 PJ. Für das Jahr 2020 sind 395,6 PJ vorausgedacht, was einem Zuwachs von 6,6 Prozent entspricht.

| Die Zahlen der Energiestrategie (in PJ)                        |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|
|  | 2005           | 2008           | 2020           |
| Erdölprodukte  | 496,0          | 444,2          | 362,3          |
| Kohle  | 24,8           | 24,3           | 27,3           |
| Erdgas   | 202,7          | 187,8          | 191,2          |
| Fernwärme  | 55,1           | 62,2           | 59,0           |
| Strom konventionell  | 57,7           | 44,1           | 42,9           |
| <b>Strom aus Erneuerbarer Energie</b>                          | <b>147,8</b>   | <b>163,0</b>   | <b>179,9</b>   |
| <b>Fernwärme aus Erneuerbarer Energie</b>                      | <b>14,9</b>    | <b>23,5</b>    | <b>38,2</b>    |
| <b>Wärme aus Erneuerbarer Energie</b>                          | <b>117,0</b>   | <b>121,6</b>   | <b>143,4</b>   |
| Biotreibstoffe   | 2,3            | 17,9           | 34,0           |
| <b>Summe Erneuerbare Energie</b>                               | <b>282,0</b>   | <b>326,0</b>   | <b>395,6</b>   |
| <b>Summe Endenergieverbrauch</b>                               | <b>1.118,4</b> | <b>1.088,5</b> | <b>1.078,3</b> |
| <b>Eigenverbrauch und Verluste Strom/Fernwärme</b>             | <b>37,7</b>    | <b>43,2</b>    | <b>36,6</b>    |
| <b>Bruttoendenergieverbrauch *</b>                             | <b>1.156,0</b> | <b>1.131,8</b> | <b>1.114,9</b> |
| <b>Anteil Erneuerbare Energie am Bruttoendenergieverbrauch</b> | <b>24,40 %</b> | <b>28,80 %</b> | <b>35,48 %</b> |

\* Endenergieverbrauch + Eigenverbrauch & Verluste bei Strom und Fernwärme. Berechnungsbasis für den Anteil Erneuerbare Energie gemäß EU-Richtlinie  
Quelle: Österreichische Energieagentur

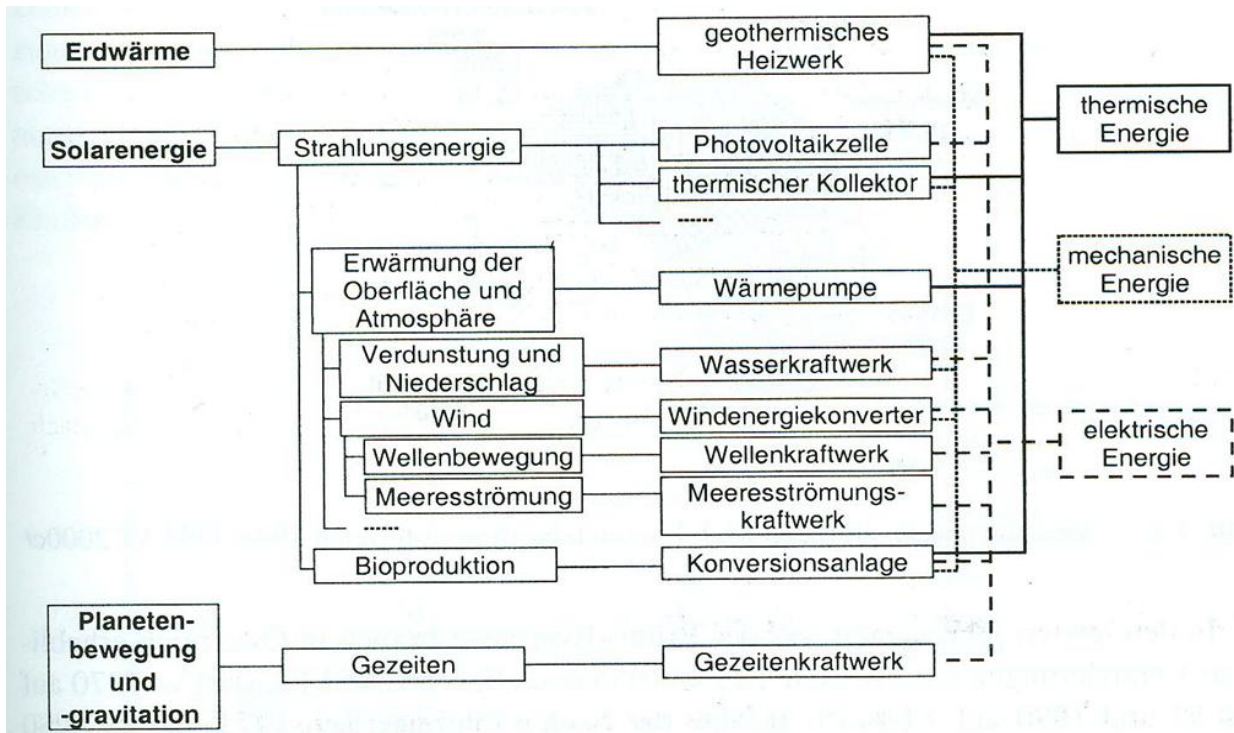
**Tabelle 7.3:** Maßnahmenvorschläge für 2020 im Vergleich zu den Jahren 2005 und 2008 [22]

## 7.3 Erneuerbare Energien in Zahlen

Wie schon im Kapitel 7.1 beschrieben, werden aus den drei Primärenergiequellen Solarstrahlung, Erdwärme sowie Planetengravitation und -bewegung verschiedene natürliche Umwandlungen hervorgerufen.

So stellen die Windenergie sowie Wasserkraft, wie auch die Biomasse eine umgewandelte Form der Sonnenenergie dar (Abbildung 7.4).

Die zweite primäre regenerative Energiequelle stellt die innere Energie der Erde dar. Sie wird in Form von Erdwärme genutzt. Schließlich sind die Gravitationskräfte von Sonne und Mond zu erwähnen, die zur Meeresenergie in Form von Wellen und Gezeiten beitragen. [4][20]



**Abbildung 7.4:** Grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots [20]

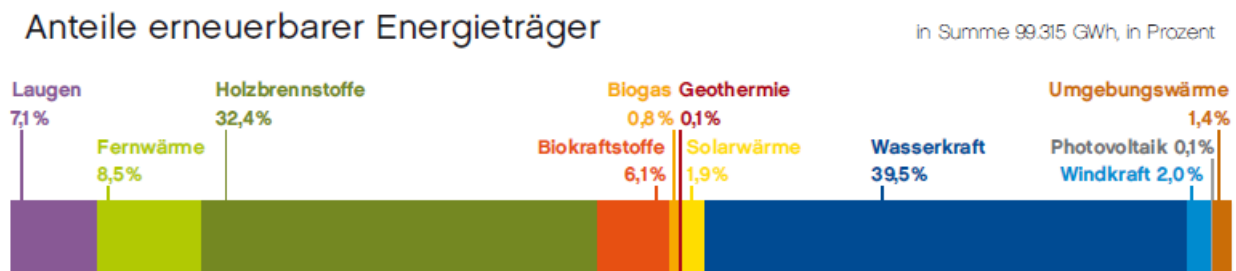
In Österreich stellen sich folgende technisch sinnvolle Optionen der Nutzung regenerativer Energien dar:

- Stromerzeugung aus Wasserkraft,
- solare Wärmebereitstellung mit aktiven Systemen,
- photovoltaische Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie,
- Nutzung der Windenergie mit Windkraftanlagen,
- Nutzung von Umgebungswärme,
- Nutzung von hydrothermalen Erdwärme sowie
- Nutzung der photosynthetisch fixierten Energie als Biomasse

Die größten Beiträge an erneuerbarer Energie im Jahr 2010 stammen von Holzbrennstoffen inklusive Fernwärme aus Holzbrennstoffen mit 40200 GWh und aus Wasserkraft mit 39.237 GWh. Diese beiden Energiequellen machen einen Anteil von 80 Prozent des gesamten Aufkommens an erneuerbarer Energie in Österreich aus. Andere große Beiträge waren die energetische Nutzung von Abfällen (7,1%) und die Biokraftstoffe (6,1%) (siehe Abbildung 7.5. und Anhang A1). Der Anteil an Windkraftenergie betrug im Jahr 2010 hingegen nur 2 Prozent. Nach den Jahren des starken Windkraftausbaues (2003-2006) kam es im Jahr 2006 zur Änderung des Ökostromgesetzes (siehe Kapitel 6) und dadurch zum Baustillstand. Erst Ende 2009 kam es wieder zu neuer Ausbauwelle. Eine Steigerung des Beitrages aus Windkraft von 2009 auf 2010 betrug 0,5 Prozent. [23] Diese Daten stammen aus dem Jahr 2011. Datenquelle Statistik Austria. Es ist anzunehmen, dass sich die Daten bis heute etwas geändert haben. Es liegen zurzeit keine neuen verfügbaren Statistiken vor.

