

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Südost-Europa

Diplomarbeit

von

Igor Mandic

Betreuer

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Gutsch

Begutachter

Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinz Stigler

eingereicht am

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

der Technischen Universität Graz

Graz, November 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die die Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit ermöglicht und gefördert haben.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr. Heinz Stigler für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation verfassen zu können. Zudem möchte ich mich bei Herrn Dr. Christoph Gutschi für seine fachliche Kompetenz, seine hilfreichen Anregungen, Unterstützungen und Gesprächsbereitschaft herzlich bedanken.

Schlussendlich möchte ich mich noch bei allen Personen bedanken, die mich beim Verfassen der Diplomarbeit unterstützt haben, allen voran die MitarbeiterInnen des Instituts für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation sowie alle DiplomandInnen und Studien KollegInnen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

Kurzfassung

Eine ausgewogene und sichere Energieversorgung stellt die Grundlage unserer wirtschaftlichen Aktivitäten und somit unseres Wohlstandes dar. Globale, europäische und nationale Rahmenbedingungen ändern sich infolge des weltweit steigenden Energiebedarfs, Verfügbarkeitsproblemen bei Rohstoffen, Klimaschutzanforderungen und politischen Vorgaben. Seit einigen Jahren ist deshalb die Energiewirtschaft weitreichenden Änderungen ausgesetzt. Als Reaktion auf die geänderten Rahmenbedingungen werden eine Vielzahl an Möglichkeiten diskutiert, um den Herausforderungen begegnen zu können. Der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist ein wesentlicher Schritt, um auf die Endlichkeit fossiler Energieträger zu reagieren sowie der damit verbundenen CO₂-Problematik entgegen zu wirken. Gleichzeitig entstehen durch das fluktuierende Dargebot der regenerativen Energien neue Anforderungen an die Struktur der Energiebereitstellung und Energieversorgung. Die südosteuropäischen Elektrizitätswirtschaften sind durch vergleichsweise hohe Stromverbrauchszuwachsraten und einen veralteten Kraftwerkspark gekennzeichnet. Beträchtliche Investitionen werden zukünftig erforderlich sein, um die steigende Differenz zwischen dem wachsenden Strombedarf und den außer Betrieb gehenden Kraftwerken auszugleichen. Hinzu kommt die Ungewissheit über die Umsetzung der Klimaziele und der damit zusammenhängenden Behandlung der Emissionsrechte. Andererseits ist Südost-Europa sehr reich an erneuerbaren Energien, welche bis jetzt nur wenig oder gar nicht genutzt worden sind. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, das Potential von erneuerbaren Energien in Südost-Europa zu untersuchen und die mögliche Stromerzeugung aus diesen Quellen zu modellieren. Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Länder untersucht: Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Mazedonien, Montenegro, Serbien (mit Kosovo) und Slowenien. Das gesamte technische Jahrespotential der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung ist riesig: Bosnien 25.400 GWh, Kroatien 21.000 GWh, Mazedonien 8.500 GWh, Montenegro 9.000 GWh, Serbien 36.400 GWh und Slowenien 8.300 GWh. Von dem gesamten Potential wird derzeit mit 39% das Wasserkraftpotential am besten genutzt. Windkraft wird nur in Kroatien verwendet, das Land nutzt ca. 1% des technischen Potentials. Sonnenkraft wird zurzeit mit Ausnahme einiger Pilotprojekte nicht zur Stromerzeugung verwendet. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird im letzten Schritt der Arbeit auf monatlicher Basis eine Korrelationsanalyse zwischen der möglichen Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien und dem durchschnittlichen Stromverbrauch durchgeführt. Theoretisch könnten die Jahresstromverbräuche in den meisten Ländern mit den erneuerbaren Energien abgedeckt werden. Diese Prozentwerte bewegen sich von 66% in Slowenien bis 225% in Bosnien. Unter Berücksichtigung der gesamten ökonomisch-politischen

Kurzfassung

Situation in diesem Teil des Europas ist es nicht realistisch in den nächsten 5 bis 10 Jahren eine hohe Potentialausschöpfung zu erwarten. Dennoch wird in kleinerem Rahmen in Wasserkraft und Windkraft investiert.

Abstract

A balanced and secure energy supply is the basis of our economic activities and therefore represents our prosperity. Global, European and national conditions change remarkably worldwide because of increased energy demand, availability problems in raw materials, climate protection requirements and policy guidelines. Therefore the energy sector is exposed to major changes in the last years. In response to the changed conditions a variety of ways to address the challenges will be discussed. The development of electricity generation from renewable energy sources is an essential step to respond to the exhaustion of fossil fuels and interact with its associated CO₂ problem. At the same time the feed-in of electricity from fluctuating renewable sources leads to new challenges for the power supply system. The electricity industries in Southeast Europe are characterized by comparatively high electricity consumption growth rates and an aging power plant fleet. Significant investments will be necessary in the future to offset the difference between electricity demand growth and the decommissioning of power plants. Additionally there is a high uncertainty about the implementation of the climate targets and the related treatment of emission rights. On the other hand the region of Southeast Europe is very rich in renewable energies, which have not been harvested much until now. Thus the object of this paper is to investigate the potential of renewable energy in Southeast Europe and to model the potential power generation from these sources. In this work the following countries are investigated: Bosnia and Herzegovina, Croatia, Macedonia, Montenegro, Serbia (including Kosovo) and Slovenia. The overall technical potential of renewable energies is huge: 25,400 GWh in Bosnia, 21,000 GWh in Croatia, 8,500 GWh in Macedonia, 9,000 GWh in Montenegro, 36,400 GWh in Serbia and 8,300 GWh in Slovenia. Of the overall potential, the hydropower potential is currently the most used with 39%; the wind power potential is only used in Croatia, with approximately 1% of the total technical potential in the country. At the moment, solar power is not used for the production of electricity, with the exception of some pilot projects. Based on these findings a correlation analysis between the potential energy production from renewable sources and power consumption is presented per month in the last chapter of the work. Theoretically, the annual electricity consumption in most countries could be covered by renewable energies. These percentages range from 66% in Slovenia to 225% in Bosnia. Taking into account the entire economic and political situation in this part of Europe, it is not realistic to expect major investments in the use of renewable power generation in the next 5-10 years. Nevertheless there is a steady development in hydropower and wind power projects.

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation und zentrale Fragestellung	1
2. Grundlagen.....	3
2.1. Potentiale der erneuerbaren Energien	3
2.2. Nachhaltige Energieversorgung.....	4
2.2.1. Allgemeines	4
2.2.2. Der Beitrag von erneuerbaren Energien zur Nachhaltigkeit.....	5
2.3. Dargebotsabhängigkeit der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern	6
2.4. Technische Herausforderungen durch neue Strukturen in der Elektrizitätsversorgung	6
2.4.1. Das System der elektrischen Energieversorgung	7
2.4.2. Neue Strukturen in der Energieversorgung	8
2.5. Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Leistungscharakteristiken von regenerativen Energien	9
2.6. Der Einfluss des Wetters auf die Energieversorgung.....	10
3. Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	12
3.1. Stromerzeugung aus Windkraft	12
3.1.1 Windenergie.....	12
3.1.2. Entstehung von Winden	13
3.1.3. Globale Winderscheinungen	14
3.1.4. Lokale Winderscheinungen	14
3.1.5. Die Windkraftanlage	14
3.1.5.1. Historische Entwicklung und Bauformen.....	14
3.1.5.2. Rotoren mit vertikaler Drehachse.....	15
3.1.5.3. Windkraftanlagen mit horizontaler Achse.....	15
3.1.6. Funktionsweise der Windenergiegewinnung	16
3.1.6.1. Physikalische Grundlagen	16
3.1.6.2. Die Leistungskennlinie.....	19

3.2. Stromerzeugung aus Wasserkraft	20
3.2.1. Der Wasserkreislauf.....	20
3.2.2. Die Wasserkraft	21
3.2.3. Definition der Wasserkraftpotentiale.....	21
3.2.3.1. Theoretisches Potential	21
3.2.3.2. Technisches Potential.....	22
3.2.3.3. Wirtschaftliches Potential.....	22
3.2.3.4. Ausschöpfbares Potential	22
3.2.4. Typen von Wasserkraftwerken	22
3.2.4.1. Fluss- und Laufwasserkraftwerke	22
3.2.4.2. Speicherkraftwerke	23
3.2.4.3. Pumpspeicher-kraftwerk	23
3.2.4.4. Gezeiten-kraftwerke.....	23
3.2.5. Physikalische Grundlagen.....	24
3.3. Geothermie.....	25
3.3.1. Geothermische Verfahren	26
3.3.2. Geothermale Nutzungsarten	26
3.3.3. Stromproduktion.....	26
3.4. Sonnenenergie	27
3.3.1. Photovoltaik	29
3.3.2. Das Prinzip des Photovoltaik.....	29
4. Südost-Europa	31
4.1. Geographie und Klima.....	31
4.2. Politische und wirtschaftliche Situation in Südost-Europa und deren Auswirkungen auf den Energiesektor	32
4.3. Bosnien und Herzegowina.....	33
4.3.1. Geographie und Klima	33
4.3.2. Wasserkraftpotential in BIH.....	35
4.3.3. Windpotential in BIH.....	36

4.3.4 Das Potential der Sonnenenergie in Bosnien und Herzegowina.....	39
4.4. Kroatien.....	41
4.4.1. Geographie und Klima	41
4.4.2. Wasserkraftpotential in Kroatien.....	42
4.4.3. Windpotential in Kroatien	43
4.4.4. Das Potential der Sonnenenergie in Kroatien.....	45
4.5. Montenegro	46
4.5.1. Geographie und Klima	46
4.5.2. Wasserkraftpotential in Montenegro	48
4.5.3. Windpotential in Montenegro.....	49
4.5.4. Das Potential der Sonnenenergie in Montenegro	52
4.6. Mazedonien.....	54
4.6.1. Geographie und Klima	54
4.6.2. Wasserkraftpotential in Mazedonien.....	55
4.6.3 Windpotential in Mazedonien	56
4.6.4. Das Potential der Sonnenenergie in Mazedonien.....	58
4.7. Serbien.....	59
4.7.1. Geographie und Klima	59
4.7.2. Wasserkraftpotential in Serbien.....	61
4.7.3. Windpotential in Serbien	61
4.7.4. Das Potential der Sonnenenergie in Serbien.....	64
4.7.5. Komplementaritätsregime von Energieressourcen Sonne und Wind in Serbien	66
4.8. Slowenien.....	68
4.8.1 Geographie und Klima	68
4.8.2 Wasserkraftpotential in Slowenien	69
4.8.3 Windpotential in Slowenien	70
4.8.4 Das Potential der Sonnenenergie in Slowenien.....	71
5. Analyse und Modellierung der möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.....	73
5.1. Analyse der bestehenden Kraftwerksparks.....	73

5.2. Analyse des Wasserkraftpotentials	73
5.3. Analyse des Windkraftpotentials	74
5.4. Analyse des Solarpotentials	75
5.5. Analyse des Stromverbrauchs	76
5.6. Korrelationsanalyse zwischen möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und tatsächlichem Stromverbrauch	78
5.6.1. Bosnien und Herzegowina	79
5.6.2. Kroatien	80
5.6.3. Mazedonien	81
5.6.4. Montenegro.....	82
5.6.5. Serbien	83
5.6.6. Slowenien	84
5.7. Ergebnisse und Schlussfolgerung	85
5.7.1. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft.....	88
5.7.2. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft.....	89
5.7.3. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft.....	90
6. Zusammenfassung	91
7. Verzeichnisse	93
7.1. Abkürzungsverzeichnis.....	93
7.2. Abbildungsverzeichnis.....	94
7.3. Tabellenverzeichnis.....	96
7.4. Literaturverzeichnis	98
8. Anhang	103

1. Motivation und zentrale Fragestellung

Aktuelle Entwicklungen auf den internationalen Energiemärkten in Zusammenhang mit der Verknappung bei gleichzeitig weltweit steigender Nachfrage fossiler Brennstoffe sowie der Belastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen¹ bedingen neue Herausforderungen für Forschung und Entwicklung am Energiesektor. Dezentrale Energiesysteme und erneuerbare Energieformen können wesentliche Beiträge zur Bewältigung der resultierenden Aufgaben leisten. Als eine erneuerbare Energieform von grundsätzlich hoher Nachhaltigkeit wird die Wind- und Wasserenergie aller Voraussicht nach einen festen Bestandteil künftiger Energiesysteme bilden.

Es ist erklärtes Ziel europäischer Politik, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung zu erhöhen. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien ändert sich jedoch nicht nur der Primärenergiemix, sondern auch die Struktur des gesamten Energiesystems, mit einem zunehmenden Anteil dezentraler Anlagen, die in erster Linie an das Stromverteilungsnetz (Mittel- und Niederspannungsnetz) angeschlossen sind.

Erneuerbare Energieträger werden gegenwärtig innerhalb der Europäischen Union (auch in südeuropäischen Ländern) ungleichmäßig und in unzureichender Weise genutzt. Obwohl viele erneuerbare Energieträger in großen Mengen verfügbar sind, ist trotz ihres beträchtlichen wirtschaftlichen Potentials der Anteil der erneuerbaren Energieträger am gesamten Bruttoinlandsenergieverbrauch der Europäischen Union mit weniger als 6% äußerst gering (vgl. EUROSTAT, 2009). Dieser Prozentsatz ist in den Ländern Südosteuropas noch geringer. Erneuerbare Energiequellen sind heimische Energiequellen, die dazu beitragen können, die Abhängigkeit von Energieimporten zu verringern und somit die Versorgungssicherheit zu verbessern. Die Abhängigkeit der EU von Energieeinfuhren liegt bereits bei 50%. Wenn keine geeigneten Maßnahmen eingeleitet werden, ist davon auszugehen, dass sie im Jahre 2020 70% erreichen wird (vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2009). Dies gilt besonders für Erdöl und Erdgas. Sie werden verstärkt aus Ländern importiert, die weit von der EU entfernt sind, was in vielen Fällen mit geopolitischen Risiken und Kriegsgefahr verbunden

¹ Treibhausgase sind strahlungsbeeinflussende gasförmige Stoffe in der Luft, die zum Treibhauseffekt beitragen und sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung haben können.

ist. Deshalb wird der Versorgungssicherheit immer größere Aufmerksamkeit gewidmet. Als heimische Energieträger spielen die erneuerbaren Energieträger eine wichtige Rolle bei der Reduzierung der Energieimporte, was mit positiven Auswirkungen auf die Handelsbilanz und die Versorgungssicherheit verbunden ist.

Unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen stellen die höheren Anfangsinvestitionskosten das Haupthindernis einer verstärkten Nutzung bestimmter erneuerbarer Energieträger dar. Obwohl die relativen Kosten bei vielen erneuerbaren Energieträgern sinken, stehen ihrem Einsatz nach wie vor häufig die Anfangsinvestitionskosten im Wege, die in vielen Fällen höher sind als bei fossilen Brennstoffen, obwohl bei der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern, mit Ausnahme der Biomasse, keine laufenden Brennstoffkosten anfallen.

Die Länder Südosteuropas² haben sehr günstige Bedingungen für die Nutzung von erneuerbaren Energien. Dieses Potential wird bis jetzt nur wenig oder gar nicht genutzt. In dieser Diplomarbeit werden das theoretische und technische Potential von Wasserkraft, Windkraft sowie von Sonnenstrahlung untersucht und mögliche Stromerzeugung aus diesen Energiequellen modelliert.

² Südost-Europa: Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Mazedonien, Montenegro, Serbien, Slowenien

2. Grundlagen

2.1. Potentiale der erneuerbaren Energien

Im ersten Kapitel werden grundlegende Definitionen und Begriffe zum Bereich erneuerbaren Energien erklärt sowie diverse Vorteile, Nachteile und Probleme angeführt, welche bei der Integration von erneuerbaren Energien ins Elektrizitätsversorgungssystem auftreten könnten. Die Informationen dieses Abschnittes stammen, so nicht anders beschrieben, aus vom deutschen Umweltministerium (BMU, 2009).

Auf unserer Erde existiert ein großes Angebot an unerschöpflichen Energieströmen, mit dem prinzipiell ein Vielfaches unseres Energiebedarfs, ohne Rückgriff auf fossile Energieressourcen³, gedeckt werden kann. Zur Verfügung stehen uns auf den Kontinenten eingestrahlte Solarenergie, die kinetische Energie des Windes, Energie der Meereswellen und der Meeresströmungen, die potentielle Energie des Wassers, die geo-thermische Energie, die Wärmeenergie der Meere sowie die jährlich nachwachsende Biomasse. Diese Energiemenge entspricht etwa dem 3.000-fachen des derzeitigen jährlichen Weltenergieverbrauchs (Bührke, 2010). Aus diesem physikalischen Potential erneuerbarer Energien können sich die technischen Nutzungspotentiale ableiten, welche die möglichen Energieerträge in einer für den Endverbraucher nutzbaren Form (Nutzwärme verschiedener Temperatur, Elektrizität und Brenn- oder Treibstoffe) bereitstellen.

Bei der Ermittlung technischer Potentiale sind verschiedene Kriterien zu beachten: Grenzen für Wirkungsgrade, Anlagengrößen und technische Entwicklungspotentiale der derzeit vorhandenen oder in absehbarer Zeit verfügbaren Nutzungstechniken. Die wichtigsten Restriktionen für die Bestimmung des technischen Potentials der erneuerbaren Energie sind:

- **Strukturelle Restriktionen**, wie Nutzungseinschränkungen infolge der Ortsgebundenheit (z.B. Erdwärme), ein begrenzter Transportradius (z.B. Biomasse), die Verfügbarkeit von Flächen oder Konkurrenznutzungen (z.B. Kollektoren, Solarzellen, Energiepflanzen-

³ Als fossile Energieträger werden die in der erdgeschichtlichen Vergangenheit entstandenen Brennstoffe bezeichnet. Dazu zählen Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erdgas und eventuell auch Torf. Hauptbestandteil ist immer der Kohlestoff, der bei der Verbrennung zu Kohlendioxid umgewandelt wird. (www.energiesparhaus.at-21.09.2010)

anbau), eine nicht-vorhandene Infrastruktur (z.B. fehlende Wärmenetze), begrenzte Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Energiedargebots (z.B. Strom aus fluktuierenden Quellen wie Windkraft oder Solarstrahlung)

- **Ökologische Restriktionen** hinsichtlich der Flächenbeanspruchung (z.B. Windenergie), der Beeinträchtigung von Fließgewässern (z.B. Wasserkraft) und Landschaftsbildern (z.B. Windenergie)

Unter Berücksichtigung dieser Restriktionen sind von den natürlichen Energieströmen nur wenige Promille (Solarstrahlung, Wind und Wasser) bis Prozente (Biomasse) energetisch nutzbar. Das global insgesamt technisch nutzbare Potential der erneuerbaren Energien liegt aber selbst bei strengen Restriktionen in der Größenordnung des Sechsfachen des derzeitigen weltweiten Bedarfs an End-Energie. Etwa zwei Drittel davon stellt die Strahlungsenergie der Sonne.

Man kann also Folgendes feststellen: Das technische Potential der einzelnen erneuerbaren Energiequellen variiert räumlich sehr stark. Nicht in jedem Land ist jede Energiequelle verfügbar. Je breiter das Angebot der genutzten Energiequellen und Technologien ist, wie z.B. von Sonnenenergie, Wasser-, Windkraftkraft, Geothermie und Biomasse, desto besser können regionale Defizite bei einer Energiequelle durch Potentiale anderer Energiequellen ausgeglichen werden.

2.2. Nachhaltige Energieversorgung

2.2.1. Allgemeines

Der Begriff "nachhaltige Entwicklung" ist seit etwa zwei Jahrzehnten in Diskussion, wenn es um einen freundlichen Umgang mit unserer natürlichen Umwelt geht, um eine gleichmäßige Verteilung des Wohlstands in der Welt und um eine humane Gestaltung der Lebensgrundlagen für alle Menschen geht. Nachhaltigkeit umfasst somit ökologische, ökonomische und soziale Aspekte, die stets gemeinsam und in ihrer Wechselwirkung betrachtet werden müssen.

„Nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der heutigen Generationen, ohne die Fähigkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihre eigenen Lebensstile zu wählen.“ (BMU-Erneuerbare Energieinnovationen für die Zukunft, 2009)

Für diese nachhaltige Entwicklung spielt Energie eine zentrale Rolle.

„Die Energienutzung ist nachhaltig, wenn sie eine ausreichende und dauerhafte Verfügbarkeit von geeigneten Energieressourcen sicherstellt und zugleich die negativen Auswirkungen von Energiebereitstellung, -transport und -nutzung begrenzt.“ (BMU-Erneuerbare Energieinnovationen für die Zukunft, 2009)

Das derzeitige Energiesystem weist zahlreiche Nachhaltigkeitsdefizite auf, insbesondere im ökologischen Bereich. Es basiert auf fossilen Energieträgern, deren Reserven begrenzt sind. Es belastet Atmosphäre, Böden und Gewässer mit Schadstoffen und Treibhausgasen. Erneuerbare Energien produzieren keine klimaschädlichen Schadstoffen und Treibhausgase, deswegen kann gesagt werden, dass erneuerbare Energien daher nicht nur Ressourcen-, sondern auch klimaverträglich sind. Der Beitrag der erneuerbaren Energien zum Klimaschutz ist damit viel größer als ihr Anteil am Energieverbrauch.

2.2.2. Der Beitrag von erneuerbaren Energien zur Nachhaltigkeit

Erneuerbare Energien leisten einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz und verhindern den Ausstoß von CO₂ sowie anderen Schadstoffen in die Atmosphäre. Ein weiterer erheblicher Vorteil von erneuerbaren Energien ist die Diversifizierung von der Rohstoffvielfalt, denn sie machen unabhängig von fossilen Rohstoffen und tragen so zur Versorgungssicherheit und zur Vermeidung von potentiellen Rohstoffkonflikten bei.

Noch eine wichtige Eigenschaft von erneuerbaren Energieanlagen ist, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer einfach abgebaut und recycelt werden. Sie sind keine strahlende Altlast, wie beispielsweise Atomkraftwerke und Kohlegruben. Erneuerbare Energien sind vielfach heimische Energieträger, die zur regionalen Wertschöpfung beitragen und zudem Arbeitsplätze sichern. Ein besonderes Kennzeichen erneuerbarer Energien stellt die große Zahl der einsetzbaren Energiequellen und Technologien sowie der enorme darstellbare Leistungsbereich von wenigen Watt bis zu Hunderten von Megawatt Einheitsleistung dar. Sie können sowohl an jegliche Art der erforderlichen Energiedienstleistung angepasst werden als auch in enger Verzahnung mit modernen Energietechniken zur Nutzung fossiler Energien die erforderliche Versorgungssicherheit zu jeder Zeit und an jedem Ort gewährleisten.

2.3. Dargebotsabhängigkeit der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern

Dieses einführende Kapitel basiert im Wesentlichen auf den Inhalten der Vorlesung zu den Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft von Heinz Stigler, gehalten an der Technischen Universität Graz im Wintersemester 2007. (vgl. Skriptum zur Vorlesung Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft, 2007)

Bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wie Wasserkraft, Windkraft und Solarenergie, spielt das Problem der Dargebotsabhängigkeit dieser regenerativen Energieträger eine große Rolle. Die Leistungsbereitstellung bei einem regenerativen Energieträger ist höchst unterschiedlich. Eine stark fluktuierende Charakteristik weisen besonders die Windkraft und die Sonnenenergie auf, mit stochastischen Schwankungen bei der Windkraft und beim Wolkendurchgang im Fall der Sonnenenergie. Problematisch sind die Erträge vor allem im Kurzzeitbereich, der typische jahreszeitliche Verlauf beider Ressourcen und der Tagesgang der Sonne sind hingegen mehr oder weniger regelmäßige Fluktuationen. In Südost-Europa sind im Winter ein stark reduziertes Strahlungspotential und ein deutlich erhöhtes Windkraftpotential gegenüber den Sommermonaten zu verzeichnen. Laufwasserkraftwerke haben ebenfalls typische jahreszeitliche Zyklen, sie zeigen aufgrund der Schneeschmelze ein deutliches Erzeugungsmaximum im Frühjahr und Frühsommer. Speicherkraftwerke dienen als Ergänzung zur saisonalen Erzeugung der Laufkraftwerke, um kurzfristig Spitzenleistung bzw. Reserveenergie zur Verfügung zu stellen. Geothermie-Kraftwerke und Biomasse-Kraftwerke können konstant im Grundlastbetrieb wie andere Kraftwerke, die fossile Energieträger nutzen, betrieben werden. Über die jahreszeitlichen Zyklen hinaus kann das Energieangebot aus regenerativen Energien auch von Jahr zu Jahr unterschiedlich sein. So können beispielsweise Trockenjahre geringe Erträge bei der Biomasse und Wasserkraft zur Folge haben, auf der anderen Seite aber hohe Erträge aus der Sonnenenergie liefern.

2.4. Technische Herausforderungen durch neue Strukturen in der Elektrizitätsversorgung

Veränderungen in der Struktur der Elektrizitätserzeugung durch die verstärkte Netzintegration kleiner dezentraler Einheiten und insbesondere die deutliche Zunahme dargebotsabhängiger Einspeisungen aus erneuerbaren Energieträgern mit fluktuierender Erzeugungscharakteristik könnten beträchtliche Auswirkungen auf die Struktur und Stabilität des Systems der

Elektrizitätsversorgung haben. Im nächsten Unterkapitel werden diese mögliche Auswirkungen und die Gegenmaßnahmen näher beschrieben (BMU, 2009).

2.4.1. Das System der elektrischen Energieversorgung

Das System der elektrischen Energieversorgung besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: Kraftwerke (Erzeugung), Netze (Übertragung) und Verbraucher. Diese Komponenten können, da sie miteinander verbunden sind, als technische Einheit betrachtet werden. Ihre Koppelung und weitere Eigenschaften der Energiesysteme führen zu einer direkten und engen Wechselwirkung der Komponenten. Verbrauchsänderungen wirken sofort auf die Netzstabilität und die Elektrizitätserzeugung zurück. Während kurzzeitige und geringe Abweichungen vom Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch vergleichsweise kleine und tolerable Auswirkungen auf den Verbraucher mit sich bringen, können größere Abweichungen umfangreiche Versorgungsausfälle und damit verbundene Zerstörungen von technischen Einrichtungen bewirken. Aus diesem Grunde müssen Erzeugung und Verbrauch jederzeit ausgeglichen werden, wobei je nach Zeitdauer und Höhe der Schwankung unterschiedliche Verfahren zum Einsatz kommen (z.B. Primärregelung⁴, Sekundärregelung⁵).

Der Gesamtbedarf an elektrischer Energie ist einer Vielzahl verschiedener, zum Großteil zyklischer Schwankungen ausgesetzt. Diese Schwankungen sind hauptsächlich durch die menschlichen Lebensgewohnheiten und Verhaltensweisen sowie die betrieblichen Erfordernisse von Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft bestimmt. Diese sind wiederum beispielsweise von arbeitswelttypischen Abläufen und von jahreszeitlichen Besonderheiten beeinflusst. Die Dauer der Zyklen kann von einem Jahr bis zu Sekunden reichen, wobei wegen der Größe der Variation und des damit verbundenen Leistungsbedarfs die täglichen Schwankungen die bedeutendsten sind. Auf den Verbrauch man kann heutzutage nur in begrenztem Umfang Einfluss nehmen, deswegen wird die Bereitstellung von elektrischer

⁴ Die Primärregelung dient dazu, Ungleichgewichte zwischen physikalischem Leistungsangebot und -nachfrage im gesamten europäischen Verbundnetz, genauer im Synchrongebiet des ENTSO-E, auszugleichen, mit dem Ziel der Wiederherstellung einer stabilen Netzfrequenz. Jeder Netzbetreiber innerhalb des Verbundnetzes muss innerhalb von 30 Sekunden zwei Prozent seiner momentanen Erzeugung als Primärregelreserve zur Verfügung stellen.

⁵ Die Sekundärregelung hat ebenfalls die Aufgabe, das Gleichgewicht zwischen physikalischem Stromangebot und -nachfrage nach dem Auftreten einer Differenz wieder herzustellen. Im Gegensatz zur Primärregelung wird hier nur die Situation in der jeweiligen Regelzone inklusive des Stromaustausches mit anderen Regelzonen betrachtet.

Energie in den derzeitigen Versorgungssystemen den Verbrauchsanforderungen angepasst, d.h. die Betriebsführung erfolgt nachfrageabhängig. In den Elektrizitätsversorgungsnetzen sind derzeit keine nennenswerten direkten Speicherkapazitäten vorhanden, darum muss die von den Verbrauchern angeforderte elektrische Leistung jederzeit von den Kraftwerken gedeckt werden können. Diese Anforderungen müssen auch bei der Entwicklung der Kraftwerksstruktur, der Planung der Netze und der Installation berücksichtigt werden.

2.4.2. Neue Strukturen in der Energieversorgung

Die Struktur der elektrischen Energieversorgung ist durch den schnell wachsenden Beitrag der erneuerbaren Energien und die zunehmende Dezentralisierung in einem komplizierten Umstrukturierungsprozess.

Alle genannten Bedingungen und zu erwartende Veränderungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Planung künftiger Netzstrukturen. Die zunehmende Integration fluktuierender erneuerbarer Energien erfordert einerseits einen stark zunehmenden Bedarf an Speicher in den Netzen, andererseits wird ein intensiver Ausbau des regionalen und grenzüberschreitenden transeuropäischen Netzes erforderlich. Die künftigen Netzstrukturen müssen eine Reihe von Bedingungen erfüllen. Das Stromnetz muss folgende Kriterien erfüllen:

- Flexibilität gegenüber den Anforderungen der Stromverbraucher und den zu erwartenden Veränderungen
- Zugänglichkeit für erneuerbare Energien und dezentrale Erzeugungseinheiten
- Zuverlässigkeit in Bezug auf die Erhaltung bzw. Verbesserung der Sicherheit und Qualität der Stromversorgung
- Wirtschaftlichkeit

Daraus ergeben sich folgende neuen Anforderungen:

- Entwicklung innovativer Ansätze und Netzkomponenten, die eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz im Netz ermöglichen
- Harmonisierung von Regelwerken zur Vereinfachung des grenzüberschreitenden Austausches von elektrischer Energie

- Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechniken zur Optimierung des Netzbetriebs und zur Nutzung neuer innovativer Dienstleistungen
- Sicherstellung des Zusammenwirkens von alten und neuen Netzstrukturen

Die bestehende Netzarchitektur ist durch einen gleichgerichteten Lastfluss von der Höchstspannungsebene über die Mittelspannungsebene in die Verteilungsnetze gekennzeichnet. Die Zahl der aktiven Elemente nimmt in Richtung der Verteilungsnetze stetig ab. In Zukunft sind weitere Änderungen insbesondere auf der Nachfrageseite (z.B. Elektrifizierung des Verkehrs, zunehmender Anteil elektronischer Lasten) und die verstärkte Integration fluktuierender erneuerbarer bzw. dezentraler Stromerzeuger zu erwarten. Deswegen werden in den nächsten Jahren erhebliche Investitionen in den weiteren Ausbau und in eine Neuausrichtung bis hin zur Realisierung einer robusten transeuropäischen Netzarchitektur notwendig sein. Der grenzüberschreitende Handel von elektrischer Energie unter Einbeziehung der Reserveleistung wird zunehmen. Die Zahl der aktiven Elemente, die an Verteilungsnetze angeschlossen sind (z. B. intelligente Zählsysteme auf der Basis von Smart Meter⁶) wird sich in nächsten paar Jahren erheblich vergrößern. Dies betrifft auch die Zahl steuerbarer dezentraler Erzeugungseinheiten mit weit reichenden Konsequenzen auf die Regelung und Steuerung der gesamten Netzstruktur.

Ein wesentlicher Schwerpunkt wird die Entwicklung von neuen Komponenten sein: Systeme zur Leistungsflusskontrolle, Phasenschiebertransformatoren, Hochspannungsgleichstromsysteme, flexible Wechselspannungssysteme (FACTS).

