



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DISSERTATION

Erneuerbare Energien für Regionen - Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin/eines Doktors
der technischen Wissenschaften unter der Leitung von (Betreuerin)

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Sibylla Zech

E280 - TU Wien, Department für Raumplanung,
Fachbereich Regionalplanung und Regionalentwicklung

Begutachtung:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Voigt, TU Wien, Department für Raumplanung,
Fachbereich örtliche Raumplanung

Ao.Univ.-Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Narodoslawsky, TU Graz, Institut für Prozess- und
Partikeltechnik

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung von (Verfasser)

Dipl.-Ing. Hartmut Dumke

E 786 630 Matrikelnummer 9126663
Kirchstetterngasse 56/27
A-1160 Wien

Wien, am 31.10.2017

.....
Unterschrift

Für meine Eltern Joachim und Rosemarie

Sehr viel von dem, was ich heute bin, bin ich durch sie. Dafür habe ich meinen lieben Eltern sehr zu danken. Denn Rose und Joachim haben meine kreativen Schübe stets voll unterstützt – selbst wenn Küche oder Keller manchmal hinterher eine gründliche Reinigung gebraucht haben.

Danksagung

Große Teile dieser Arbeit sind durch wunderbare Menschen gelungen. Für das Leben und Arbeiten mit Ihnen möchte ich mich hiermit sehr herzlich bedanken:

Martin Berger, Peter Biermayr, Peter Bleier, Thomas Brus, Jens Dangschat, Wolfgang Deschka, Thomas Dillinger, Fabian Dorner, Michael Eder, Stefan Geier, Michael Getzner, Rudolf Giffinger, Gregor Götzl, Alexander Hamedinger, Herbert Hemis, Petra Hirschler, Robert Kalasek, Lukas Kranzl, Daniel Latzer, Stephan Maier, Michael Malderle, Pia Nabielek, Michael Narodslawsky, Markus Neuhaus, Bettina Pilsel, Johannes Prieler, Ernst Rainer, Hannes Schaffer, Rudolf Scheuven, Andreas Voigt, Kurt Weninger, Sibylla Zech.

KURZFASSUNG

Jede menschliche Handlung benötigt Energie. Egal ob wir wohnen, pendeln, reisen, essen, oder Produkte konsumieren. In allen Dingen und Dienstleistungen stecken Energiebedarfe in Form von Wärme, Elektrizität und Transportaufwänden. Das Thema „Ausbau der erneuerbaren Energien“ ist seit Jahren global, in der EU, in Staaten, Bundesländern, Regionen und Gemeinden verankert. Aber trotz vieler Projektaktivitäten und vielen Förderungen gelingen in Österreich längst nur noch sehr kleine Zuwächse beim erneuerbaren Energieanteil (2010: 31 %, 2016: 33 %).

Das erneuerbare Energieerzeugung große Flächen benötigt, ist bekannt und auch im Landschafts- und Ortsbild deutlich sichtbar. Aber was genau bedeutet hierbei überhaupt „Flächenbedarf“? Und wie unterscheiden sich dabei verschiedene erneuerbare Energieformen? Welche Flächenanteile verursachen Versiegelungen und zusätzliche Flächeninanspruchnahme, welche nicht? Und was heißt das alles für die Raum- und Regionalplanung, die partizipativ zwischen verschiedenen räumlichen und institutionellen Ebenen die Energiewende unterstützen soll?

Der „**Katalog der Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion**“ enthält österreichische und internationale „Records“, die Inhalte des Kataloges sind Flächenbedarfe pro Energieertrag und Jahr ($\text{m}^2/\text{kWh}/\text{a}$). Als Zusammenschau zwischen Geothermie, Solarenergie, Windkraft und Biomasse zeigt der Katalog vergleichende Bewertungen zu Umweltwirkungen der Energieproduktion und den Konkurrenzen zwischen der Energieerzeugung und anderen Flächenfunktionen.

Bei den **Geothermieranlagen** (in den Bauweisen seichter und tiefer Geothermie) hat sich gezeigt, dass ein noch sehr großes, und weitgehend lageunabhängiges Zukunftspotenzial existiert. Geothermie vereint eine sehr geringe Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungen, die lageident über dem Erdrich stattfinden können, mit emissionsfreiem Energieumwandlungsbetrieb. Durch das „unterirdische“ Wärmepotenzial gibt es mehrere Kombinationsmöglichkeiten im Sinne einer „Etagenwirtschaft“ mit anderen erneuerbaren Energieformen (Windkraft, Solarenergie, Biomassen) ohne dass eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme entsteht.

Auch die **Solarenergie** (Solarthermische Wärmebereitung und photovoltaische Stromerzeugung) hat lageunabhängig noch sehr große Wachstumschancen. Die Flächenkonkurrenz durch Solaranlagen zu lageidenten nicht-energetischen Funktionen ist bei gebäudeintegrierten Anlagen deutlich geringer als bei großen Freiflächenanlagen, und der Energieumwandlungsbetrieb der Solarstrahlung zu Wärme oder Strom ist emissionsfrei. Die Flächenbedarfe pro Energieertrag liegen bei der Bauweise mit aufgeständerten Kollektoren höher als bei der Bauweise mit vollflächigen Kollektoren. Im Freiland ist die Solarenergie als „Etagenwirtschaft“ gut mit anderen erneuerbaren Energien (Windkraft, Geothermie) kombinierbar.