Im Jahr 2010 betrug das Gesamtaufkommen an erneuerbarer Energie 99.315 GWh und war damit um 5,4 Prozent größer als im Vorjahr. Anhang A1 zeigt die Beiträge der einzelnen Sparten sowie ihre Veränderung von 2009 auf 2010.

Vergleicht man die Daten aus der Abbildung 7.4 und Anhang A2 so ist zu sehen, dass der Anteil an erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch im Jahr 2008 28,80 Prozent und im Jahr 2010 30,80 Prozent betrug. Dieser Anteil soll sich in Österreich bis zum Jahr 2020 auf 34 Prozent erhöhen. (siehe Kapitel 7.2)



**Abbildung 7.5:** Erneuerbare Endenergie 2010. Datenquelle:Statistik Austria 2011 [23]

In den folgenden Kapiteln werden einige regenerative Energieträger, die in Österreich zum Einsatz kommen, beschrieben.

### 7.3.1 Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft hat in Österreich eine lange Tradition. Das gesamte technische Wasserkraftpotential Österreichs beträgt 75.500 GWh pro Jahr. Vergleicht man diese Werte mit den Werten aus dem Jahr 2010, so ist zu bemerken, dass das Potenzial um fast 48 Prozent erhöht wurde.

Die Top 5 Bezirke für Wasserkraft sind Innsbruck Land (3194 GWh/Jahr), Schwaz (3090 GWh/Jahr), Imst (3003 GWh/Jahr), Zell am See (2735 GWh/Jahr) und St.Johann im Pongau (2701 GWh/Jahr). Abgesehen von wenigen möglichen Standorten für Großwasserkraft sind die Potenziale ausgebaut worden. In der Zukunft ist es zu erwarten, dass man in Kleinwasserkraft und im Bereich der Anlagenrevitalisierung investieren wird. [8]



**Abbildung 7.6:** Wasserkraftwerke in Österreich [8]

Österreich verfügt über 135 Großwasserkraftanlagen (über 10 MW) was ca. 10.946 MW Leistung entspricht (Quelle: Energie Control Austria. Stand Mai 2012).

Die Kleinwasserkraftwerke decken ca. 9 Prozent des österreichischen Strombedarfs. Dadurch werden 1,7 Millionen Haushalte (mehr als 50 Prozent der Haushalte in Österreich) mit elektrischer Energie versorgt und können Jährlich rund 4,1 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden, die bei der Stromproduktion aus fossilen Energieträgern entstehen würden.

Wie aus der Tabelle 7.4 zu sehen ist, verfügt Österreich über 2790 Kleinwasserkraft-Anlagen was ca. 1284,15 MW Leistung entspricht. [26][27]



| Anerkannte Kleinwasserkraft - Anlagen (gesamt)<br>Stand 31.12.2011 |                 |              |
|--|-----------------|--------------|
| Bundesland   | MW              | Anzahl       |
| Steiermark   | 310,51          | 496          |
| Tirol  | 303,81          | 432          |
| Salzburg   | 164,48          | 248          |
| Kärnten  | 152,94          | 295          |
| Oberösterreich   | 138,62          | 636          |
| Niederösterreich   | 101,65          | 535          |
| Vorarlberg   | 97,36           | 125          |
| Wien   | 12,13           | 7            |
| Burgenland   | 2,65            | 16           |
| <b>Kumuliert</b>   | <b>1.284,15</b> | <b>2.790</b> |

[Quelle: Energie-Control Austria]

**Tabelle 7.4:** Anerkannte Kleinwasserkraft-Anlagen (gesamt) Ende 2011 [26]

### 7.3.2 Biomasse

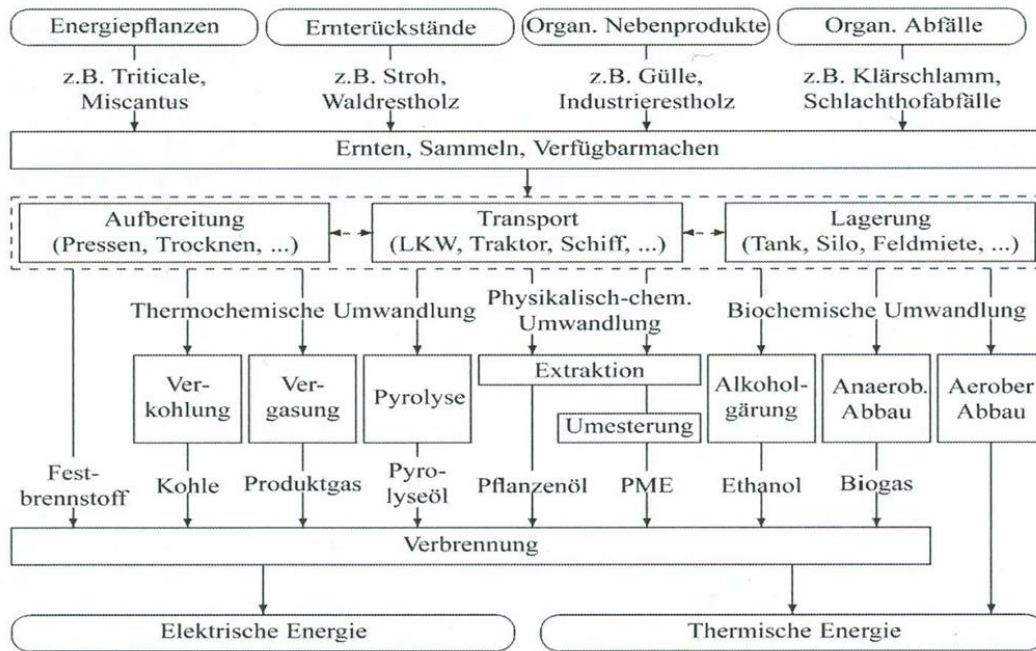
Unter dem Begriff Biomasse werden sämtliche Stoffe organischer Herkunft verstanden. Diesen Begriff umfassen die aus lebenden Pflanzen und Tiere resultierenden Rückstände (z.B. tierische Exkrememente), abgestorbene Pflanzen (z.B. Stroh) sowie tote Organismen und technisch umgewandelte Stoffe (z.B. Papier, Pflanzenöl, Alkohol).

Der Vorteil der Biomasse ist, dass sie einerseits bedarfsgerecht zur Verfügung steht und andererseits in verschiedenen Formen als feste, flüssige und gasförmige Energieträger umgewandelt werden kann.

Die unterschiedlichen Quellen der Biomasse sind:

- Holz und holzartige Reststoffe aus der Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und Landschaftspflege
- landwirtschaftliche Produkte wie Zuckerrüben, Kartoffeln und Ölpflanzen
- landwirtschaftliche Reststoffe wie Stroh und Spelzen
- aus der Verarbeitung von Agrarprodukten oder als organische Abfälle gewonnene organische Reststoffe
- Altholz wie z.B. Abbruchholz, Spanplatten, Eisenbahnschwellen
- spezielle Energiepflanzen wie Kurzumtriebshölzer, Miscanthus, Switchgrass

Abbildung 7.7 zeigt wie aus unterschiedlichen Ressourcen verschiedene Bioenergieträger erzeugt werden können. Stroh, beispielsweise, fällt als Nebenprodukt bei der Getreideernte an. Als zusätzlicher Arbeitsschritt ist das Pressen zu Ballen erforderlich. Nach der Ernte werden die Ballen auf dem Feld oder in Lagerhallen in der Verbrennungsanlage gelagert. [4]



**Abbildung 7.7:** Wandlungsketten für Bioenergieträger [4]

## Strom aus fester Biomasse

Hier handelt es sich hauptsächlich um konventionelle Verbrennungstechniken und Vergasungstechniken. Dabei wird die Biomasse verbrannt oder es wird ein gewisser Teil des regulären Brennstoffs durch Biomasse ersetzt.

In Österreich erfolgt die Nutzung der festen Biomasse zur Elektrizitätserzeugung in der Holzverarbeitenden sowie Papier- und Zellstoffindustrie. Dadurch ist es sinnvoll die Wärme (z.B. Fernwärme) zu nutzen, weil bei der Verbrennung von Biomasse mehr Wärme als Strom erzeugt wird.