2.5. Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Leistungscharakteristiken von regenerativen Energien

Laufwasser-, Geothermie- und Biomasse-Kraftwerke sind in ihrem Leistungsverhalten gut bekannt bzw. können analog zu konventionellen fossilen Kraftwerken betrachtet werden, d.h. sie dürften ohne Probleme in die bestehenden technischen Strukturen integrierbar sein. Neue Herausforderungen für die Elektrizitätsversorgung entstehen vor allem aus einem verstärkten

⁶ Ein intelligenter Zähler (auch *Smart Meter* genannt) ist ein elektronischer Stromzähler, der dem Energieversorgungsunternehmen über eingebaute Zusatzfunktionen oder nachträgliche Module ermöglicht, die erfassten Zählerstände über die Ferne auszulesen.

Ausbau von Windenergie und Photovoltaik, von denen ein erheblicher Beitrag zu einer zukünftigen Stromversorgung erwartet wird. Zahlreiche unterschiedliche Ansätze zur Anpassung der fluktuierenden Leistungscharakteristik von Windenergie und Photovoltaik an die Verbrauchernachfrage sind vorgeschlagen worden, bedürfen jedoch allesamt noch detaillierteren Untersuchungen. Einige von viele Möglichkeiten sind: Speichertechnologien, Nutzung unterschiedlicher regenerativer Energien, großflächige Nutzung regenerativer Energien, Gasturbine, Demand-Side-Management.

2.6. Der Einfluss des Wetters auf die Energieversorgung

Dieses Kapitel basiert im Wesentlichen auf der Studie „Der Einfluss von Wetter und Klima auf die Energieversorgung“ von Heinemann et al. an der Universität Oldenburg, am Institut für Physik, Arbeitsgruppe Energiemeteorologie.

Mit der schnellen Entwicklung der erneuerbaren Energien wächst die Bedeutung der Faktoren Wetter und Klima. Diese Faktoren waren bei der Nutzung von fossilen Energieträgern (Kohle, Öl und Gas) nur ein Randthema. Das räumlich und zeitlich schwankende Angebot der erneuerbaren Energieträger haben meteorologische Informationen zu einer Schlüsselrolle für einen wirtschaftlichen Einsatz dieser neuen Technologien werden lassen. Diesem Bedarf an Information stellt sich das neue interdisziplinäre Forschungsgebiet **Energiemeteorologie**. Ohne Zweifel werden erneuerbare Energien künftig in großem Umfang zur globalen Energieversorgung beitragen. Fossile Quellen sind in ihrer Menge deutlich begrenzt, aber ihre Leistung ist im Rahmen der installierten Kraftwerkskapazitäten nahezu beliebig verfügbar und bedarfsgerecht. Solar- und Windenergie dagegen zeigen keine praktische Begrenzung, ihre Leistung ist jedoch prinzipiell durch die natürlichen Schwankungen bestimmt. Präzise Informationen über das verfügbare Angebot aus Sonnen- und Windenergie für den Einsatz erneuerbarer Energien haben große Bedeutungen.

Für die Planung künftiger Solar- und Windkraftwerke an einem bestimmten Standort sind genaue Kenntnisse über die potentiell verfügbare Energie notwendig. Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlagen von erneuerbaren Energiequellen sind genaue Prognosen über das aktuelle Energieangebot erforderlich. Die zeitliche Verfügbarkeit von Energie ist ein wesentlicher wertbestimmender Faktor. Deswegen versucht die Energiemeteorologie, die Unsicherheiten durch die schwankenden Beiträge aus erneuerbaren Energien deutlich zu reduzieren, indem präzise Informationen über die zu erwartende Erzeugung bereitgestellt werden. Wind- und Sonnenstrahlungsvorhersagen im Bereich von ein bis drei Tagen basieren

durchwegs auf numerischen Wettervorhersagen, verwenden jedoch unterschiedliche Verfahren, die Ergebnisse dieser Wettermodelle in entsprechende Leistungen der Solar- und Windenergiesysteme zu übertragen.

Meteorologische Randbedingungen werden künftig die Energieversorgung stärker als bisher beeinflussen. Den Wert der aus den Energiequellen Solarstrahlung und Wind bereitgestellten Energie weiter zu erhöhen, ist das Ziel von Forschung und Entwicklung in der Energiemeteorologie (Annette, et al., 2008).

3. Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

3.1. Stromerzeugung aus Windkraft

Der Großteil der Informationen für dieses Kapitel wurde aus dem Buch Windkraftanlagen (Hau, 2008) und dem Skriptum Erneuerbare Energie (Bachhiesl, 2009) entnommen.

3.1.1. Windenergie

Es ist nicht überraschend, wie groß das Interesse an Windenergie ist, weil ihre Verwendung viele Vorteile hat. Windenergie ist erneuerbar und sauber. Sie belastet weder Luft noch emittiert sie Kohlendioxid und sie bringt keinen sauren Regen. Außerdem strahlt sie nicht und zerstört nicht die Ozonschicht, indem keine Abfälle zurückgelassen werden.

In der Welt ist das Windenergie-Potential, das technisch eingesetzt werden könnte, enorm (über 100.000 TWh/Jahr). Es ist um ein Vielfaches größer als das Wasserkraft-Potential (etwa 15.000 TWh/Jahr). Der Aufwärtstrend bei der Nutzung von Windenergie in der Welt ist erstaunlich.

Es sind weniger Bauarbeiten auf einem Standort von Windkraftanlagen erforderlich als bei herkömmlichen Stromerzeugungsanlagen, während sich gleichzeitig die Preise von einem installierten kW heute am Kohle-Kraftwerk annähern.

Um in der Lage zu sein, das technisch verwertbare Windenergie-Potential einer Region exakt zu bestimmen, ist es erforderlich, das genaue Histogramm der Windgeschwindigkeit auf der Höhe, in der sich die Windkraftanlage befindet, zu wissen. Falsche Einschätzungen eines der Parameter können zu einer Folge von Fehlern bei der Schätzung des Windenergie-Potentials führen. Eine Fehlerquote von 10% in der Geschwindigkeitsmessung führt zu einer falschen Berechnung der Windkraft von mehr als 30%. Fehler in der Schätzung der Windkraft sind kumulativ reflektierend auf die Schätzungen der elektrischen Energie, die jährlich aus Windkraft gewonnen werden können.

3.1.2. Entstehung von Winden

Die Bewegung von Luftmassen in der Atmosphäre wird als Wind wahrgenommen und hat verschiedene Ursachen. Die erste und wichtigste Ursache ist die Erwärmung der Erde durch die Sonne. Die Windenergienutzung ist deshalb eine indirekte Form der Sonnenenergienutzung. Die Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert und dann in die darüberliegende Atmosphäre zurückgegeben. Da die Erdoberfläche nicht homogen ist (Land, Wasser, Wüste, Wald usw.) variiert die Absorption der Sonnenenergie sowohl hinsichtlich der geographischen Verteilung als auch in Bezug auf die Tages- und Jahreszeit. Diese ungleichförmige Wärmeabsorption verursacht starke Unterschiede in der Atmosphäre, in Bezug auf die Temperatur, die Dichte und den Druck, sodass die dadurch entstehenden Kräfte die Luftmassen von einem Ort zum anderen in Bewegung setzen. Die tropischen Gebiete auf der Erde absorbieren während des Jahres viel mehr Sonnenenergie als die Polarregionen. Deswegen werden tropischen Gebiete wärmer und die Polargebiete kälter, was eine starke Konvektionsströmung zwischen diesen Gebieten verursacht. Die Rotation der Erde ist die zweite wichtige Ursache für den Wind. Die Erdrotation übt eine zweifache Wirkung auf die Windverhältnisse aus. Diese Erscheinung tritt v.a. in höheren atmosphärischen Schichten auf. An dieser Stelle wird auf eine genauere Betrachtung dieser Effekte verzichtet.

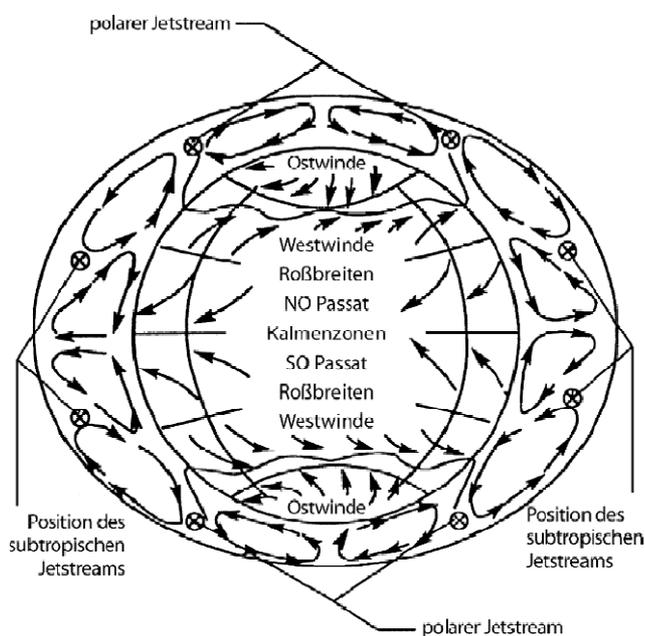


Abbildung 1: Globale Windströmungen (Hau, *Windkraftanlagen*, 2008a, S. 507)

3.1.3. Globale Winderscheinungen

Globale Winde lassen sich durch die unterschiedliche Sonneneinstrahlung, die Erdrotation und das Verhältnis zwischen Land- und Wassermassen erklären. Im Äquatorbereich zum Beispiel ist die Sonneneinstrahlung stärker als an den Polen, weshalb ein Energiegefälle entsteht, welches entsprechende Ausgleichsvorgänge zur Folge hat (sog. Planetarische Zirkulation). Neben der Sonneneinstrahlung gibt es auch noch andere Mechanismen, die eine Luftbewegung hervorrufen. Diese sind jedoch in der Regel für die Windkraftnutzung nicht ausschlaggebend, da sie in höheren atmosphärischen Schichten auftreten.

3.1.4. Lokale Winderscheinungen

Lokale Zirkulation wird durch die unterschiedliche Beschaffenheit der Erdoberfläche beeinflusst. So bilden sich beispielsweise Berg-Tal-Winde, See-Land-Winde oder Fallwinde (sog. katabische Winde). See-Land-Winde lassen sich dadurch erklären, dass sich Landmasse schneller aufwärmt als Wasser, daher also tagsüber ein Wind von der See zum Land weht. Nachtsüber kann sich aufgrund der besseren Wärmespeichereigenschaften der Wassermassen die Windrichtung umkehren. Windkraftwerke können bodennahe Winde nutzen, daher ist besonders der Einfluss des Bodens auf die Gleichmäßigkeit des Windes zu berücksichtigen. Hindernisse, wie z.B. Wohnsiedlungen, Wälder oder Sonstiges, bremsen und verwirbeln den Wind und machen ihn daher zur Nutzung in Windrotoren unbrauchbar. Eine Kennzahl ist die sog. Rauigkeitslänge z_0 , welche in Abhängigkeit der Erdoberfläche angibt, in welcher Höhe die Windgeschwindigkeit Null ergibt.

3.1.5. Die Windkraftanlage

Der zentrale Punkt der Windenergieumwandlung ist die Windkraftanlage. Windkraftanlagen sind Energiewandler. Unabhängig von Anwendung, Bauform oder konstruktivem Aufbau haben alle Windkraftanlagen die Wandlung der kinetischen Energien der bewegten Luftmasse in mechanische Rotationsenergie gemeinsam.

3.1.5.1. Historische Entwicklung und Bauformen

Die Nutzung der Windenergie durch den Menschen gibt es schon seit dem Altertum.. Über viele Jahrhunderte und zum Teil auch bis in die heutige Zeit waren "Windmühlen" neben Wasserrädern der einzige Antrieb für unterschiedliche mechanische Nutzungen. Windmühlen stellen die früheste Form von Windenergienutzung dar. Die erste Windmühle nach historischen

Quellen ist im Jahr 644 n. Chr. entwickelt worden und wurde seitdem kontinuierlich weiterentwickelt (vgl. Hau, 2008).

Die Nutzung von Windenergie zur Erzeugung elektrischen Stroms begann 1891 und geht auf den dänischen Professor Poul La Cour zurück. Er baute die erste experimentelle Windkraftanlage zum Antrieb eines Dynamos.

Es gibt zwei Arten von Windkraftanlagen: jene mit horizontaler und jene mit vertikaler Antriebsachse.

3.1.5.2. Rotoren mit vertikaler Drehachse

Windrotoren mit vertikaler Drehachse stellen die älteste Bauform dar. Die heutzutage gebräuchlichen Ausführungen von Vertikalläuferanlagen sind der Savonius-, der Darrieus- und der H-Rotor, welche in Abbildung 2 dargestellt sind.

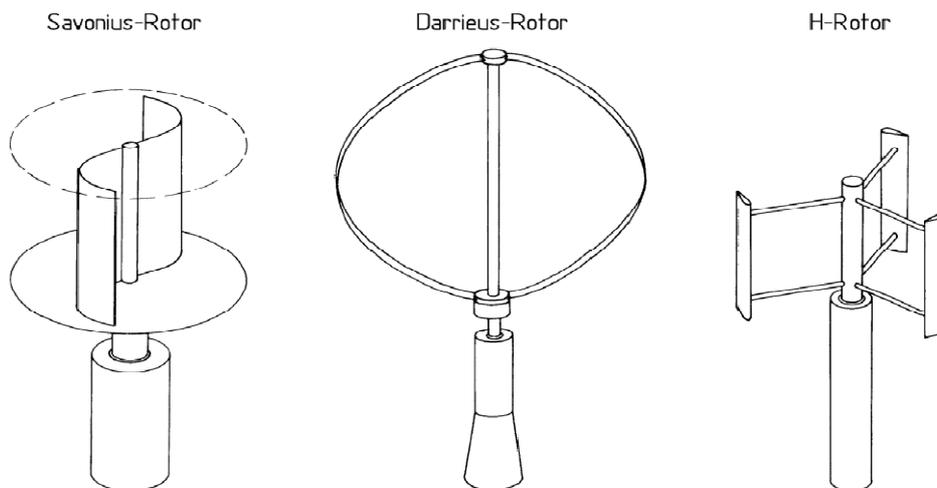


Abbildung 2: Vertikalbauformen von Windkraftanlagen
(Hau, 2008 S. 66)

3.1.5.3. Windkraftanlagen mit horizontaler Achse

Die moderne Windkraftanlage hat eine horizontal angeordnete Achse und besitzt einen Rotor nach dem aerodynamischen Prinzip mit drei Rotorblättern. Den schematischen Aufbau einer Horizontalachsen-Windkraftanlage zeigt Abbildung 3.

In der Triebwerksgondel befindet sich der Generator, der entweder als umrichter-gesteuerte Synchron- oder als doppelt gespeiste Asynchronmaschine ausgeführt ist und je nach Antriebskonzept über ein Getriebe verfügt. In Abbildung 3 ist eine Windkraftanlage mit horizontaler Laufachse nach heutigem Stand der Technik dargestellt. An dieser Stelle muss betont werden, dass je nach Hersteller von Windkraftanlagen die Gestaltung der Triebwerksgondel von Abbildung 3 abweichen kann.

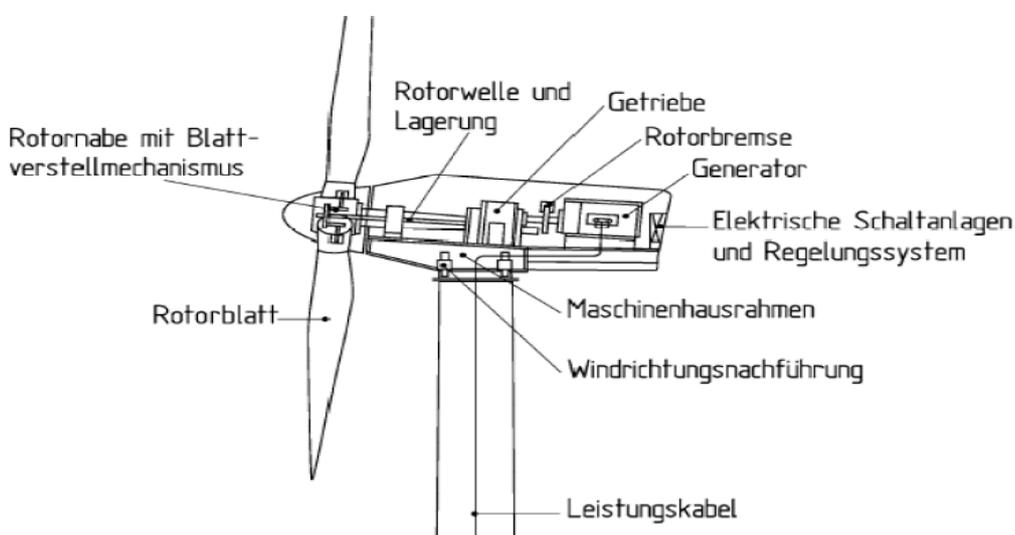


Abbildung 3: Triebwerksgondel einer heutigen Windkraftanlage
(Hau, 2008 S. 71)

3.1.6. Funktionsweise der Windenergiegewinnung

Im folgenden Unterkapitel wird die Funktionsweise der Windkraftanlagen erläutert. Die Wandlung der Windenergie in elektrischen Strom ist sehr komplex, vor allem im Bereich des Rotors. Diese Wandlungen bzw. der Prozess sind im folgenden Kapitel nicht exakt erklärt, sondern nur vereinfacht dargestellt.

3.1.6.1. Physikalische Grundlagen

Die in diesem Kapitel dargestellten Gleichungen entsprechen der Ausführung von (Hau, 2008). Wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben, ist Wind nichts anderes als bewegte Luft.

Mit dem Rotor wird Bewegungsenergie in mechanische Energie umgewandelt. Der Rotor ist über eine Welle mit dem Generator verbunden, welcher aus der mechanischen Energie elektrischen Strom erzeugt. Diese vereinfachten Umwandlungsprozesse werden im nächsten Unterkapitel mathematisch dargestellt.

Die kinetische Energie für ein bestimmtes Luftvolumen V mit einer Geschwindigkeit v und einer Masse m beträgt:

$$E_{Kin} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

Mit E_{Kin} kinetische Energie

mMasse

v Geschwindigkeit

Falls im betrachteten Zeitpunkt die Windgeschwindigkeit v konstant ist, ergibt sich die Leistung als Ableitung der Energie nach der Zeit:

$$P_{Kin} = \frac{\dot{m} \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Mit \dot{m} Massenstrom

Für diese vereinfachte Berechnung wird der Rotor als zweidimensionale Ebene angesehen. Mit A wird die Querschnittsfläche bezeichnet, die vom Rotor der Windkraftanlagen erfasst wird.

Die Gleichung für den Massenstrom \dot{m} ist:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \rho \cdot v \cdot A \quad (3)$$

Mit ρ Dichte

A Querschnittsfläche

\dot{V} Volumenstrom

Durch Einsetzen von GL. Nr. (3) in (2) ergibt sich eine Gleichung, welche die typische kubische Abhängigkeit der Leistung von Windgeschwindigkeit zeigt:

$$P_{\text{kin}} = \frac{\rho \cdot v \cdot A \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad (4)$$

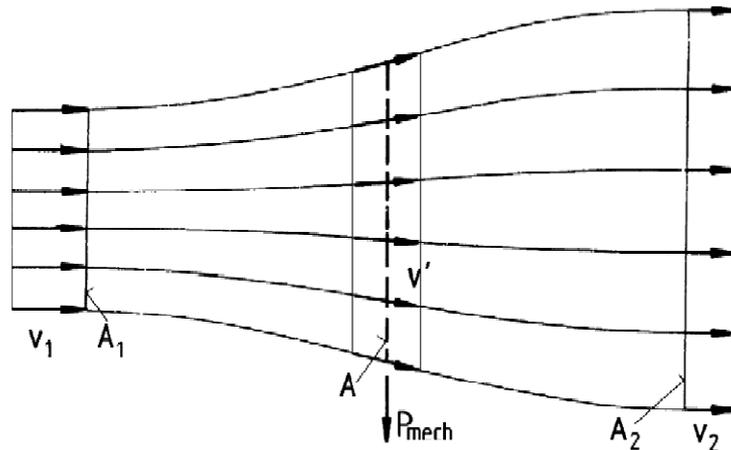


Abbildung 4: Strömungsverhältnisse am Rotor (die gestrichelte Linie stellt die Rotorebene dar) (Hau, 2008 S. 80)

Die mechanische Leistung am Rotor ist gleich der Differenz der Leistung vor und nach dem Rotor:

$$P_{\text{mech}} = \eta * (P_{\text{kin,vor}} - P_{\text{kin,nach}}) = \frac{\eta \cdot \rho}{2} * (A_1 * v_1^3 - A_2 * v_2^3) \quad (5)$$

Mit η Wirkungsgrad des Rotors (hier vereinfacht als konstant angenommen);

A_1, v_1 ... Wirkungsquerschnitt und Geschwindigkeit vor dem Rotor

A_2, v_2 ... Wirkungsquerschnitt und Geschwindigkeit nach dem Rotor

Aus Gleichung (5) könnte fälschlicherweise festgestellt werden, dass die entnommene Leistung maximal ist, wenn v_2 Null ist. Dieser Fall ist physikalisch nicht möglich, da die anströmende Luft nach dem Rotor wieder abtransportiert werden muss (Hau, 2008).

3.1.6.2. Die Leistungskennlinie

Die Leistungskennlinie einer Windkraftanlage zeigt den Verlauf der elektrischen Leistung, über die anströmende Windgeschwindigkeit. Sie besteht im Wesentlichen aus vier Phasen, die in Abbildung 5 skizziert sind.

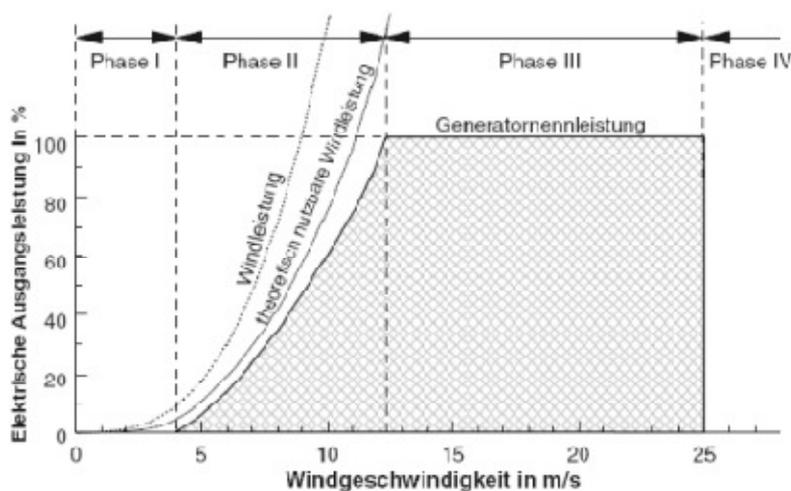


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Generatorleistung (Bachhiesl, 2009 S. 50)

Phase I: Ist die Windgeschwindigkeit kleiner als die sog. Einschaltgeschwindigkeit, läuft die Anlage nicht an. Die Leistung ist dementsprechend Null.

Phase II: In dieser Phase läuft der Konverter an und die abgegebene Leistung steigt proportional zu v^3 . In diesem Bereich treten nicht-lineare Reibungsverluste auf, bis die Nenngeschwindigkeit erreicht ist.

Phase III: Die Anlage ist auf die Nennwindgeschwindigkeit ausgelegt und darf daher, wenn überhaupt, nur kurzzeitig Windgeschwindigkeiten über der Nenngeschwindigkeit unregelt aufnehmen. Liegt die Windgeschwindigkeit über der Nenngeschwindigkeit und unterhalb der sog. Abschaltgeschwindigkeit so ermöglicht die Regelung eine konstante Leistungsabgabe.

Phase IV: Wird die Abschaltgeschwindigkeit überstiegen, müssen zum Schutz der Anlage Sicherheitsmechanismen die Anlage bremsen (mechanische, elektromagnetische Bremsen, Rotorblätter aus dem Wind drehen). Die Leistungsabgabe sinkt dann auf Null.

3.2. Stromerzeugung aus Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft ist schon seit Jahrhunderten eine bewährte Technik. Die Anfänge dieser Technik lassen sich auf 300 v. Chr. datieren. Der Einsatz von Wasserkraft zur Stromerzeugung hatte allerdings erst Ende des 19. Jahrhunderts seine Anfänge (vgl. Bürke, 2010).

3.2.1. Der Wasserkreislauf

Abbildung 6 zeigt den Wasserkreislauf unseres Planeten.



Abbildung 6: Der Wasserkreislauf

(Wasserkreislauf [Online]<http://www.ga.usgs.gov.edu.watersycle.html>, 2010)

Bei der Wasserkraft ist die Sonne der treibende Motor. Das Wasser des Meeres wird mit Hilfe der Sonne verdunstet, dabei bilden sich die Wolken (Wasserdampf). Die Wolken wandern mit Hilfe des Windes um die Erde und fallen als Regen, Schnee und Hagel wieder zu Boden (das Wasser kondensiert), wobei die meisten Niederschläge in Gewässer fallen. Das Wasser, das auf das Festland fällt, fließt durch Bäche, Flüsse, Seen und auch durch Biotope ins Meer. Ein Teil des Wassers versickert auch und bildet so das Grundwasser. Der Wasserkreislauf ist vom Klima, d.h. von Sonne, Temperatur, Wind und Wasserbestand, abhängig.

Naturgemäß fließen die Wassermassen, sofern sie können, oberirdisch (z.B. als Fluss) und unterirdisch (z.B. als Grundwasserströmung) wieder auf ein niedrigeres Potential zurück, wobei sie die gewonnene potentielle Energie in Form von Bewegung und Reibung wieder abarbeiten.

3.2.2. Die Wasserkraft

Wasserkraft oder Hydroenergie bezeichnet die Strömungsenergie von fließendem Wasser, welche durch geeignete Maschinen in mechanische Energie umsetzbar ist. Das Nutzen der Wasserkraft ist im Prinzip das Ausnutzen der potentiellen Energie des Wassers im Schwerefeld der Erde. Diese wird durch den Wasserkreislauf auf natürliche Weise erzeugt.

Die Wasserkraft nimmt weltweit die dritte Stelle in der Erzeugung von elektrischer Energie mit ca. 19% nach Kohle (40%) und Öl/Gas (24%) ein (vgl. IEA, 2008). Sie ist damit die wichtigste erneuerbare Energiequelle und leistet einen bedeutsamen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emission und somit zur Minderung der Gefahr einer globalen Klimaänderung.

Durch die Einwirkung der Sonne wird Wasser, wie im Wasserkreislauf beschrieben, auf ein höheres Energieniveau gehoben. Die Energieumwandlung selbst ist mit keinen oder nur geringen Umweltbelastungen verbunden. Der bei der Errichtung und dem Betrieb einer Wasserkraftanlage ohne Zweifel vorhandene erhebliche Eingriff in den Naturhaushalt kann bei sorgfältiger Planung und Berücksichtigung aller ökologischer Anfragen sehr abgemindert werden. Diese Energiequelle kann als nachhaltig angesehen werden. Die schnelle Bereitstellung der Energie aus Wasserkraft sowie deren wirtschaftliche Speicherung zeichnen darüber hinaus die Wasserkraft aus. Sie trägt insgesamt dazu bei, die elektrische Energie in großen Netzen wirtschaftlicher und sicherer bereitstellen zu können.

3.2.3. Definition der Wasserkraftpotentiale

Dieses Unterkapitel basiert im Wesentlichen auf Horlacher (Horlacher, 2007).

Zur Charakterisierung eines Gebietes oder eines Landes bezüglich seiner Wasserkraftmöglichkeiten ermittelt man sog. Wasserkraftpotentiale. Es wird zwischen dem theoretischen, dem technischen, dem wirtschaftlichen und dem ausschöpfbaren Potential unterschieden.

3.2.3.1. Theoretisches Potential

Als das theoretische Potential wird die potentielle Energie aller Gewässer eines Gebietes definiert, ohne dass physikalische, technische und wirtschaftliche Nutzungsgrenzen beachtet werden. Die theoretischen Potentiale können aufgrund technischer Restriktionen (z.B. Hochwässer und des damit verbundenen, ungenutzt abfließenden Wassers), baulicher Einschränkungen infolge der Topographie und vorhandener oder geplanter Bebauung,

umweltrelevanter Belange und wirtschaftlicher Einschränkungen nur zum kleinen Teil in Nutzenergie umgewandelt werden.

3.2.3.2. Technisches Potential

Das technische Potential des Energieträgers Wasser bezeichnet das Arbeitsvermögen, welches unter Berücksichtigung technischer, ökologischer, infrastruktureller und anderer Belange tatsächlich nutzbar ist.

3.2.3.3. Wirtschaftliches Potential

Das technische Wasserkraftpotential, das wirtschaftlich, im Vergleich zu anderen Energieformen, genutzt werden kann. Als Kriterium dafür wird die Amortisation des investierten Kapitals innerhalb der Anlagennutzungsdauer herangezogen.

3.2.3.4. Ausschöpfbares Potential

Das ausschöpfbare oder Erwartungspotential beschreibt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag zur Energieversorgung. Es ist in der Regel geringer als das wirtschaftliche Potential, da jenes im Allgemeinen nicht sofort, sondern allenfalls innerhalb eines längeren Zeitraumes vollständig erschließbar ist.

3.2.4. Typen von Wasserkraftwerken

Eine Kategorisierung von Wasserkraftwerken kann unter verschiedenen Gesichtspunkten geschehen, z.B. durch Einteilung nach Leistung, Auslastung oder Bauart. Die Leistung eines Kraftwerkes ist definiert durch die eingespeiste Strommenge im Kalenderjahr, dividiert durch die Jahreslaufzeit in Stunden. Eine Einteilung nach Auslastung macht deutlich, ob das jeweilige Kraftwerk zur Deckung der Grund-, Mittel- oder Spitzenlast konzipiert ist.

3.2.4.1. Fluss- und Laufwasserkraftwerke

Fluss- oder Laufwasserkraftwerke nutzen die Strömung eines Flusses zur Stromerzeugung. Sie besitzen keine Speichermöglichkeit, das Flusswasser wird direkt über eine Turbine geleitet. Charakteristisch für diese Art von Kraftwerk ist eine geringe Fallhöhe und große Durchflussmengen, Wehranlagen können jedoch Durchfluss und Fallhöhe noch steigern. Stromerzeugung ist rund um die Uhr möglich, zudem zeichnen sich Laufwasserkraftwerke durch

gute Auslastung der Turbinen und geringe Betriebskosten aus, weswegen sie zur Deckung der Grundlast⁷ eingesetzt werden.

3.2.4.2. Speicherkraftwerke

Speicherkraftwerke nutzen das hohe Gefälle (bzw. die hohe potentielle Energie des Wassers) und die Speicherkapazität von Talsperren zur Stromerzeugung. Dazu wird Wasser in einem Stausee gesammelt. Dieser hat entweder einen natürlichen Ursprung oder ist durch Aufstauen mittels einer Staumauer oder eines Staudammes entstanden. Über Rohrleitungen wird das Wasser auf die Turbine am Fuße der Staumauer geleitet. Durch das hohe Gefälle ist Stromerzeugung schon mit einer geringen Wassermenge möglich. Der Vorteil gegenüber anderen Wasserkraftwerken ist, dass die Leistung binnen kürzester Zeit zur Verfügung steht und gut regelbar ist. Daher werden Speicherkraftwerke zur Deckung der Spitzenlast⁸ eingesetzt. Sie können zudem den Ausfall anderer Kraftwerke kurzzeitig überbrücken und schwarzstartfähig sein.