Die in Österreich noch gering ausgebauten Energieträger Geothermie und Solarenergie haben viele Energieertragseigenschaften, die lageunabhängig gleich sind. Das ist bei den in Österreich hoch ausgebauten Energieträgern Windkraft und den Biomassen nicht der Fall.

Windparks haben sowohl lageabhängig, aber auch nach der Anlagenform zwischen österreichischen und anderen Standorten große Energieertragsunterschiede. Die jährlichen Volllaststunden liegen in Ostösterreich in einer „sehr guten“ Windlage etwa bei 2.000 Stunden, können in der Nordsee und in Skandinavien aber über 4.000 Stunden betragen. Windkraft ist im Energieumwandlungsbetrieb emissionsfrei, allerdings erzeugen große Windparks eine deutliche Veränderung des Landschaftsbildes. Die sehr unterschiedlichen Abstandsreglements der österreichischen Bundesländer definieren und limitieren diese Energiepotenzialflächen. Größere Zuwachspotenziale der österreichischen Windkraft werden weniger durch neue Windparks, als durch „Nachverdichtungen“ in Windparks möglich sein. Andere Zusatzpotenziale sind über Adaptierungen der Windkraftpolitiken anderer Staaten möglich. In den Niederlanden sind Windkraftanlagen an Autobahnen und auch in Industriegebieten normal, in Österreich nicht.

Die Behandlung der **Biomassen** war wegen Ihrer Vielfalt (Arten, Umwandlungsprozesse, Bewertungssysteme zu den Prozessphasen Rohstoffanbau, -umwandlung und -transport) im Kontext des „Kataloges“ nicht einfach. Nicht einfach ist z.B. die Frage zu beantworten, welches Zusatzpotenzial die Biomassen in Österreich künftig noch haben. Sehr viele Kraftwerksstandorte leisten in Summe (auf nationaler Ebene bewertet) einen Energieanteil, der kleiner als der aus Wasserkraft ist. Das Potenzialangebot ist eher lageabhängig, weil Wälder, Acker- und Grünlandflächen die „Rohstoffe“ enthalten, welche aufbereitet und transportiert werden müssen. Die Flächenkonkurrenz zwischen der Energieerzeugung und anderen Flächenfunktionen kann „keine“ sein, wenn minderwertige Hackschnitzel aus dem Wald verbrannt werden, aber „sehr hoch“ werden, wenn essbare Biomassen wie Korn oder Mais verbrannt werden, was ethisch grundsätzlich abzulehnen ist. Die Flächenbedarfe je Energiemenge liegen im obersten Feld der untersuchten erneuerbaren Energieträger. Das bedeutet, dass mit Biomassen pro Fläche deutlich weniger Energie erzeugbar ist als aus Geothermie, Solarenergie und Windkraft. Trotzdem werden die Biomassen auch künftig wichtig bleiben, weil ihre Energieleistung sehr gut an- und abschaltbar ist, und die Biomassen die „unplanbaren“ Energiebeiträge aus Windkraft und Solarenergie ausgleichen können.

Die Forschungsfrage nach den flächenspezifischen Energieerträgen konnte bei der Windkraft und der Solarenergie besser als bei der Geothermie und den Biomassen beantwortet werden. Das lag sowohl an der besseren „Vermessbarkeit“ der Flächen bei Windkraft- und Solarenergieanlagen, aber auch an sehr unterschiedlichen Energieertragswerten pro Fläche, die in der Fachliteratur pro Fläche bei Geothermie und Biomassen zwar geführt werden, nicht aber in lagespezifischer Differenzierung und auch nicht anhand realer Kraftwerke verortet recherchierbar waren, und daher auch nicht anlagenspezifisch überprüft werden konnten.

Die Innovation des „Kataloges“ besteht in der einfachen Vergleichbarkeit und Visualisierung wichtiger räumlicher Lageeigenschaften und der „Energieertragseffizienz“ erneuerbarer Energieanlagen. Der „Katalog“ ist außerdem auch ein Tool, das bei partizipativen Kommunikationsformaten eingesetzt werden kann. Der Katalog kann deshalb in allen wichtigen Steuerungsebenen (Bundesländern, Regionen, Gemeinden) dabei helfen, den „Weg zur regionalen Energieraumplanung“ zu erleichtern. Die Werte zu $\text{m}^2/\text{kWh}/\text{a}$, die Bewertungen der Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen helfen bei Aktivitäten, die im Sinne integrativer Energieraumplanung das IST und SOLL von Siedlungen und Landschaftseinheiten klassifizieren.

Die „weiteren Forschungsbedarfe“ haben gezeigt, dass die größten Hürden auf dem Weg zur regionalen Energieraumplanung vor allem im sozialen Raum zu verorten sind. Diese Hürden können nicht (nur) energietechnisch überwunden werden, sondern brauchen integrative Planungs- und Beteiligungsprozesse, und auch mehr „Erfolgsforschung“, die etwas dazu aussagt wie einzelne Projekterfolge künftig schneller, häufiger und einfacher gelingen können. **Der Kooperationsraum Region bietet dafür besondere Potenziale.**

ABSTRACT

Every human action needs energy. No matter how we live, commute, travel, eat, or consume products. All things and services require energy as heat and electricity demands and transportation requirements. The issue "development of renewable energy" has become of global importance for years, in the EU, nations, provinces, regions and municipalities. Despite many project activities and subsidies, only very small increases in the share of renewable energy have been achieved in Austria (2010: 31 %, 2016: 33 %).