Ende 2011 sind insgesamt 203 Anlagen im Ausmaß von 436 MW anerkannt (Tabelle 7.5). Die Anlagengröße beträgt durchschnittlich 2.15 MW. Fast 79 Prozent aller Anlagen haben eine Größe von 2 MW. Von den 13 größten Anlagen je 5 MW Leistung werden 31 Prozent der Gesamtleistung (136 MW) zur Verfügung gestellt.[26]

## Strom aus gasförmiger Biomasse

Durch Abbau (Vergärung) organischer Substanzen entsteht Gasgemisch, welches vorwiegend aus Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) sowie Spuren von Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) besteht.

Rohstoffe die hauptsächlich zur Biogasnutzung zum Einsatz kommen sind Energiepflanzen wie z.B. Mais, aber es können aus Speisereste (aus der Biotonne oder Altspeiseöl) und Rohstoffe aus der Landwirtschaft, der Ernährungsindustrie und der Landschaftspflege (Gras, Grünschnitt) eingesetzt werden.

Ende 2011 sind in Österreich 363 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 105,4 MW anerkannt. Über ein Drittel der Anlagen befinden sich in Niederösterreich. 90 Prozent der Biogas -Anlagen haben eine Leistung von 500 kW. Niederösterreich verfügt über die größte Anzahl an

Biogasanlagen (91), gefolgt von Oberösterreich (62) und Steiermark (39) (siehe Tabelle 7.6). [26]

| Biomasse fest          |   |                       |                                  |                                   |                       |
|------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Bundesland             | Vertragsverhältnis mit OeMAG per 31.12.2011 |                       |                                  | Anerkannte Anlagen per 31.12.2011 |                       |
|                        | Anzahl                                      | Engpassleistung in MW | Eingespeiste Energie 2011 in GWh | Anzahl                            | Engpassleistung in MW |
| Burgenland             | 11  | 36,22                 | 246,44                           | 11                                | 35,97                 |
| Kärnten                | 17  | 60,76                 | 311,77                           | 29                                | 75,23                 |
| Niederösterreich       | 29  | 89,92                 | 617,01                           | 54                                | 112,38                |
| Oberösterreich         | 10  | 34,44                 | 203,61                           | 20                                | 63,86                 |
| Salzburg               | 12  | 22,54                 | 117,57                           | 14                                | 27,55                 |
| Steiermark             | 24  | 24,17                 | 124,73                           | 55                                | 62,59                 |
| Tirol                  | 14  | 29,97                 | 196,58                           | 14                                | 30,14                 |
| Restliche Bundesländer | 4   | 27,40                 | 151,07                           | 6                                 | 27,76                 |
| <b>Summe</b>           | <b>121</b>                                  | <b>325,43</b>         | <b>1.968,78</b>                  | <b>203</b>                        | <b>435,48</b>         |

Abweichungen zu bisher veröffentlichten Daten sowie anderen Datenquellen sind möglich.

[Quelle: Energie-Control Austria, OeMAG]

**Tabelle 7.5:** Biomasse fest – Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern per 31.12.2011 [26]

| Biogas           |   |                       |                                  |                                   |                       |
|------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Bundesland       | Vertragsverhältnis mit OeMAG per 31.12.2011 |                       |                                  | Anerkannte Anlagen per 31.12.2011 |                       |
|                  | Anzahl                                      | Engpassleistung in MW | Eingespeiste Energie 2011 in GWh | Anzahl                            | Engpassleistung in MW |
| Burgenland       | 12  | 5,40                  | 34,25                            | 28                                | 12,90                 |
| Kärnten          | 30  | 5,80                  | 30,57                            | 36                                | 7,68                  |
| Niederösterreich | 91  | 33,18                 | 219,60                           | 102                               | 39,47                 |
| Oberösterreich   | 62  | 12,91                 | 89,65                            | 79                                | 16,09                 |
| Salzburg         | 11  | 1,73                  | 10,26                            | 13                                | 2,42                  |
| Steiermark       | 39  | 15,14                 | 106,30                           | 53                                | 19,61                 |
| Tirol            | 15  | 2,36                  | 12,69                            | 19                                | 3,68                  |
| Vorarlberg       | 28  | 3,30                  | 16,44                            | 33                                | 3,56                  |
| Wien             | -   | -                     | -                                | -                                 | -                     |
| <b>Summe</b>     | <b>288</b>                                  | <b>79,82</b>          | <b>519,77</b>                    | <b>363</b>                        | <b>105,41</b>         |

Abweichungen zu bisher veröffentlichten Daten sowie anderen Datenquellen sind möglich.

[Quelle: Energie-Control Austria, OeMAG]

**Tabelle 7.6:** Biogas Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

## Strom aus flüssiger Biomasse

Das Einsatzspektrum flüssiger Biomasse ist sehr breit, vom Einsatz im Verkehrsbereich als Treibstoff bis hin zum Brennstoff für Wärme oder gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung.

Flüssige Biomasse wird in zwei Kategorien unterteilt: Bio-Öle und Alkohole (z.B. Biomethanol, Bioethanol oder Pflanzenöle). Ihre Herstellung kann aus verschiedenen Rohstoffen mittels unterschiedlicher Verfahren erfolgen.

Die flüssige Biomasse stellt den geringsten Anteil des Biomassensegmentes dar. Ende 2011 waren 95 Anlagen im Ausmaß von 25,4 MW genehmigt. Die durchschnittliche Anlagengröße beträgt 268 kW. Zwei Drittel der Anlagen befinden sich in Niederösterreich (28 Anlagen) und in der Steiermark (21 Anlagen) (Tabelle 7.7). [26]

| Biomasse flüssig       |   |                       |                                  |                                   |                       |
|------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Bundesland             | Vertragsverhältnis mit OeMAG per 31.12.2011 |                       |                                  | Anerkannte Anlagen per 31.12.2011 |                       |
|                        | Anzahl                                      | Engpassleistung in MW | Eingespeiste Energie 2011 in GWh | Anzahl                            | Engpassleistung in MW |
| Kärnten                | 5   | 1,39                  | 3,55                             | 13                                | 3,40                  |
| Niederösterreich       | 18  | 1,49                  | 0,42                             | 28                                | 3,88                  |
| Oberösterreich         | 4   | 0,22                  | 0,06                             | 4                                 | 0,36                  |
| Salzburg               | 1   | 0,20                  | 0,001                            | 12                                | 1,14                  |
| Steiermark             | 10  | 0,37                  | 0,10                             | 21                                | 1,63                  |
| Tirol                  | 2   | 1,25                  | 3,68                             | 7                                 | 1,99                  |
| Vorarlberg             | 5   | 4,47                  | 4,16                             | 10                                | 13,04                 |
| Restliche Bundesländer | -   | -                     | -                                | -                                 | -                     |
| <b>Summe</b>           | <b>45</b>                                   | <b>9,39</b>           | <b>11,98</b>                     | <b>95</b>                         | <b>25,42</b>          |

Abweichungen zu bisher veröffentlichten Daten sowie anderen Datenquellen sind möglich.

[Quelle: Energie-Control Austria, OeMAG]

**Tabelle 7.7:** Biomasse Flüssig-Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

### 7.3.3 Erdwärme oder Geothermie

Unter Geothermie bezeichnet man die als Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche. Die Geothermie entsteht nicht wie fast alle anderen regenerativen Energieträger aus eingestrahelter Sonnenenergie, sondern es wird die im Erdinneren frei werdende Wärme zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt.

Die führenden Länder der Stromgewinnung aus Geothermie sind die USA, Japan und Indonesien. In Europa ist Italien führend.

Die zwei Anlagen, die in der Steiermark und Oberösterreich im Jahr 2002 anerkannt wurden, bleiben bis heute die einzigen Beiträge der Geothermie zur Erreichung des österreichischen Ökostromzieles (Tabelle 7.8).

| Geothermie   |   |                       |                                  |                                   |                       |
|--------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
|              | Vertragsverhältnis mit OeMAG per 31.12.2011 |                       |                                  | Anerkannte Anlagen per 31.12.2011 |                       |
|              | Anzahl                                      | Engpassleistung in MW | Eingespeiste Energie 2011 in GWh | Anzahl                            | Engpassleistung in MW |
| <b>Summe</b> | <b>2</b>                                    | <b>0,92</b>           | <b>1,05</b>                      | <b>2</b>                          | <b>0,92</b>           |

Abweichungen zu bisher veröffentlichten Daten sowie anderen Datenquellen sind möglich.

[Quelle: Energie-Control Austria, OeMAG]

**Tabelle 7.8:** Geothermie Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. anerkannte Anlagen [26]

### 7.3.4 Photovoltaik

Unter dem Begriff Photovoltaik versteht man die Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie mittels Solarzellen. Mit der Solarzelle ist die Umwandlung der frei verfügbaren Sonnenstrahlung in eine hochwertige und nahezu jede andere Energieform umwandelbare Energie möglich. Geringere Betriebskosten, lange Lebensdauer und universelle Einsetzbarkeit sind ihre Hauptmerkmale.