3.2.4.3. Pumpspeicher-kraftwerk

Eine besondere Form des Speicherkraftwerkes ist das Pumpspeicher-kraftwerk. Dieses dient zur Speicherung von elektrischer Energie durch Umwandlung in potentielle Energie (von Wasser). In Schwachlastzeiten wird unter Energieaufwand Wasser aus einem Fluss oder See in das höher gelegene Staubecken gepumpt. Mit diesem gespeicherten Wasser kann in Spitzenlastzeiten Strom produziert werden, wobei die Erzeugung wie beim normalen Speicherkraftwerk funktioniert. Ein Pumpspeicher-Kraftwerk ist sehr flexibel regelbar und seine Leistung ist innerhalb von Minuten abrufbar.

3.2.4.4. Gezeiten-kraftwerke

Ein Gezeiten-kraftwerk nutzt die Lageenergie des wechselnden Meeresspiegels und entnimmt daher die Energie der Erddrehung und der Anziehungskraft zwischen Sonne, Mond und Erde. Zum Bau dieser Kraftwerke werden Flussmündungen oder natürliche Meeresbuchten mit Staumauern vom offenen Meer abgetrennt. Durch Öffnungen, die mit Turbinen versehen

⁷ Grundlastkraftwerke werden, so weit möglich, rund um die Uhr mit Volllast betrieben. Sie zeichnen sich durch sehr preisgünstige Stromerzeugung aus und müssen sich nicht schnell regeln lassen. Bei Ausfällen muss hier kurzfristig Spitzenlast zur Verfügung gestellt werden können.

⁸ Spitzenlast bezeichnet kurzzeitig auftretende hohe Leistungsnachfrage im Stromnetz.

werden, kann bei Flut das Meerwasser einströmen, bei Ebbe wieder ablaufen. Die Turbinen können so in beiden Flussrichtungen Strom erzeugen.

3.2.5. Physikalische Grundlagen

Die in diesem Kapitel dargestellten Gleichungen entsprechen der Ausführung von Hans-Burkhard Horlacher, „Globale Potenziale der Wasserkraft“, und dem Skriptum von Udo Bachhiesl zur Vorlesung Erneuerbare Energien am Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation an der Technischen Universität Graz. (Bachhiesl, 2009)

Wie bereits erklärt, nutzen Wasserkraftwerke primär die potentielle Energie des Wassers. Die Gleichung für diese lautet vereinfacht:

$$E_{pot} = m * g * h \quad (6)$$

Mit mMasse

gErdbeschleunigung

hHöhendifferenz

Die Erdbeschleunigung ist für einen bestimmten Standort auf der Erde konstant. Die Höhendifferenz (Fallhöhe H eines Kraftwerkes) ist auch vorgegeben und konstant. Die Leistung an der Turbine wird damit zu:

$$P = \dot{m} * g * H \quad (7)$$

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \rho * Q \quad (8)$$

Mit ρ Dichte (von Wasser)

\dot{V} Volumenstrom

Q Wasserabfluss

Eingesetzt in (7) ergibt dies für die Leistung der Rohwasserkraft:

$$P = \rho * Q * g * H \quad (9)$$

Mit P mechanische Leistung

Ausgehend von einem konstanten Wirkungsgrad η für Turbine, Generator und Nebenaggregate lässt sich die Netto-Erzeugungsleistung somit wie folgt berechnen:

$$P_{el,netto} = \eta * \rho * Q * g * H \quad (10)$$

Mit ηGesamtwirkungsgrad (Durchfluss abhängig)

$P_{el,netto}$Netto-Erzeugungsleistung

Abschließend noch eine bewährte Faustformel zur Abschätzung der elektrischen Leistung eines Wasserkraftwerkes bei bekanntem Durchfluss und bekanntem Höhenunterschied:

$$P_{el}[kW] = 8 * Q \left[\frac{m^3}{s} \right] * \Delta h[m]$$

3.3. Geothermie

Dieses Kapitel basiert im Wesentlichen auf dem Vortrag „*Der Beitrag der Geothermie*“ von Wolfgang Straka, Karl Ponweiser und Markus Haider an der Technischen Universität Wien am Institut für Thermodynamik und Energiewandlung IEWT im Wintersemester 2009 (Straka, et al., 2009).

Die „Erdwärme“ (geothermale Energie) ist thermodynamisch gesehen die thermische innere Energie des Erdkörpers. Die thermische innere Energie des Erdinneren hat ein höheres Temperaturniveau als die thermische innere Energie der Erdoberfläche und stellt somit eine nutzbare Energieressource dar. Unter Geothermie versteht man im weitesten Sinn die Grundlagen und Methoden der Gewinnung dieser Energie und auch der Speicherung von Energie als thermische innere Energie in der Erde. Die Geothermie ist aber andererseits kaum von zeitlich wechselnden Einflüssen, wie etwa vom Wetter, abhängig, sodass die Verfügbarkeit dieser Energie letztlich doch höher ist. Die thermische innere Energie der gesamten Erde liegt in der Größenordnung von $12.6 \cdot 10^{24}$ MJ, auf die Erdkruste entfallen davon ca. $5.4 \cdot 10^{21}$ MJ. (vgl. Dickson&Fanelli, 2004) Verglichen mit der weltweiten Jahresstromproduktion von ca. $6.6 \cdot 10^{13}$ MJ (vgl. IEA, 2008) stellen diese Werte ein ungeheures Energiereservoir dar, das jedoch nur zu einem kleinen Teil genutzt werden kann.

3.3.1. Geothermische Verfahren

Unabhängig von der Tiefenreichweite (oberflächennahe/seichte/tiefe Geothermie) wird zwischen zwei Grundtypen der Wärmeentnahme unterschieden: einerseits **das hydrothermale Verfahren**, wobei eine Entnahme der Erdwärme oder Speicherung von Abwärme durch Förderung oder Zirkulation von Wasser (Grundwasser, Formationswasser) bzw. Wasserdampf erreicht wird, andererseits **die Wärmesonden**, bei denen Wasser oder ein anderes Wärmeträgermedium (z.B. NH₃ oder CO₂) Erdwärme ohne direkten Kontakt zum gewachsenen Untergrund aufnimmt.

3.3.2. Geothermale Nutzungsarten

Geothermale Nutzungen werden üblicherweise in zwei Kategorien eingeteilt, einerseits **Stromproduktion** (Umwandlung in elektrische Energie), andererseits **Direktnutzungen** (Verwendung als Nutzwärme). Die konventionelle Stromproduktion ist im Allgemeinen auf Fluidtemperaturen von mindestens 180 °C (also auf Hochtemperaturfelder) beschränkt, mit Hilfe von alternativen Prozessen (z.B. ORC, der Turbinenkreislauf wird dabei mit einem niedrig siedenden Arbeitsmittel anstelle von Wasser betrieben) ist jedoch Energie auch auf einem wesentlich geringeren Temperaturniveau nutzbar (bis unter 100 °C). Die ideale Vorlauf-temperatur für konventionelle Raumheizung beträgt ca. 80 °C, unter Verwendung großer Heizflächen und Wärmepumpen oder bei Trennung von hoch und niedrig temperierten Teilsystemen kann Thermalwasser jedoch auch noch bei einer Temperatur wenig über der Umgebungstemperatur sinnvoll eingesetzt werden.

3.3.3. Stromproduktion

In der Regel wird Elektrizität im konventionellen Dampfkraftprozess generiert. Die fossil befeuerten Dampfkraftwerke arbeiten in Temperaturbereichen um die 600 °C Frischdampf-temperatur. Geothermale Quellen können demgegenüber meist nur Wärmeenergie auf einem Temperaturniveau bis ca. 350 °C bereitstellen. Für eine Energiewandlung auf diesem Niveau eignen sich moderne Dampfturbinen nun aber schlecht, weshalb Anstrengungen unternommen wurden, alternative Verfahren weiterzuentwickeln.

Im Bereich niedriger Temperatur (< 150 °C) sind alternative Technologien bereits vorhanden. Die bekanntesten Varianten sind der Organic Rankine Cycle (ORC) und der Kalina-Prozess (siehe Abbildung 7). Sie können Ressourcen auf einem Temperaturniveau zwischen ca. 70 und 170 °C nutzen und haben in den letzten Jahren stark an Popularität gewonnen. Beim ORC-

Verfahren wird ein organisches Arbeitsmittel anstelle von Wasser im Kreisprozess verwendet, der ansonsten dem einer Dampfkraftanlage ähnelt. Der Kalina-Prozess wird dagegen mit einem anorganischen Arbeitsmittel (Wasser-Ammoniak-Gemisch) betrieben.

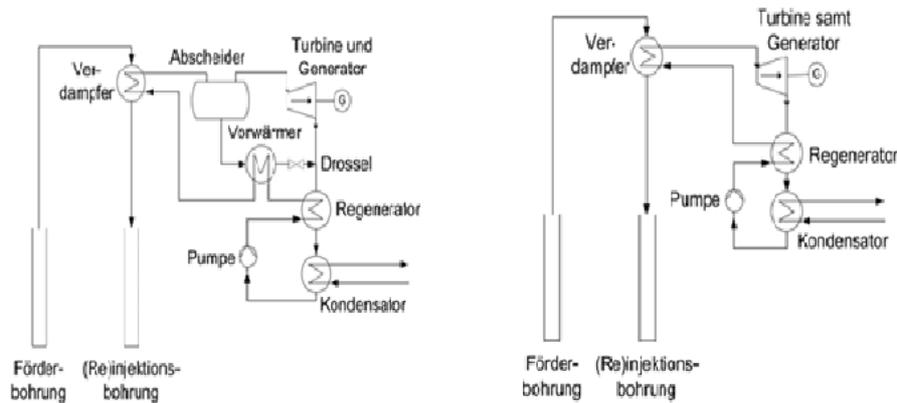


Abbildung 7: Schaltschema eines Kalina-Prozesses (links) und eines *Organic Rankine Cycle* (ORC) (Straka, et al., 2009)

Die Effizienz der geothermischen Energienutzung kann, im Vergleich mit konventionellen Prozessen, durch den Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplung⁹ beträchtlich gesteigert werden. Hierbei werden sowohl Elektrizität als auch Nutzwärme erzeugt. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb dieser Variante ist ein relativ hoher Bedarf an Heißwasser relativ nahe der Geothermiezentrale (für verschiedene Anwendungen: Prozesswärme, Heizung, Warmwasserbereitung).

3.4. Sonnenenergie

Der Großteil der Informationen für dieses Literaturkapitel wurde, sofern nicht anders angegeben, aus dem Buch „Erneuerbaren Energien“, von Thomas Bürke (2010) entnommen.

Die Sonne ist eine unerschöpfliche Energiequelle. Jährlich strahlt sie mehr als die 15.000-fache Menge der von der Erdbevölkerung in einem Jahr benötigten Energie als Strahlungsenergie auf die Erde (vgl. Bürke, 2010). Es muss aber beachtet werden, dass diese nicht immer und überall zur Verfügung steht. In Südost-Europa kann man durchschnittlich mit 1.700 bis

⁹ Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie, die in der Regel unmittelbar in elektrischen Strom umgewandelt wird, und nutzbarer Wärme für Heizzwecke (Fernwärme) oder Produktionsprozesse (Prozesswärme) in einem Kraftwerk.

2.400 Sonnenstunden pro Jahr rechnen, bis zum Äquator nimmt die Sonnenscheindauer bis auf 3.500 Stunden im Jahr zu (vgl. Tomic, 2009).

Das Sonnenlicht kann im Wesentlichen auf zwei verschiedenen Wegen zur Stromgewinnung genutzt werden. Mit der Photovoltaik wird aus Sonnenlicht direkt elektrischer Strom gewonnen. Über die Solarthermie können Flüssigkeiten aufgeheizt und verdampft werden, um Turbinen zur Stromerzeugung anzutreiben.

Für die praktische Nutzung der Solarenergie ist es wichtig, die Menge und Art der einfallenden Strahlung auf der Erdoberfläche zu kennen. Die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung ändert sich ständig, je nach Tageszeit, Wetter und Jahreszeit. Die Leistungsdichte der Strahlung wird in Watt pro Quadratmeter [W/m^2], energiereiche Strahlung in Wattstunden pro Quadratmeter [Wh/m^2] angegeben. Die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung oberhalb der Erdatmosphäre ist zwischen 1.325 und 1.420 Watt pro Quadratmeter stark. Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre verringert diesen Wert um etwa 30%, sodass bei einem klaren Tag und mit der Sonne in zenitaler Position die Einstrahlung an der Erdoberfläche etwa 1.000 Watt pro Quadratmeter beträgt.

Global-Strahlung an der Erdoberfläche besteht aus zwei Komponenten: direkte und diffuse Strahlung¹⁰. Direkte Strahlung kommt direkt von der Sonne, während Streustrahlung von allen Seiten des Himmels kommt. Wenn der Himmel völlig bedeckt ist, erreicht die Erdoberfläche nur diffuse Strahlung. Selbst wenn der Himmel klar ist, variiert die maximale Leistungsdichte der Strahlung im Laufe des Tages. Die meiste Strahlung kommt zu Mittag, geringere Einstrahlung erfolgt in den frühen Morgenstunden und am späten Nachmittag, weil Strahlung einen längeren Weg durch die Atmosphäre hat und daher stärker gedämpft ist (als zu Mittag). Verstreute (diffuse Strahlung) spielt eine wichtige Rolle bei der Nutzung von Solarenergie in Mitteleuropa, der Anteil der diffusen Strahlung an der gesamten Strahlung liegt zwischen 40% (Juni) und 80% (Dezember).

¹⁰ Die aus einer Strahlungsquelle emittierte Strahlung wird, wenn sie bei ihrer Ausbreitung auf ein Hindernis trifft, reflektiert, absorbiert/reemittiert, gestreut, gebeugt oder gebrochen. Das Ergebnis der im Regelfall ungleichmäßig in Ausbreitungsrichtung, Strahlstärke, Wellenlänge und/oder Frequenz veränderten Strahlung wird als diffuse Strahlung oder Streustrahlung bezeichnet.

Der Betrag der Energie, die umgewandelt wird, ist nicht allein durch die Eigenschaften der Sonneneinstrahlung und örtlichen Besonderheiten bestimmt, sondern hängt auch mit der technischen Ausführung des Systems, das die Konvertierung durchführt, zusammen.

3.3.1. Photovoltaik

Die Photovoltaik ist die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. Dies ist heute noch der teuerste Weg, elektrische Energie auf der Basis erneuerbarer Energiequellen bereitzustellen. Immer noch ist ihr Beitrag zur weltweiten Energieversorgung gering. Auf der anderen Seite hat die direkte Sonnenenergiekonversion über Solarzellen, verglichen mit Wasserkraft, Windenergienutzung und solarthermischer Stromerzeugung, bei weitem das höchste technische Entwicklungspotential.

3.3.2. Das Prinzip des Photovoltaik

Eine direkte Umwandlung von Sonnenenergie in Strom erfolgt über sog. photovoltaische Zellen. Werden Photonen, also Lichtteilchen, in geeigneten Materialien absorbiert, so entstehen positive und negative elektrische Ladungsträger, die sich innerhalb dieser Materialien nahezu frei bewegen können. Die Energie der Photonen wird dabei zu einem wesentlichen Teil auf diese Ladungsträger übertragen. In photovoltaischen Energiekonvertern werden diese Ladungsträger selektiv nach positiven und negativen Ladungen getrennt, zu äußeren Elektroden transportiert und diese dadurch elektrisch geladen. Deshalb entsteht zwischen den beiden Elektroden eine elektrische Spannung. Aufgrund dieser Spannung können die Ladungsträger in einem externen Stromkreis einen elektrischen Strom erzeugen und Arbeit verrichten. Der so gewonnene Gleichstrom wird über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt. Dieser wiederum wird bei einer netzgekoppelten Solaranlage über einen Zähler in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die entsprechende Energie ist umgewandelte Sonnenenergie. Eine Bedingung für das eingesetzte Material ist, dass es das Licht genau in dem spektralen Bereich absorbiert, in dem der größte Anteil des eingestrahlteten Sonnenlichtes liegt. Im Labor wurden Wirkungsgrade von ca. 10% bis 34,2% (Galliumarsenid/Galliumantimonit-Zellen) erzielt. Der Wirkungsgrade von Silizium-Zellen, die meistens verwendet werden, liegt zwischen 5% (amorphes Silizium) und 16% (monokristallines Silizium). Im Durchschnitt wird bei einer Dachinstallation ca. 10% der Sonnenenergie genutzt.

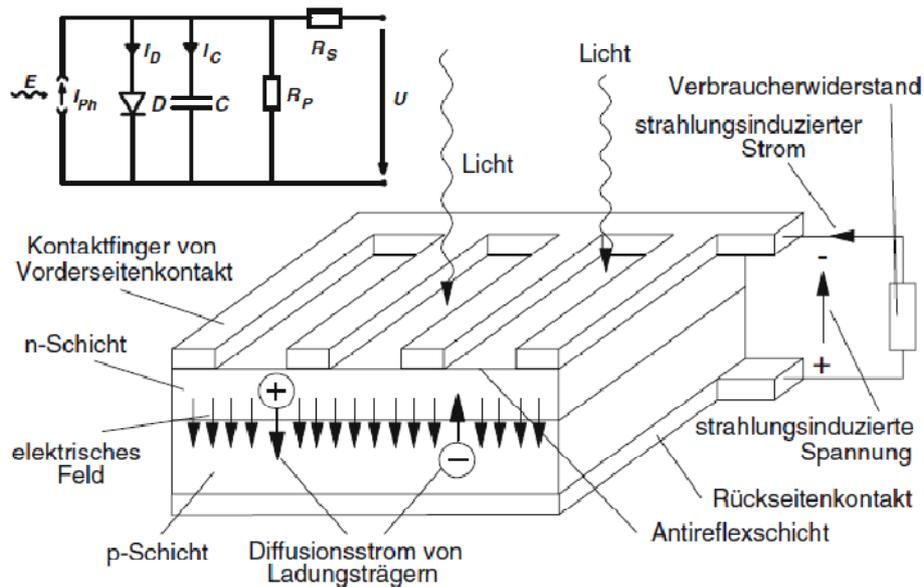


Abbildung 8: Aufbau einer typischen Solarzelle und deren Ersatzschaltbild (Kaltschmitt, 2006 S. 207)

Mit Sonnenkraftwerken wird die Sonnenenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Dafür wurden verschiedene Sonnenenergieanlagen entwickelt. Das sind die Sonnenturmkraftwerke, Sonnenfarmen und Solarzellenkraftwerke.

4. Südost-Europa

4.1. Geographie und Klima

Südost-Europa (im Deutschen oft auch als SOE abgekürzt) bezeichnet die Länder im Südosten Europas, wobei die Abgrenzung je nach Kontext unterschiedlich ist.

Die Balkanhalbinsel (oft synonym mit Südost-Europa verwendet, auch kurz Balkan) ist eine geographisch unterschiedlich definierte Region im Südosten Europas. Das Wort „Balkan“ stammt aus dem Türkischen und bedeutet Gebirge oder Bergwald. Die Balkanhalbinsel ist die östlichste der drei ins Mittelmeer ragenden südeuropäischen Halbinseln.



Abbildung 9: Südosteuropa
(Markovic, 2010 S. 12)

Die Halbinsel mit etwa 500.000 km² Fläche (inklusive vorgelagerter Inseln) wird an drei Seiten durch Meere (Schwarzes Meer, Marmarameer, Ägäisches Meer, Ionisches Meer und Adriatisches Meer) begrenzt. (Wikipedia, 2010)

Nach Norden, zum Inneren des europäischen Kontinents hin, existiert jedoch keine geographisch ausgeprägte Grenzlinie. Meist wird dafür die Save-Donau-Linie genannt. Unterschiedliche Auffassungen gibt es hinsichtlich der Abgrenzung im äußersten Nordwesten und am Unterlauf der Donau. Eine Definition sieht die Bucht von Triest und das Ljubljana-Tal als Nordwestbegrenzung der Balkanhalbinsel, welche über die Save und Donau auch bis ans Schwarze Meer verläuft. Zum „Balkan“ zählt man manchmal auch die Walachei und Moldawien, wobei es zu Überlappungen zwischen dem geographischen und dem historisch-politischen Balkan-Begriff kommt. Selten wird auch die direkte Luftlinie zwischen Triest und Odessa als Abgrenzung verwendet.

Folgende Staaten liegen komplett oder teilweise auf der Balkanhalbinsel: Albanien, Bosnien und Herzegowina, Bulgarien, Kroatien, Mazedonien, Montenegro, Serbien und Griechenland. Auch der europäische Teil der Türkei, ein kleiner Teil Rumäniens (Nord-Dobrukscha), sowie – wenn man den Karst als Nordwestgrenze ansieht – auch Teile Sloweniens und Italiens (Provinz Triest) gehören zur Balkanhalbinsel.

In dieser Arbeit wurde das Potential der erneuerbaren Energien folgender Länder untersucht und analysiert: Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Mazedonien, Montenegro, Serbien (mit Kosovo) und Slowenien.

4.2. Politische und wirtschaftliche Situation in Südost-Europa und deren Auswirkungen auf den Energiesektor

Der Sektor der Stromerzeugung ist von zentraler Bedeutung für das Wirtschaftswachstum und die Sozialentwicklung einer Region. Politische Ereignisse, Kriege und Konflikte der letzten 20 Jahre haben in Südost-Europa die verfügbaren Ressourcen für die Erfüllung der steigenden Nachfrage beschränkt. Greifbare Beweise der Konsequenz von Konflikten auf dem Energiesektor sind beispielsweise in Bosnien und Herzegowina sehr deutlich (siehe Abbildung 10). Die Stromerzeugung wurde während des Bürgerkriegs ca. auf ein Drittel reduziert. Das Niveau der Produktion im Jahre 1990 wurde erst viel später wieder erreicht im Jahr 2009. Eine ähnliche Situation ist auch in den anderen Ländern des ehemaligen Jugoslawiens anzutreffen.

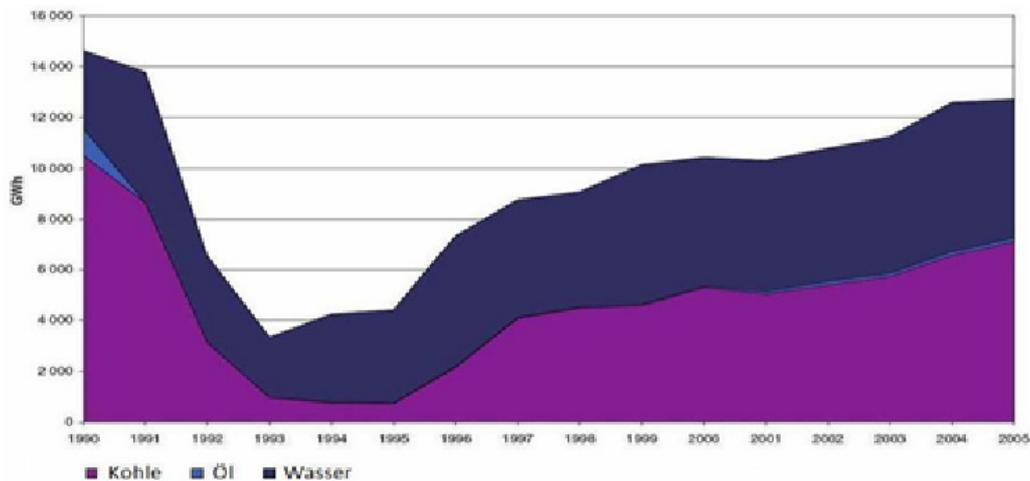


Abbildung 10: Geschichte der Stromerzeugung in Bosnien und Herzegowina, Periode 1990-2005 (Butti, 2007 S. 12)

Die politische Instabilität der Region hat neue Investitionen verzögert und die Erneuerung der Infrastrukturen behindert. Deshalb sind heutzutage oft alte und unzureichende Anlagen in Betrieb, die die bereits überlastete Umwelt noch mehr verunreinigen und negative Effekte für die Bevölkerung verursachen. Die Länder Südost-Europas stehen vor der Herausforderung der Renovierung ihres elektrischen Produktionsvermögens und ihres Übertragungsnetzes.

In der gesamten Region gibt es eine gewisse Gleichförmigkeit der Erzeugungsmethoden, denn die meisten betrachteten Staaten produzieren nämlich die Energie mittels konventioneller thermischer Kraftwerke und durch Wasserkraftwerke.

4.3. Bosnien und Herzegowina

4.3.1. Geographie und Klima

Bosnien und Herzegowina ist ein Staat in Südost-Europa, im zentralen Teil der Balkanhalbinsel. Im Norden, Westen und Südwesten grenzen die Republik Kroatien, im Osten und Süden Serbien und Montenegro an. Bosnien und Herzegowina besteht aus zwei weitgehend autonomen Gliedstaaten (Entitäten), der Republik Srpska und der Föderation Bosnien und Herzegowina sowie dem Sonderverwaltungsgebiet Brčko-Distrikt. Im Hinblick auf eine bestimmte geographische Lage bzw. Relief und Klima ist Bosnien und Herzegowina sehr

komplex und lässt sich in drei separate Teile, mit mehr oder weniger deutlichen Grenzen unterscheiden: Im Südwesten – mediterranes Klima; Im mittleren Teil – kontinentales Klima; Im Norden – gemäßigt kontinentales Klima.

Im südwestlichen Teil von Bosnien, wegen seiner Nähe zur Adria, die im Winter die Wärme ausstrahlt, ist die mittlere Temperatur im Januar hoch, während die Sommer trocken und heiß sind (die absolute maximale Temperatur liegt zwischen 40 und 45°C). Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge liegt zwischen 1.000 und $2.300 \frac{l}{m^2}$ (FHMZBIH, 2010).

Im zentralen Teil von Bosnien und Herzegowina herrscht Kontinental- und Gebirgsklima. Wichtigste Merkmale sind raue Winter (absolutes Minimum von -24 bis -34°C), während die Sommer heiß sind (die absolute maximale Temperatur beträgt 30-36°C). Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt 1.000 bis $1.200 \frac{l}{m^2}$.

Im Norden des Landes dominiert kontinentales Klima mit reichlich kalten Wintern und heißen Sommern, aber in Bezug auf die Gebirgszone gibt es kleinere Unterschiede zwischen Winter- und Sommertemperaturen. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 700 bis $1.100 \frac{l}{m^2}$.

Die jährliche Summe von Sonnenscheindauer liegt im Intervall von 1.800 bis 2.250 Stunden pro Jahr (FHMZBIH, 2010).

Die wichtigsten hydrographischen Regionen in BIH sind:

- **Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres:** Fläche 38.719 km²; Die gesamte Länge von Flüssen, die mehr als 10 km lang sind, beträgt 7.947,7 km; mittlere Durchflussmenge 722 m³/s.
- **Einzugsgebiet der Adria:** Fläche 12.410 km²; Die gesamte Länge von Flüssen, die mehr als 10 km lang sind, beträgt 1.063,8 km; mittlere Durchflussmenge 433 m³/s. (FHMZBIH, 2010)

Von der Gesamtfläche Bosnien und Herzegowinas nehmen 38.719 km² oder 75,7% das Einzugsgebiet der Flüsse Sava und Donau und das Schwarzen Meer ein, das Adria-Becken bedeckt 12.410 km² bzw. 24,3%. Die größte Flüsse sind Sava, Drina, Bosna, Una, Vrbas, Neretva und Trebisnjica.

Die höchsten Werte des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags liegen im Südosten und im Adria-Becken bei 1.500 bis 2.000 mm. In den nördlichen Teilen der Sava liegt der durchschnittliche Wert der Niederschläge bei 700 mm pro Jahr.

4.3.2. Wasserkraftpotential in BIH

Aufgrund der natürlichen Gegebenheiten, wie Relief, relativ hohe Niederschlagsmengen (Regen und Schneefall), ein dichtes hydrographisches Netz, ist ganz BIH als Gebiet reich an Wasserkraft-Energiepotential klassifiziert. Derzeit existieren Wasserkraftwerke mit einer installierten Leistung von 2,2 GW. Diese Kraftwerke erzeugen im jährlichen Durchschnitt 5,3 TWh. Die installierte Wasserkraftleistung teilt sich auf 1.235 MW Speicherkraftwerke, 242 MW Laufkraftwerke und 636 MW Pumpspeicherkraftwerke auf, deren Regeljahresarbeit insgesamt rund 5,8 TWh beträgt. Das ermittelte technische Potential beträgt rund 6,8 GW (23 TWh). Wirtschaftlich sinnvoll werden davon 5,6 GW bzw. 21 TWh gewertet. Bei einem derzeitigen Ausbau von ca. 2,2 GW, sind derzeit nur 40% des wirtschaftlichen Potentials genutzt (Federal Ministry of Energy and Industry BIH, 2009).

Fluss	Gesamt-Potential		Ausgebaut		Nutzung	Geplant	
	MW	GWh	MW	GWh	%	MW	GWh
Neretva	951	3.884	729,5	2.758	76,7	128,5	327,6
Cetina	599	1.449	237	958	39,5	104	166
Trebisnjica	1.112,4	3.429	819	2.535	73,6		
Una	315	1.233	6	27,4	1,9	72	250
Vrbas	426	1.678	200	747	46,9	51	179
Bosna	356	1.818	10	56,2	2,8	21	104
Drina	1.796	8.354	724	3.284	40,3	66	255

Tabelle 1: Wasserkraftpotential in BIH

(Strateski plan i program razvoja energetskog sektora Federacije BIH, Sarajevo mart/ožujak 2009, S. 106)

Kleinwasserkraft stellt derzeit, neben der Biomasse, das wichtigste erneuerbare Energien-Potential in Bosnien und Herzegowina dar und ihre Entwicklung sollte eine Priorität bei der Festlegung der sektoralen Politiken und Strategien für den Bereich der erneuerbaren Energien vertreten.

Im Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herzeg Bosne (EP HZHB) Versorgungsgebiet sind Kleinwasserkraftwerke mit einer installierten Leistung von insgesamt ca. 40 MW und einer erwarteten jährlichen Erzeugung von 186 GWh geplant (vgl. EPHZHB, 2006).

Im Elektroprivreda Bosnien und Herzegowina (EP BIH)-Versorgungsgebiet sind Kleinwasserkraftwerke mit einer installierten Gesamtleistung von 34 MW und der erwarteten jährlichen Erzeugung von 127 GWh geplant. Heute sind mehrere kleine Wasserkraftwerke mit einer insgesamt installierten Leistung von 23,7 MW in Betrieb (vgl. EPBIH, 2006).

Im Elektroprivreda Republike Srpske (ERS)-Versorgungsgebiet sind Kleinwasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 212 MW und einer erwarteten jährlichen Erzeugung von 650 GWh geplant. Derzeit gibt es mehrere kleine Wasserkraftwerke mit einer insgesamt installierten Leistung von 14 MW in Betrieb (vgl. EPRS, 2009).

Die Schlussfolgerung ist, dass das Potential der Kleinwasserkraft in die Planung der Entwicklung von drei Stromversorgungsunternehmen in Bosnien und Herzegowina genommen werden soll. Die Gültigkeit der Daten über die Wasserkraft in Leistung und Energie in den Einzugsgebieten muss durch weitere Studien überprüft werden, unter Berücksichtigung künftiger Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie.

4.3.3. Windpotential in BIH

Im Moment wird Windenergie in Bosnien und Herzegowina nicht verwendet, da kein kommerzielles Windkraftwerk existiert. Einen Wind-Atlas von Bosnien und Herzegowina, der für eine systematische Analyse der auftretenden Winde verwendet werden könnte, die für eine Windkraft-Potential für die Ermittlung und Vorbereitung der Wind-Kraftwerksbau-Strategie für Staat und Unternehmen notwendig sind, gibt es nicht.

Da ein Windatlas von Bosnien und Herzegowina sowie dessen Derivate (z.B. Wind Karten) nicht verfügbar sind, basieren Schätzungen des Windpotentials in Bosnien und Herzegowina hauptsächlich auf mittlerer Windgeschwindigkeit und Windkraft-Karten vom World-Wind-Atlas.

Landkarten von jährlicher durchschnittlicher Windgeschwindigkeit und die jährliche durchschnittliche Windkraft in Bosnien und Herzegowina sind in Abbildungen 11 und 12 angegeben.