Renewable energy generation requires large areas. This is well known, and those areas (both the potentials and the power plants) are clearly visible in the landscape and in urbanized settlements. But what exactly does "area requirement" actually mean? And how do the different renewable energy carriers vary in space requirements? Which parts of these areas cause sealing and/or additional land use, and which not? What are the impacts for spatial and regional planning, which should support the energy transition in a participatory manner between various spatial and institutional levels?

The "**Catalogue of area requirements for renewable energy production**" contains data on Austrian and international renewable energy plants. Contents of the catalog are area requirements per energy yield and year ($m^2/kWh/a$). As a synopsis between geothermal energy, solar energy, wind power and biomass, the catalogue presents comparative assessments of environmental impacts of energy production. Moreover, the catalogue contains findings on the competition between the energy production and other land use functions.

In the case of geothermal plants (both shallow and deep geothermal energy), it has been shown that the potential for the future is still very large and largely independent from the location. Geothermal energy production combines marginal area competitions with other land uses to be located above the "same" ground with an energy conversion process being emission-free. Due to the "sub terrestrial" heat potential, there are several possible combinations with other renewable forms of energy (wind power, solar energy, Biomass) without generating additional land use conflicts – in the sense of a "multi-level economy".

The solar energy (both solar thermal heat generation and photovoltaic power generation) has also very large growth opportunities regardless of location. The area requirements of building-integrated systems is significantly lower than in large open-land power plants, and the energy conversion of the solar radiation to heat or electricity is emission-free. The area requirements per energy yield in the construction with elevated collectors are higher than in the construction with full-surface collectors. In the open land, solar energy can, as a "multi-level economy", be combined well with other renewable energies (wind power, geothermal energy).

The energy sources geothermal and solar energy, which are still underdeveloped in Austria, have many energy-yielding properties that are similar, regardless of location. This is not the case with the highly developed energy sources wind power and biomass in Austria.

The energy output from **Wind farms** is dependent on the location (wind power and wind hours per year) and on the type of wind power plant. The annual full load hours are about 2.000 in "top" wind sites in Eastern Austria, in comparison to the North Sea and in Scandinavia with over 4.000 hours. Wind power is emission-free in the energy conversion, but wind farms generally generate significant visual impacts on the landscape. The legal regulations of the Austrian provinces concerning the location of wind parks are very different, and they define and limit these wind energy potential (shapes and sizes of areas). Greater growth potential of Austrian wind power is seen by "compaction" in existing wind farms and not by the construction of new plants. Other additional potentials are possible via adaptations of the wind power policies of other states. In the Netherlands, it is "normal" to have large wind turbines along highways and in industrial areas, this not the case so far in Austria.

Because of its thematic diversity, **Biomass** was hard to handle within the context of the "catalogue": Biomass contains many plant species, transformation processes, and assessment systems for the phases of raw material cultivation and transportation services. It is also hard to answer the question on the dimension of additional potentials for Austrian biomass in the future. A large number of biomass power plants (in total, rated at national level) contribute an amount of renewable energy that is smaller than the energy produced from hydropower. The supply of the potential areas is rather area-dependent, because forests, arable land and grassland produce the "organic raw material" that has to be processed and transported. The area competition between energy production and other land use functions may be "none" if inferior wood chips are burned, but become "very high" when edible biomass such as corn or maize are burned, which is fundamentally ethically objectionable. The area requirements per energy yields are in the top sector of the investigated renewable energy sources. This means that with biomass per area significantly less energy can be generated than from geothermal, solar and wind power. Nevertheless, biomass will continue to be important in the future, because its energy output can be switched on and off when needed, thus biomass power plants can compensate the "unpredictable" energy contributions from wind power and solar energy.

The research question on the area-specific energy yields could be better answered with wind power and solar energy than with geothermal energy and biomass. The reasons were a better "measurability" of the areas used for wind- and solar power plants, but also to very different energy yield values per area, which are given in the expert's literature with geothermal and biomass energy. Also, those geothermal and biomass energy yield values had no specific differentiation on the locations, and therefore could not be cross-checked with real power plant values.

The innovation of the "catalogue" consists in the easy comparability and visualization of important locational characteristics and the "energy yield efficiency" of renewable energy plants. The "catalogue" is also a tool to help in participatory communication formats. The "catalogue" can therefore be set up between all steering and spatial levels (federal states, regions and municipalities) to facilitate the way to an "integrated regional spatial energy planning". The values for $\text{m}^2/\text{kWh}/\text{a}$ and the assessments of the area competitions and environmental impacts can help to classify the current and desired properties of settlements and landscape units in terms of integrated regional spatial energy planning.