Die erheblichen technischen Fortschritte in der Zell- und Modulfertigung führen zur Entwicklung von Photovoltaikkraftwerken mit mehreren MW Nennleistung. Die photovoltaische Wandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie beruht auf dem Prinzip des Photoeffekts. Aufgrund der Lichteinstrahlung in Form von Photonen werden Elektronen aus ihren atomaren Bindungen gelöst. Bei Halbleitermaterialien sind die Elektronen im Kristallverband der Atome gebunden und werden sehr leicht freigesetzt.

Mit Ende 2011 waren 30282 Photovoltaik-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 316,4 MW anerkannt. Das bedeutet fast die Verdoppelung der installierten Leistung seit 2010 um 162 MW. Die durchschnittliche Anlagengröße liegt bei 10,5 kW. Ein Drittel der Anlagen befinden sich in Niederösterreich (11.658 Anlagen) gefolgt von Oberösterreich (7.093 Anlagen) und Steiermark (4941 Anlagen) (siehe Tabelle 7.9). [4][26]

| Photovoltaik     |   |                       |                                  |                                   |                       |
|------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Bundesland       | Vertragsverhältnis mit OeMAG per 31.12.2011 |                       |                                  | Anerkannte Anlagen per 31.12.2011 |                       |
|                  | Anzahl                                      | Engpassleistung in MW | Eingespeiste Energie 2011 in GWh | Anzahl                            | Engpassleistung in MW |
| Burgenland       | 235   | 1,64                  | 1,26                             | 772                               | 6,29                  |
| Kärnten          | 321   | 5,14                  | 3,79                             | 908                               | 14,99                 |
| Niederösterreich | 1.042                                       | 6,91                  | 4,75                             | 11.658                            | 96,30                 |
| Oberösterreich   | 2.020                                       | 14,29                 | 11,18                            | 7.093                             | 66,43                 |
| Salzburg         | 376   | 4,42                  | 3,21                             | 1.226                             | 19,76                 |
| Steiermark       | 984   | 10,54                 | 4,83                             | 4.941                             | 71,03                 |
| Tirol            | 227   | 2,09                  | 1,47                             | 1.462                             | 13,71                 |
| Vorarlberg       | 981   | 9,14                  | 8,73                             | 1.736                             | 24,59                 |
| Wien             | 67  | 0,50                  | 0,20                             | 486                               | 3,28                  |
| <b>Summe</b>     | <b>6.253</b>                                | <b>54,67</b>          | <b>39,42</b>                     | <b>30.282</b>                     | <b>316,38</b>         |

Abweichungen zu bisher veröffentlichten Daten sowie anderen Datenquellen sind möglich.

[Quelle: Energie-Control Austria, OeMAG]

**Tabelle 7.9:** Photovoltaik Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

## 7.4 Ökostromgesetz 2012

Die österreichische und europäische Stromerzeugung wurde durch die Katastrophe im Kernkraftwerk von Fukushima im März 2011 nachhaltig beeinflusst. Durch dieses Ereignis haben sich massive Diskussionen rund um Strom aus Nuklearenergie entwickelt. Während in Deutschland der Atomausstieg beschlossen wurde, ist in Österreich das Atomstromimportverbot diskutiert worden. Die Bereiche wie CO<sub>2</sub>-Reduktion und Ausbau der Erneuerbaren wurden am meisten diskutiert.

In erster Linie ist klar geworden, dass es mit der Errichtung von neuen Anlagen nicht viel erreichen wird, sondern dass auch entsprechende Infrastrukturkapazitäten: Verteil- und Übertragungsnetze, sowie Speicher errichtet werden müssen. Gleichzeitig wurden auch Fördermechanismen und die Rolle der rohstoffabhängigen Technologien diskutiert sowie die Ressourcenverfügbarkeit: inwieweit kann sich die EU im Allgemeinen, aber auch Österreich im Speziellen selbst mit Rohstoffen versorgen. In der gesamten EU werden rund 3000 TWh Strom erzeugt, die entweder einen großen CO<sub>2</sub> Ausstoß oder einen Zusammenhang mit der Nuklearenergie haben. Würde man diese 3000 TWh mit Erneuerbaren substituieren wollen, dann würde es 120000 Festland-Windräder (in Nordeuropa), 600000 Photovoltaik-Anlagen (in Südeuropa), sowie Strom aus Biomasse mit dem hundertfachen Bedarf an Holz als in Österreich pro Jahr nachwächst benötigen. Dazu kommen noch die bereits angesprochene Infrastruktur wie Netze und Speicherkapazitäten. [26]

Das Jahr 2011 brachte einige interessante Entwicklungen im Bereich des Ökostroms. Die eingespeiste Menge des Ökostroms reduzierte sich von 5905 GWh im Jahr 2010 um 453 GWh auf 5452 GWh im Jahr 2011. Diese Entwicklung hatte die Auswirkungen auf den Anteil des Ökostroms an der Gesamtabgabemenge von elektrischer Energie. Dieser lag im Jahr 2010 bei 10,7 Prozent und fiel auf 9,3 Prozent im Jahr 2011.

Der Rückgang bei den eingespeisten und geförderten Mengen hat sich auch bei fast allen Technologien nieder geschlagen. Bei der Kleinwasserkraft ging die Menge um 270 GWh bzw. 21 Prozent zurück. Bei der Windkraft (-6,7 Prozent), bei der gasförmigen Biomasse (-3,5 Prozent), bei der Biomasse fest (-0,9 Prozent), Biomasse flüssig (-60 Prozent) sowie bei Deponie- und Klärgas und Geothermie gab es Rückgänge. Ausnahme war Photovoltaik, dort hat sich die eingespeiste Menge von 26 GWh um 50 Prozent auf 39 GWh erhöht.

Der Anzahl der Anlagen stieg von 2010 auf 2011 von 7365 auf 8558. Dieser Zuwachs von 1225 Anlagen ist ausschließlich der Photovoltaik zuzuschreiben. Bei der Windkraft war ein leichter Anstieg von 9 Anlagen und bei der Kleinwasserkraft ein leichter Rückgang von 39 Anlagen dokumentiert.

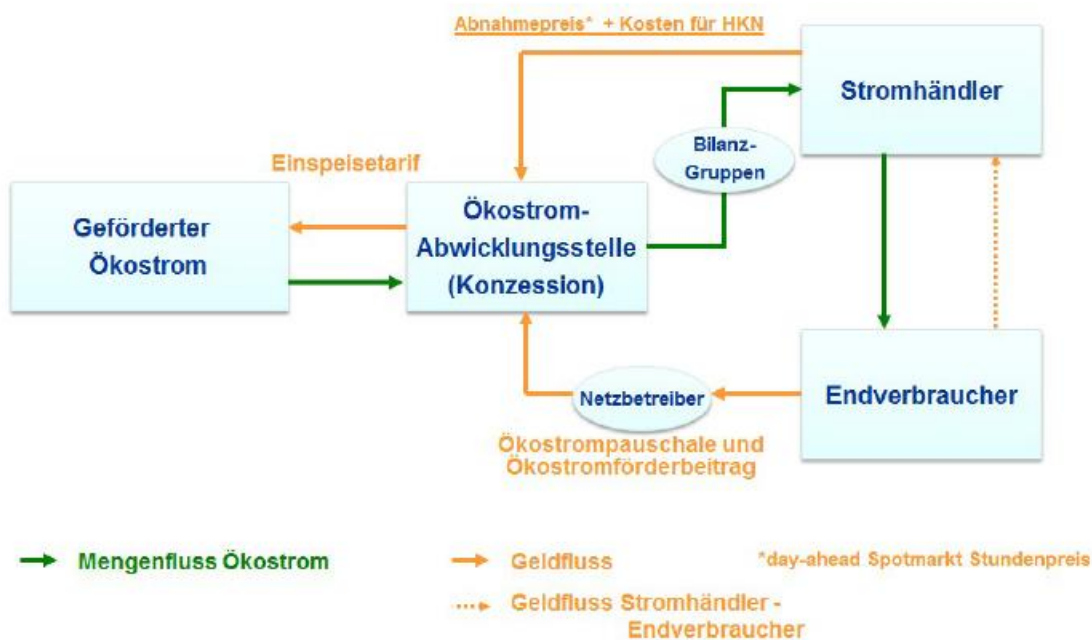
Die verringerten eingespeisten Mengen im Jahr 2011 brachten auch ein verringertes Vergütungsvolumen, dieses sank von 598,6 Millionen Euro im Jahr 2010 auf 581,8 Millionen Euro im Jahr 2011, was 2,9 Prozent entspricht.