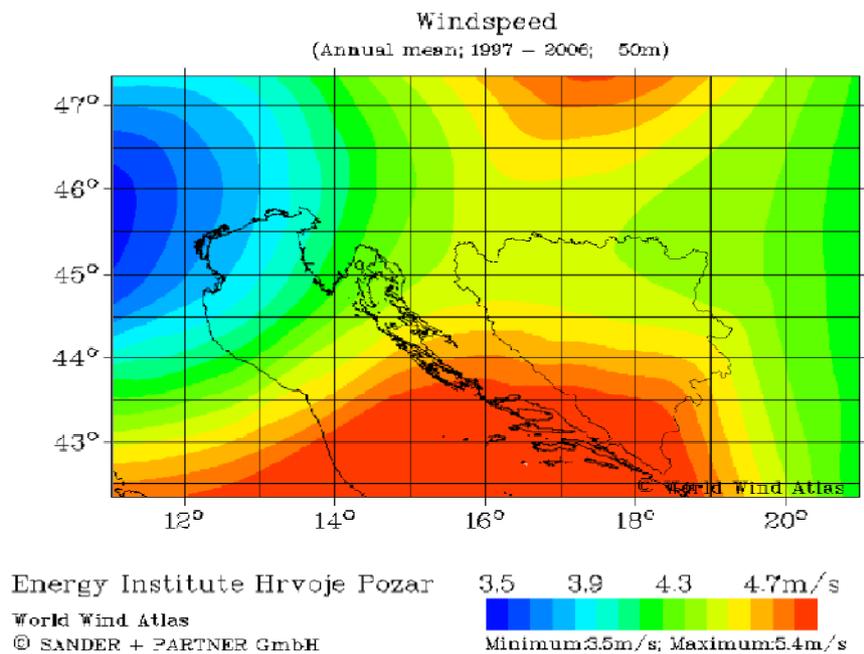


Abbildung 11: Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe für den Zeitraum 1997-2006 als Folge des globalen Wetter-Modells mit einer Auflösung von 2,5 Grad (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 211)

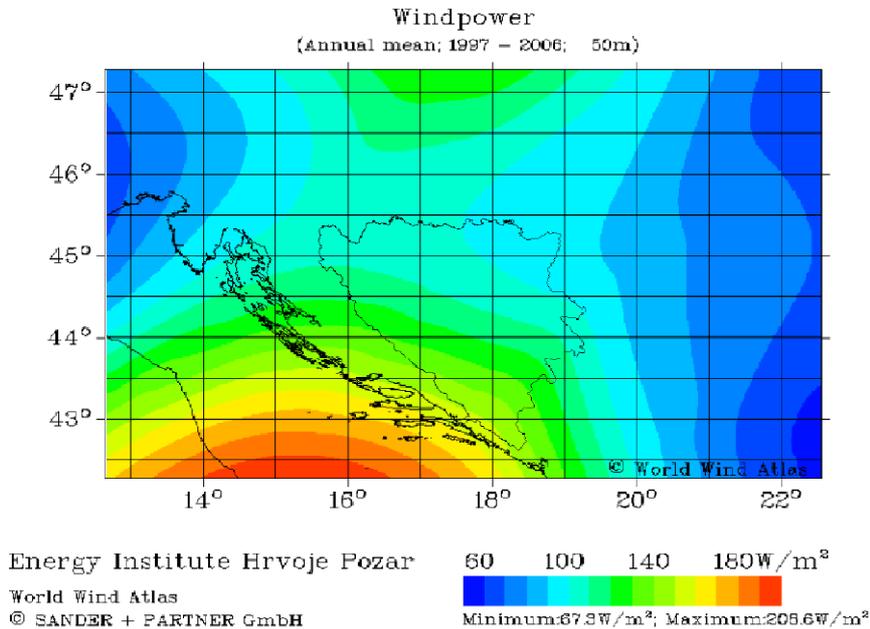


Abbildung 12: Durchschnittliche jährliche Windkraft in 50 m Höhe a.g.l. für den Zeitraum 1997-2006 (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 212)

Das windstarke Gebiet im südlichen Teil von Bosnien und Herzegowina neben der kroatischen Grenze, ca. 50 km breit und 250 km lang, ist für Windenergie und Anlagenbau interessant. Bestehende Projekte, Initiativen und Aktivitäten in diesem Bereich unterstützen diese Hypothese. Hier muss aber betont werden, dass das Gebiet der Republik Srpska bisher keine Tests von Windpotential durchgeführt hat, daher gibt es keine relevanten Daten, auf deren Basis Schlussfolgerungen gezogen werden könnten. Standorte in Bosnien und Herzegowina, an denen Windenergie-Untersuchungen bereits begonnen haben, sind in Abbildung 13 dargestellt.

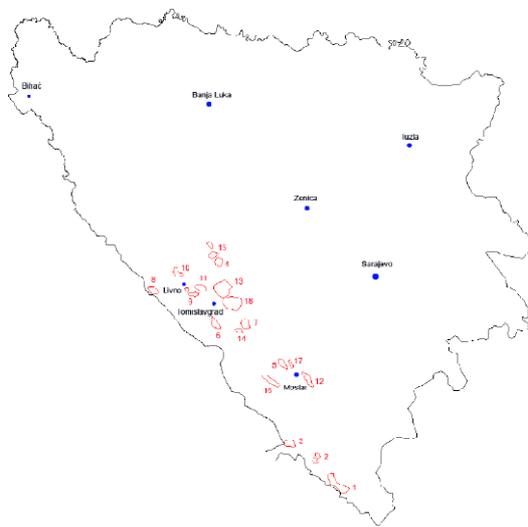


Abbildung 13: Potentielle Standorte von Windpark in BIH nach Tabelle 2 (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 213)

Table 6.3 Expected production of electrical energy from wind mills (source: EP HZHB)

	Location	GWh/year	Eq. hours of peak load	Utilization factor
1	Ivanjica	30,6	2550	29,1
2	Velja Međa	51,0	2550	29,1
3	Crkvina	61,2	2550	29,1
4	Velika Vlačina	156,4	2793	31,9
5	Mesihovina	198,6	2921	33,3
6	Pločno	36,0	3000	34,2
7	Borova glava	281,9	2877	32,8
8	Mokronoge	197,4	2820	32,2
9	Štitar-Poklečani	115,6	2890	33,0
10	Kijev do	35,7	2550	29,1
11	Planinica (Mostar)	123,3	2936	33,5
12	Srđani	290,0	2900	33,1
TOTAL		1577,7	2838	32,4

Tabelle 2: Standorte in BIH, an denen bereits Untersuchungen begonnen haben (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 213)

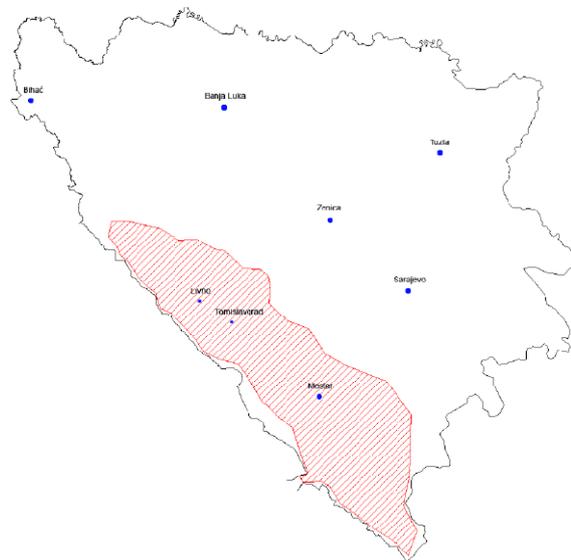


Abbildung 14: Standorte in Bosnien und Herzegowina mit vielversprechender potentiellen Windkraft (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 215)

Nach den tatsächlichen Feststellungen wurde das Windenergie-Potential der 18 untersuchten Standorte auf ca. 900 MW geschätzt. Die geschätzte Gesamtproduktion elektrischer Energie an diesen Standorten könnte bei 2,4 TWh pro Jahr liegen, wobei der durchschnittliche Ausnutzungsgrad bei rund 30% liegt, welche die oberste Ebene der Produktivität darstellt, auch aus europäischer Sicht. Allerdings ist das gesamt Windpotential in BIH vermutlich noch wesentlich höher, zirka 2.000 MW (vgl. Mining Institute Tuzla, 2009).

Diese Schätzung ergibt sich aus der Analyse des zur Verfügung stehenden Raums, mögliche Einschränkungen sind aber nicht berücksichtigt (wie Netzintegrationsmöglichkeiten, der Umweltschutz etc.). Angesichts der beträchtlichen Unsicherheit des geschätzten Windpotentials kann die voraussichtliche Höhe der Windenergienutzung bis 2015 in Bosnien und Herzegowina zwischen 0 und 900 MW festgelegt werden.

4.3.4 Das Potential der Sonnenenergie in Bosnien und Herzegowina

Es kann gesagt werden, dass Bosnien und Herzegowina eine der günstigeren Lagen in Europa für die Nutzung solarer Strahlungsenergie einnimmt. Das theoretische Potential der Solarenergie in Bosnien liegt bei ca. 74,65 TWh oder dem 1250-fachen der Energie des

gesamten Primärenergieverbrauchs der Föderation Bosnien und Herzegowina (FBiH) im Jahr 2000 (vgl. EPBiH, 2001). Laut Untersuchungen beträgt die durchschnittliche Sonnenstrahlung in BiH 1.240 kWh pro m² im Norden bzw. 1.600 kWh pro m² im Süden. Die räumliche Verteilung der jährlichen globalen Sonneneinstrahlung auf der horizontalen Ebene im Gebiet von BiH ist in Abbildung 15 dargestellt. Generell erhöht sich die Globalstrahlung mit der Veränderung der geographischen Breite von Nordwesten Richtung Südosten. Bosnien und Herzegowina verfügt über eine sehr komplizierte Orographie, welche die räumliche Verteilung der Sonnenstrahlung stark verändert. Die Umgebung rund um Posavina kann jährlich eine globale horizontale Strahlung zwischen 1,25 und 1,3 MWh/m² erwarten. Die Bestrahlung steigt in Richtung Süden, so erhält das südliche Herzegowina zwischen 1,5 und 1,55 MWh/m². Ein sehr wichtiger Einflussfaktor ist die Adria, die in den Kontinent in Nordwest-Südost-Richtung eindringt. Dies bewirkt, dass die Strahlung in der Herzegowina-Linie aus der üblichen Ost-West-Richtung abweicht. Mit höchsten Bestrahlungswerten kann im Juli mit Werten zwischen 6,1 kWh/m² (Brcko) und 7,5 kWh/m² (Ljubuški) gerechnet werden. Niedrigste Werte können im Dezember erwartet werden, zwischen 0,98 kWh/m² (Prijedor) und 1,46 kWh/m²/Tag (Trebinje) (vgl. Mining Institute Tuzla; Economics Institute Banjaluka, Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009).

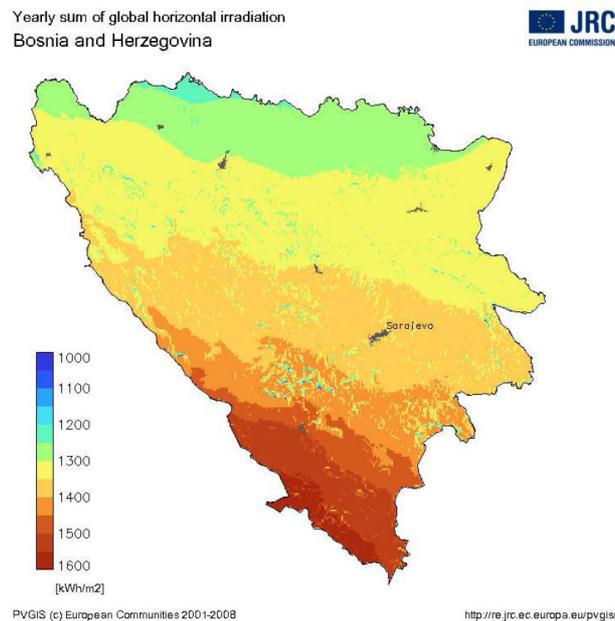


Abbildung 15: Summe der jährlichen globalen horizontalen Bestrahlung (Suri, et al., 2007)

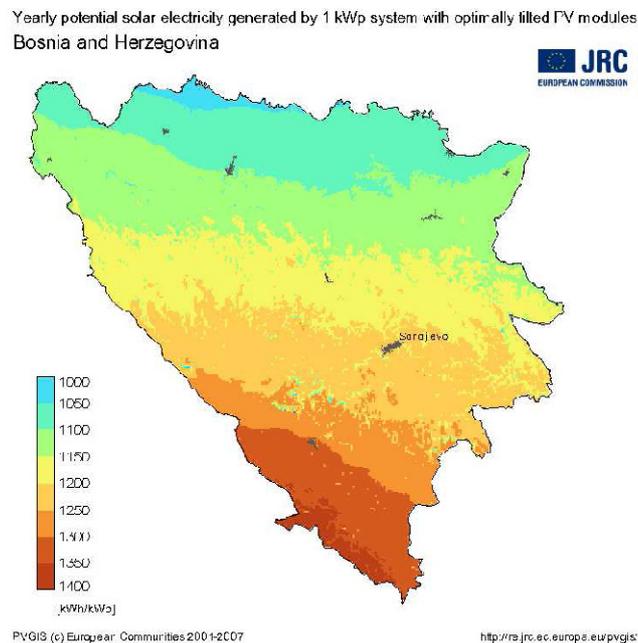


Abbildung 16: Jährliche Menge von El. Energie, produziert durch 1kW System
(Suri, et al., 2007)

Es gibt offensichtlich ein großes Potential für Solarenergie-Anwendungen in Bosnien und Herzegowina. Eine Photovoltaik-Marktentwicklung bedingt jedoch eine Subventionsregelung mit Preis und Vertragslaufzeitgarantien.

4.4. Kroatien

4.4.1. Geographie und Klima

Kroatien erstreckt sich von den äußersten Rändern der östlichen Alpen im Nordwesten bis in die Pannonische Tiefebene und in den Ufern der Donau im Osten, der mittlere Teil wird vom Bergmassiv Dinara beherrscht und der südliche Teil endet an der adriatischen Küste.

Das Klima in Kroatien beeinflussen geographische Breite, Höhe, das Verhältnis zwischen Land und Meer und der horizontale Austausch der Luftmassen. Nach der durchschnittlichen Dauer des Sonnenscheins gemessen gibt es zwei große Bereiche:

- Dalmatien – verfügt über eine jährliche Sonneneinstrahlung von bis zu 2.700 Stunden pro Jahr. Die meisten Stunden gibt es auf den Inseln sowie im Süden Kroatiens.

- Kontinentales Kroatien – in der Regel nicht mehr als 2.000 Sonnenstunden jährlich. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in Kroatien liegt zwischen 800 und 1.000 mm (vgl. Energetski Institut Hrvoje Pozar).

Von großer Bedeutung für das Klima sind die Winde, die stärksten eher im Winter als im Sommer, vor allem in den Küsten- und Berggebieten Kroatiens. Charakteristische Winde sind der Bora, Jugo und Maestral. Die Flüsse in Kroatien gehören zu den zwei Einzugsgebieten: das Schwarze Meer und die Adria. Über 62% der kroatischen Flüsse gehören zum Schwarzen Meer, während die verbleibenden 38% zum Adria-Becken gehören. Die Grenze zwischen den beiden Becken ist der Berg Dinara. Die größten Flüsse in Kroatien sind: Donau (in Kroatien 188 km), Sava (562 km), Drava (505 km), Mura (53 km), Kupa (296 km), Neretva (20 km), Una (120 km).

4.4.2. Wasserkraftpotential in Kroatien

Der Anteil der Wasserkraftwerke an der gesamten Erzeugungskapazität beträgt auf dem kroatischen Staatsgebiet 54% bzw. 43% unter Berücksichtigung der Kraftwerke in den Nachbarländern, die Eigentum der HEP-Gruppe sind. Die installierte Wasserkraftleistung teilt sich in 1.250 MW Speicherkraftwerke, 392 MW Laufkraftwerke und 289 MW Pumpspeicherkraftwerke auf, deren Regeljahresarbeit insgesamt rund 5,9 TWh beträgt (HEP Godisnji izvijestaj, 2008). Die Möglichkeiten zur Errichtung neuer Wasserkraftwerke in Kroatien sind bereits sehr limitiert, dies wird dadurch begründet, dass Kroatien bereits 63% seines wirtschaftlichen Potentials nutzt.

In Kroatien gibt es noch einige Potentiale für den Bau von Wasserkraftwerken. Es wird geglaubt, dass dieses theoretische Potential 6,1 TWh beträgt. Davon kann Kroatien 2,93 TWh unabhängig von anderen Ländern nützen. Aber dieses technische Potential wird auf 2,67 TWh reduziert, weil Kroatien das Einzugsgebiet der Cetina mit Bosnien und Herzegowina teilt (Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2009).

Von 3,17 TWh Wasserkraftpotential an der Grenze – Flüsse Mur, Drau, Donau, Sava, Kupa, Una – ist Kroatien zu 1,98 TWh berechtigt.

Ein relativ hoher Anteil an Wasserkraftwerken, insbesondere Speicherkraftwerken, ermöglicht billige Energie und gute Regelungsmöglichkeiten auf allen Zeitebenen.

In der Abbildung 17 ist die monatliche Energiemenge von Zuflüssen in Kroatien dargestellt.

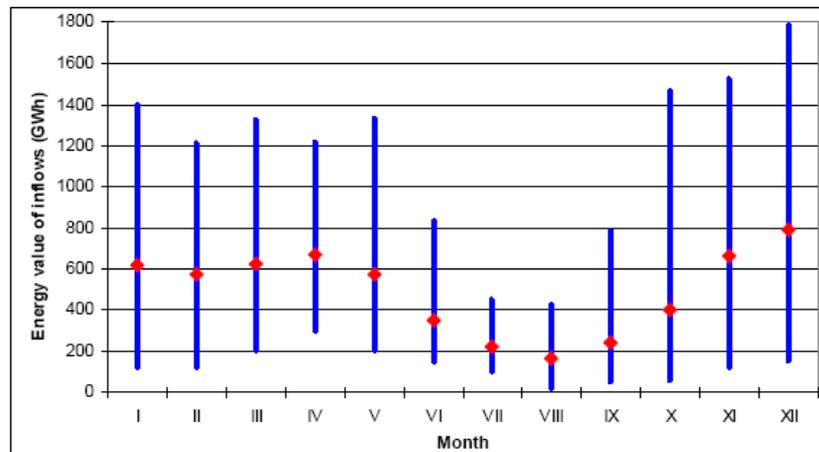


Abbildung 17: Variation der monatlichen Energiemenge von Zuflüssen
(Lovric, et al., 2009 S. 12)

Das Kleinwasserkraftpotential in Kroatien ist gut dokumentiert. 130 kleinere Gewässer stellen ein theoretisches Potential von 120 GWh dar. Das Ergebnis der Auswertung waren 695 mögliche Standorte an 67 Flüssen. Die gesamte mögliche Leistung dieser knapp 700 Standorte wurde mit 135 MW mit einem technischen Potential von 560 GWh jährlich berechnet (vgl. R.Goic; M.Lovric, *Electricity market and hydropower in transitional countries*, S. 6).

4.4.3. Windpotential in Kroatien

Die Nutzung der Windkraft ist in Kroatien das am schnellsten wachsende Segment der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Für den Bau von Windparks in Kroatien sind rund 100 Standorte mit einem Potential von insgesamt 1.300 MW vorgesehen (vgl. HEP OI Jahresbericht, 2009).

Die Gebiete Dubrovnik-Neretva, Split-Dalmatien und Sibenik-Knin haben die günstigsten Bedingungen für die Konstruktion von Windparks. Durch die Bestimmung der Merkmale des Windes auf kroatischem Gebiet, kann der Schluss gezogen werden, dass Kroatien ein gutes Windkraftpotential hat.

Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit, die notwendig für die wirtschaftliche Nutzung der Windenergie ist (überschreitet 5,5 m/s in einer Höhe von 25 m über dem Boden), wird nur in der Nähe des Meeres und an der Küste der Adria (vor allem Nord- und Süd-Dalmatien) angezeigt. Die wichtigsten Winde an der Adria sind Jugo und die Bora. Die mittlere Windgeschwindigkeit in Küsten- und Inseln reicht von 3 bis 6 m/s. Der jährliche Verlauf der maximalen mittleren

Windgeschwindigkeit tritt im Januar oder Februar auf. Dies sind auch die Monate mit dem meisten Wind. Der Jugo in der Adria-Zone kann die durchschnittliche Windgeschwindigkeit im frühen Frühjahr oder Spätherbst erheblich steigern.

Das Potential der beiden größten Winde in Kroatien (Bora und Jugo) ist nicht in vollem Umfang nutzbar. Winde dieser Art haben oft große Geschwindigkeiten (über 100 km/h) und große Unterschiede in der Geschwindigkeit, die nicht nur zur Stromerzeugung genutzt werden können. Dies erhöht die Anforderungen an die mechanische Stabilität von Windkraftanlagen. Deshalb werden die Standorte ausgewählt, wo der Südwind selten Hurrikanstärke erreicht. Leider ist der Windatlas Kroatiens ebenso nicht vorhanden wie Windkarten. Deshalb werden zur Ortung von Windparks in der Regel spezielle Erhebungen vereinbart.

Abbildung 18 zeigt eine Karte Kroatiens mit Standorten potentieller Windenergie. An allen Standorten herrscht eine mittlere jährliche Windgeschwindigkeit von ≥ 4 m/s in einer Höhe von 25 m über dem Boden.

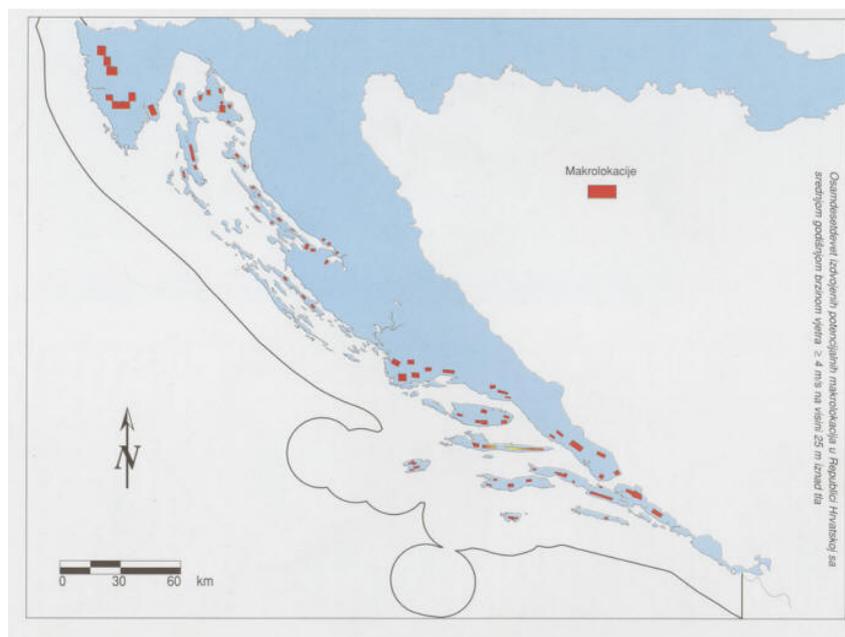


Abbildung 18: Potentielle Standorte für Windkraftanlagen in Kroatien (Geografija-HR, 2010)

Aus der Karte geht hervor, dass die Küstenregion ein großes Windkraftpotential besitzt. Die meisten potentiellen Standorte befinden sich in Dubrovnik (Neretva Zupanija), Split (Dalmatien), Zadar und Sibenik (Knin). Eine große Zahl von potentiellen Standorten ist auf den kroatischen

Inseln vorhanden. Allerdings hat die Regierungsverordnung über die Regulierung und den Schutz der geschützten Küstengebieten den Bau von Windparks auf den Inseln und der Küste (bis 1.000 m von der Küste) verboten.

Standort	Anzahl der Generatoren	Leistung von Generatoren	installierte Leistung	Zahl der Arbeitsstunden
Ravna -Pag	7	850 kW	5.95 MW	1.600
Trtar-Krtolin	14	800 kW	14 MW	2.200
Orlice	11	850 kW	9.6 MW	2.000

Tabelle 3: Bestehender Windkraftpark in Kroatien (HEP OIE Jahresbericht, 2009)

Standort	Anzahl der Generatoren	installierte Leistung	Baubeginn
Vratarusa-Senj	22	66 MW	2008
Cicarija	34	80 MW	2009
Ponikve-Ston	17	34 MW	2007
Pometen brdo-Klis	16	16 MW	2010

Tabelle 4: Geplante Windparks (Geografija-HR, 2010)

4.4.4. Das Potential der Sonnenenergie in Kroatien

Dank seiner geographischen Lage hat Kroatien günstige Bedingungen für die Nutzung der Sonnenenergie. Der jährliche Zustrom von Sonnenenergie auf 1 m² der waagerechten Fläche in Kroatien beträgt von 1.170 (Inland) bis 1.600 kWh/m² (an der Küste) und erreicht einen Durchschnitt von um 1.310 kWh/m² oder 4,7 kWh/m² (DZZH, 2010). Insolation gibt es mehr als 1.800 Stunden pro Jahr für die meisten Gebiete und mehr als 2.300 Stunden pro Jahr entlang der Küste. Davon sind 75% Sonnenenergie in der wärmeren Hälfte des Jahres verfügbar (von Anfang April bis Ende September), während in den kälteren Monaten der Anteil der Sonneneinstrahlung deutlich geringer ist.

Das theoretische Potential der Sonnenenergie in Kroatien, mit der durchschnittlichen täglichen Einstrahlung von 3,6 kWh/m², liegt etwa bei 74.300 TWh/Jahr. Das ist das über 800-Fache des Primärenergieverbrauchs in Kroatien im Jahr 2000 (HEP Godisnji izvijestaj, 2008). Technische Möglichkeiten der Stromerzeugung aus Photovoltaik- und Solarthermie-Kraftwerken erreichen etwa 33 TWh/Jahr. Das wirtschaftliche Solarenergiepotential in Kroatien, mit der Nutzung von weniger als 1% des technischen Potentials, belief sich auf etwa 0,3 TWh/Jahr. Dies entspricht einer elektrischen Leistung von ca. 200 MW_e.

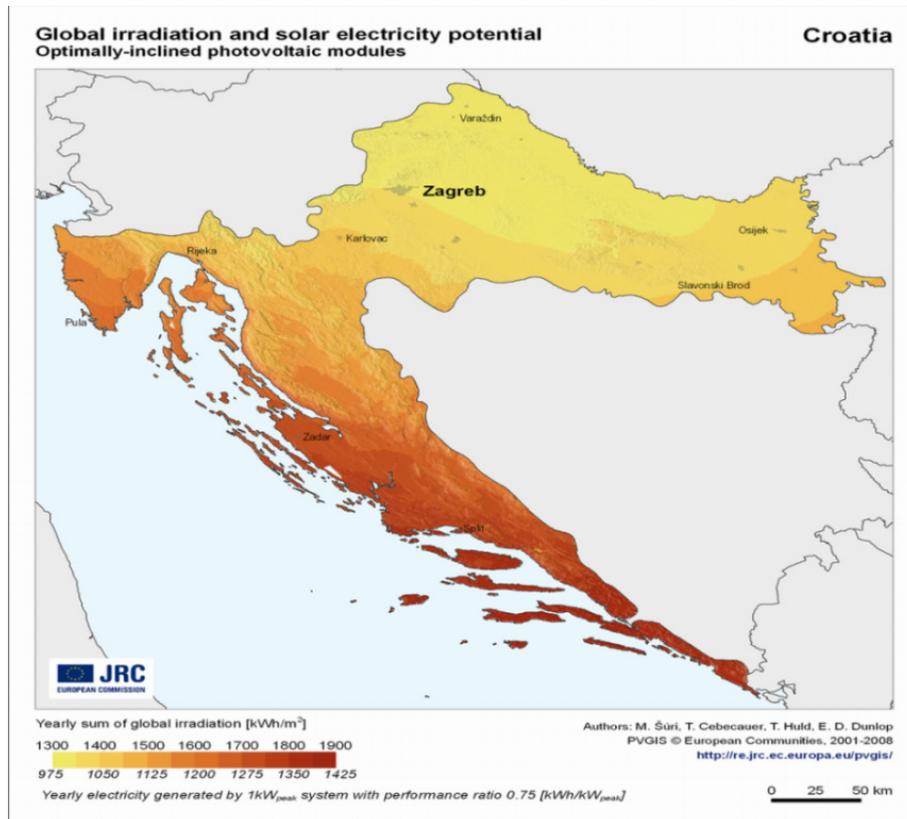


Abbildung 19: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m²] (Suri, et al., 2007)

4.5. Montenegro

4.5.1. Geographie und Klima

Montenegro liegt am südöstlichen Rand Europas. Auf der südöstlichen Seite grenzt es zu Albanien. Im Süden bildet die Adria die Grenze zu Italien, im Norden teilt es die Grenze mit Serbien und im Westen mit Kroatien und Bosnien und Herzegowina. Mit seiner Lage gehört Montenegro zum zentralen Mittelmeerraum. Der Name *Montenegro* stammt aus dem Mittelalter – das Land wurde so nach dem Berg Lovcen bezeichnet, weil dieser mit dicken, schwarzen Wäldern bedeckt war.

Das Klima in Montenegro wird, zusätzlich zur geographischen Breite und Höhe, durch die Anwesenheit von großen Gewässern (Adria, Skadar See) und mäßig hohes Bergland nahe der Küste (Orjen Lovćen, Rumija) bestimmt. In den Küstengebieten beträgt die Dauer des Sonnenscheins im Durchschnitt 2.750 Stunden, während in den Bergregionen weit vom Meer entfernt ein Durchschnittswert von 1.550 bis 1.900 Stunden gegeben ist (HZCG, 2010).

Eine der regenreichsten Regionen Europas ist ein Berg oberhalb der Bucht von Kotor (Krivosije). In diesem Bereich fallen 4.600 mm Niederschlag pro Jahr. Regenreichster Monat ist der November, der trockenste Juli.

Charakteristische Winde sind der Bora und Jugo. Der Bora bläst in Richtung Nord bis Nordost. Dieser Wind weht am häufigsten und stärksten in der kalten Jahreshälfte, und bläst in der gesamten Ostküste der Adria. Eines der wichtigsten Merkmale dieses Windes ist seine sehr hohe Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit variiert zwischen 16 und $33 \frac{m}{s}$ (HZCG, 2010).

Der Jugo weht in den meisten Teilen des Mittelmeers mit kleineren oder größeren Unterschieden bei den physikalischen Eigenschaften und Tendenzen.

Mit einem durchschnittlichen Abfluss von 40 Liter/s/km² gehört Montenegro weltweit zu den Gebieten mit dem höchsten durchschnittlichen Abfluss (4%). 95,3% der Flüsse bilden sich in Montenegro, d.h. Quell- und Einzugsgebiet ist in das Hoheitsgebiet der Republik, mit Recht kann man also sagen, dass das Wasser die größte natürliche Ressource in Montenegro ist.

Auf dem Territorium von Montenegro gibt es wichtige Flüsse, die in zwei Richtungen fließen: zum Schwarzen und dem Adriatischen Meer.

Die Oberfläche des Adria-Beckens in Montenegro umfasst etwa 6.560 km². Nach der Adria fließt Moraca, mit seinen Nebenflüssen Zeta, Cijevna und Rijeka Crnojevića. Diese drei Flüsse sind Zuflüsse des Skadar Sees und fließen von dort durch den Fluss Bojana zur Adria (HZCG, 2010).

Das Becken des Schwarzen Meeres in Montenegro ist etwas größer als die Fläche des Adria-Beckens und nimmt ca. 7.260 km² ein. Die großen Flüsse sind Ibar, Lim, Cehotina, Piva und Tara.

4.5.2. Wasserkraftpotential in Montenegro

Montenegro ist das Land mit dem höchsten Wasserkraftpotential pro Einwohner in Europa. Von dem insgesamt möglichen Wasserkraftpotential der wichtigsten Flüsse (9.846 GWh) nutzt Montenegro weniger als 1,8 GWh (Wasserkraftwerke Piva und Perucica), also etwas mehr als 17% (Ministarstvo ekonomije vlade Crne Gore, 2007).