The further research needs have shown that the biggest obstacles on the way to an integrated regional spatial energy planning exist in the "social space". These hurdles cannot be overcome only in terms of technical energy data, this need integrative planning and participation processes. Also, more "success research" is necessary, which explains how individual project success stories can succeed faster, more frequently and more easily in the future. **On that perspective, Regions as "cooperation spaces" offer special potentials.**

INHALTSANGABE

1. Einleitung	10
1.1. Ziele & Forschungsfragen	11
1.2. Herangehensweise und Aufbau der Arbeit	12
1.3. Begriffserklärungen zu den Inhalten der Dissertation	13
2. Erneuerbare Energien und Energieraumplanung in Österreich	19
2.1. Erneuerbare Energieproduktion in Österreich	19
2.2. Begriffsgenese "Energieraumplanung" in Österreich	21
2.3. Erneuerbare Energien, Energiesparziele, Energieeffizienz und Mobilität in österreichischen Energiestrategien	23
3. Katalog: Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion	30
3.1. Das Thema Energie in der Umweltverträglichkeitsprüfung	30
3.2. Energy Return of Energy invested	31
3.3. Der Sustainable Process Index (SPI)	33
3.4. Bauweise und Datenerfassungsmethode	34
3.4.1. „Katalogmethode“ der Datensammlung	35
3.4.2. Begründung zu Auswahl und Ausschluss bestimmter erneuerbarer Energieträger	37
3.5. Geothermie	37
3.5.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen	37
3.5.2. Anlagenarten und Bauformen	40
3.5.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ	43
3.5.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede	47
3.5.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede	49
3.5.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich	53
3.5.7. Flächenbedarfe	55
3.5.8. Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	58
3.5.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast -und Spitzenversorgung	60
3.5.10. Skalierbarkeit	60
3.5.11. Flächenkonkurrenzen	61
3.5.12. Umweltwirkungen	62
3.5.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m ² /kWh/Jahr“	63
3.6. Solarenergie	64
3.6.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen	64
3.6.2. Anlagenarten und Bauformen	64
3.6.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ	65
3.6.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede	71
3.6.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede	76
3.6.6. Räumlich bedingte Potenzialertragsunterschiede in Österreich	77
3.6.7. Flächenbedarfe	79
3.6.8. Anlagenbeispiele nach Flächenertrag der Energieproduktion	80

3.6.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast- und Spitzenlastversorgung	81
3.6.10. Skalierbarkeit der Anlagenleistung und -arbeit.....	82
3.6.11. Flächenkonkurrenzen	83
3.6.12. Umweltwirkungen der Solarenergieproduktion	85
3.6.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m ² /kWh/Jahr“	87
3.7. Windkraft	88
3.7.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen	88
3.7.2. Anlagenarten und Bauformen	88
3.7.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ	90
3.7.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede	94
3.7.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede	95
3.7.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich.....	97
3.7.7. Flächenbedarfe.....	100
3.7.8. Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	102
3.7.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast -und Spitzenversorgung	104
3.7.10. Skalierbarkeit	105
3.7.11. Flächenkonkurrenzen	108
3.7.12. Umweltwirkungen	110
3.7.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m ² /kWh/Jahr“	112
3.8. Biomassen.....	114
3.8.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen	114
3.8.2. Anlagenarten und Bauformen	116
3.8.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ	117
3.8.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede	120
3.8.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede	120
3.8.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich.....	120
3.8.7. Flächenbedarfe.....	129
3.8.8. Katalog-Beispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion.....	132
3.8.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast- und Spitzenlastversorgung	133
3.8.10. Skalierbarkeit	134
3.8.11. Flächenkonkurrenzen	138
3.8.12. Umweltwirkungen	140
3.8.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m ² /kWh/Jahr“	147
4. Ergebnisse: Erneuerbare Energieproduktion im Flächenvergleich	148
4.1. Vergleich der Katalog-Werte kWh/m ² /a erneuerbarer Energieanlagen.....	148
4.2. Vergleich der Katalog-Werte m ² /kWh/a erneuerbarer Energieanlagen.....	153
4.3. Vergleich der Flächenerträge, Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen erneuerbarer Energieanlagen.....	155
4.4. Größenvergleiche zwischen direkten Flächenbedarfen und Energiepotenzialflächen erneuerbarer Energieanlagen.....	157

4.5. Vergleich der flächenspezifischen Energieerträge der Katalog-Records mit Werten aus der Fachliteratur	159
5. Schlussfolgerungen zur regionalen Energieraumplanung	160
5.1. Einordnung der empirischen Ergebnisse im Spektrum regionaler Energieraumplanung	160
5.2. Räumliche Bezugssysteme für die regionale Energieraumplanung	161
5.3. Der „Katalog“ im PraxiscHECK: Case Study Vorderland-Feldkirch	163
5.4. Reflexion und Ausbaumöglichkeiten zum „Katalog erneuerbarer Energieanlagen“ ..	167
5.5. Weiterer Forschungsbedarf	167
5.5.1. Erforschen von Zusatzpotenzialen der in Österreich noch nicht hoch ausgebauten erneuerbaren Energien	167
5.5.2. Erforschen der Zusatzpotenziale von in Österreich bereits hoch ausgebauten erneuerbaren Energien	168
5.5.3. Erforschen von „Etagenwirtschaften“ erneuerbarer Energien	168
5.5.4. Neue Energiebündnisse zwischen „Stadt“ und „Land“ definieren	169
5.5.5. Erforschen der Kombinationen aus sozialwissenschaftlichen und energietechnischen Methoden für regionale Entscheidungsprozesse	169
5.5.6. Erneuerbare Energien als Kernelement in regionalen Energieraumplänen	169
6. Verzeichnisse	173
6.1. Abbildungsverzeichnis	173
6.2. Tabellenverzeichnis	174
6.3. Kartenverzeichnis	175
6.4. Literaturverzeichnis	176
7. Anhang	184
7.1. Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen	185
7.1.1. Geothermieanlagen	186
7.1.2. Solarenergieanlagen	201
7.1.3. Windkraftanlagen	227
7.1.4. Biomasseanlagen	242
8. Curriculum Vitae	251