## 7.4.1 Gesetzliche Grundlagen in Österreich

Die aktuelle gesetzliche Grundlage bildet das Ökostromgesetz 2012 (BGBl I Nr.:75/2011). Die Ökostromverordnung wurde am 30. Dezember 2011 kundgemacht und es wurden die Einspeisetarife für neue Ökostromanlagen festgelegt. Die Tabelle 7.10 zeigt die Einspeisetarife für das Jahr 2012. Vergleicht man es mit dem Jahr 2011 ist der Einspeisetarif für Wind von 9,70 Cent/kWh auf 9,50 Cent/kWh gesunken. Für gebäudeintegrierte Photovoltaik-Anlagen ist der Tarif bei 5 kWp bis 20 kWp auf 27,60 Cent/kWh gesunken und bei Anlagen über 20 kWp auf 23,00 Cent/kWh.

Abbildung 7.8 verdeutlicht die Funktionsweise des derzeitigen Fördersystems in Österreich. Die in das Netz eingespeisten Energiemengen der geförderten Ökostromanlagen werden von der OeMAG mit den zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses geltenden Einspeisetarifen vergütet. Diese Strommengen werden über die Bilanzgruppen den einzelnen Stromhändlern gemäß deren Anteil am Endverbraucher zugewiesen.

Die Ökostromverordnung 2012 wurde am 30. Dezember 2011 kundgemacht, in der die Einspeisetarife für neue Ökostromanlagen festgelegt sind. Die Tabelle 7.10 zeigt die Einspeisetarife für das Jahr 2012. Wenn man die Einspeisetarife mit dem Jahr 2011 vergleicht, ist der Einspeisetarif für Wind von 9,7 Cent/kWh auf 9,5 Cent/kWh gesunken, siehe Anhang A3. [26]



[Juni 2012 | Quelle: E-Control]

**Abbildung 7.2:** Ökostrom-Förderungssystem nach der Gesetznovelle 2012 [26]



| <b>EINSPEISETARIFE<br/>FÜR NEUE ÖKOSTROMANLAGEN 2012 *)</b>  |                          |  | <b>Tarif in Cent/kWh<br/>gemäß BGG II Nr 471/2011</b> |
|--|--------------------------|--|---|
| <b>Rohstoffunabhängige Technologien</b>  |                          |  | <b>Laufzeit 13 Jahre</b>                              |
| <b>Windenergie</b>   |                          |  | <b>9,50</b>   |
| <b>Photovoltaik</b>  | <b>gebäudeintegriert</b> | bis 5 kWp                                    | <b>über KLI.EN (Investitionszuschuss)</b>             |
|  |                          | 5 kWp bis 20 kWp                             | <b>27,60</b>  |
|  |                          | über 20 kWp                                  | <b>23,00</b>  |
|  | <b>auf Freiflächen</b>   | bis 5 kWp                                    | <b>über KLI.EN (Investitionszuschuss)</b>             |
|  |                          | 5 kWp bis 20 kWp                             | <b>25,00</b>  |
|  |                          | über 20 kWp                                  | <b>19,00</b>  |
| <b>Deponie- und Klärgas</b>  | Klärgas                  | <b>6,00</b>                                  |   |
|  | Deponiegas               | <b>5,00</b>                                  |   |
| <b>Geothermie</b>  |                          |  | <b>7,50</b>   |
| <b>Rohstoffabhängige Technologien</b>  |                          |  | <b>Laufzeit 15 Jahre</b>                              |
| <b>Feste Biomasse<br/>(wie Waldhackgut, Stroh)</b>   |                          | bis 500 kW                                   | <b>14,98</b>  |
|  |                          | 500 kW bis 1 MW                              | <b>13,54</b>  |
|  |                          | 1 bis 1,5 MW                                 | <b>13,10</b>  |
|  |                          | 1,5 bis 2 MW                                 | <b>12,97</b>  |
|  |                          | 2 bis 5 MW                                   | <b>12,26</b>  |
|  |                          | 5 bis 10 MW                                  | <b>12,06</b>  |
|  |                          | über 10 MW                                   | <b>10,00</b>  |
| <b>Abfall mit hohem biogenen Anteil</b>  |                          | SN 17, Tab. 2, Bsp. Rinde, Sägespäne         | minus 25 %  |
|  |                          | SN 17, Tab. 1, Bsp. Spanplattenabfälle       | minus 40 %  |
|  |                          | Andere 5-stellige SN in Tab. 1 und 2 ÖkoStrG | <b>5,00</b>   |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |                          |  | anteilig  |
| <b>Zuführung in kalorischen Kraftwerken</b>  |                          | Feste Biomasse (Waldhackgut, Stroh)          | <b>6,12</b>   |
|  |                          | SN 17, Tab. 2, Bsp. Rinde, Sägespäne         | minus 20 %  |
|  |                          | Andere 5-stellige SN in Tab. 1 und 2 ÖkoStrG | minus 30 %  |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |                          |  | anteilig  |
| <b>Flüssige Biomasse</b>   |                          | Flüssige Biomasse                            | <b>5,80</b>   |
|  |                          | Zuschlag für Erzeugung in effizienter KWK    | <b>2,00</b>   |
| <b>Biogas aus landwirtschaftl. Produkten (wie Mais, Gülle)</b>                                     |                          | bis 250 kW                                   | <b>18,50</b>  |
|  |                          | 250 bis 500 kW                               | <b>16,50</b>  |
|  |                          | über 500 kW                                  | <b>13,00</b>  |
|  |                          | Biogas bei Kofermentation von Abfallstoffen  | minus 20 %  |
|  |                          | Zuschlag für Erzeugung in effizienter KWK    | <b>2,00</b>   |
|  |                          | Zuschlag bei Aufbereitung auf Erdgasqualität | <b>2,00</b>   |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |                          |  | anteilig  |
| <b>Einspeisetarife für rohstoffabhängige Ökostromanlagen nach Ablauf der Kontrahierungspflicht</b> |                          |  |   |
| <b>Feste Biomasse (wie Waldhackgut, Stroh)</b>   |                          | bis 2 MW                                     | <b>8,50</b>   |
|  |                          | 2 bis 10 MW                                  | <b>7,50</b>   |
|  |                          | über 10 MW                                   | <b>7,00</b>   |
| <b>Biogas aus landwirtschaftl. Produkten (wie Mais, Gülle)</b>                                     |                          | bis 250 kW                                   | <b>9,50</b>   |
|  |                          | über 250 kW                                  | <b>8,00</b>   |
|  |                          | Biogas bei Kofermentation von Abfallstoffen  | minus 20 %  |

\*) Erstmaliger Neuantrag im Jahr 2012 im Rahmen der gesetzlich vorgegebenen Budgetgrenzen

[Quelle: Energie-Control Austria, Jänner 2012]

**Tabelle 7.10: Einspeisetarife 1.HJ 2012 [26]**

Die wesentlichen Neuerungen bzw. Anpassungen des Ökostromgesetzes 2012 sind nachfolgend auszugsweise dargestellt:

1. Die Abhängigkeit Österreichs von Atomstromimporten ist bis zum Jahr 2015 bilanziell zu beseitigen. Jene Mengen, die derzeit bilanziell Atomstromimporten zugeordnet werden können, sind durch zusätzliche Erzeugung aus erneuerbaren Technologien zu ersetzen.
2. Bis zum Jahr 2015 sind 15 Prozent der Angabemenge an Endverbraucher aus öffentlichen Netzen in Form von geförderten Ökostrom aufzubringen.
3. Ausbauziele bis 2020: im Zeitraum 2010 bis 2020 hat ein Ausbau von Wasserkraft im Ausmaß von 1000 MW (oder etwa 4 TWh), ein Ausbau von Windkraft im Ausmaß von 2000 MW (oder etwa 4 TWh), ein Ausbau von Biomasse und Biogas im Ausmaß von 200 MW (oder etwa 1,3 TWh) sowie ein Ausbau von Photovoltaik im Ausmaß von 1200 MW (oder etwa 1 TWh) unter Verfügbarkeit der Rohstoffe bzw. Standorte zu erfolgen.
4. Die E-Control ist als zuständige Stelle für die Überwachung, Ausstellung, Übertragung und Entwertung der Herkunftsnachweise benannt.
5. Einspeisetarife wird es künftig auch für Ökostromanlagen auf Basis von Kleinwasserkraft mit einer Einpassleistung von bis zu 2 MW geben.
6. Für Photovoltaik-Anlagen über 5 kWp gibt es die Möglichkeit, einen Tarif von 18 Cent/kWh über den Zeitraum von 13 Jahren zu beantragen.
7. Errichtung von Anlagen nach Annahme des Antrags durch die OeMAG<sup>1</sup>: Photovoltaik-Anlagen müssen innerhalb von 12 Monaten errichtet werden, Kleinwasser-, rohstoffabhängige und Windkraftanlagen innerhalb von 36 Monaten sowie sonstige Anlagen innerhalb von 24 Monaten.
8. Die Einspeisetarife werden weiterhin per Verordnung festgelegt. Künftig können Einspeiseverordnungen auch für zwei oder mehrere Kalenderjahre im Vorhinein festgelegt werden. Bis zum Inkrafttreten einer neuen Verordnung gelten die für das jeweilige Vorjahr festgelegten Preise mit einem festgelegten Abschlag.
9. Photovoltaikanlagen > 500 kWp werden künftig nicht mehr gefördert.
10. Investitionszuschüsse für Kleinwasserkraft sind mit 16 Mio. Euro jährlich begrenzt. Für das Jahr 2013 sind einmalig weitere 20 Mio. Euro bereitgestellt.
11. Investitionszuschüsse für mittlere Wasserkraftanlagen sind bis 2014 jährlich mit max. 7,5 Mio. Euro begrenzt.
12. Festgelegtes jährliches Unterstützungsvolumen pro Jahr: 50 Mio. Euro.