Das technisch nutzbare Wasserkraftpotential wird vom Weg des Wassers beeinflusst. Der limitierende Faktor für die Nutzung der Wasserressourcen ist die Tatsache, dass sich ein Teil des Flusses Tara im Nationalpark Durmitor befindet, der auf der Liste des UNESCO-Weltnaturerbes steht, und dass das Becken des Flusses Tara in Biosphärenreservaten liegt, die in UNESCO-Programme aufgenommen worden sind.

Je nach Ansatz zur Nutzung der Wasservorkommen reicht die Schätzung der Höhe des technisch nutzbaren Potentials der Hauptwasserwege natürlichen Abflusses von 3.7 TWh bis 6.9 TWh. Wenn aber der Ansatz der Neuausrichtung einen Teils der Gewässer vom Fluss Tara zum Fluss Moraca (22,2 m³/s) mit einschließen würde, könnte das technisch nutzbare Potential von 4,6 auf 5,3 TWh erhöht werden. Die Wasserwirtschaft von Montenegro definiert das durchschnittliche theoretische Wasserpotential in Höhe von 9.846 GWh, 17% dieses Potentials werden kommerziell genutzt.

Fluss	theoretisches Potential in GWh
Piva	1.700
Tara	2.255
Cehotina	463
Lim	1.438
Ibar	118
Moraca(up to Zeta)	1.520
Zeta	2.007
Mala rijeka	452
Cijevna	283
Gesamt	10.256

Tabelle 5: Theoretisches Wasserkraftpotential in Montenegro (Igor, et al., 2010)

Fluss	Mögliche installierte Leistung in MW	technisches Potential in GWh	ausgebautes Potential	
			in GWh	in %
Moraca	737	1.524	0,15	0,01
Zeta	330	1.058	985,35	93,1
Piva	702	1.613	870,5	53,97
Tara	541	1.603	3,4	0,2
Lim	280	936	0	0
Čehotina	56	161	0	0
Ibar	27	55	0	0
Rest	2	2	1,6	80
Gesamt	2.675	6.952	1.861	26,76

Tabelle 8: Technisches Wasserkraftpotential in Montenegro
(Hidropotencijal u Crnoj Gori, S. Skuletic)

Montenegro hat erhebliches Wasserkraftpotential an Flüssen, die für den Bau von kleinen Wasserkraftwerken eingesetzt werden können. Eine detaillierte Untersuchung des Wasserkraftpotentials für Montenegro ergab 70 potentielle Kleinwasserkraft-Standorte mit einer Gesamtleistung von 231 MW und einer geschätzten Erzeugung von 644 GWh jährlich (vgl. Ministarstvo ekonomije Republike Crne Gore, 2006). In dieser Untersuchung sind allerdings die Flüsse Tara und Čehotina nicht berücksichtigt, weshalb gesagt werden kann, dass das Potential der KWKW in Montenegro noch höher ist.

4.5.3. Windpotential in Montenegro

In der Analyse des Windpotentials für Montenegro wurde eine Bewertung für das gesamte Gebiet von Montenegro durchgeführt und die Ergebnisse sind in Windkarten für das gesamte Gebiet dargestellt. Die Karten zeigen die theoretische Durchschnittswindgeschwindigkeit (Abbildung 20) und das durchschnittliche theoretische Windpotential (Abbildung 21) an der Fundstelle in einer Höhe von 50 Meter über dem Meeresspiegel.

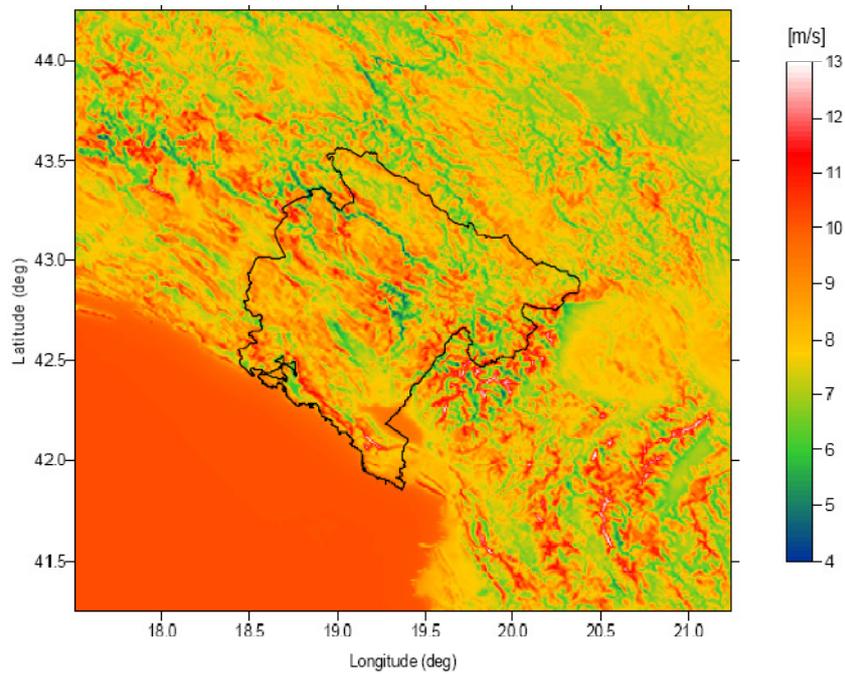


Abbildung 20: Die mittlere Windgeschwindigkeit [m/s] auf 50 m Höhe
(Ministarstvo ekonomije Republike Crne Gore, 2006)

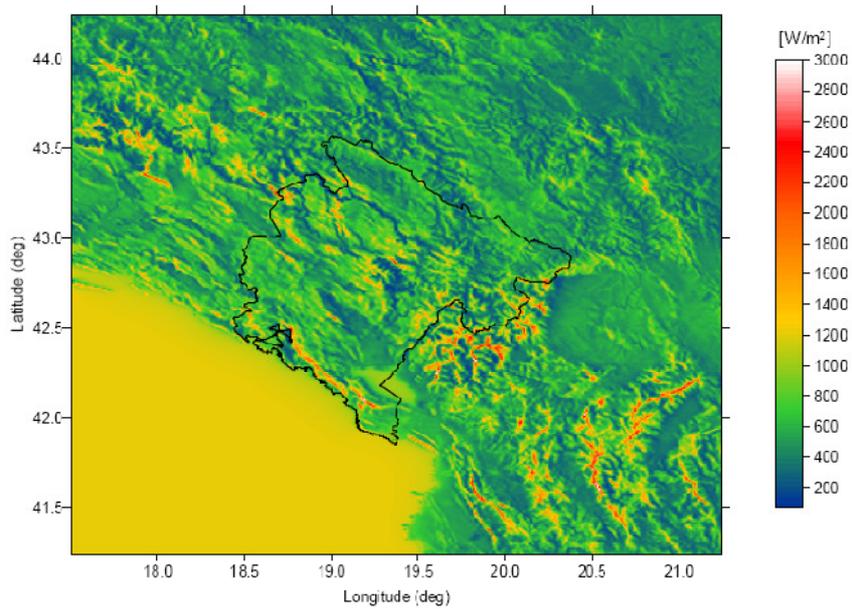


Abbildung 21: Das theoretische Potential der Windenergie [W/m²] auf 50 m Höhe
(Ministarstvo ekonomije Republike Crne Gore, 2006)

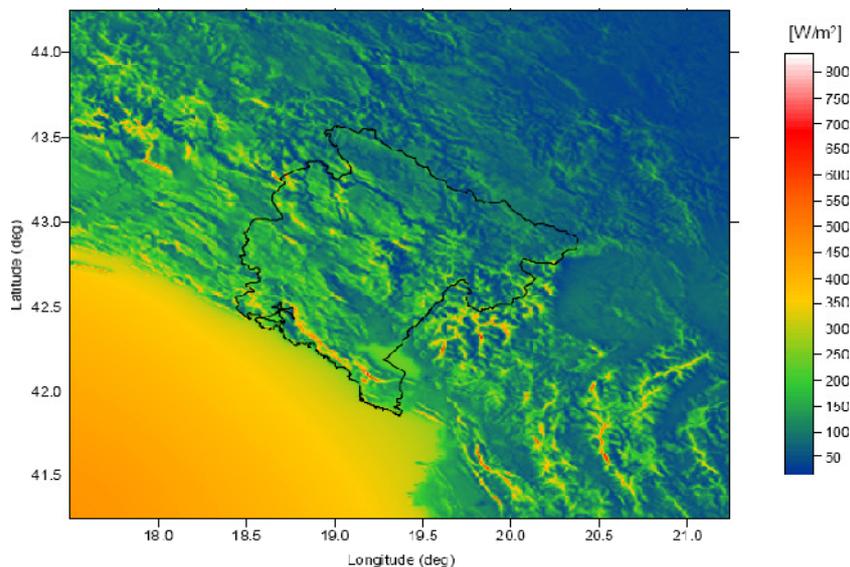


Abbildung 22: Das tatsächliche Windenergiepotential [W/m^2] auf 50 m Höhe (Ministarstvo energetike Crne Gore, 2008)

Ausgehend von der kartographischen Darstellung der tatsächlichen durchschnittlichen Wind-Ressource wurde eine ausführliche Expertenanalyse durchgeführt, die alle relevanten Beschränkungen beinhaltet, die möglicherweise die Effizienz der Windressourcen verschlechtern würden. Besonders müssen Schlüsselfaktoren berücksichtigt werden, die zu einer erheblichen Verringerung der Energienutzung des Windes beitragen könnten, wie z.B. eine komplexe Struktur und Topographie des Geländes, verkehrsgünstige Lage und Straßennetzwerk, die Nähe von Naturparks, Schienen und Stromnetze, die Nähe zu besiedelten Plätzen und der allgemeinen ökologischen Kontext. Die attraktivsten Standorte für die Nutzung des Windenergiepotentials in Montenegro sind folgende:

- Küstengebiete: Die maximale Windgeschwindigkeit im Land, unter Berücksichtigung der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Faktoren, weist das Gebiet um den Berg Rumija auf. Ein weiterer interessanter Bereich ist der Hügel in der Nähe von Petrovac (dieses Gebiet befindet sich in der Nähe von Hauptstraßen und von 220-kV-Netze). Ohne den Berg Lovćen könnten auch andere Bergregionen in der Nähe von Herceg Novi und Orahovac als geeignete Standorte betrachtet werden. In all diesen Bereichen beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit über 6 m/s.
- Die Hügel rund um Niksic: Dieses Gebiet wird von der mittleren Windgeschwindigkeit im Bereich von 5,5 bis 6,5 m/s gekennzeichnet. Darüber hinaus ermöglicht die bestehende

Infrastruktur von Straßen- und Stromnetzen eine gute Grundlage für die Entwicklung von Projekten für die Nutzung des Windenergiepotentials.

Betrachtet man nur die am besten geeigneten Gebiete für die Installation von Windenergieanlagen (mit einer Nutzungsdauer von mehr als 25 Jahre), kommt man zu dem Schluss, dass die Republik Montenegro ein Windpotential von 100 MW hat, wobei nur die windigsten Gebiete berücksichtigt werden (Geschwindigkeit über 7 m/s). Wenn wir die Zonen mit hohem Potential mitberücksichtigen, erreicht man einen Wert von knapp 400 MW. Die Nutzung der Windenergie für die Erzeugung von Strom könnte 20-25% der jährlichen Energienachfrage in Montenegro decken (Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, 2007).

4.5.4. Das Potential der Sonnenenergie in Montenegro

Eine Bewertung des Potentials der Solarenergie erfordert in der Regel Boden- und Satellitenmessungen. In Montenegro sind derzeit Daten aus Messungen am Boden nicht verfügbar und die Entstehung von Sonnensystemkarten basiert nur auf der Basis von Satellitendaten. Karten der Globalstrahlung für das gesamte Gebiet von Montenegro werden mit dem Wert der Globalstrahlung auf einer täglichen Basis gebildet. Diese Karte entspricht dem durchschnittlichen Tageswert der Sonnenstrahlung auf jährlichem Niveau. Aus dieser Karte können AnwenderInnen schnell herausfinden, wie hoch der durchschnittliche Tageswert der Sonnenstrahlung in einem bestimmten Gebiet ist

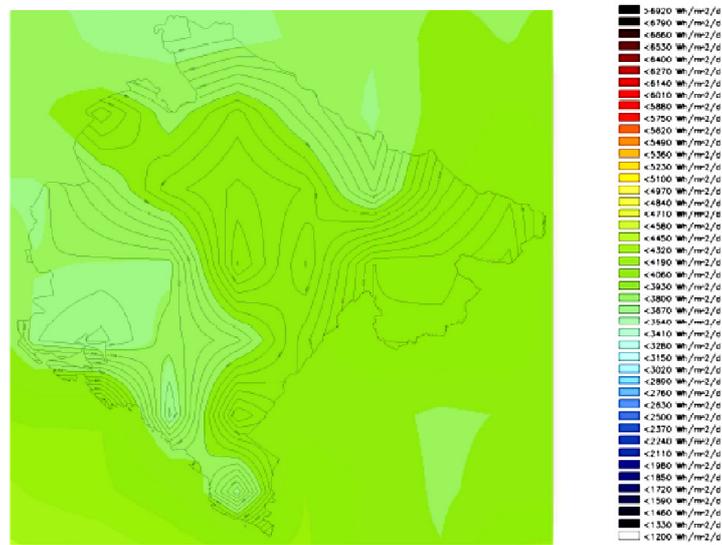


Abbildung 23: Globalstrahlung – Durchschnittliche Tagesmittelwerte
(Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, 2007)

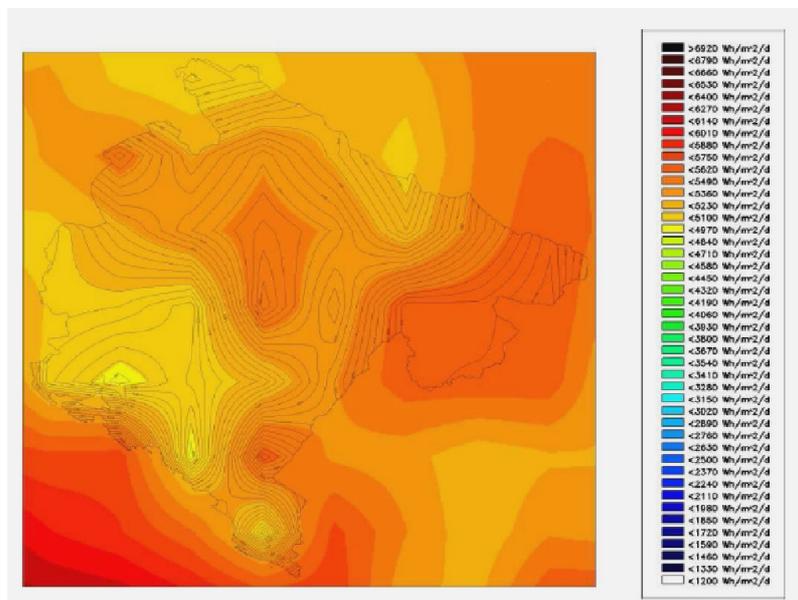


Abbildung 24: Globalstrahlung – durchschnittliche Tagesmittelwerte monatlich (für den Monat Mai)
(Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, 2007)

Solar-strahlungskarten zeigen das theoretische Potential der Sonnenenergie in bestimmten Ländern an, das heißt, sie zeigen die Globalstrahlung an einem bestimmten Ort während einer bestimmten Zeit an (technische und wirtschaftliche Zwänge sind nicht berücksichtigt).

Wegen der relativ kleinen Fläche des Territoriums von Montenegro gibt es kaum Unterschiede zu den Durchschnittswerten der Sonnenstrahlung. Montenegro zeigt ein großes Potential für die Einführung eines Systems zur Nutzung der Solarenergie, da die Anzahl der Sonnenstunden (Insolation) mehr als 2.000 Stunden pro Jahr für die meisten das Gebiet von Montenegro und mehr 2.500 Stunden pro Jahr entlang der Küste betragen (vgl. Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, Februar 2007). Das theoretische Potential der Solarenergie in Montenegro liegt bei ca. 21,3 TWh pro Jahr.

Die Höhe der Sonnenstrahlung in Montenegro, vor allem in den Küsten- und zentralen Regionen, kann mit der Menge der Sonnenstrahlung in Griechenland oder Süditalien verglichen werden. Konkret hat Podgorica im Vergleich zu anderen Städten von Südeuropa wie Rom oder Athen einen größeren jährlichen Betrag von Solarenergie (1.602 kWh/m²).

Da die Ergebnisse der kartographischen Darstellung zeigen, dass das reine solare Potential der Küstenregion und der zentralen Regionen von Montenegro sehr hoch ist, ist der Einsatz von Solarenergie in Montenegro empfehlenswert, in erster Linie durch passive Nutzung der Sonnenenergie-Architektur und durch aktive Solararchitektur.

4.6. Mazedonien

4.6.1. Geographie und Klima

Mazedonien liegt auf dem südlichen Teil des Zentralbalkans. Es grenzt im Norden an Serbien und Montenegro, im Osten an Bulgarien, im Süden an Griechenland und im Westen an Albanien. Die wichtigsten Flüsse heißen Vardar, Treska, Crna Rijeka, Pčinja, Bregalnica, Strumica und Crni Drin. Der größte Fluss ist der Vardar, der im nordwestlichen Gebirge entspringt und das gesamte Land in Richtung Südosten durchfließt.

Das Klima in Mazedonien teilt sich in drei klimatische Zonen auf: mittelländische Zone und gemäßigte Zone, Gebirgszone, kontinentale Zone. Die Mehrheit des Landes verfügt über ein stark kontinentales Klima, das Gebirgsklima findet sich vorwiegend in den Gebirgsländern.

Die Sommermonate im Land Mazedonien sind in der Regel sehr heiß und trocken, die Wintermonate eher kalt und auch sehr feucht. Schnee fällt in den Bergen hauptsächlich von November bis April. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in den Bergen liegt bei 1.000 bis 1.500 mm und in den Tälern bei 600 bis 700 mm (HMZ, 2010). Mazedonien ist ein Land mit einem höheren Potential für die Nutzung der Sonnenenergie im Vergleich zu den durchschnittlichen europäischen Ländern, denn es verfügt über eine durchschnittliche jährliche Sonnenstrahlung von 2.000 bis 2.400 Stunden pro Jahr (HMZ, 2010).

4.6.2. Wasserkraftpotential in Mazedonien

Die Nutzung der erneuerbaren Energieträger in Mazedonien erfolgt vor allem aus Wasserkraftwerken. Abhängig von den hydrologischen Bedingungen erwirbt Mazedonien 15% bis 18% der jährlichen Produktion von Elektrizität aus Wasserkraft. Der Verbrauch des Wasserkraftpotentials im Land ist allerdings sehr gering und liegt bei knapp 27%. Die installierte Wasserkraftleistung teilt sich in 510 MW Speicherkraftwerke und 39 MW Laufkraftwerke auf, deren Regeljahresarbeit insgesamt rund 1,3 TWh beträgt (ELEM-Jahresbericht , 2006). Mazedonien verfügt über ein beträchtliches Wasserkraftpotential. Nach genauen Analysen und Studien liegt das gesamte theoretische Potential an Wasserkraft bei 8.863 GWh, und das technische Potential bei 5.524 GWh, während das ausgebaute Potential im bestehenden Kraftwerkspark bei 1.200 GWh liegt (vgl. Causevski & Bosevski, 2008).

Fluss	theoretisches Potential in [GWh]	technisches Potential in [GWh]	ausgebautes Potential in [GWh]
Vardar	6.660	4.559,3	1.150
Crn Drim	2.203	964,9	339
Gesamt	8.863	5.524,2	1.489

Tabelle 6: Wasserkraftpotential in Mazedonian
(Causevski, et al., 2008 S. 21)

Die Kleinwasserkraft in Mazedonien ist bis heute nur zu einem geringen Teil ausgebaut, obwohl der Anteil am technischen Potential groß ist. Eine Untersuchung des Kleinwasserkraftpotentials für die Gewässer in Mazedonien ergab 410 potentielle Standorte mit einer Gesamtleistung von 250 MW und einer Jahreserzeugung von 1.050 GWh für Kraftwerke mit einer Leistung bis 5 MW. Bis jetzt sind Konzessionsvergaben für 41 Standorte gegeben (vgl. Causevski & Bosevski, 2008). In Tabelle 10 ist das gesamte technische Wasserkraftpotential in Mazedonien

sowie die Menge von elektrischen Energien, die von diesem Potential erzeugt werden kann, dargestellt.

4.6.3 Windpotential in Mazedonien

Die Stromerzeugung aus Windkraft ist in Mazedonien immer noch in einer Studienphase. Der Wind wird in Mazedonien nach der Wasserkraft als die zweitbeste Energiequelle für die Stromerzeugung angesehen. Der Windatlas Mazedonien wurde 2005 gegründet. Die Karten bildeten die Grundlage für eine Auswahl von 15 potentiellen Standorten, an denen Messungen vorgenommen werden sollten. Von diesen 15 potentiellen Standorten wurden die vier aussichtsreichsten Standorte für weitere Messungen gewählt. Nur in den Gebirgsregionen kann der Wind Geschwindigkeiten von mehr als 8 m/s erreichen, aber in der Regel ist die Nutzung der Windkraft in diesen Bereichen wegen ihrer Unzugänglichkeit schwer. In Mazedonien könnten aus Windkraft pro Jahr ca. 2.000 GWh Strom erzeugt werden, doch es gibt derzeit keine Windkraftanlagen (V.Dimcev, et al., 2009).

Potentielle Standorte:

Der Berg Kozuf befindet sich im südlichen Teil von Mazedonien und hat das größte Potential für die Entwicklung von Windparks.

Der Berg Ranovec sowie Bogdanci, liegen auch im südlichen Teil des Landes, nahe des Berges Kozuf.

Der Standort Sasavarlija ist rund 20 Kilometer südöstlich von der Stadt Stip am Hochland mit einigen Hügeln verstreut.

Die Standorte Bogoslovec, Sveti Nikole befindet sich auch in den östlichen Teil des Landes nahe der Stadt Stip.

Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten im beobachteten Zeitraum 2006 bis 2008 sind in Tabelle 10 angegeben. Im Jahr 2006 beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit 6,53 m/s.

TABLE I. – Average wind speed

	NRG - 1 50m		
	2006	2007	2008
January		6.82	6.75
February		8.62	7.59
March		7.95	6.65
April		6.96	6.59
May		6.98	6.53
June		4.85	5.31
July	6.31	6.57	
August	6.23	6.57	
September	7.82	7.72	
October	6.27	5.45	
November	5.56	6.68	
December	5.18	6.4	
Average	6.23	6.80	6.57
All Data Average	6.53		

Tabelle 7: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit an den untersuchten Standorten
(V.Dimcev, et al., 2009 S. 3)

Die Häufigkeit der Windgeschwindigkeit nach Weibull-Verteilung ist in Abbildung 25 dargestellt. Auffällig ist, dass die Geschwindigkeiten 4 m/s und 5 m/s die höchste Häufigkeit aufweisen.

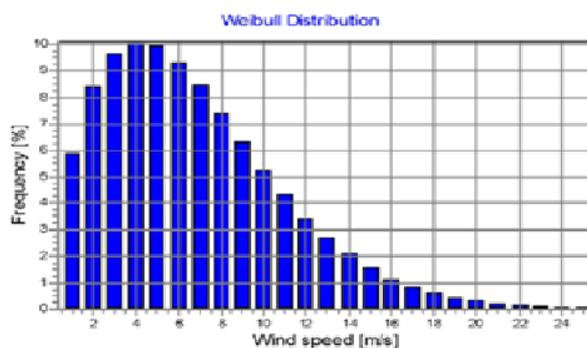


Abbildung 25: Häufigkeit der Windgeschwindigkeit
(V.Dimcev, et al., 2009 S. 2)

Die Analyse der Stromerzeugung ist auf der Grundlage von Messdaten der Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Höhe von 50 m durchgeführt worden. Es wurden durchschnittliche Windgeschwindigkeiten von 6,6 m/s und Windenergien von 4,01 kWh/m² gemessen.

4.6.4. Das Potential der Sonnenenergie in Mazedonien

Die Solarstrahlung in Mazedonien sowie in Serbien, Kroatien und Bosnien-Herzegowina gehört zur höchsten in Europa. Mazedonien hat ein theoretisches Potential von 43,26 TWh Solarstrom pro Jahr, das es produzieren könnte.

Das Land bietet sehr günstige Voraussetzungen für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, insbesondere für die Nutzung von Sonnenenergie. Das Gebiet von Mazedonien liegt zwischen dem 41. und 43. Breitengrad, wo die Intensität der Sonnenenergie gemäß den bisherigen Messungen sehr günstig ist. Es verfügt über ein großes Potential im Bereich der Solarenergie mit 2.000 bis 2.400 Sonnenstunden jährlich. Neueste Berechnungen aus Messungen bezüglich der Intensität der Sonnenenergie in Mazedonien haben folgende Werte ergeben:

Ort	Wh/m ² /Tag
Berovo	4.150,00
Bitola	4.250,00
Ohrid	4.350,00
Prilep	4.200,00
Skoplje	4.000,00
Lazarpole	4.050,00

Tabelle 8: Intensität der Sonnenenergie in Mazedonien
(Rafajlovski, Goran;, 2008)

Bislang ist die Nutzung der Solarenergie auf die Warmwasseraufbereitung begrenzt. Die durchschnittliche jährliche Einstrahlung beträgt 1.385 kWh/m², der Jahresdurchschnitt für die tägliche Sonneneinstrahlung liegt zwischen 3,4 kWh/m² und 4,2 kWh/m² (Rafajlovski, Goran;, 2008). Der Gesamtbetrag der jährlichen Sonneneinstrahlung variiert zwischen einem Minimum von 1.250 kWh/m² im nördlichen Teil Mazedoniens bis zu einem Höchstbetrag von 1.530 kWh/m² im südwestlichen Teil des Landes.

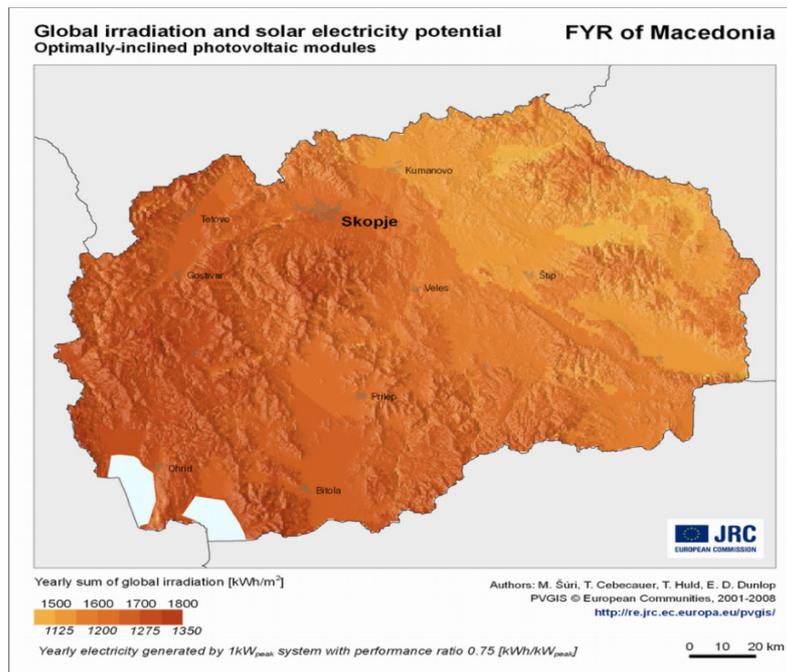


Abbildung 26: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m²]
(Suri, et al., 2007)

4.7. Serbien

4.7.1. Geographie und Klima

Serbien¹¹ ist ein kontinentales Land in Südost-Europa und liegt im zentralen Teil der Balkanhalbinsel. Wegen der Pannonischen Tiefebene im Norden gehört Serbien zur Region „Central Europe“, geographisch und klimatisch gehört es mit seinem südlichen Teil zu den Ländern des Mittelmeerraums. Serbien grenzt an viele Länder: Albanien 115 km, Bosnien und Herzegowina 302 km, Bulgarien 318 km, Kroatien 241 km, Ungarn 151 km, Mazedonien 221 km, Montenegro 203 km, Rumänien 476 km. Im nördlichen Teil Serbiens dominieren Ebenen, in den südlichen Gebieten Hügel und Berge.

¹¹ Alle Daten und Forschungsergebnisse sind für das gesamte Gebiet der Republik Serbien, einschließlich Kosovo, durchgeführt worden. Der Status des Kosovo ist noch nicht definiert. Kosovo ist bis dato weder von der Vollversammlung der Vereinten Nationen noch von anderen Institutionen als eine unabhängige Republik anerkannt worden.

Das Klima kann als gemäßigt-kontinentales Klima mit mehr oder weniger deutlichen lokalen Eigenschaften beschrieben werden. Die räumliche Verteilung der Klimaparameter wird durch die geographische Lage, Relief und lokale Einflüsse verursacht. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge erhöht sich mit der Höhenlage. In den unteren Regionen liegt der jährliche Niederschlagsmenge im Bereich von 540 bis 820 mm, in Gebieten mit Höhen über 1.000 m wurde ein Durchschnitt von 700 bis 1.000 mm Niederschlag gemessen, einige Berggipfel im Südwesten Serbiens weisen ergiebige Niederschläge bis 1.500 mm auf (HIDMET, 2010).

Der größere Teil von Serbien fällt in das kontinentale Niederschlags Regime, während der wärmeren Jahreshälfte, die Ausnahme bilden die südwestlichen Regionen, in denen die meisten Niederschläge im Herbst fallen. Am regenreichsten ist der Monat Juni, wenn durchschnittlich 12-13% des gesamten jährlichen Niederschlags fallen. Die Monate mit den geringsten Niederschlägen sind September und Oktober.

Die jährliche Summe der Sonnenscheindauer liegt im Intervall von 1.500 bis 2.200 Stunden pro Jahr. Die Winde sind zu einem großen Teil durch die Orographie bestimmt. Im wärmeren Teil des Landes herrschen Winde aus Nordwest und West vor. In den kälteren Teilen dominiert der Ost- und Südost-Wind-Kosava. Die serbischen Flüsse gehören zu dem Einzugsgebieten dreier Meere: Adria, Ägäis und Schwarzes Meer.

Einzugsgebiet des Schwarzen Meers: Die Fläche des Beckens des Schwarzen Meeres in Serbien ist die größte, sie umfasst eine Fläche von 81.261 km² bzw. 92% des gesamten Territoriums. Alle wichtigen serbischen Flüsse gehören zu diesem Becken: Donau, Sava, Tisa Velika Morava, Drina.

Das **Adria-Einzugsgebiet** nimmt in Serbien eine Fläche von 4.500 km² bzw. 5% der Landesfläche ein. Dieses Becken umfasst den westlichen Teil des Kosovo und Metohija, mit dem Fluss Bijeli Drin, der Serbien mit Albanien verbindet, und dem Crni Drin. Der Crni Drin und der Fluss Drin fließen in die Adria.

Das ägäische Einzugsgebiet ist das kleinste der drei Becken mit einer Fläche von 2.650 km², was 3% des Territoriums von Serbien entspricht. Die Ägäis umfasst den südlichen Teil von Serbien und liegt an der Grenze zu Mazedonien und Bulgarien.