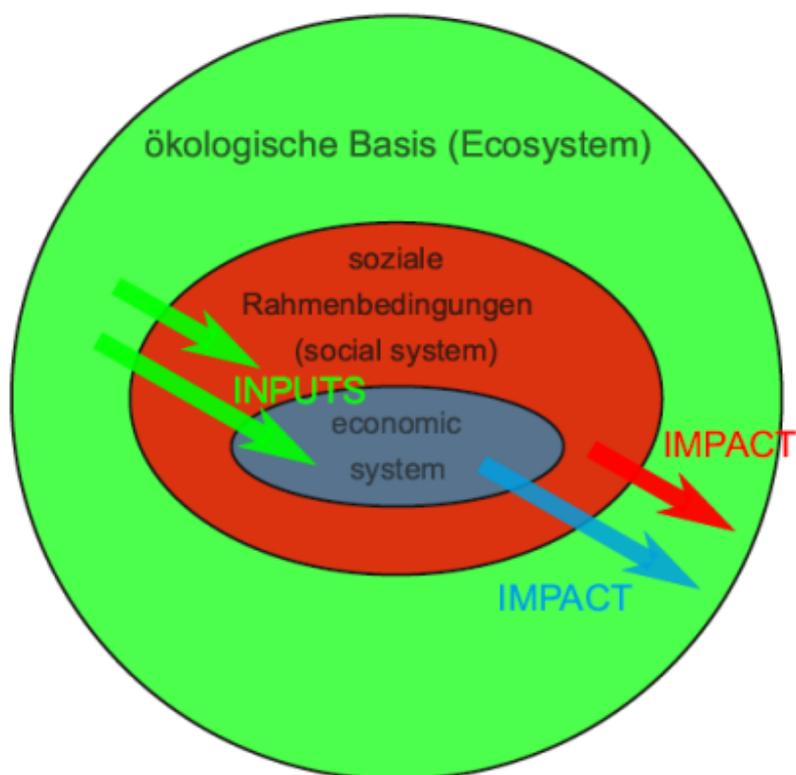
1. Einleitung

Jede menschliche Handlung benötigt Energie. Egal ob wir wohnen, pendeln, reisen, essen, oder Produkte konsumieren – in allen Dingen und Dienstleistungen stecken Wärme- und Strombedarfe, und oft zusätzlich auch viele Transportkilometer. All dies soll auch künftig möglich sein, am besten ohne Komfortverlust. Und die sich zunehmend verknappenden oder teurer werdenden fossilen Brennstoffe (Schlagwort „peak oil“) machen es notwendig, dass die Produktionsanteile der erneuerbaren Energien gesteigert werden bzw. die fossilen Brennstoffe künftig zu größeren Anteilen ersetzt werden müssen. Dies gilt nicht nur für die Energieerzeugung, sondern auch für viele stoffliche Basisprodukte, die derzeit noch zu großen Anteilen aus Rohöl gefertigt werden. Unter dem Schlagwort Energiewende zusammengefasst, sollen diese Veränderungen und einzelnen Projekterfolge wesentlich schneller, häufiger und umsetzungsstärker als bisher geschehen.

An der Schnittstelle zwischen Raum- und Energieplanung wird dieser Wandel über eine Vielzahl von Keywords seit vielen Jahren diskutiert:

- Klimaneutralität der CO₂ Emissionen, Lebenszyklus-Bilanz eines Produktes oder einer Energiemenge;
- Ökologischer Fußabdruck (Flächenbedarfe eines Lebensstils oder eines Prozesses wie der Wärme- und Elektrizitätserzeugung);
- Erneuerbare Energien in der Gemeinde-, Regional- und Landesplanung;
- Energiesparen, Energieeffizienz, Energie-Suffizienz;
- „Smart(e)...“ Gemeinden, Städte, Regionen, Stadtregionen;
- Nachhaltige Raumentwicklung;
- Energieraumplanung.

Diese Begriffe haben eines gemeinsam: Sie benötigen verschiedene Systemgrenzen für verschiedene Aussageebenen und -daten und beschäftigen sich mit den technischen und sozialen Interaktionen zwischen den beteiligten räumlichen Ebenen und den Akteurinnen und Akteuren, die bei diesen Veränderungsprozessen kooperieren müssen. Dazu eine Illustration aus der ökologischen Ökonomie, die zeigt, wie der soziale und der ökologische Raum (der für die erneuerbaren Energien genutzt werden muss) verwoben sind:

Abbildung 1: Das Weltbild der ökologischen Ökonomie¹

Quelle: (Institut für Philosophie und Wissenschaftstheorie 2017) nach (Gowdy 2005, S. 219)