Gemäß Ökostromgesetz 2012 stehen künftig jährlich 50 Million Euro an Fördervolumen für Ökostromanlagen zur Verfügung. Dieser Beitrag reduziert sich in den ersten 10 Jahren um 1 Million Euro jährlich. Davon entfallen 8 Million Euro auf Photovoltaik, 10 Million Euro auf feste und flüssige Biomasse sowie Biogas, mindestens 11,5 Million Euro auf Windkraft, mindestens 1,5 Million Euro auf Kleinwasserkraft sowie 19 Million. Euro auf den Resttopf (Wind, Wasserkraft, Photovoltaik), der sich jährlich um 1 Million Euro verringert.

---

<sup>1</sup> OeMAG ist die zentrale Abwicklungs- und Förderstelle für Ökostrom in Österreich.

## 8. Zusammenfassung

Die erste Windkraftanlage wurde in Österreich 1994 an das öffentliche Netz angeschlossen. Nachdem das Ökostromgesetz seit 2003 zwei Mal geändert wurde und die Windkraftbranche ihre größten Höhen und Tiefen überstanden hat, wurde mit dem letzten Ökostromgesetz 2012 eine optimale Basis für Windkraftentwicklung geschaffen.

Die bisher durchgeführten Studien zum Potential der Windkraftnutzung in Österreich zeigen eine große Bandbreite von 3.000 bis 19.000 GWh pro Jahr. Seit den ersten Studien zum Windpotential in Österreich haben sich die Gegebenheiten bedeutend verändert. Dies betrifft insbesondere die Leistungsfähigkeit und technischen Möglichkeiten der Windkraftanlagen.

Die Ergebnisse der meisten Studien wurden auf die jeweils verfügbare Technik der Windenergienutzung ausgewertet. Mit der rasanten Entwicklung der Windenergietechnik hat damals niemand gerechnet. Wenn man die heutigen Standorte, Leistungen und Jahreserträge genau betrachtet, zeigt sich deutlich, wie bedeutend die Technologieentwicklung bei der Abschätzung von Windkraftpotentialen ist.

Die Abbildung 6.1 aus Kapitel 6 zeigt deutlich wie schnell die Zahl der Windkraftanlagen in Österreich wächst. 2006 waren es 963,6 MW Leistung im Netz. 2012 waren es bereits 1387 MW Leistung im Netz, wobei für 2013 1795,1 MW Leistung geplant ist, was einem Zuwachs von 23 Prozent entspricht.

Aus gegenwärtiger Sicht wird der Großteil der zukünftigen Windkraft-Projekte mit Anlagen zwischen 3 MW und 6 MW Leistung gebaut werden. Fast alle alten Anlagen der 500 kW Klasse werden mit einer neuen Generation ersetzt. Laut Studie aus dem Jahr 2007 [6] erscheint so eine Gesamtzahl von etwa 1.100 Anlagen mit 3.500 MW bis zum Jahr 2020 realisierbar. Bei 2.100 Volllaststunden würden diese Anlagen ein Arbeitsvermögen von 7.300 GWh im Jahr erbringen. Dies wäre der Strom für 50 Prozent der österreichischen Haushalte und knapp 10 Prozent des österreichischen Stromverbrauch insgesamt.

Die letzte in Österreich durchgeführte Studie im Jahr 2011 [30] gibt eine Gesamtzahl von etwa 4.600 MW Leistung bis zum Jahr 2020 realisierbar, siehe Tabelle 5.1.

Das Ergebnis meiner Studie zeigt, dass Österreich sowohl die meteorologischen, technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen als auch Energie- und umweltpolitische Rahmenbedingungen für eine effiziente und naturbewusste Nutzung der Windenergie erfüllt. Durch den Ausbau der Windenergie zeigen sich erhebliche volkswirtschaftliche Vorteile für die österreichische Wertschöpfung. Zudem zeigt sich, dass durch Investitionen in Windkraftanlagen eine Belebung des Arbeitsmarktes einhergeht. Nicht zuletzt spielt die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Stromerzeugung aus Windkraft eine weitere wichtige sozioökonomische Rolle.

Warum wir die Windenergie nutzen sollten, verdeutlichen u.a. folgende kraftvolle Argumente:

- Wind ist ein kostenloser Energierohstoff für die Stromerzeugung
- In den nächsten Jahrzehnten ist zu erwarten, dass die Produktion bei fossilen Energieträgern wie Öl und Gas zurückgeht. Windenergie stellt eine unerschöpfliche Alternative dar.
- Die hervorragenden Windverhältnisse, die in Österreich herrschen, ermöglichen es, die Windkraft für eine effiziente und kostengünstige Stromproduktion zu nutzen.
- Mit einer einzigen Windkraftanlage mit 2 MW Leistung ist es möglich pro Jahr Strom für 1.250 Haushalte oder 4.000 Personen zu erzeugen.
- Mehr als 100 Österreichische Unternehmen als Hersteller von Komponenten von Windkraftanlagen am internationalen Markt sorgen für eine äußerst positive Handelsbilanz.
- Sauberer Windstrom hat eine direkte Auswirkung auf Klimaschutz.
- Bei der Stromerzeugung aus Windkraft gibt es keine Abgase, Abfälle oder Abwässer.

Wie auch immer sich die Situation der erneuerbaren Energienutzung in Österreich entwickeln wird, spätestens wenn alle konventionellen Energiequellen ausgeschöpft sind, wird der Umstieg auf alternative Energiequellen notwendig sein.

## Literatur

- [1] E. Hau, **Windkraftanlagen**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [2] H. Winkelmeier, **Energiesysteme-Windmessung**, 1994  
<http://www.energiwerkstatt.org/download/Windmessung.pdf>
- [3] C. Salletmaier., H.Winkelmeier: **Windenergie in Österreich, Voraussetzungen, Situationen, Bewertungen, Perspektiven Bericht zum Forschungsauftrag**, 1994
- [4] V. Wesselak, T. Schabbach, **Regenerative Energietechnik**, 2009
- [5] R. Gasch, J. Twele, **Windkraftanlagen, Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb**, 2005
- [6] S. Moidl, **Kurzstudie: Das realisierbare Windkraftpotential in Österreich bis 2020**, 2007
- [7] S. Heier, **Windkraftanlagen, Systemauslegung, Netzintegration und Regelung**, 2005
- [8] **Regio Energy**, [www.regioenergy.at](http://www.regioenergy.at)
- [9] **Verein Windmühle Podersdorf am See**, [www.diewindmuehle.at](http://www.diewindmuehle.at)
- [10] **Energiebericht NÖ 2011**, [http://www.noe.gv.at/bilder/d67/Energiebericht\\_2011.pdf](http://www.noe.gv.at/bilder/d67/Energiebericht_2011.pdf)
- [11] Das Forschungsprojekt REGIO Energy, **Ergreifende Grundlagen zur Beurteilung von Windparks zwischen Bruck/Leitha und Kittsee**, PGO Planungsgemeinschaft Ost  
[http://www.pgo.wien.at/download/PGOWindparks\\_Ergebnisbericht.pdf](http://www.pgo.wien.at/download/PGOWindparks_Ergebnisbericht.pdf)
- [12] W. Pozanek, **Länderübergreifende Grundlagen zur Beurteilung von Windparks zwischen Bruck/Leitha und Kittsee, PGO - Planungsgemeinschaft Ost**, 2011
- [13] S. Braun , **WindLandschaft** , ISBN 978-3-86573-226-2 , 2006
- [14] **Energie Burgenland Windkraft AG** [www.energieburgenland.at](http://www.energieburgenland.at)
- [15] **Nordex SE, Hamburg**, <http://www.nordex-online.com/de/produkte-services/hybridturm.html>
- [16] **EVN-Naturkraft** , <http://www.evn-naturkraft.at/Unternehmen.aspx>
- [17] **WEB Windenergie GmbH**, <http://www.windenergie.at/at/kraftwerke>
- [18] **ÖkoENERGIE GmbH**, <http://www.oekoenergie.com/s-windparks.htm#>
- [19] **Windkraft Simonsfeld GmbH**,  
<http://www.wksimonsfeld.at/deutsch/kraftwerke/windparks/1+inland/inland.html>
- [20] J. Neubarth, M. Kaltschmitt, **Erneuerbare Energien in Österreich**, Springer-Verlag/Wien 2000
- [21] Statistik Austria, **Österreich - Zahlen, Daten, Fakten**, 2012