4.7.2. Wasserkraftpotential in Serbien

Serbien verfügt über ein beträchtliches Wasserkraftpotential, das erst zu einem Teil genutzt wird. Das gesamte theoretische Wasserkraftpotential in Serbien ist auf etwa 25.000 GWh pro Jahr geschätzt, wovon 17.000 GWh wirtschaftlich verwertbar sind (Dieser Anteil des Wasserkraftpotentials ist von vielen Faktoren abhängig, wobei der Strompreis einer der dominierenden Faktoren ist) (EPS, 2008). In 14 Wasserkraftwerken, die bis jetzt aufgebaut sind, werden vom gesamten Wasserkraftpotential etwa 10.000 GWh genutzt, neue Investitionen sind notwendig, um die verbleibenden 7.000 GWh auszunutzen. Das soll an über 50 Standorten geschehen, die über eine mehr als 10 MW installierte Leistung verfügen. Die installierte Wasserkraftleistung teilt sich in 784 MW Speicherkraftwerke, 1.500 MW Laufkraftwerke und 642 MW Pumpspeicherkraftwerke auf, deren Regeljahresarbeit insgesamt rund 10,1 TWh beträgt (EPS, 2009).

Das Programm der Energie-Strategie der Republik Serbien sieht den Bau von drei neuen Wasserkraftwerken vor – Ribarić (46,7 MW - 76,1 GWh), Pumpspeicherkraftwerk Bistrica (680 MW - 60 GWh) und HE Vrutci (31,8 MW - 42,2 GWh) (EPS, 2009).

Serbien hat ein Kataster von Potential für kleine Wasserkraftwerke (Leistung von 0,1 bis 10 MW) erstellt. Das Ergebnis der Auswertung waren 850 mögliche Standorte. Die gesamte mögliche Leistung dieser 850 Standorte wurde mit 450 MW bzw. einem technischen Potential von 1.600 GWh jährlich berechnet.

4.7.3. Windpotential in Serbien

In Serbien sind systematische Messungen von Windpotentialen durchgeführt worden. Der nordöstliche Teil Serbiens, die Vojvodina, ist eine Region von besonderem Interesse für den Windanlagenbau. Eine Windpotential-Karte von Serbien ist durch die Anwendung von Methoden aus dem europäischen Windatlas und Standard-Hydrometeorologie-Messungen der Windgeschwindigkeit von neun Hydrometeorologie Stationen über den Zeitraum von 1999 bis 2006 gebildet worden (Durisic, et al., 2009).



Abbildung 27: Durchschnittliche jährliche Windkraft in Serbien auf 100 m Höhe über dem Boden (Durisic, et al., 2009)

Grundlegende Eigenschaften des Windpotentials von Serbien:

- Die erhältliche Windenergie in Serbien variiert stark von einer Region zur anderen, es zeigen sich erhebliche Unterschiede, auch bei kleinen Abständen.
- Die Windenergie ist in tiefer gelegenen Gebieten höher als in höheren. Dieses Paradoxon kann mit einer Tatsache erklärt werden: Die Winde sind in der Regel katabatisch und haben eine höhere Geschwindigkeit beim Abstieg.
- Der nordöstliche Teil Serbiens ist eine Region von besonderem Interesse. Insbesondere die Region Süd Banat ist interessant, wo der Wind der beherrschenden Richtung auch eine dominante Geschwindigkeit aufweist.
- Das Windpotential dieser Region ist in der kälteren Zeit des Jahres höher.

Die Region Vojvodina ist für die Analyse des Windpotentials und für die Entwicklung von Windparks speziell wegen des zugänglichen Geländes (Boden) und der niedrigen Baukosten der Windenergieanlage interessant. Die Vojvodina hat eine günstige Lage für Transport und Installation große Windkraftanlagen aus den Ländern der Europäischen Union (Donau). In

diesem Gebiet gibt es zu dem viele isolierte (einzelne) Stromverbraucher in ländlichen Standorten, potentielle NutzerInnen für kleine Wind System-Anwendungen.



Abbildung 28: Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit und Wind-Karte der Region Vojvodina in 50 m Höhe über dem Boden (Durisic, et al., 2009)

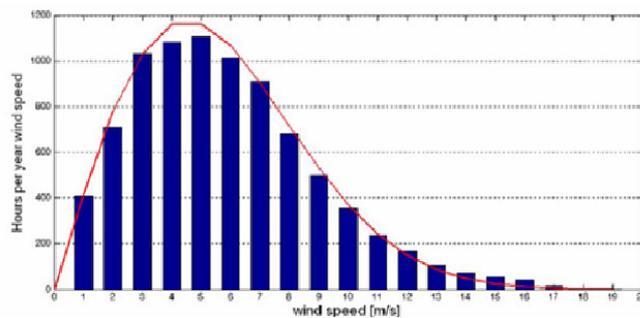


Abbildung 29: Histogramm der Windgeschwindigkeit und Rayleigh Statistik bei 50 m Höhe über dem Boden, geschätzt (Durisic, et al., 2009)

Die Zielregion ist durch einen starken Südost-Wind (Kosava weht im Herbst) gekennzeichnet, während des Sommers weht dieser Wind vorwiegend in westliche Richtung und mit einer wesentlich niedrigeren Intensität. Das jährliche Diagramm des Stromverbrauchs ist in hohem Maße kompatibel zu jährlichen Schwankungen der Windenergie in dieser Region, der Wind ist in den Wintermonaten deutlich stärker und tritt häufiger auf als im Sommer.

Flaches Gelände und ein relativ gutes Vertriebsnetz in der Vojvodina sind eine gute Voraussetzung für niedrige Kosten für den Anschluss von Windanlagen ans Stromnetz. Die Donau und Straßeninfrastruktur ermöglichen günstige Transporte von Windenergie-Generatoren aus den Ländern der Europäischen Union und halten die Montagekosten gering, welche erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Wind-Generatoren haben. Dies sind die wesentlichen Gründe für die Begünstigung der Vojvodina als Perspektive der Region für Wind- und Anlagenbau. Die Karte zeigt stärkere Windgeschwindigkeiten im südöstlichen Teil der Vojvodina; Kosava, ein starker südöstlicher Wind weht in dieser Region die meiste Zeit des Jahres. Die jährliche mittlere Windgeschwindigkeit in der Region in 40 m Höhe, gemessen in Deliblatska Pescara, beträgt 5,72 m/s und die mittlere Wind-Leistungsdichte hat einen Wert von 237 W/m². Jährlich mittlere Windgeschwindigkeiten auf Mikro-Standorten mit dem bestmöglichen Wind in 50 m Höhe sind über 6 m/s (Durisic, et al., 2009).

4.7.4. Das Potential der Sonnenenergie in Serbien

Serbien hat sehr günstige Bedingungen für die Nutzung der Sonnenenergie. Die Intensität der Sonnenstrahlung in Serbien zählt zu den größten in Europa. Die durchschnittliche Sonneneinstrahlung ist rund 40% höher als im europäischen Durchschnitt und liegt bei 1,4 kWh pro Quadratmeter und Jahr. Auf Jahresbasis betrug der durchschnittliche Wert der globalen Energie-Strahlung auf das Gebiet der Republik Serbien bis zu 1.200 kWh/m²/Jahr im Nordwesten Serbiens bzw. bis zu 1.550 kWh/m²/Jahr im Südosten Serbiens während im mittleren Teil etwa 1.400 kWh/m²/Jahr gemessen wurden (vgl. Colovic, 2008).

Die günstigsten Gebiete weisen eine große Anzahl von Sonnenstunden auf, das Verhältnis der tatsächlichen jährlichen Einstrahlung auf die insgesamt mögliche Bestrahlung erreicht etwa 50% (Tabelle 9).

Mesto City	Mese c Month												Ukupno godišnje Total/yr	Srednje godišnje Aver/yr
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Beograd	1,40	2,20	3,35	4,85	6,00	6,45	6,75	6,00	4,65	3,05	1,60	1,15	1446,80	3,96
Vršac	1,00	2,00	3,35	4,40	6,00	6,40	6,55	6,85	4,60	3,00	1,55	1,00	1424,75	3,90
Palić	1,30	2,10	3,45	5,00	6,15	6,25	6,35	5,85	4,30	2,85	1,40	1,15	1407,40	3,80
Novi Sad	1,45	2,35	3,20	4,65	5,80	6,20	6,35	5,75	4,40	2,90	1,45	1,20	1392,64	3,82
Niš	1,75	2,60	3,45	5,00	6,10	6,35	6,70	6,15	5,35	3,45	1,85	1,50	1531,40	4,20
Kuršumljija	2,15	3,00	3,60	5,05	5,85	6,05	6,55	6,10	5,30	3,50	2,00	1,75	1550,50	4,25
Peć	1,85	2,95	3,70	4,85	5,95	6,15	6,75	6,15	4,90	3,65	2,25	1,60	1546,25	4,24
Priština	1,85	2,90	3,70	5,25	6,30	6,60	6,95	6,30	5,10	3,35	1,90	1,60	1578,25	4,32
Vranje	1,70	2,70	3,65	5,15	6,15	6,40	6,50	6,35	5,25	3,45	1,85	1,50	1543,40	4,23
Loznica	1,50	2,30	3,05	4,35	5,30	5,75	6,15	5,60	4,30	2,80	1,45	1,20	1333,50	3,65
Kragujev.	1,50	2,40	3,35	4,80	5,85	6,10	6,45	5,90	4,85	3,30	1,70	1,30	1447,85	3,97
Negotin	1,35	2,05	3,25	4,85	6,05	6,60	6,95	6,25	4,75	2,90	1,45	1,20	1453,35	3,98
Zlatibor	1,50	2,30	3,10	4,35	5,10	5,65	5,90	5,35	4,30	2,75	1,60	1,30	1316,40	3,61

Tabelle 9: Durchschnittliche tägliche solare Einstrahlung auf die horizontale Fläche in kWh/m², für bestimmte Städte in Serbien (Igor Colovic, *Solar Energy*, S. 6)

Das größte Potential zur Nutzung der Solarenergie haben die Städte im südlichen Teil von Serbien – Nis, Kursumlija, Vranje.

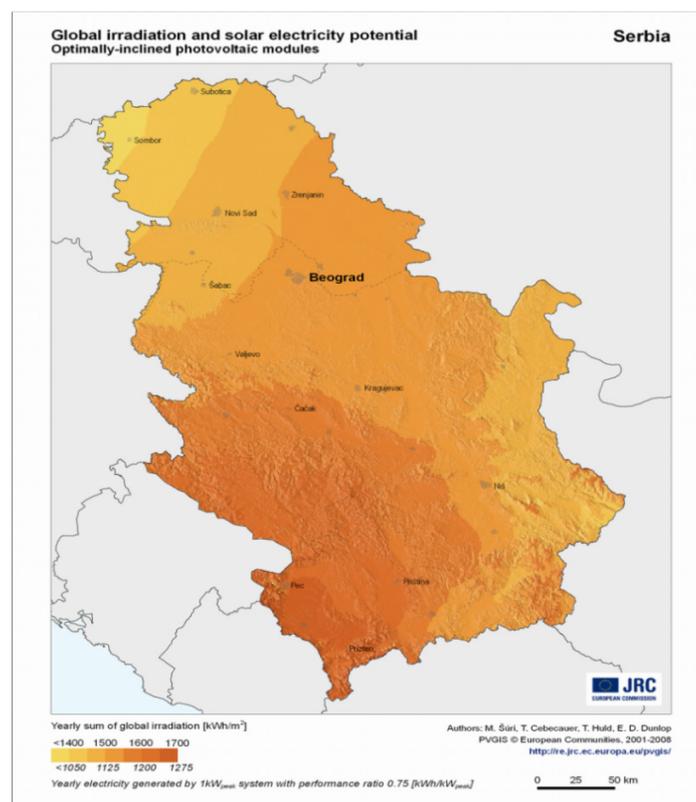


Abbildung 30: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m²]
(Suri, et al., 2007)

Für Beograd: Die durchschnittliche Dauer der Sonneneinstrahlung liegt bei 2.071 Stunden, etwa 70% entfallen dabei auf die Monate zwischen April und September. Insgesamt beträgt die Strahlung über 2.088 kWh/m². Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Witterungsbedingungen, Luftverschmutzung und Luftfeuchtigkeit erreicht die tatsächliche durchschnittliche energiereiche Strahlung einen Wert von etwa 3,5 kWh/m² pro Tag (Djajic, 2007).

4.7.5. Komplementaritätsregime von Energieressourcen Sonne und Wind in Serbien

Serbien verfügt über ein sehr günstiges natürliches Potential und einen besonderen Vorteil durch saisonale Komplementarität der potentiellen Energien Sonne und Wind (Gburcik, et al., 2007).

Sonnen- und Windenergie unterliegen starken Schwankungen. Die Zeitintervalle, in denen diese Schwankungen auftreten, reichen von Sekunden bis Jahren. Die wichtigsten sind Perioden des Tages und Jahres. Nicht-periodische Schwankungen sind im Zusammenhang mit Änderungen des Wetters zu beobachten. Hier werden nur periodische Änderungen des Jahres gezeigt.

Die Energie der Sonnenstrahlung und des Windes haben laut ihren Merkmalen ein jährliches Regime. Der maximale Wert der Windenergie tritt in Serbien während des Winters auf, und für die Sonnenenergie im Sommer (Maximum im Juli). Die Notwendigkeiten, Energien zu nutzen, sind in den Wintermonaten am höchsten. Mit der kurzfristigen (täglichen) und saisonalen Komplementarität der verfügbaren natürlichen Ressourcen von Sonne und Wind bekommen wir einen Zustrom von Energie mit deutlich geringerer Amplitude und besseren Bedingungen für die Nutzung der Kapazität des Energiesystems.

Abbildung 31 zeigt den jährlichen Verlauf der monatliche Werte von Solar- und Windenergie pro Quadratmeter in Serbien. Die Solarenergie wird pro Quadratmeter horizontaler Fläche gemessen, während das Ausmaß der Windenergie pro Quadratmeter Oberfläche des Propeller, d.h. die vertikale Fläche, gemessen wird.

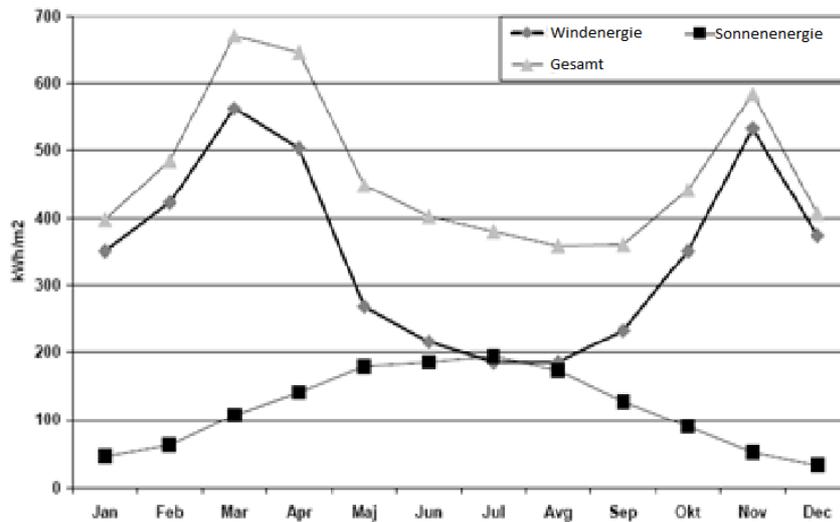


Abbildung 31: Vergleichende jährliche Mengen von Solarenergie und Wind (Gburcik, et al., 2007)

Die Tatsache, dass der Wind Kosava während der kälteren Monate des Jahres meistens weht, macht es für Serbien sehr wichtig, die Nutzung von Solar- und Windenergie zu koppeln. In den wärmeren Monaten des Jahres üben der West-, Nordwest- und Südwest-Wind mehr Einfluss aus. In diesem Zeitraum ist die verfügbare Windenergie wesentlich geringer als im Winter, aber auch der Stromverbrauch ist niedriger.

In Serbien sind Winde in der Regel meist dann vorhanden, wenn die Nachfrage nach elektrischer Energie am größten ist. Analysen von Wind-Schwankungen bei der täglichen Ebene zeigen, dass selbst tägliche Änderungen des Winds dem Verbrauch folgen.

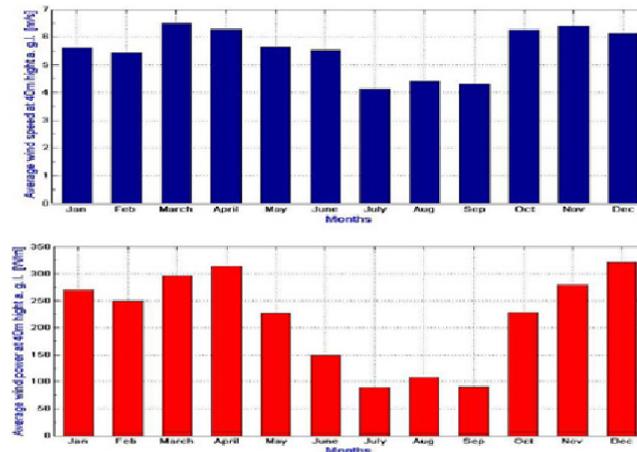


Abbildung 32: Durchschnittliche monatliche Windgeschwindigkeit (blau) und Windstärken-Variation (rot) an Standorten in Vojvodina, gemessen in 40 m Höhe (Durisic, et al., 2009)

Die Struktur der elektrischen Systeme Serbiens ist im Hinblick auf die Integration von Windgeneratoren günstig. Die Existenz des Pumpspeicherkraftwerks Bajina Basta ermöglicht die Übernahme des Überschusses von elektrischer Energie, wenn beispielsweise stärkerer Wind weht, das heißt, wenn die Windkraftanlagen mehr elektrische Energie produzieren. Ein stabiles Wasserkraft-Potential (Djerdap Wasserkraft) könnte auch effiziente regulatorische Reserven liefern und die Arbeit des Systems stabilisieren, sogar wenn große Schwankungen bei der Herstellung von Windkraftanlagen auftreten würden.

4.8. Slowenien

4.8.1 Geographie und Klima

Slowenien liegt zwischen den Alpen und der Adria und grenzt an Italien, Österreich, Ungarn und Kroatien. Die Hälfte der Staatsfläche ist mit Wald bedeckt – mehr Wälder gibt es in Europa nur in Finnland und in Schweden. Slowenien liegt am Knotenpunkt der Alpen, des Dinar-Gebirges und der Pannonischen Tiefebene, daher herrschen Alpen-, Mittelmeer- und Kontinentalklima vor.

In den Alpen herrscht typisch alpines Klima vor, welches aber wegen der Nähe zum Mittelmeer in den Tälern milder als in vielen anderen Alpenregionen ist. Der Winter ist dort feucht mit viel Schnee.

Das Klima an der Adriaküste ist mediterranen Charakters. Die Winter sind kühl und feucht, mit Temperaturen, die sich um die 10 Grad bewegen. In den übrigen Gebieten, welche auch am dichtesten besiedelt sind, herrscht ein gemäßigtes Klima vor, welches jedoch kontinentalen Charakter hat. Die Sommer sind wiederum heiß, mit mäßigem Niederschlag. Die Niederschlagsmenge liegt in Ljubljana bei etwa 1.200 mm und im Gebirge bis zu 3.000 mm pro Jahr (HZRS, 2010). Es gibt drei Flusssysteme in Slowenien: Das längste davon ist die Sava, die in südöstlicher Richtung über die Mitte von Slowenien fließt. Die Drau fließt auch südöstlich, dessen Becken umfasst ein Drittel von Slowenien. Der andere bedeutende Fluss in Slowenien ist die Soca, die nach Süden durch den westlichen Teil Sloweniens fließt und vor dem Eintritt nach Italien in die Adria mündet.

4.8.2 Wasserkraftpotential in Slowenien

Slowenien hat eine installierte Leistung von 3.070 MW, davon 1.360 MW thermische Anlagen mit fossilen Brennstoffen, 1.010 MW aus Wasserkraft und 700 MW aus dem Kernkraftwerk Krsko.

Wasserkraft ist zweifellos das Herzstück der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Wasserkraftwerke an den großen Flüssen des Landes erzeugen allein rund ein Drittel des Strombedarfs des Landes. Das Potential wird auf 8.800 GWh geschätzt, wovon heute ca. 4.000 ausgeschöpft werden (ELES, 2008). Strategisches Ziel ist die schrittweise Erweiterung um 1.500 GWh bis zum Jahr 2015.

In Slowenien existiert ein Drei-Fluss-System. Die Drau ist die wichtigste Quelle der Wasserkraft in Slowenien. Die Drau hat ein technisches Potential von 2.969 GWh, von denen 97,8% ausgenutzt sind (vgl. Kryzanowski, 2009). Im Durchschnitt können die Kraftwerke der Drau mehr als 2,5 GWh Strom pro Jahr produzieren; die Drau deckt etwa 37% des landesweiten Strombedarfs im Sommer und rund 20% Prozent des Strombedarfs im Winter ab.

Die Sava ist der zweitgrößte slowenische Fluss. Sie verfügt über 2.794 GWh nutzbares Potential, etwa 18% davon werden genutzt.

Der Rest der Flüsse hat 3.455 GWh Potential mit rund 22%, die bereits genutzt werden (vgl. Kryzanowski, 2008).

Die Sanierung der bestehenden kleinen Wasserkraft-Einheiten sowie eine Erhöhung der Kapazität der großen Einheiten sind Teil der Regierungsstrategie und gehören zur Erneuerbare-

Energie-Strategie. Die slowenische Regierung möchte auch noch fünf weitere Wasserkraftwerke entlang der unteren Sava bauen, die bis 2013 ca. 200 MW installierte Leistung zum System hinzufügen sollen. Rund 230 MW Kapazität sind derzeit im Aufbau im ganzen Land, weitere 520 MW Kapazität sind geplant (Maksic, et al., 2008).

Gesamt-Potential			Nutzung
Fluss	GWh	MW	%
Drava	2.969	646	98
Sava	3.323	920	18
Soca	1.057	368	22
Mura	400	400	5

Tabelle 10: Das Potential der gesamten Wasserkraft in Slowenien (EBRD, 2009)

Der Großteil dieses Potentials wird als umweltfreundlich empfunden, es gibt aber einige Projekte, die von hohen anfänglichen Investitionskosten behindert werden. Das theoretische Potential der Kleinwasserkraftwerke wird auf 105 MW installierte Leistung und 416 GWh geschätzt (Maksic, et al., 2008).

4.8.3 Windpotential in Slowenien

Windenergie wird derzeit wenig genutzt und mit den vorhandenen Windverhältnissen, mit Geschwindigkeiten im unteren Bereich von 1,7 m/s bis 4,5 m/s, ist das Potential eher gering (HZRS, 2010). An zwölf verschiedenen Orten in ganz Slowenien wurden Messungen durchgeführt – die theoretischen Windenergie-Potentiale wurden auf etwa 600 MW geschätzt. Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten, vom Hydrometeorologischen Amt von Slowenien über viele Jahre aufgezeichnet, zeigen folgende Ergebnisse:

Standort	Durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]
Ajdovscina	3,6
Brnik	1,7
Krsko	2,1
Maribor	2,8
Portoroz	4,5

Tabelle 11: Wind-Durchschnittsgeschwindigkeiten in Slowenien (EBRD, 2009 S. 10)

Es ist offensichtlich, dass nur die Region Portorož über Durchschnittsgeschwindigkeiten verfügt, die für eine wirtschaftliche Ausbeutung ohne Subventionen sprechen (4,5 bis 5,0 m/s).

Die slowenische Regierung bietet steuerliche Anreize nur für die Förderung der Windenergie und anderen erneuerbaren Energiequellen. Die wichtigsten Hindernisse für die Entwicklung der Windenergie-Anlagen sind die relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten.

4.8.4 Das Potential der Sonnenenergie in Slowenien

Das Potential der Solarenergie in Slowenien ist jedoch deutlich niedriger als in anderen Ländern Südost-Europas. Die durchschnittliche jährliche Einstrahlung in Slowenien beträgt 1.070 kWh/m² (HZRS, 2010). Die Menge der einfallenden Sonnenenergie in den Monaten zwischen November und Januar ist etwa fünf Mal geringer als in den Sommermonaten.

Durchschnittliche Werte der Sonnenstrahlung sind in der nachstehenden Tabelle für die Städte Ajdovscina, Brnik, Novo Mesto, Koper, Maribor und Ljubljana vorgestellt.

Standort	Durchschnittliche Solarstrahlung in kWh/m ² /Tag
Ajdovscina	3,21
Brnik	2,95
Novo Mesto	3,03
Koper	3,4
Maribor	3,01
Ljubljana	2,29

Tabelle 12: Durchschnittliche tägliche Sonneneinstrahlung für ausgewählte Standorte (EBRD, 2009 S. 10)

In der Abbildung 33 ist die jährliche Summe der globalen Strahlung für Slowenien dargestellt.

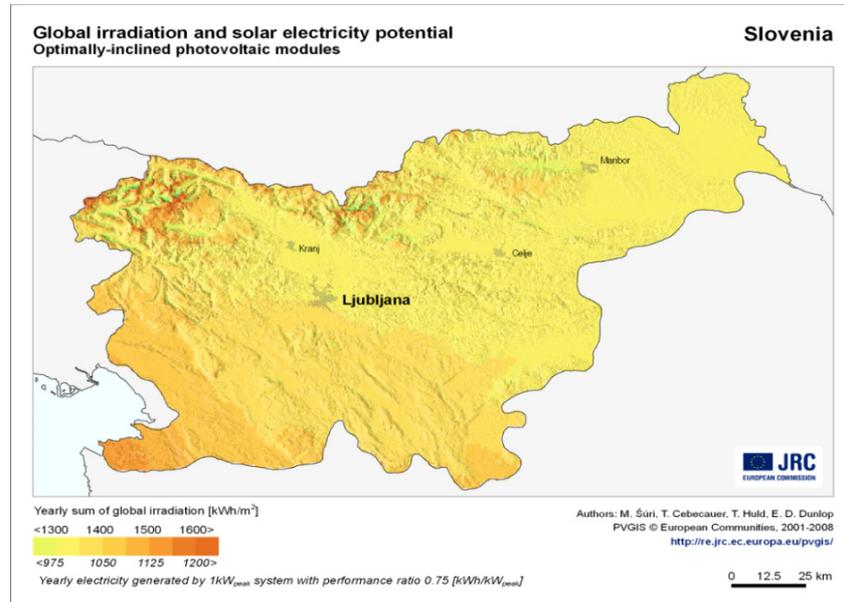


Abbildung 33: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m²]
(Suri, et al., 2007)

5. Analyse und Modellierung der möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

5.1. Analyse der bestehenden Kraftwerksparks

Das Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Analyse ist die Simulation der Erzeugung von Wasserkraftpotential in den Ländern Südost-Europas, aufbauend auf der Stromerzeugung in bestehenden Wasserkraftparks der letzten 15-20 Jahre.

Um Stromerzeugungspotentiale aus Wasserkraft festzustellen, war es erforderlich, die bestehenden Kraftwerksparks zu analysieren. Für jedes Land wurde eine Unterteilung und Analyse der Wasserkraftwerke in Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke vorgenommen. Aus Jahresberichten von Stromerzeugungsunternehmen wurde die durchschnittliche monatliche Stromerzeugung festgestellt. Diese Analyse umfasste einen Zeitraum von 10 bis 20 Jahren, je nach zugänglichen Daten. Es wurden Werte bis einschließlich 2008 in die Analyse aufgenommen, später gebaute Kraftwerke sind nicht berücksichtigt worden. Als Ergebnis wurde die durchschnittliche monatliche Stromerzeugung in Prozent in Bezug auf die gesamte Jahrerzeugung ermittelt. Diese Daten (Anteil monatlicher Stromerzeugung) werden im folgenden Unterkapitel für die Ermittlung des verbleibenden Wasserkraftpotentials verwendet.

5.2. Analyse des Wasserkraftpotentials

Im Zuge der Bestimmung des Wasserkraftpotentials der südosteuropäischen Länder wurde eine umfassende Internet- und Literaturrecherche durchgeführt. Aufgrund der gefundenen Daten, die von staatlichen Behörden, verschiedenen Studien und Untersuchungen veröffentlicht sind, ist es möglich, das gesamte technische Wasserkraftpotential für jedes einzelne Land zu bestimmen. In der Analyse der bestehenden Wasserkraftwerke wurde das ausgebaute (genutzte) Potential bestimmt. Mit diesen Daten ist es möglich, das verbleibende Wasserkraftpotential auszurechnen. Die monatliche Verteilung des technischen Wasserkraftpotentials wurde entsprechend der Erzeugungscharakteristik des bestehenden Kraftwerksparks des jeweiligen Landes angenommen. Diese Analyse ist im Kapitel 5.6 dargestellt.

In der Tabelle 13 ist das gesamte, ausgebaute und verbleibende technische Wasserkraftpotential für die Länder Südost-Europas dargestellt.

	gesamtes technisches Potential				ausgebautes Potential				verbleibendes technisches Potential			
	WKW		KWKW		WKW		KWKW		WKW		KWKW	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
RS	4.450	17.000	450	1.600	2.831	10.600	21	48	1.619	6.400	429	1.552
BA	5.600	21.000	286	963	2.200	5.800	30	87	3.400	15.200	256	876
MK	2.100	4.520	250	1.050	564	1.200	11	23	1.536	3.320	239	1.027
ME	2.600	6.900	231	644	649	1.700	9	21	1.951	5.200	222	623
HR	2.900	8.700	135	560	1.938	5.700	24	78	962	3.000	111	482
SL	2.250	8.600	105	416	1.055	3.900	45	135	1.195	4.700	60	281

Tabelle 13: Wasserkraftpotential in Südost-Europa

5.3. Analyse des Windkraftpotentials

Das technische Windkraftpotential wurde für jedes Land durch Literaturrecherche bestimmt (Regierungen, Strategien und Studien, die von der Weltbank und der Europäischen Kommission finanziert wurden).

Für die Bestimmung einer durchschnittlichen monatlichen Windgeschwindigkeit für die untersuchten Länder wurde eine NASA-Datenbank verwendet. NASA hat die Resultate von Satelliten-Messungen von Windgeschwindigkeit für die gesamte Erde veröffentlicht (NASA, 2010). Diese Daten wurden für südosteuropäische Länder mit Hilfe der Software ArcGis interpoliert und so die durchschnittlichen monatlichen Windgeschwindigkeiten bestimmt. Die Windgeschwindigkeit auf monatlicher Basis ist proportional zur Windstärke.

Das gesamte technische Windkraftpotential wurde mit dieser durchschnittlichen monatlichen Windkraft skaliert, eine mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft wurde so ausgerechnet. Es wurde also näherungsweise ein linearer Zusammenhang zwischen mittlerer Windstärke und monatlicher Windstromerzeugung angenommen.

In Tabelle 14 sind die durchschnittliche Windgeschwindigkeit und die mögliche jährliche Stromerzeugung für die Länder Südost-Europas dargestellt.

Windkraft	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche jährliche Erzeugung in [GWh]
BA	3,82	2.400
HR	3,52	10.400
MK	3,76	2.000
ME	4,01	900
RS	3,91	16.000
SI	2,96	700

Tabelle 14: Windkraftpotential in Südost-Europa

5.4. Analyse des Solarpotentials

Für die Bestimmung des theoretischen Solarpotentials wurden die Daten und Publikationen des Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) (Suri, et al., 2007) verwendet. Das ist ein Institut, gegründet von der Europäischen Kommission, mit dem Ziel, Untersuchungen von erneuerbaren Energien und insbesondere der Sonnenenergie durchzuführen. Von Hydrometeorologischen Instituten wurden die Daten über die durchschnittliche monatliche Sonnenstrahlung erhalten. Mit diesen Daten und dem kalkulierten gesamten theoretischen Sonnenpotential wurde die möglichen monatlichen Stromerzeugungen aus Sonnenkraft ausgerechnet.

Das theoretische Sonnenpotential wurde auf folgende Weise ausgerechnet: Die besiedelte Fläche jedes Landes wurde mit der durchschnittlichen Strahlungsstärke auf horizontaler Fläche multipliziert.

Beispiel: Kroatien - besiedelte Fläche: $1.310 \text{ kWh/m}^2 \times 709 \text{ km}^2 = 928,79 \text{ TWh}$

Es wird angenommen, dass an 10% der besiedelten Flächen PV-Anlagen installiert werden könnten und dass der Wirkungsgrad von PV-Anlagen 10% ist. Unter Berücksichtigung dieser Annahme könnte eine mögliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft gerechnet werden. Dieses Szenario ist unwahrscheinlich, weil PV-Anlagen im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Technologien sehr teuer sind und die Nutzung von Sonnenkraft in Südost-Europa erst am Anfang steht.