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich vor allem mit der Abschätzung der Flächenbedarfe von erneuerbarer Energieproduktion (Angebotsseite) und dem Umgang mit diesem Wissen auf der regionalen Planungsebene. Die regionale Perspektive wurde eingenommen, weil Energie-Szenarien im Sinne einer ausgeglichenen Bilanz zwischen (erneuerbarer) Energieproduktion und Energienachfrage wohl nur im seltenen Fall innerhalb von einzelnen Gemeinden realisierbar sind und daher ein Flächen- und Umsetzungsmanagement auf interkommunaler Ebene benötigen, um mit dem hohen Flächenbedarf der erneuerbaren Energieproduktion raumsparend, umweltschonend UND ertragsoptimiert umgehen zu können. Dies ist sowohl für das Flächenmanagement im bebauten und unbebauten Raum, aber auch im sozialen Raum als Kooperationsaufgabe zwischen Akteurinnen und Akteuren der Energiewende eine mühevoll Aufgabe.

1.1. Ziele & Forschungsfragen

Zielsetzung dieser Dissertation ist es, Hilfestellungen in der regionalen Planungspraxis anzubieten. Das Ergebnisprodukt ist ein Nachschlagewerk zum Flächenbedarf der erneuerbaren Energieproduktionsarten.

¹ Die ökologische Ökonomie behandelt Ökologie und Ökonomie gleichwertig und transdisziplinärer als die Umweltökonomie, in der die Natur den ökonomischen Bedürfnissen eher untergeordnet ist, und Umwelteffekte einfach als externe Effekte monetarisiert werden. Pointiert würde ein ökologischer Ökonom zur Energieerzeugung fragen: „Wie viel Natur brauchen wir überhaupt“, ein Umweltökonom dagegen „Was kostet die Natur“ (Institut für Philosophie und Wissenschaftstheorie 2017).

Es sollen damit Positionen auf die Frage eines bekannten Nachhaltigkeitsökonomen angeboten werden:

„Modelle mit unterschiedlichen Annahmen zu Umweltgrenzen lassen erkennen: Wir wissen nicht wie viel Natur wir benötigen“ (Bartelmus 2014, S. 25).

In den Schlussfolgerungen werden Empfehlungen zum komplexen regionalen Setup angeboten, das benötigt wird, um nach der Abschätzung der Energieangebotsseite zu Energieszenarien zu gelangen. Die Forschungsfragen dieser Dissertation lauten deshalb:

- Hauptfrage: Wie hoch ist der Flächenbedarf ($m^2/kWh/Jahr$) ausgewählter erneuerbarer Energien (Windkraft, Biomassen, Solarenergie, Geothermie) und was machen die standörtlichen Energieertragsvarianzen aus? Wie sind Flächenkonkurrenzen zu nicht-energetischen Landnutzungsarten und die Umweltwirkungen der erneuerbaren Energieproduktion einzustufen?
- Nebenfrage: Wie sind die Flächenbedarfe und -konkurrenzen der erneuerbaren Energieproduktion in der „regionalen Energieraumplanung“ einzuordnen?

1.2. Herangehensweise und Aufbau der Arbeit

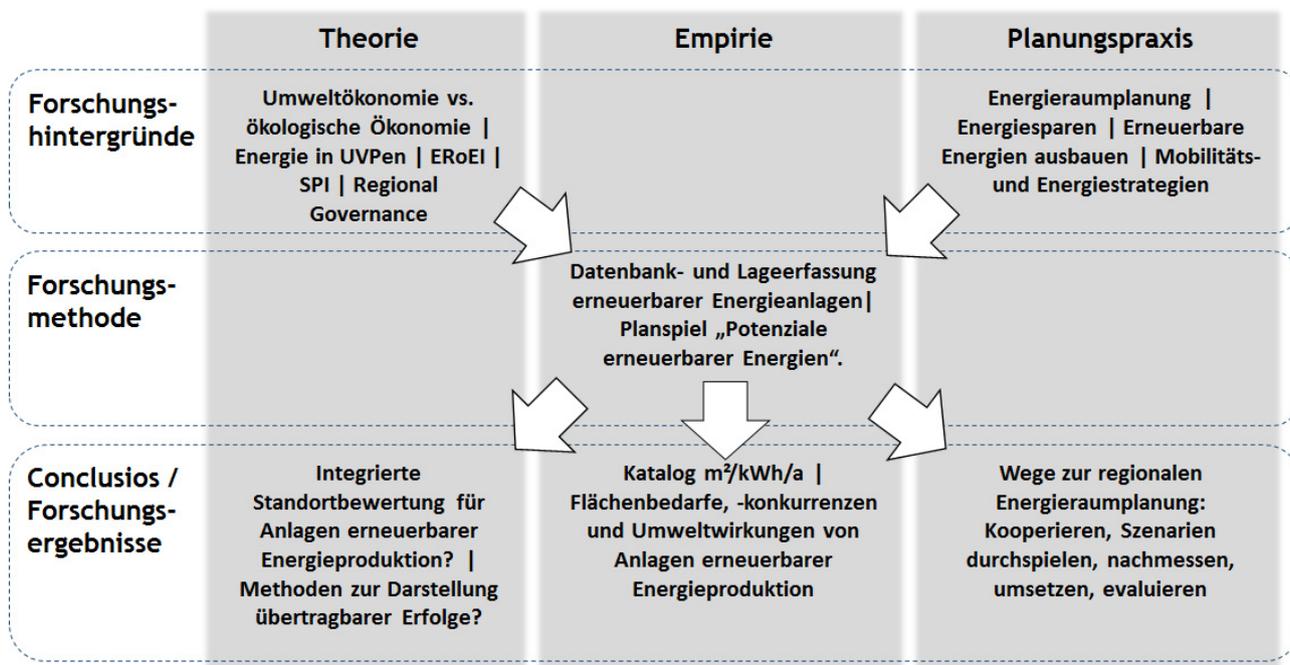
Die einleitenden Kapitel dieser Arbeit widmen sich den erneuerbaren Energien in Österreich, und insbesondere dem nicht neuen, aber inhaltlich noch unklaren Begriff „Energieraumplanung“.