- [22] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, **Energiestrategie Österreich**, [www.energiestrategie.at](http://www.energiestrategie.at) , 2010
- [23] P. Biermayr, Technische Universität Wien, Energy Economics Group (EEG), **Erneuerbare Energie in Zahlen**, 2010, [www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)
- [24] **Schalenkreuzanemometer**  
[http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde\\_alt/html/img/Kapitel4/Abb.4.18.jpg](http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/img/Kapitel4/Abb.4.18.jpg)
- [25] **Ultraschallanemometer**  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/WindMaster.jpg>
- [26] **Ökostrombericht 2012**, Energie Control Austria, [www.e-control.at](http://www.e-control.at)
- [27] **Kleinwasserkraftanlagen**, [www.kleinwasserkraft.at](http://www.kleinwasserkraft.at)
- [28] **Zeitschrift Windenergie**, Nr.67, Interessengemeinschaft Windkraft, 2013
- [29] Die Website für Windenergie – Daten der Schweiz ,**Wind Data**,  
<http://www.wind-data.ch/tools/profile.php?h=10&v=5&z0=0.1&abfrage=Aktualisieren>
- [30] A. Krenn, **Windatlas und Windpotentialstudie Österreich**, Energiewerkstatt, 2011
- [31] A.W. Khammas , **Buch der Synergie** <http://www.buch-der-synergie.de> , 2007
- [32] **Austrian Wind Energy Association**, <http://www.igwindkraft.at>
- [33] <http://www.seewetter-kiel.de/bilder/wetter/wind2.gif>

## Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1.1:** Vertikalachsen - Windmühle zum Getreidemahlen aus Afghanistan [31]

**Abbildung 1.2:** Chinesisches Windrad zum Wasserschöpfen [31]

**Abbildung 1.3:** Windmühle Padersdorf am See, vor und nach Restauration [9]

**Abbildung 2.1:** Der Gradientwind zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten [33]

**Abbildung 2.2:** Prandtl- und Eckmanschicht [2]

**Abbildung 2.3:** Der Einfluss der Rauigkeitslänge auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe [4]

**Abbildung 2.4:** Vertikales Profil bei der Rauigkeitslänge von 1.6 m [29]

**Abbildung 2.5:** Vertikales Profil bei der Rauigkeitlänge von 0.1 m [29]

**Abbildung 2.6:** Einfluss von Topographie und Rauigkeit auf das vertikale Windgeschwindigkeitsprofil [5]

**Abbildung 2.7:** Schalenkreuzanemometer [24]

**Abbildung 2.8:** Ultraschallanemometer [25]

**Abbildung 3.1:** Rotorformen mit vertikaler Drehachse [1]

**Abbildung 3.2 :** Hauptkomponenten einer Windkraftanlage

**Abbildung 3.3:** Getriebe/Getriebe lose Anlagen (Quelle: Windspeed-Energie)

**Abbildung 3.4:** Weltweit längstes Rotorblatt für Windturbinen (siemens.com)

**Abbildung 3.5:** Einfache Mantelturbine und ENFLO Mantelturbine [1]

**Abbildung 3.6:** Delta-Konzentrator und Nheowind 3D 50 [1]

**Abbildung 3.7:** Konzentrator- Windturbine "Berwian" [1]

**Abbildung 4.1:** Wirkungskette und Umwandlungsstufen einer Windkraftanlage [7]

**Abbildung 4.2:** Aufweitung der Stromlinien infolge Abbremsung der Strömung durch den Rotor einer Windturbine [5]

**Abbildung 4.3:** Auftriebskraft  $A$  und Widerstandskraft  $W$  am Tragflügel [5]

**Abbildung 4.4:** Nutzung des Luftwiderstandes als Antriebskraft [5]

**Abbildung 4.5:** . Winddreieck am Profil [5]

**Abbildung 4.6:** Auftrieb  $A$  und Widerstand  $W$  an einem Tragflügelelement der Breite  $b$  [5]

**Abbildung 4.7:** Korrigierte Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte in Abhängigkeit vom Anstellwinkel [5]

**Abbildung 4.8:** Winddreiecke in verschiedenen Flügelschnitten [5]

**Abbildung 5.1:** Windenergiekarte von Österreich [3]

**Abbildung 5.2:** Potenzialabschätzungen – Vergleich aller Studien [6]

**Abbildung 5.3:** Dichte der in das Modell eingeflossenen Messstationen [30]

**Abbildung 5.4:** Unterschiedliche Topographie mit MM5 und im SRTM [30]

**Abbildung 5.5:** Abweichungen des  $MM5_{100}$  zu Messdaten auf 100 m über Grund [30]

**Abbildung 5.6:** Windatlas Österreich für Windgeschwindigkeiten 100 m über Grund [30]

**Abbildung 6.1:** Windkraft in Österreich [32]

**Abbildung 6.2:** Verteilung der WA in Österreich Ende 2012 (Quelle: IG Windkraft)

**Abbildung 6.3:** Bestand der Windkraftnutzung in Österreich [8]

**Abbildung 6.4:** Nordex Hybridturm [15]

**Abbildung 6.5:** Produktionskapazität von 1997 bis 2012 (Quelle: IG Windkraft)

**Abbildung 6.6:** Häufigste Windkraftanlagen in Burgenland

**Abbildung 6.7:** Häufigste Windkraftanlagen in Niederösterreich

**Abbildung 6.8:** Häufigste Windkraftanlagen in Oberösterreich

**Abbildung 6.9:** Häufigste Windkraftanlagen in Steiermark

**Abbildung 6.10:** Häufigste Windkraftanlagen in Wien

**Abbildung 6.11:** Prozentualer Anteil der Windkraftanlagentypen in Österreich

**Abbildung 6.12:** Vergleich der Anlagentypen vs. Bundesländer

**Abbildung 7.1:** Bruttolandesverbrauch Stand 2011 [21]

**Abbildung 7.2:** Energieumwandlungskette (nach/ Spitzer 1997/) [20]

**Abbildung 7.3:** EU Vorgaben und Ziele für 2020 [22]

**Abbildung 7.4:** Grundsätzliche Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots [20]

**Abbildung 7.5:** Erneuerbare Endenergie 2010. Datenquelle: Statistik Austria 2011 [23]



**Abbildung 7.6:** Wasserkraftwerke in Österreich [8]

**Abbildung 7.7:** Wandlungsketten für Bioenergieträger [4]

**Abbildung 7.2:** Ökostrom-Förderungssystem nach der Gesetznovelle 2012 [26]

## Tabellenverzeichnis

**Tabelle 2.1:** Rauigkeitswerte für verschiedene Geländeformen [4]

**Tabelle 5.1:** Realisierbares Potenzial 2012/2020/2030 [30]

**Tabelle 6.1:** Ausbau im Jahr 2012 (Quelle: IG Windkraft )

**Tabelle 6.2:** Windkraftanlagen in Niederösterreich [Quelle: [www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)]

**Tabelle 6.3:** Windkraftanlagen in Burgenland [Quelle: [www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)]

**Tabelle 6.4:** Bestehende und Geplante Windparks – Austrian Wind Power [14]

**Tabelle 6.5:** Bestehende Windparks EVN-Naturkraft

**Tabelle 6.6:** Bestehende Anlagen und Windparks WEB Windenergie

**Tabelle 6.7:** Bestehende Anlagen und Windparks Ökoenergie GmbH

**Tabelle 6.8:** Bestehende Windparks Windkraft Simonsfeld [19]

**Tabelle 6.9:** Anlagen vs. Bundesländer

**Tabelle 7.1** Reserven, Ressourcen und jährlicher Verbrauch fossiler und nuklearer Energieträger in EJ, sowie die daraus abgeleiteten Reichweiten, Stand 2007 [4]