Aus einer Studie, die von der Weltbank finanziert wird, (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009) wurde technisches Potential bestimmt. Diese Werte sind

viel kleiner (Größenordnung von 1/10) als die Werte des theoretischen Potentials, aber unter Berücksichtigung der gesamten ökonomischen Situation in dieser Region sind die Werte relevant. Die Werte des technischen Potentials, die in dieser Studie bestimmt sind, werden für weitere Berechnungen im nächsten Kapitel verwendet.

Sonnenkraft	technisches Potential in [GWh]	theoretisches Potential in [GWh]
BA	1.410	6.667
HR	1.360	9.287
MK	710	4.326
ME	550	2.131
RS	1.450	9.514
SI	440	4.825

Tabelle 15: Sonnenpotential in Südost-Europa

5.5. Analyse des Stromverbrauchs

In diesem Kapitel wurden der durchschnittliche Stromverbrauch und die Möglichkeit untersucht, dass der gesamte Stromverbrauch nur durch Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.

In Tabelle 16 sind die durchschnittlichen monatlichen Stromverbräuche in südosteuropäischen Ländern dargestellt. Diese Daten stellen einen dreijährigen Durchschnitt dar. Während des Bürgerkriegs und der Nachkriegszeit im ehemaligen Jugoslawien war der Energieverbrauch in den einzelnen Ländern sehr niedrig und auch erheblichen Schwankungen unterworfen. Deshalb ist diese Zeit nicht in diese Analyse einbezogen worden. Die Daten sind von der ENTSO-E Homepage entnommen worden (vgl. ENTSO-E, 2010).

Analyse und Modellierung der möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

2007-2009	BA	HR	ME	MK	RS	SL
Jan	1.072	1.620	441	878	3.635	1.129
Feb	941	1.492	417	755	3.282	1.025
Mär	975	1.536	400	767	3.575	1.025
Apr	859	1.333	327	643	3.057	1.025
Mai	869	1.335	313	585	3.043	1.025
Jun	847	1.337	319	570	3.135	1.025
Jul	893	1.493	367	617	3.186	1.025
Aug	897	1.457	371	635	2.869	1.025
Sep	848	1.357	345	594	2.833	1.025
Okt	969	1.439	348	676	3.212	1.025
Nov	990	1.506	375	750	3.498	1.025
Dez	1.085	1.674	424	861	3.895	1.025
Gesamt [GWh]	11.249	17.582	4.450	8.335	39.225	1.025

Tabelle 16: Durchschnittlicher monatlicher Stromverbrauch in GWh von 2007-2009 (ENTSO-E, 2010)

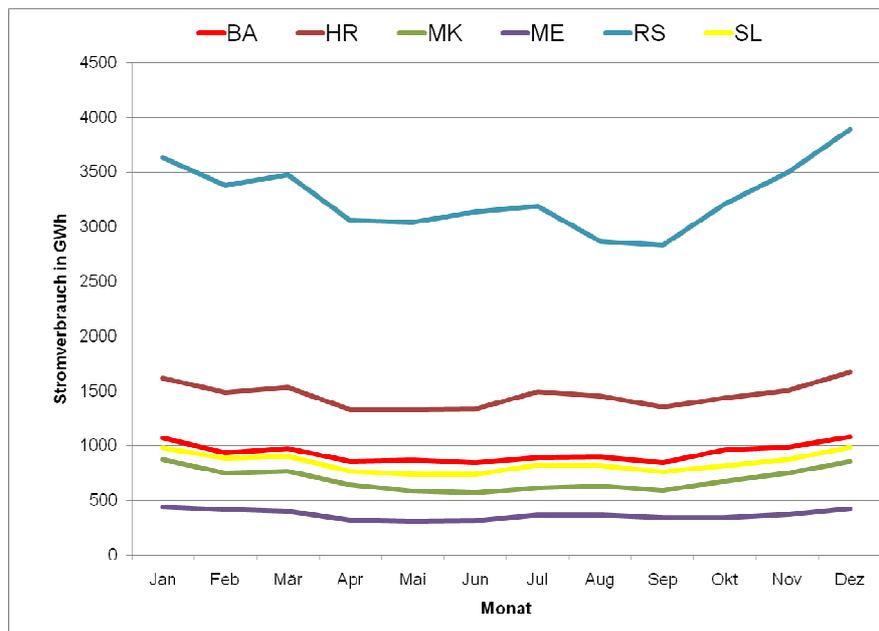


Abbildung 34: Durchschnittlicher monatlicher Stromverbrauch in Südost-Europa

Es ist sehr schwierig, das Stromverbrauch-Wachstum der nächsten Jahre zu prognostizieren. Nach einigen Analysen in den untersuchten Ländern bewegt sich das Wachstum des Stromverbrauchs im Bereich zwischen 2% und 5% pro Jahr. Noch schwieriger ist zu sagen, wie

viele Anlagen für erneuerbare Energie in Zukunft gebaut werden. Es ist zu erwarten, dass die Investitionen in diesem Bereich umfangreicher werden, aber niemand kann genau sagen, wie viele Kraftwerke, die erneuerbaren Energien nutzen, gebaut werden. Einige Untersuchungen und Projekte haben schon begonnen, das größte Interesse liegt im Bau von Windkraft- und Kleinwasserkraftwerks-Anlagen. Investitionen im Bereich Sonnenenergie sind derzeit zu vernachlässigen.

5.6. Korrelationsanalyse zwischen möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und tatsächlichem Stromverbrauch

In diesem Kapitel werden die mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (Wind, Wasser und Sonne) und der tatsächliche Stromverbrauch in Südost-Europa gegenübergestellt. Dieser Vergleich wird in Form von Excel-Diagrammen zur besseren Übersichtlichkeit gezeigt. In den folgenden Diagrammen sind die technischen Potentiale von erneuerbaren Energien und der durchschnittliche monatliche Stromverbrauch für jedes Land gegenübergestellt. Für jedes Land gibt es ein Diagramm.

5.6.1. Bosnien und Herzegowina

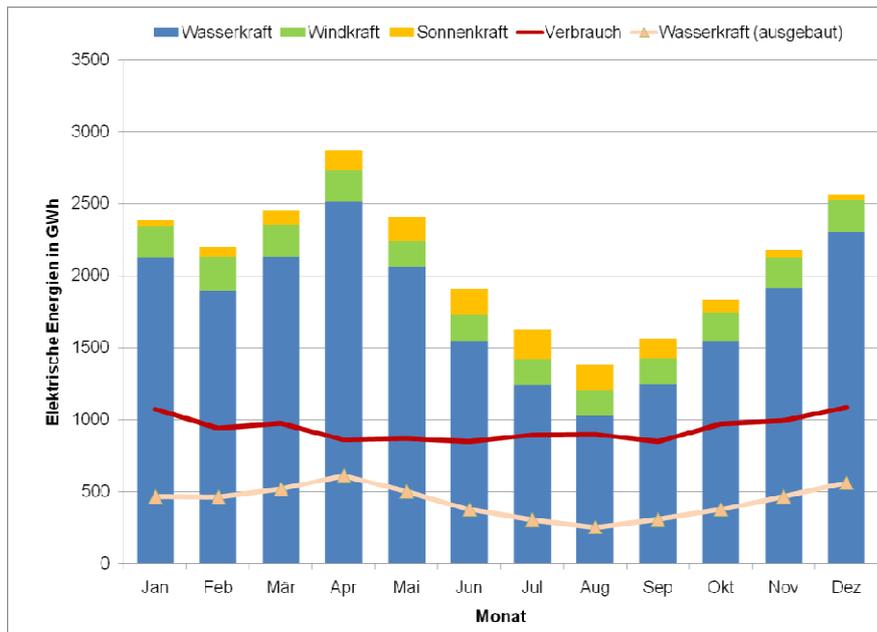


Abbildung 35: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für BIH

Von allen untersuchten Ländern Südost-Europas besitzt BIH das größte Potential der erneuerbaren Energien – 25.400 GWh. Davon sind 21.600 GWh Wasserkraft, 2.400 GWh Windkraft und 1.400 GWh Sonnenkraft. In Bosnien stammen aktuell 46 % der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen (vgl. EPBIH, 2006). Das Wasserkraftpotential ist besonders hoch und zeigt Werte auf, die höher sind als der gesamte derzeitige Stromverbrauch in BIH. Heutzutage verwendet BIH nur ca. 24% des gesamten technischen Wasserkraftpotentials, weshalb in der nächsten Periode neue Investitionen in diesem Energiesektor erwartet werden könnten. Wind- und Sonnenkraft zeigen Werte, die nicht zu vernachlässigen sind. Derzeit gibt es in BIH keine installierten Windkraft-Anlagen oder PV-Module (mit Ausnahme einiger Pilotprojekte). Also stützt sich die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen in BH in erster Linie auf Wasserkraft, die aktuell nicht ausreichend ist, um den gesamten elektrischen Energiebedarf zu decken. Theoretisch könnte man 225% des Jahresstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abdecken.

5.6.2. Kroatien

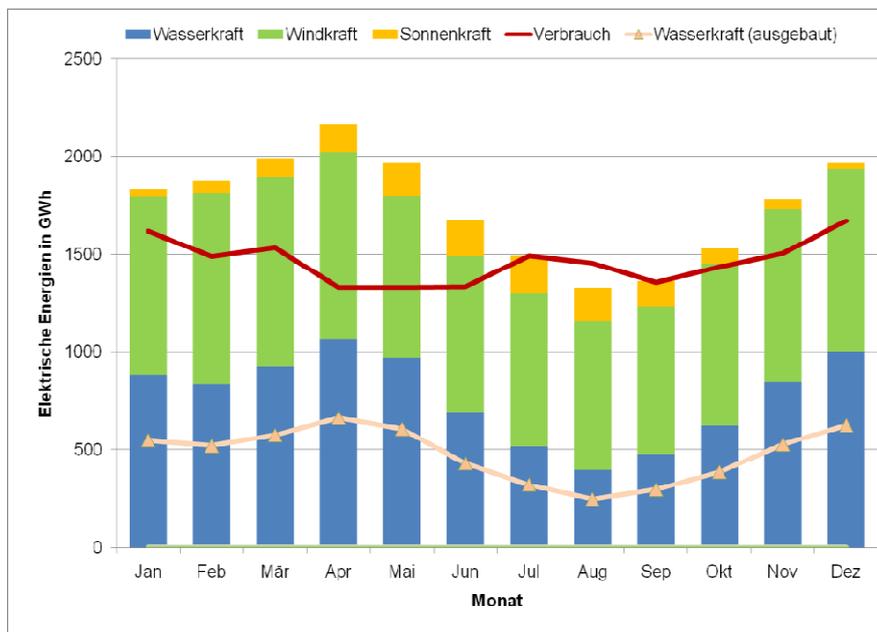


Abbildung 36: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Kroatien

Kroatien verfügt über ein beträchtliches Potential an erneuerbaren Energien – 21.000 GWh, davon Wasserkraft (9.200 GWh), Windkraft (10.400 GWh) und Sonnenkraft (1.400 GWh). In Kroatien stammen 33% der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen (HEP Godisnji izvijestaj, 2008). Der gesamte Stromverbrauch in Kroatien könnten für den größten Teil des Jahres mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden, nur im August wäre das nicht der Fall. Das Wasserkraftpotential ist in großer Menge schon ausgebaut – 62%. Die Möglichkeiten für neue Kraftwerke sind begrenzt, sodass in Zukunft zusätzliche Investitionen in die Wasserkraft nicht zu erwarten sind. Kroatien ist das einzige der Länder Südost-Europas, das die Windkraft für elektrische Energiegewinnung nutzt, allerdings nur in sehr kleinen Mengen. Kroatien nutzt derzeit ca. 1% des gesamten technischen Windkraftpotentials. Theoretisch könnte man 119% des Jahresstromverbrauchs mit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien abdecken.

5.6.3. Mazedonien

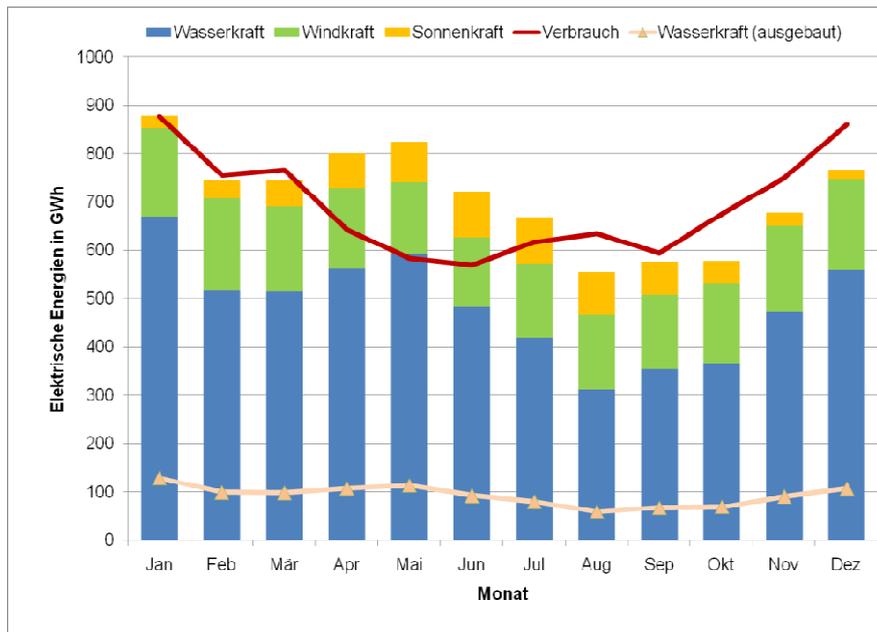


Abbildung 37: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Mazedonien

Mazedonien verfügt auch über ein großes erneuerbares Energiepotential – 8.500 GWh, davon Wasserkraft (5.800 GWh), Windkraft (2.000 GWh) und Sonnenkraft (700 GWh). In Mazedonien stammen 13% der gesamten Stromproduktion aus regenerativen Energiequellen (ELEM-Jahresbericht , 2009). Von allen erneuerbaren Energien nutzt Mazedonien nur die Wasserkraft mit 19% des gesamten Wasserkraftpotentials. Windkraft und Sonnenkraft werden derzeit nicht zur Stromproduktion verwendet. Theoretisch könnte man 102% des Jahresstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abdecken.

5.6.4. Montenegro

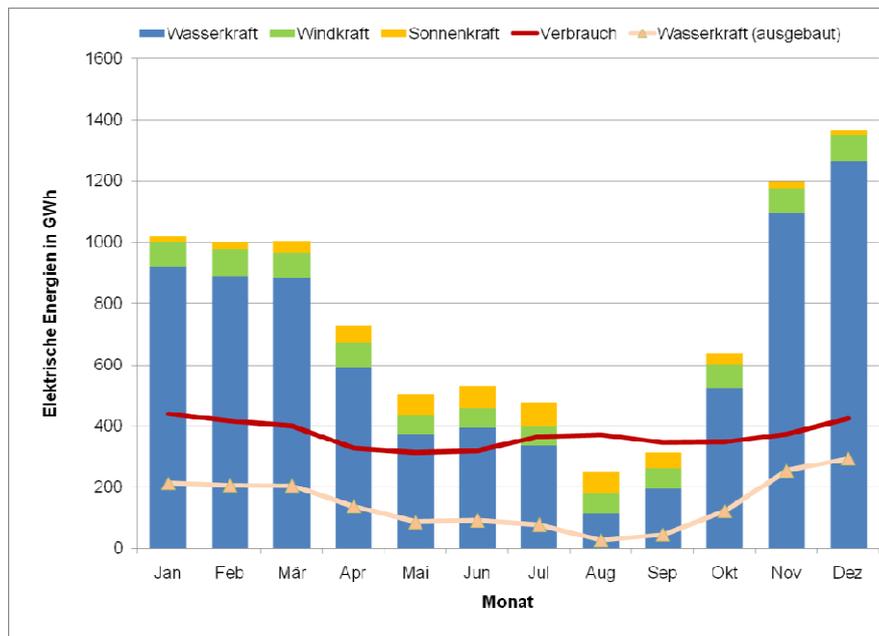


Abbildung 38: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Montenegro

Das gesamte Potential der erneuerbaren Energien in Montenegro beträgt 9.000 GWh, davon Wasserkraft (7.500 GWh), Windkraft (900 GWh) und Sonnenkraft (600 GWh). In Montenegro stammen 39% der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen (vgl. EPCG, 2008). Aus Abbildung 38 wird ersichtlich, dass Montenegro ein erhebliches Wasserkraftpotential besitzt, welches eines der größten in ganz Europa ist relativ zum Verbrauch. Dieses Potential wird derzeit zu ca. 23% genutzt. Der gesamte Stromverbrauch in Montenegro zeigt, dass die Werte nur in den Sommermonaten höher als das Wasserkraftpotential sind. Montenegro nimmt eine günstige Lage für die Nutzung von Sonnenenergie aufgrund der vielen Sonnenstunden im Jahr ein. Wie andere südosteuropäische Länder nutzt Montenegro von allen erneuerbaren Energien derzeit nur die Wasserkraft. Die untypische Stromverbrauchskurve (Sommerspitze im August) erklärt sich durch den stark entwickelten Tourismus. Theoretisch könnte man 202% des Jahresstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abdecken.

5.6.5. Serbien

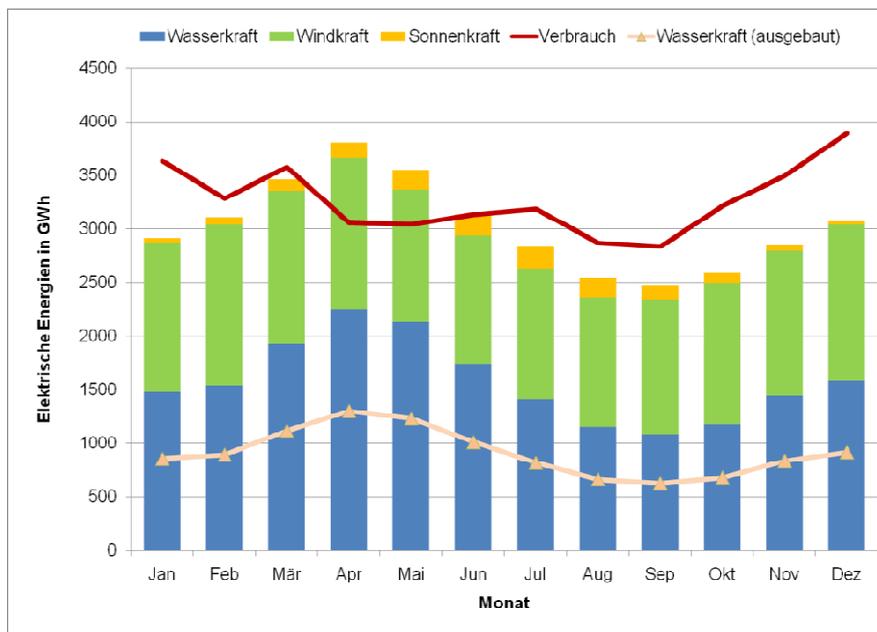


Abbildung 39: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Serbien

Aus Abbildung 39 kann man feststellen, dass Serbien erhebliche Potentiale an erneuerbaren Energien besitzt, insgesamt 36.400 GWh, davon Wasserkraft (18.900 GWh), Windkraft (16.000 GWh) und Sonnenkraft (1.500 GWh). In Serbien stammen 28% der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen (EPS, 2008). Heutzutage verwendet Serbien ca. 58% des gesamten technischen Wasserkraftpotentials. Windkraft wird derzeit nicht für die Stromproduktion genutzt, obwohl großes Potential während gesamtes Jahr gegenwärtig ist. Der maximale Wert der Windenergie erscheint in Serbien während des Winters, wenn die Nachfrage nach elektrischer Energie am stärksten ist. Theoretisch könnte man 92% des Jahresstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abdecken.

5.6.6. Slowenien

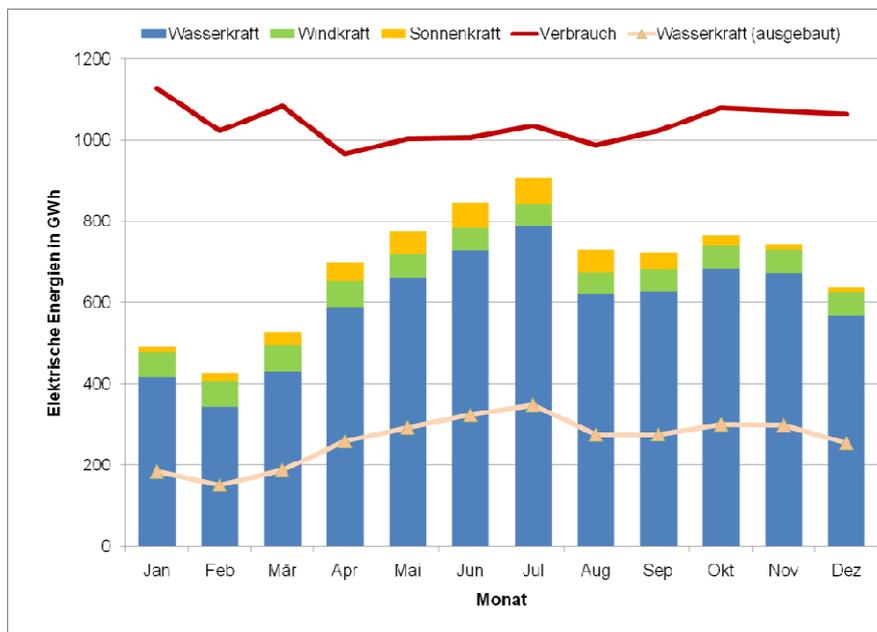


Abbildung 40: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Slowenien

Von allen Ländern Südost-Europas verfügt Slowenien über das kleinste Potential an erneuerbaren Energien. Das gesamte Potential beträgt 8.300 GWh, davon Wasserkraft (7.200 GWh), Windkraft (700 GWh), Sonnenkraft (400 GWh). Dieses Potential ist nicht genug, um den gesamten Stromverbrauch abzudecken. Theoretisch könnte man 66% des Jahresstromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abdecken. In Slowenien stammen 25% der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen (ELES, 2008). Das größte Potential ist im Bereich Wasserkraft zu finden, Slowenien nutzt derzeit 44% des gesamten Wasserkraftpotentials. Wind- und Sonnenkraft zeigen niedrigere Werte als der Durchschnitt in diesem Teil Europas.

5.7. Ergebnisse und Schlussfolgerung

Aus den im vorigen Kapitel dargestellten Diagrammen kann man feststellen, dass die Region Südost-Europa über ein großes Potential für Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien verfügt. In allen untersuchten Ländern zeigt die Wasserkraft das größte technische Potential an. Dieses Potential ist heutzutage ungenügend ausgenutzt, von 19% bis 62%. Aus diesen Gründen könnten neue Investitionen in diesem Sektor erwartet werden.

Die Windkraft in Abbildung 41 zeigt das Potential an, das eine wirtschaftliche Ausnutzung ermöglicht. Bisher verwendet nur Kroatien die Windkraft für Stromgewinnung, aber in den kommenden Jahren könnte ein weiterer Ausbau von Windkraft-Anlagen in anderen Ländern erwarten werden, insbesondere in Serbien und Bosnien. Ein großer Vorteil der Windkraft ist das Komplementaritätsregime von Wind und Stromverbrauch. Der maximale Wert der Windenergie wurde im Winter gemessen. Ebenso ist der Stromverbrauch, in den Wintermonaten am höchsten.

Sonnenenergie wurde bis dato am wenigsten genutzt, in erster Linie wegen der hohen Investitionskosten. Die Region Südost-Europa ist durch eine hohe Intensität der Sonnenstrahlung und eine große Anzahl von Sonnenstunden charakterisiert. Aufgrund der gesamten ökonomischen Situation dieser Region sind stärkere Investitionen in diesem Sektor nicht zu erwarten.

In Abbildung 41 ist der Vergleich des gesamten Stromverbrauchs und das gesamte technische Potential der erneuerbaren Energien (Wasser-, Wind- und Sonnenkraft) in Südost-Europa dargestellt. Es ist offensichtlich, dass das Potential an erneuerbaren Energien für den größten Teil des Jahres höher als der Stromverbrauch ist, nur im August trifft das nicht zu. Mithilfe der bestehenden Speicherkraftwerke sowie neu hinzu kommender Speicher könnte die überschüssige Energie der Frühjahrs-Monate für den Sommer gespeichert werden.

Analyse und Modellierung der möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

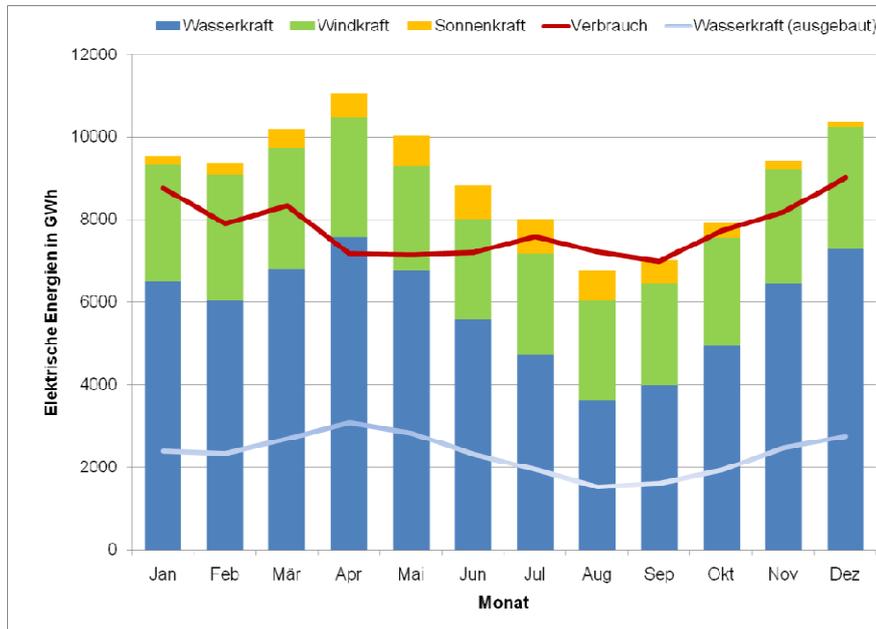


Abbildung 41: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Südost-Europa

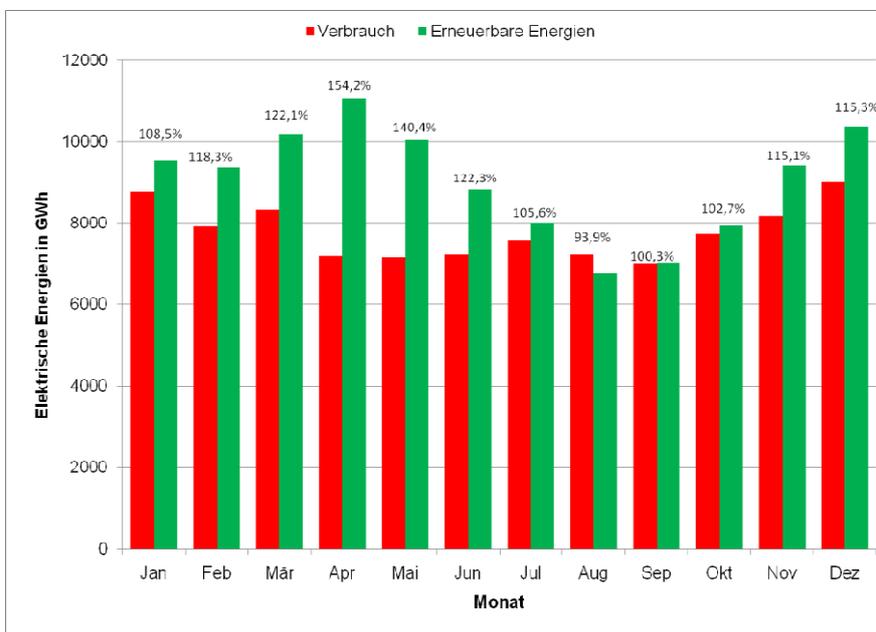


Abbildung 42: Vergleich des Stromverbrauchs und gesamtes Potential der erneuerbaren Energien für Südost-Europa

Analyse und Modellierung der möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

In Abbildung 42 wird gezeigt, wie viel Prozent des gesamten Stromverbrauchs mit der Produktion aus erneuerbaren Quellen abdeckbar wäre. Man kann feststellen, dass nur im August der Stromverbrauch größer ist als das gesamte technische Potential der erneuerbaren Energien (um 6,1%). Im Gesamtjahr betrachtet beträgt das Verhältnis des Stromverbrauchs und das Potential der erneuerbaren Energien 116,3%, d.h. das gesamte Potential der erneuerbaren Energien ist um 16,3% höher als der gesamte elektrische Energieverbrauch.

Aus der durchgeführten Analyse geht hervor, dass die Region Südost-Europa ein großes Potential für den Einsatz von erneuerbaren Energien besitzt, das bis dato nur in einer sehr kleinen Menge genutzt wird. Das gesamte Potential der erneuerbaren Energien in dieser Region stellt großes Entwicklungspotential im Energiesektor für diese Länder dar. Es ist sehr schwierig zu prognostizieren, wie sich der Energiesektor in Südost-Europa entwickeln wird. Das hängt von vielen Faktoren ab. Einer der wichtigsten Faktoren ist die Frage, ob diese Länder Mitglieder der EU sein wollen. Von dieser Voraussetzung hängt ein beträchtlicher Teil der Zukunft ab.

Im nächsten Abschnitt ist die mögliche monatliche elektrische Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien dargestellt. Für jede erneuerbare Energietechnologie sind zwei Tabellen dargestellt, eine mit höchsten und eine mit niedrigsten Potentialen. Weitere Tabellen befinden sich im Anhang.

5.7.1. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft

BA	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	10,33	465,15	1.660,67	2.125,83
Feb	8,23	462,68	1.435,96	1.898,64
Mär	10,02	518,19	1.610,41	2.129,32
Apr	11,83	612,68	1.902,45	2.515,12
Mai	9,70	501,33	1.559,99	2.061,32
Jun	7,27	376,57	1.168,96	1.545,53
Jul	5,86	304,12	941,27	1.242,38
Aug	4,82	250,94	775,36	1.026,30
Sep	5,87	305,38	943,75	1.249,12
Okt	6,26	377,61	1.168,99	1.546,60
Nov	9,01	466,88	1.449,08	1.915,96
Dez	10,82	560,82	1.739,82	2.300,64
Gesamt [GWh]		5.210,83	16.076,00	21.286,83

Tabelle 17: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in BiH

MK	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	11,50	129,05	542,71	671,75
Feb	8,93	99,875	420,12	519,99
Mär	8,81	98,875	415,48	514,35
Apr	9,64	108,20	453,48	561,76
Mai	10,18	114,17	478,36	592,53
Jun	8,31	93,30	391,16	484,46
Jul	7,20	80,82	339,95	420,77
Aug	5,34	59,97	252,66	312,63
Sep	6,08	68,22	287,16	355,38
Okt	6,28	70,45	296,27	366,72
Nov	8,13	91,27	383,64	474,91
Dez	9,59	107,62	452,06	559,68
Gesamt [GWh]		1.121,75	4.327,00	5.448,75

Tabelle 18: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Mazedonien

Weitere Tabellen für die restlichen Staaten sind in Anhang angegeben.