Der empirische Teil mit dem „Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen“ schildert zunächst flächen- und prozessrelevante Indizes zu den erneuerbaren Energien und zeigt auf, wie in der Umweltverträglichkeitsprüfung mit dem „EnergietHEMA“ umgegangen wird. Danach folgt der „Katalog“ selbst, mit Daten zu Leistung, Jahresarbeit und dem Flächenbedarf bestehender Anlagen der erneuerbaren Energieproduktion, gegliedert nach den erneuerbaren Energietypen Geothermie, Solarenergie, Windkraft, Biomasse. Geografischer Schwerpunkt der Katalog-Anlagen ist Österreich, aber zum Vergleich werden auch Vergleichsbeispiele aus Europa, Asien und den USA angeführt.

Der Ergebnisteil vergleicht die einzelnen erneuerbaren Katalog-Records energieträgerübergreifend unter den Aspekten Flächenbedarfe, Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen. Abschließend werden Wege zur „regionalen Energieraumplanung“ aufgezeigt, indem ein Empfehlung-Setup zum Flächenmanagement zwischen Energieangebot und -nachfrage entworfen wird.

Die Schlussfolgerungen listen den weiteren Forschungsbedarf auf, Fokus sind sowohl die Flächenbedarfe der erneuerbaren Energien, aber auch der Umgang mit dem „Katalog“ in der regionalen „Kooperationsforschung“. Die folgende Grafik zeigt im Überblick den gesamten „Bauplan“ der vorliegenden Dissertation.

Abbildung 2: Aufbau der Dissertation



Quelle: Eigene Darstellung

1.3. Begriffserklärungen zu den Inhalten der Dissertation

Energie: Jahresarbeit einer Anlage als Produkt von Leistung und Laufzeit ($E=P \cdot t$), Einheit Wattstunden pro Jahr (Wh/a). Im Kontext der vorliegenden Arbeit kommen die Endenergieformen Wärme, Elektrizität und Treibstoffe vor.

Energieproduktion: Sehr weit verbreiteter, wenngleich physikalisch falscher Begriff. Nach den thermodynamischen Gesetzen gibt es weder Energiesparen noch Energieproduktion, sondern nur Umwandlungen zwischen verschiedenen Energieformen (etwa von Wärme oder Kinetischer Energie in Elektrizität, von Biomassen in Treibstoffe, von Solarstrahlung in Wärme oder Elektrizität, ...). Im Sinne einfacher Verständlichkeit wird in dieser Arbeit trotzdem der Begriff Energieproduktion verwendet.

Erneuerbare Energieproduktion: Energiequellen, die innerhalb von „menschlichen Zeitdimensionen“ (Kaltschmitt et al. 2006, S. 4) als unerschöpflich angesehen werden. Die vorliegende Arbeit widmet sich im empirischen Teil verschiedenen Formen der Solarenergie, der Windkraft, der Geothermie und den Biomassen. Dargestellt werden Endenergiemengen ausgewählter Anlagen in Wattstunden pro Jahr (Wh/a), ohne Berücksichtigung ihrer kurz- oder längerfristigen zeitlichen Leistungs- und Arbeitsvarianz innerhalb eines Datenjahres.

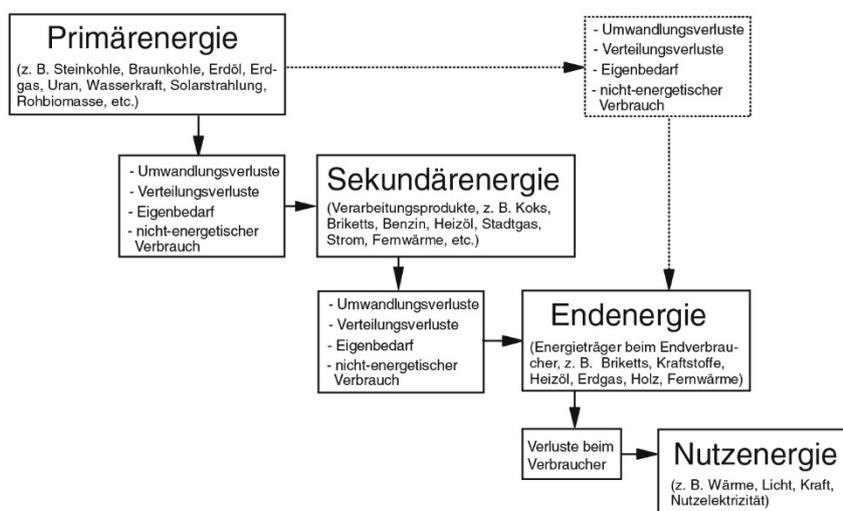
Erneuerbare Energien resultieren aus nur drei Primärquellen: der Erdwärme, der Solarenergie und der Planetengravitation. Über mehrere Umwandlungsschritte, die jeweils Ertragsverluste bringen, entstehen verschiedene Energieformen: Wärme und Kälte als thermische Nutzenergieformen zur Raumkonditionierung und für die Warmwasserbereitung, Brennstoffe als Speicher chemische Energie, mechanische Energie und elektrische Energie.