**Tabelle 7.2:** Import/Export Vergleich von 1970 bis 2011 [21]

**Tabelle 7.3:** Maßnahmenvorschläge für 2020 im Vergleich zu den Jahren 2005 und 2008 [22]

**Tabelle 7.4:** Anerkannte Kleinwasserkraft-Anlagen (gesamt) Ende 2011 [26]

**Tabelle 7.5:** Biomasse fest – Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern per 31.12.2011 [26]

**Tabelle 7.6:** Biogas Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

**Tabelle 7.7:** Biomasse flüssig Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

**Tabelle 7.8:** Geothermie Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs anerkannte Anlagen [26]

**Tabelle 7.9:** Photovoltaik Anlagen im Vertragsverhältnis mit OeMAG vs. Anerkannte Anlagen nach Bundesländern [26]

**Tabelle 7.10:** Einspeisetarife 1.HJ 2012 [26]

## Anhang

### Erneuerbare Endenergie nach Bereichen

In GWh

| SPARTE                       | Strom         |               | Wärme         |               | Kraftstoff   |              | Gesamt        |               | Veränderung<br>2009 → 2010 |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------|
|                              | 2009          | 2010          | 2009          | 2010          | 2009         | 2010         | 2009          | 2010          |                            |
| Biogas                       | 611           | 649           | 192           | 189           | —            | —            | 803           | 838           | +4,3%                      |
| Biokraftstoffe               | 40            | 30            | —             | —             | 6.222        | 6.064        | 6.262         | 6.094         | -2,7%                      |
| Fernwärme <sup>1</sup>       | —             | —             | 7138          | 8.451         | —            | —            | 7138          | 8.451         | +18,4%                     |
| Geothermie                   | 1,5           | 1,4           | 78            | 89            | —            | —            | 79            | 90            | +13,8%                     |
| Holzbrennstoffe <sup>2</sup> | 2.599         | 2.674         | 27.744        | 29.511        | —            | —            | 30.343        | 32.185        | +6,1%                      |
| Laugen                       | 1121          | 1.201         | 4.866         | 5.810         | —            | —            | 5.986         | 7.011         | +17,1%                     |
| Photovoltaik                 | 49            | 89            | —             | —             | —            | —            | 49            | 89            | +81,6%                     |
| Solarwärme                   | —             | —             | 1.429         | 1.904         | —            | —            | 1.429         | 1.904         | +33,2%                     |
| Umgebungswärme               | —             | —             | 1.335         | 1.381         | —            | —            | 1.335         | 1.381         | +3,4%                      |
| Wasserkraft                  | 38.757        | 39.237        | —             | —             | —            | —            | 38.757        | 39.237        | +1,2%                      |
| Windkraft                    | 2.024         | 2.035         | —             | —             | —            | —            | 2.024         | 2.035         | +0,5%                      |
| <b>SUMMEN</b>                | <b>45.201</b> | <b>45.916</b> | <b>42.782</b> | <b>47.335</b> | <b>6.222</b> | <b>6.064</b> | <b>94.205</b> | <b>99.315</b> | <b>+5,4%</b>               |

<sup>1</sup> Erneuerbarer Anteil; enthält: Müll erneuerbar, Holz-basiert, Biogas, Biogene flüssig, Laugen, sonstige feste Biogene und Geothermie

<sup>2</sup> Brennholz, Heckschnitzel, Holzpellets, Holzbriketts, Holzabfälle, Holzkohle, biogene Abfälle

### Anhang A1: Erneuerbare Energie in den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe. Datenquelle: Statistik Austria 2011 [23]

#### Anteile erneuerbarer Energie

In Prozent

| Bereich                               | 2009  | 2010  | Differenz |
|---------------------------------------|-------|-------|-----------|
| Anteil erneuerbarer Energie insgesamt | 30,9% | 30,8% | -0,1%     |
| Anteil erneuerbarer Strom             | 67,4% | 65,3% | -2,1%     |
| Anteil erneuerbare Fernwärme          | 37,0% | 38,3% | +1,3%     |
| Anteil Erneuerbare im Verkehr         | 6,7%  | 6,3%  | -0,4%     |
| Anteil restliche Erneuerbare          | 26,9% | 27,5% | +0,6%     |

### Anhang A2: Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch in Österreich. Datenquelle: Statistik Austria 2011 [23]

| <b>EINSPEISETARIFE<br/>FÜR NEUE ÖKOSTROMANLAGEN 2010 / 2011 *)</b>                                 |  |                  | <b>Tarif in Cent/kWh<br/>gemäß BGBl II Nr 42/2010<br/>und BGBl II Nr 25/2011</b> |
|--|--|------------------|--|
| <b>Rohstoffunabhängige Technologien</b>  |  |                  | <b>Laufzeit 13 Jahre</b>   |
| <b>Windenergie</b>   |  |                  | <b>9,70</b>  |
| <b>Photovoltaik</b>  | <b>gebäudeintegriert</b>                     | bis 5 kWp        | <b>über KLI.EN (Investitionszuschuss)</b>  |
|  |  | 5 kWp bis 20 kWp | <b>38,00</b>   |
|  |  | über 20 kWp      | <b>33,00</b>   |
|  | <b>auf Freiflächen</b>                       | bis 5 kWp        | <b>über KLI.EN (Investitionszuschuss)</b>  |
|  |  | 5 kWp bis 20 kWp | <b>35,00</b>   |
|  |  | über 20 kWp      | <b>25,00</b>   |
| <b>Deponie- und Klärgas</b>  | Klärgas                                      | <b>6,00</b>      |  |
|  | Deponiegas                                   | <b>5,00</b>      |  |
| <b>Geothermie</b>  |  |                  | <b>7,50</b>  |
| <b>Rohstoffabhängige Technologien</b>  |  |                  | <b>Laufzeit 15 Jahre</b>   |
| <b>Feste Biomasse<br/>(wie Waldhackgut, Stroh)</b>   | bis 500 kW                                   |                  | <b>14,98</b>   |
|  | 500 kW bis 1 MW                              |                  | <b>13,54</b>   |
|  | 1 bis 1,5 MW                                 |                  | <b>13,10</b>   |
|  | 1,5 bis 2 MW                                 |                  | <b>12,97</b>   |
|  | 2 bis 5 MW                                   |                  | <b>12,26</b>   |
|  | 5 bis 10 MW                                  |                  | <b>12,06</b>   |
|  | über 10 MW                                   |                  | <b>10,00</b>   |
| <b>Abfall mit hohem biogenen Anteil</b>  | SN 17, Tab. 2, Bsp. Rinde, Sägespäne         |                  | minus 25 %   |
|  | SN 17, Tab. 1, Bsp. Spanplattenabfälle       |                  | minus 40 %   |
|  | Andere 5-stellige SN in Tab. 1 und 2 ÖkoStrG |                  | <b>5,00</b>  |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |  |                  | anteilig   |
| <b>Zuführung in kalorischen Kraftwerken</b>  | Feste Biomasse (Waldhackgut, Stroh)          |                  | <b>6,12</b>  |
|  | SN 17, Tab. 2, Bsp. Rinde, Sägespäne         |                  | minus 20 %   |
|  | Andere 5-stellige SN in Tab. 1 und 2 ÖkoStrG |                  | minus 30 %   |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |  |                  | anteilig   |
| <b>Flüssige Biomasse</b>   | Flüssige Biomasse                            |                  | <b>5,80</b>  |
|  | Zuschlag für Erzeugung in effizienter KWK    |                  | <b>2,00</b>  |
| <b>Biogas aus landwirtschaftl. Produkten (wie Mais, Gülle)</b>                                     | bis 250 kW                                   |                  | <b>18,50</b>   |
|  | 250 bis 500 kW                               |                  | <b>16,50</b>   |
|  | über 500 kW                                  |                  | <b>13,00</b>   |
|  | Biogas bei Kofermentation von Abfallstoffen  |                  | minus 20 %   |
|  | Zuschlag für Erzeugung in effizienter KWK    |                  | <b>2,00</b>  |
|  | Zuschlag bei Aufbereitung auf Erdgasqualität |                  | <b>2,00</b>  |
| <b>Mischfeuerungen</b>   |  |                  | anteilig   |
| <b>Einspeisetarife für rohstoffabhängige Ökostromanlagen nach Ablauf der Kontrahierungspflicht</b> |  |                  |  |
| <b>Feste Biomasse<br/>(wie Waldhackgut, Stroh)</b>   | bis 2 MW                                     |                  | <b>8,50</b>  |
|  | 2 bis 10 MW                                  |                  | <b>7,50</b>  |
|  | über 10 MW                                   |                  | <b>7,00</b>  |
| <b>Biogas aus landwirtschaftl. Produkten (wie Mais, Gülle)</b>                                     | bis 250 kW                                   |                  | <b>9,50</b>  |
|  | über 250 kW                                  |                  | <b>8,00</b>  |
|  | Biogas bei Kofermentation von Abfallstoffen  |                  | minus 20 %   |

\*) Erstmaliger Neuantrag im Jahr 2010 oder 2011 im Rahmen der gesetzlich vorgegebenen Budgetgrenzen

[Quelle: Energie-Control GmbH, Jänner 2011]

### **Anhang A3: Einspeisetarife 2010/2011 [26]**