5.7.2. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft

RS	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	4,10	8,73	1.396,39
Feb	4,42	9,40	1.503,57
Mär	4,20	8,93	1.429,27
Apr	4,17	8,87	1.418,63
Mai	3,66	7,78	1.244,46
Jun	3,51	7,47	1.195,37
Jul	3,58	7,61	1.217,33
Aug	3,55	7,55	1.208,17
Sep	3,70	7,86	1.257,88
Okt	3,88	8,24	1.318,96
Nov	3,97	8,45	1.352,14
Dez	4,28	9,11	1.457,84
Duchschnitt	3,92		1.333,33

Tabelle 19: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Serbien

SL	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,06	8,62	60,35
Feb	3,15	8,86	62,04
Mär	3,28	9,23	64,60
Apr	3,29	9,25	64,76
Mai	3,01	8,46	59,22
Jun	2,89	8,14	56,99
Jul	2,80	7,87	55,06
Aug	2,68	7,53	52,69
Sep	2,74	7,70	53,89
Okt	2,77	7,79	54,51
Nov	2,88	8,10	56,72
Dez	3,01	8,45	59,18
Duchschnitt	2,96		58,33

Tabelle 20: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Slowenien

Weitere Tabellen für die restlichen Staaten sind in Anhang angegeben.

5.7.3. Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft

RS	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	2,95	42,75
Feb	4,40	69,32
Mär	7,33	105,95
Apr	10,09	145,93
Mai	12,42	179,61
Jun	13,50	195,16
Jul	14,45	208,99
Aug	12,73	184,15
Sep	9,54	137,89
Okt	6,33	91,59
Nov	3,46	49,96
Dez	2,40	34,71
Durchschnitt		120,49

Tabelle 21: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Serbien

SL	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,05	13,61
Feb	4,78	21,29
Mär	7,40	32,97
Apr	10,60	47,22
Mai	12,55	55,90
Jun	13,82	61,55
Jul	14,24	63,42
Aug	12,74	56,73
Sep	9,11	40,56
Okt	5,89	26,23
Nov	3,50	15,60
Dez	2,32	10,31
Durchschnitt		37,12

Tabelle 22: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Slowenien

Weitere Tabellen für die restlichen Staaten sind in Anhang angegeben.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Überblick über das Potential der erneuerbaren Energien in Südost-Europa zu geben und in weiterer Folge eine Korrelationsanalyse auf monatlicher Basis zwischen möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und tatsächlichem Stromverbrauch zu entwickeln. Es ist ein erklärtes Ziel der europäischen Politik, die Energiegewinnung aus erneuerbaren Energieträgern bis zum Jahr 2020 auf 20% zu erhöhen. Das Gebiet des südöstlichen Europa ist sehr reich an erneuerbaren Energien, die bisher sehr wenig genutzt sind. Ihr Potential wurde bislang nicht ausreichend untersucht.

Der erste Teil der Arbeit befasst sich mit den Eigenschaften der erneuerbaren Energien und deren Probleme bei der Integration in bestehende Energiesysteme. Hier sind auch die grundlegenden Aspekte des Systems der elektrischen Energieversorgung erklärt. Der Ausbau der Gewinnung elektrischer Energie aus erneuerbaren Primärenergieträgern führt jedoch, aufgrund der Bedarfsgerecht- und Dargebotsabhängigkeit, zu einigen Problemen im Energiesystem und am Elektrizitätsmarkt. Der letzte Teil dieses Kapitels beschäftigt sich mit den technischen Herausforderungen durch neue Strukturen in der Elektrizitätsversorgung.

Der zweite Teil der Arbeit widmet sich speziell den technischen Problemstellungen und Lösungen bei der Stromerzeugung aus Wind, Wasser und Sonne. Auf Basis einer eingehenden Literaturrecherche werden vor allem jene Aspekte der Funktionsweise einer Windkraftanlage, Wasserkraftwerke, Geothermie und PV-Anlagen herausgearbeitet.

Im dritten Teil wurde die Analyse des Wasser-, Wind-, und Sonnenkraft-Potentials für folgende Länder durchgeführt: Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Mazedonien, Montenegro, Serbien und Slowenien. Die grundlegenden klimatischen Besonderheiten dieser Länder sind kurz dargestellt, weil die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien großteils von klimatischen Faktoren beeinflusst wird. Aus dieser Analyse wird ersichtlich, dass das Wasserkraftpotential besonders ausgeprägt ist und dass es die einzige erneuerbare Energiequelle ist, die derzeit in größerer Menge genutzt wird. Für jedes Land wurde eine Analyse des bestehenden Wasserkrafts-Parks durchgeführt und die monatliche Erzeugung in Prozent bestimmt. Diese Daten wurden im fünften Kapitel zur Bestimmung der monatlichen Erzeugung des gesamten technischen Wasserkraftpotentials verwendet.

Windkraft wird bis dato nur in Kroatien zur Stromerzeugung genutzt, aber aus der Analyse des Windkraftpotentials kann man feststellen, dass auch in den anderen Ländern, besonders in Serbien, großes Potential gegenwärtig ist. Sonnenkraft wird derzeit nicht zur Stromerzeugung in größerer Menge genutzt. Durchgeführte Messungen zeigen das erhebliche Solarpotential, das viel höher als der europäische Durchschnitt ist.

Der vierte Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Modellierung der Wind-, Wasser- und Sonnenkraftenerzeugung. Für alle untersuchten Länder wurde die mögliche monatliche Stromerzeugung ausgerechnet. In diesem Teil ist auch die Stromverbrauchsanalyse dargestellt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen ist im letzten Schritt der Arbeit eine Korrelationsanalyse zwischen möglicher Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien und durchschnittlichem Stromverbrauch durchgeführt worden.

Aus den gewonnenen Ergebnissen der Analyse kann man schließen, dass die Region Südost-Europa großes technisches Potential für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen besitzt, teils größeres als andere europäische Länder, die diese Energiequellen seit langer Zeit erfolgreich nutzen. Alle drei untersuchten Potentiale (Windkraft, Wasserkraft, Sonnenenergie) zeigen einen Wert, der deutlich höher als der europäische Durchschnitt ist. Bei einer 100%igen Nutzung des technischen Potentials der erneuerbaren Energien könnte in den meisten Ländern der gesamte jährliche Stromverbrauch gedeckt werden. Aber unter Berücksichtigung der gesamten ökonomisch-politischen Situation in diesem Teil Europas ist es nicht realistisch, in den nächsten fünf bis zehn Jahren größere Investitionen in diesem Sektor zu erwarten.

7. Verzeichnisse

7.1. Abkürzungsverzeichnis

BIH.....	Bosnien und Herzegowina
BMU.....	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
EBRD.....	European Bank for Reconstruction and Development
ELEM.....	Elektrani na Makedonija
ELES	Electric Power System of Slovenia
ENTSO-E.....	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EP FBIH.....	Elektroprivreda Federacije Bosne i Hercegovine
EP HZHB	Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg Bosne
EPS	Elektroprivreda Srbije
ERC	Energy Regulatory Commission of the Republik of Macedonia
ERS	Elektroprivreda Republike Srpske
EU.....	Europäische Union
FACTS	Flexible-AC-Transmission-System
FHMZBIH.....	Federalni meteorolski zavod BIH
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HEP	Hrvatska Elektroprivreda
HIDMET	Republički hidrometeorolski zavod Srbije
HSE	Holding Slovenske elektrane
IEA.....	International Energy Agency
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKW	Kleinwasserkraftwerke
NASA.....	National Aeronautics and Space Administration
ORC.....	Organic Rankine Cycle
PV.....	Photovoltaik
SOE	Südost-Europa
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WKW	Wasserkraftwerke

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Windströmungen (Hau, Windkraftanlagen, 2008a, S. 507)	13
Abbildung 2: Vertikalbauformen von Windkraftanlagen (Hau, 2008 S. 66)	15
Abbildung 3: Triebwerksgondel einer heutigen Windkraftanlage (Hau, 2008 S. 71)	16
Abbildung 4: Strömungsverhältnisse am Rotor (die gestrichelte Linie stellt die Rotorebene dar) (Hau, 2008 S. 80)	18
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Generatorleistung	19
Abbildung 6: Der Wasserkreislauf	20
Abbildung 7: Schaltschema eines Kalina-Prozesses (links) und eines Organic Rankine Cycle (ORC) (Straka, et al., 2009)	27
Abbildung 8: Aufbau einer typischen Solarzelle und deren Ersatzschaltbild (Kaltschmitt, 2006 S. 207)	30
Abbildung 9: Südosteuropa (Markovic, 2010 S. 12)	31
Abbildung 10: Geschichte der Stromerzeugung in Bosnien und Herzegowina, Periode 1990-2005 (Butti, 2007 S. 12)	33
Abbildung 11: Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe für den Zeitraum 1997-2006 als Folge des globalen Wetter-Modells mit einer Auflösung von 2,5 Grad (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 211)	37
Abbildung 12: Durchschnittliche jährliche Windkraft in 50 m Höhe a.g.l. für den Zeitraum 1997-2006	37
Abbildung 13: Potentielle Standorte von Windpark in BIH nach Tabelle 2 (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 213)	38
Abbildung 14: Standorte in Bosnien und Herzegowina mit vielversprechender potentiellen Windkraft (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 215)	39
Abbildung 15: Summe der jährlichen globalen horizontalen Bestrahlung (Suri, et al., 2007)	40
Abbildung 16: Jährliche Menge von El. Energie, produziert durch 1kW System	41
Abbildung 17: Variation der monatlichen Energiemenge von Zuflüssen	43
Abbildung 18: Potentielle Standorte für Windkraftanlagen in Kroatien (Geografija-HR, 2010) ...	44
Abbildung 19: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m^2] (Suri, et al., 2007)	46
Abbildung 20: Die mittlere Windgeschwindigkeit [m/s] auf 50 m Höhe	50
Abbildung 21: Das theoretische Potential der Windenergie [W/m^2] auf 50 m Höhe (Ministarstvo ekonomije Republike Crne Gore, 2006)	50
Abbildung 22: Das tatsächliche Windenergiepotential [W/m^2] auf 50 m Höhe (Ministarstvo energetike Crne Gore, 2008)	51

Abbildung 23: Globalstrahlung – Durchschnittliche Tagesmittelwerte (Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, 2007)	53
Abbildung 24: Globalstrahlung – durchschnittliche Tagesmittelwerte monatlich (für den Monat Mai) (Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije, 2007)	53
Abbildung 25: Häufigkeit der Windgeschwindigkeit (V.Dimcev, et al., 2009 S. 2)	57
Abbildung 26: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m ²] (Suri, et al., 2007)	59
Abbildung 27: Durchschnittliche jährliche Windkraft in Serbien auf 100 m Höhe über dem Boden (Durisic, et al., 2009)	62
Abbildung 28: Durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit und Wind-Karte der Region Vojvodina in 50 m Höhe über dem Boden ((Durisic, et al., 2009)	63
Abbildung 29: Histogramm der Windgeschwindigkeit und Rayleigh Statistik bei 50 m Höhe über dem Boden, geschätzt (Durisic, et al., 2009)	63
Abbildung 30: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m ²] (Suri, et al., 2007)	65
Abbildung 31: Vergleichende jährliche Mengen von Solarenergie und Wind	67
Abbildung 32: Durchschnittliche monatliche Windgeschwindigkeit (blau) und Windstärken-Variation (rot) an Standorten in Vojvodina, gemessen in 40 m Höhe (Durisic, et al., 2009)	68
Abbildung 33: Jährliche Summe der Globalstrahlung [kWh/m ²] (Suri, et al., 2007)	72
Abbildung 34: Durchschnittlicher monatlicher Stromverbrauch in Südost-Europa	77
Abbildung 35: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für BIH	79
Abbildung 36: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Kroatien	80
Abbildung 37: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Mazedonien	81
Abbildung 38: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Montenegro	82
Abbildung 39: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Serbien	83
Abbildung 40: Mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Slowenien	84
Abbildung 41: Vergleich möglicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Stromverbrauch für Südost-Europa	86
Abbildung 42: Vergleich des Stromverbrauchs und gesamtes Potential der erneuerbaren Energien für Südost-Europa	86

7.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wasserkraftpotential in BIH (Strateski plan i program razvoja energetskog sektora Federacije BIH, Sarajevo mart/ožujak 2009, S. 106).....	35
Tabelle 2: Standorte in BIH, an denen bereits Untersuchungen begonnen haben (Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar, 2009 S. 213)	38
Tabelle 3: Bestehender Windkraftpark in Kroatien (HEP OIE Jahresbericht, 2009).....	45
Tabelle 4: Geplante Windparks (Geografija-HR, 2010)	45
Tabelle 5: Theoretisches Wasserkraftpotential in Montenegro (Igor, et al., 2010)	48
Tabelle 6: Wasserkraftpotential in Mazedonian (Causevski, et al., 2008 S. 21)	55
Tabelle 7: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit an den untersuchten Standorten (V.Dimcev, et al., 2009 S. 3).....	57
Tabelle 8: Intensität der Sonnenenergie in Mazedonien (Rafajlovski, Goran,; 2008).....	58
Tabelle 9: Durchschnittliche tägliche solare Einstrahlung auf die horizontale Fläche in kWh/m ² , für bestimmte Städte in Serbien (Igor Colovic, Solar Energy, S. 6)	65
Tabelle 10: Das Potential der gesamten Wasserkraft in Slowenien (EBRD, 2009).....	70
Tabelle 11: Wind-Durchschnittsgeschwindigkeiten in Slowenien (EBRD, 2009 S. 10)	70
Tabelle 12: Durchschnittliche tägliche Sonneneinstrahlung für ausgewählte Standorte (EBRD, 2009 S. 10).....	71
Tabelle 13: Wasserkraftpotential in Südost-Europa	74
Tabelle 14: Windkraftpotential in Südost-Europa	75
Tabelle 15: Sonnenpotential in Südost-Europa.....	76
Tabelle 16: Durchschnittlicher monatlicher Stromverbrauch in GWh von 2007-2009 (ENTSO-E, 2010).....	77
Tabelle 17: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in BIH	88
Tabelle 18: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Mazedonien	88
Tabelle 19: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Serbien	89
Tabelle 20: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Slowenien	89
Tabelle 21: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Serbien.....	90
Tabelle 22: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Slowenien.....	90
Tabelle 23: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Kroatien	103
Tabelle 24: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Montenegro.....	103
Tabelle 25: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Serbien	104
Tabelle 26: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Slowenien	104

Tabelle 27: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Bosnien und Herzegowina	105
Tabelle 28: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Kroatien	105
Tabelle 29: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Mazedonien	106
Tabelle 30: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Montenegro	106
Tabelle 31: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Bosnien und Herzegowina	107
Tabelle 32: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Kroatien	107
Tabelle 33: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Mazedonien	108
Tabelle 34: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Montenegro	108

7.4. Literaturverzeichnis

Annette Hammer, Detlev Heinemann und Elke Lorenz Der Einfluss von Wetter und Klima [Journal]. - Carl von Ossietzky Universität Oldenburg : [s.n.], 2008.

Avdic Emir, Ajanovic Almir Development of Small Hydro in BIH [Konferenz]. - Budapest : [s.n.], april 2007.

Bachhiesl Udo Erneuerbare Energien [Buch]. - [s.l.] : Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovationen TUGraz, 2009.

BMU Erneuerbare Energieinnovationen für die Zukunft [Buch]. - 2009.

Brauner Günther Energiesysteme der Zukunft-Von zentralen zu dezentralen Strukturen [Bericht]. - [s.l.] : TU Wien, 2010.

Bührke Thomas Erneuerbaren Eneregien [Buch]. - Weinheim : LinkWiley-VCH-Verlag, , 2010. - Bde. ISBN 978-3-527-40973-0.

Butti Gianluca Energiemix in Südosteuropa [Bericht]. - 2007.

Causevski Anton und Bosevski Tome Statistic of the Energy Potential from Hydropower Plants in Macedonia [Bericht]. - Skoplje : Faculty of Electrical Engineering, 2008.

Colovic Igor Solar Energy [Bericht]. - 2008.

Dickson und Fanelli What is Geothermal Energy? [Buch]. - 2004.

Djajic Prof. dr. Nenad Obnovljivi izvori-Stanje i razvoj u Srbij [Bericht]. - 2007.

Durisic Zeljko [et al.] Wind Atlas of Vojvodina [Bericht]. - Novi Sad : [s.n.], 2009.

DZZH Drzavni Hidrometeroloski Zavod Hrvatske [Online]. - 2010. - 24. 06 2010. - :<http://www.meteo.hr/>.

EBRD Bosnia and Herzegovina Country Profile [Online]: <http://www.ebrdrenewables.com> [Buch]. - 2009.

EBRD Renewable Energy Countra Profil-Slovenia [Online]. - 2009. - 25. 06 2010. - <http://ebrdrenewables.com/sites/renew/energyTech.aspx>.

Elektroprenos BIH Jahresbericht [Bericht]. - 2009. - <http://www.eleprenosbih.ba>.

ELEM-Jahresbericht Elektrani na Makedonija [Online]. - 2006. - 22. 05 2010. - <http://www.elem.com.mk/en/AnnualReport.asp>.

- ELEM-Jahresbericht** Elektrani na Makedonija [Online]. - 2009. - 12. 06 2010. - <http://www.elem.com.mk>.
- ELES** Elektro Slovenija d.o.o [Online]. - 2008. - 25. 05 2010. - <http://www.eles.si/en/the-company.aspx>.
- Elketro Pakausch [Online]. - 08 2010. - 22. 08 2010. - <http://www.elektropakusch.de/bereiche/photovoltaik.html>.
- Energetski Institut Hrvoje Pozar** Energetski Institut Hrvoje pozar [Online]. - 2009. - 28. 07 2010. -]:<http://www.eihp.hr/>.
- ENTSO-E** Statistical Yearbook 2008 [Bericht]. - 2008.
- ENTSO-E** European Network of Transmission System Operators for Electricity [Online]. - 2010. - 25. 05 2010. - <https://www.entsoe.eu/>.
- EPBIH** Annual Report [Bericht]. - 2006. - S. 12. - <http://www.elektroprivreda.ba/>.
- EPBIH** Godisnji izvjestaj [Bericht]. - 2001.
- EPCG** Jahresbericht 2008, Seite 8 [Online] <http://www.epcg.co.me> [Bericht]. - 2008.
- EPHZHB** Annual Report [Bericht]. - 2006.
- EPRS** Energetski Bilans Republike Srpske; Banja Luka [Online] 2009. <http://www.ers.ba/>. [Bericht]. - 2009. - Online: <http://www.ers.ba/>.
- EPS** Godisnji Izvestaj [Bericht]. - 2009.
- EPS** Jahresbericht 2008 [Online]. - 2008. - <http://www.eps.rs>.
- ERC** Godisnji izvjestaj [Buch]. - Beograd : [s.n.], 2005.
- EUROSTAT** Panorama of Energy 2009 [Buch]. - 2009.
- Fajik Begic und und Anes Kazagic** The Utilization of Renewable Energy Resources for Electricity Generation in BIH [Bericht].
- Federal Ministry of Energy and Industry BIH** Strategic plan and program of the energy sector development of federation of BIH, Seite 183 [Buch]. - Sarajevo : [s.n.], 2009.
- FHMZBIH** Federalni hidrometeorološki zavod BiH [Online]. - 2010. - 10. 05 2010. - <http://www.fhmzbih.gov.ba/>.
- Fischedick Manfred** Herausforderung: Energieversorgung der Zukunft [Buch]. - [s.l.] : Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2009.

Gburcik Petar und Gburcik Verica Komplementarnost rezima energetskog potencijala sunca i vjetra u Srbiji [Bericht]. - Beograd : [s.n.], 2007.

Geografija-HR Geografija HR [Online]. - 2010. - 22. 05 2010. - <http://www.geog.pmf.hr>.

Gvero Petar The Potential of Renewable Energy Sources in BIH [Bericht]. - 2009.

Hau Erich Windkraftanlagen-Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. 4. Auflage [Buch]. - [s.l.] : Springer-Verlag, 2008. - ISBN 978-3-540-.

Heinemann Detlev [et al.] Der Einfluss von Wetter und Klima auf die Energieversorgung [Bericht]. - [s.l.] : Universität Oldenburg.

HEP Godisnji izvjestaj Hrvatska Elektroprivreda [Online]. - 01 2008. - 16. 05 2010. - <http://www.hep.hr/>.

HEP OI Jahresbericht [Buch]. - 2009.

HERA, 2008 [Online]: <http://www.hera.hr> Godisnji izvjestaj [Bericht]. - [s.l.] : HeRA.

HIDMET Hidrometeoroski Zavod Srbije [Online]. - 2010. - 21. 05 2010. - <http://www.hidmet.gov.rs/>.

Hidrometeorolski zavod Crne Gore [Online]. - 2010. - 06. 05 2010. - <http://www.meteo.co.me>.

HMZ Hidrometeorolski Zavod Makedonija [Online]. - 2010. - 12. 07 2010. - <http://meteo.gov.mk/>.

Horlacher Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Burkhard Globale Potenziale der Wasserkraft [Buch]. - 2007.

Horst Juri, Bauknecht Dierk und Frey Günther Netzintegration dezentraler Erzeugung [Bericht].

Huber Christoph [et al.] Perspektiven der Wasserkraftnutzung in Südosteuropa-eine gesamtsystemische Betrachtung [Bericht]. - Internationales tagungs Konferenz : Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovationen, Techniscehs Universität Graz.

HZCG Hidrometeoroski Zavod Crne Gore [Online]. - 2010. - 05. 07 2010. - <http://www.meteo.co.me/>.

HZRS Hidrometeroloski Zavod Republike Slovenije [Online]. - 2010. - 29. 05 2010. - <http://www.rs-rs.si>.

IEA World Energy Outlook [Buch]. - 2008.

Igor Kovacevic und Montenegro Energy Sector Ministry of Economy of Renewable Energy Sources in Montenegro [Konferenz]. - Wien : [s.n.], 2010 .

- Kaltschmitt Martin** Erneuerbare Energien [Buch]. - [s.l.] : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. - Bde. ISBN 978-3-540-28204-4.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften** Energie für die Zukunft [Bericht]. - 2009.
- Kryzanowski A.** Potencijal rijecnih tokova u Sloveniji [Bericht]. - 2009.
- Lovric M. und Curkovic A.** Electricity market and hydropower in transitional countries: the example of Croatia [Bericht]. - 2009.
- Maksic R. und M. Gospodinjacki** The programme of using renewable energy sources - part I - Hydro energy [Bericht]. - Ljubljana : [s.n.], 2008.
- Markovic Milan** Südost-Europa- klima i geografija [Online]. - 2010. - <http://www.de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/136028>.
- Mining Institute Tuzla; Soluzana Spain, Energy Institute Hrvoje Pozar** Energy Sector Study BIH.Module 12-Demand side management, energy conservation and renewable energy sources [Buch]. - 2009.
- Ministarstvo ekonomije Republike Crne Gore** Strategija razvoja malih hidroelektrana u Crnoj Gori [Buch]. - 2006.
- Ministarstvo ekonomije vlade Crne Gore** Energy Development Strategy of Montenegro by 2025 White Book [Buch]. - Podgorica : [s.n.], 2007.
- Ministarstvo energetike Crne Gore** Strategija razvoja republike Srbije do 2015. [Buch]. - Podgorica : [s.n.], 2008.
- Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske** Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske [Buch]. - Zagreb : [s.n.], 2009.
- Ministarstvo za zastitu zivotne sredine, kopna i mora Republike Italije** Procijena potencijala obnovljivih izvora energije u Republici Crnoj Gori [Buch]. - Podgorica : [s.n.], 2007.
- NASA** Surface meteorology and Solar Energy [Online]. - 2010. - 15. 08 2010. - <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
- R.Goic und M.Lovric** Electricity market and hydropower in transitional countries [Bericht]. - 2008.
- Rafajlovski, Goran;** Energieeffizienz und Potentiale für den Einsatz erneuerbaren Energien in Mazedonien [Buch]. - 2008.
- Richtlinie 2001/77/EG des EU Parlaments und des Rates von 27.9.2001-Zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Elektrizitätbinnenmarkt [Buch].

Stigler Univ.-Prof.Mag.rer.soc.oec.Dipl.-Ing.Dr.Tech.Heinz Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft [Buch]. - 2007.

Straka Wolfgang, Ponweiser Karl und Heider Markus Der Beitrag der Geothermie [Bericht]. - Wien : TU Wien, 2009.

Suri M. [et al.] Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries [Online]. - 2007. - 19. 06 2010. - <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Tomic Prof. Dr. Danilo Energetika [Buch]. - 2009.

V.Dimcev [et al.] Wind Energy Potential Assessment in Republic of Macedonia [Bericht]. - Valencia : [s.n.], 2009.

Vlada Republike Srbije Energetska strategija Republike Srbije 2007 [Bericht]. - 2007.

Wasserkreislauf [Online]<http://www.ga.usgs.gov.edu.watersycle.html> Zivotna serdina i covjekov uticaj na nju [Online]. - 2010. - 24. 05 2010. - <http://www.ga.usgs.gov.edu.watersycle.html>.

Wikipedia Wikipedia [Online]. - 3. Jun 2010. - 3. Jun 2010. - <http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:S%C3%BCdosteuropa>.

Zacharias Prof.Dr. Peter und Leprich Prof.dr.Uwe Netzintegration der erneuerbaren Energien [Buch].

8. Anhang

HR	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	9,53	550,15	332,11	882,27
Feb	9,05	522,02	315,13	837,15
Mär	9,99	576,73	348,16	924,90
Apr	11,54	665,63	401,69	1.067,32
Mai	10,55	608,26	367,18	975,44
Jun	7,50	432,60	261,13	693,73
Jul	5,59	322,56	194,71	517,27
Aug	4,30	248,29	149,88	398,17
Sep	5,17	298,19	180,01	478,20
Okt	6,73	388,39	234,46	622,85
Nov	9,16	528,70	319,17	847,87
Dez	10,86	626,65	378,29	1.004,94
Gesamt [GWh]		5.768,17	3.482,00	9.250,17

Tabelle 23: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Kroatien

ME	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	12,14	212,86	706,69	919,55
Feb	11,72	205,53	682,36	887,89
Mär	11,66	204,47	678,84	883,31
Apr	7,83	137,35	456,01	593,35
Mai	4,90	85,98	285,45	371,43
Jun	5,20	91,21	302,81	394,02
Jul	4,23	77,57	257,53	335,10
Aug	1,49	26,21	87,01	113,22
Sep	2,56	44,90	149,06	193,96
Okt	6,93	121,60	403,71	525,31
Nov	14,46	253,68	842,22	1095,90
Dez	16,68	292,55	971,26	1263,81
Gesamt [GWh]		1.753,91	5.823,00	7.576,91

Tabelle 24: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Montenegro

RS	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	7,81	856,74	621,06	1.477,81
Feb	8,14	893,93	648,02	1.541,96
Mär	10,18	1.117,22	809,89	1.927,11
Apr	11,88	1.302,75	944,38	2.247,14
Mai	11,25	1.233,59	894,25	2.127,84
Jun	9,22	1.012,11	733,69	1.745,81
Jul	7,46	818,8	593,56	1.412,36
Aug	6,07	665,8	482,65	1.148,45
Sep	5,72	628,48	455,59	1.084,08
Okt	6,22	682,32	494,62	1.176,95
Nov	7,64	838,29	607,69	1.445,98
Dez	8,38	919,47	666,54	1.586,01
Gesamt [GWh]		10.969,5	7.952,00	18.921,50

Tabelle 25: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Serbien

SL	monatliche Erzeugung in [%]	Stromerzeugung in bestehendes KW in [GWh]	mögliche Erzeugung aus verbleibenden Potential in [GWh]	mögliche Erzeugung aus gesamtes Potential in [GWh]
Jan	5,85	184,33	232,99	417,32
Feb	4,85	151,00	193,28	344,28
Mär	6,08	188,00	242,13	430,13
Apr	8,29	259,33	330,24	589,57
Mai	9,23	293,33	367,58	660,91
Jun	10,14	324,33	403,59	727,92
Jul	11,05	349,00	439,80	788,80
Aug	8,66	275,33	345,02	620,35
Sep	8,88	276,00	353,49	629,49
Okt	9,66	301,00	384,68	695,68
Nov	9,38	299,00	373,56	672,56
Dez	7,90	255,00	314,61	569,61
Gesamt [GWh]		3.155,66	3.981,00	7.136,66

Tabelle 26: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Wasserkraft in Slowenien

BA	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	4,06	8,86	212,53
Feb	4,42	9,64	231,42
Mär	4,19	9,14	219,48
Apr	4,11	8,98	215,41
Mai	3,44	7,51	180,22
Jun	3,38	7,37	176,94
Jul	3,37	7,35	176,30
Aug	3,38	7,38	177,10
Sep	3,37	7,36	176,52
Okt	3,78	8,25	197,91
Nov	4,02	8,76	210,33
Dez	4,41	9,41	225,85
Duchschnitt	3,82		200,00

Tabelle 27: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Bosnien und Herzegowina

HR	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,72	8,81	915,82
Feb	3,97	9,40	977,75
Mär	3,94	9,32	969,43
Apr	3,89	9,21	957,87
Mai	3,36	7,96	827,67
Jun	3,24	7,68	799,04
Jul	3,17	7,51	781,44
Aug	3,09	7,32	760,85
Sep	3,08	7,30	758,75
Okt	3,37	7,98	829,81
Nov	3,60	8,53	887,02
Dez	3,79	8,99	934,54
Duchschnitt	3,52		866,67

Tabelle 28: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Kroatien

MK	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	4,10	9,06	181,25
Feb	4,26	9,42	188,36
Mär	4,00	8,86	177,15
Apr	3,78	8,35	167,02
Mai	3,37	7,45	149,01
Jun	3,26	7,21	144,12
Jul	3,46	7,65	152,91
Aug	3,50	7,73	154,68
Sep	3,47	7,67	153,34
Okt	3,79	8,37	167,48
Nov	3,99	8,82	176,32
Dez	4,26	9,42	188,34
Duchschnitt	3,77		166,67

Tabelle 29: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Mazedonien

ME	durchschnittliche Windgeschwindigkeit in [m/s]	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	4,33	8,98	80,82
Feb	4,69	9,73	87,54
Mär	4,35	9,02	81,19
Apr	4,19	8,68	78,16
Mai	3,50	7,26	65,36
Jun	3,45	7,15	64,33
Jul	3,49	7,24	65,20
Aug	3,60	7,47	67,22
Sep	3,59	7,45	67,01
Okt	4,04	8,37	75,32
Nov	4,34	8,99	80,94
Dez	4,66	9,66	86,91
Duchschnitt	4,02		75,00

Tabelle 30: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Windkraft in Montenegro

BA	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,15	44,40
Feb	4,75	66,98
Mär	7,35	103,72
Apr	10,09	142,26
Mai	12,30	173,44
Jun	13,36	188,42
Jul	14,49	204,30
Aug	12,52	176,49
Sep	9,56	134,87
Okt	6,19	87,26
Nov	3,59	50,70
Dez	2,60	36,78
Durchschnitt		117,47

Tabelle 31: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Bosnien und Herzegowina

HR	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	2,96	40,12
Feb	4,73	64,18
Mär	7,28	98,68
Apr	10,27	139,25
Mai	12,40	168,14
Jun	13,81	187,24
Jul	14,74	199,88
Aug	12,72	172,50
Sep	9,53	129,19
Okt	5,93	80,46
Nov	3,37	45,73
Dez	2,27	30,84
Durchschnitt		113,02

Tabelle 32: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Kroatien

MK	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,57	25,43
Feb	5,18	36,86
Mär	7,49	53,28
Apr	10,12	72,04
Mai	11,79	83,90
Jun	13,13	93,41
Jul	13,58	96,63
Aug	12,39	88,17
Sep	9,72	69,14
Okt	6,43	45,78
Nov	3,94	28,01
Dez	2,66	18,95
Durchschnitt		59,30

Tabelle 33: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Mazedonien

ME	mögliche monatliche Erzeugung in [%]	mögliche monatliche Erzeugung in [GWh]
Jan	3,52	19,23
Feb	5,04	27,50
Mär	7,42	40,51
Apr	9,91	54,10
Mai	11,93	65,12
Jun	13,13	71,68
Jul	14,07	76,81
Aug	12,31	67,18
Sep	9,53	52,04
Okt	6,34	34,16
Nov	3,89	21,22
Dez	2,90	15,85
Durchschnitt		45,49

Tabelle 34: Mögliche monatliche Stromerzeugung aus Sonnenkraft in Montenegro