Abbildung 3: "Angebotsbaum" der erneuerbaren Energien



Quelle: (Kaltschmitt et al. 2006, S. 12)

Abbildung 4: Vierstufige Wanklungskette zwischen Primärenergie und Nutzenergie



Quelle: (Kaltschmitt et al. 2006, S. 3)

Leistung (der Energieproduktionsanlagen): Spitzen-Kapazitätsstärke einer Energieproduktionsanlage, Einheit: Watt (W). Beispiel einer Photovoltaik-Anlage: Leistung 5 kW(p), das (p) steht für „peak“, d.i. die maximal mögliche Leistung.

Volllaststunden (rechnerisch): Stundenzahl, Einheit (h) aus dem Quotient der Arbeit durch die Leistung (nach der einfachen physikalischen Grundgleichung Energie (Arbeit)=Leistung*Zeit). Der Maximalwert für die Volllaststunden einer Anlage im Dauerbetrieb sind 8760 Stunden (365 Tage*24 h). In den meisten Fällen laufen Energieproduktionsanlagen aber nicht immer unter Volllast, deshalb ist die gesamte Laufzeit der Anlagen oft erheblich länger als der Wert der rechnerischen Volllaststunden (Beispiel: 30% Volllast, 70% Teillast).

Regelenergie, auch „Regelleistung“: Die Fähigkeit einer erneuerbaren Energieanlage, schnell eine geringe oder auch starke Energie-Nachfrageschwankung (etwa Raumwärme und -kühlung, aber auch Warmwasser- und Elektrizitätsmengen) über kürzere oder längere Zeiträume möglichst genau bedienen zu können. Unter den erneuerbaren Energieträgern haben die Biomassen und die Geothermie auch ohne Energiespeicher eine gute bis sehr gute Regelenergie-Fähigkeit, bei Windkraft und Photovoltaik ist dies ohne Energiespeicher nur sehr bedingt durch An- oder Abschaltung möglich. Stehen Energiespeicher (etwa: Akkumulatoren oder Warmwassertanks) in ausreichend großer Kapazität als Speichermedien zur Verfügung, können auch die Photovoltaik und die Windkraft eine gute Regelenergiefähigkeit entfalten. Dies gilt allgemein auch für Elektrizitätspotenziale (egal ob aus erneuerbarer oder nicht erneuerbarer Herkunft), die in Wasserkraft-Speicherkraftwerke oder in Erdwärme „einspeisen“ können.

Grund- und Spitzenlast: Spezialfälle von Regelenergie-Fällen. Grundlast-Leistungen treten meist über lange Zeiträume im kleinen Leistungsspektrum auf (Beispiel: Standby-Elektrizitätsbedarf eines Haushalts), Spitzenlasten über kurze Zeiträume im höheren Leistungsspektrum (Beispiel: Elektrizitätsbedarfs eines Haushalts morgens, mittags, abends). Die Grund- und Spitzenlastprofile von industriellen Prozessen (Beispiel: Sachgüterproduktion) haben völlig andere Energiebedarfsprofile als die der Haushalte.

Umweltwirkungen der erneuerbaren Energieproduktion:

- Quantifizierbare Wirkungen:
 - Emissionen aus der Energieumwandlung. Diese lassen sich nach den toxischen Gasen (u.a. SO₂ und NO_x), nach den Treibhauseffekt-relevanten Gasen (u.a. CO₂, C_xH_y wie z.B. Methan CH₄, Distickstoffoxid N₂O) und nach Gasen mit Säurebildungspotenzial (SO₂ Äquivalente) unterscheiden (Kaltschmitt et al. 2006, S. 19f).
 - Staub und Feinstaub
 - Lärm
- Qualitative Wirkungen:
 - Zwei- und dreidimensionale visuelle Veränderung des Ortsbildes und/oder des Landschaftsbildes

Flächenbedarf der (erneuerbaren) Energieproduktion: Im Kontext der vorliegenden Arbeit ausschließlich die zweidimensional horizontal von Energieanlagen benötigten unversiegelten und versiegelten Flächen in Hektar (ha), sowohl der „gebauten“ Energieproduktionsanlage selbst, aber auch der Land- oder Gebäudeflächen der Energiepotenzialflächen (Waldfläche, Windpark, Ackerland, Solarkraftwerk, Erdreich).

Name, Lage:

Geothermie ATRIO
Shopping center Villach,
Österreich

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte
Geothermie, Wärme
und Kälte, Aktivierte
Fundament-
Energiepfähle.

Info: Heiz- und
Kühlbetrieb ganzjährig

e_flaeche_ha: 2.86

e_el_mwha: 375

p_th_mw: 14

e_th_mwha: 1220



Quelle: Eigene Bearbeitung, Katalog der erneuerbaren Energieanlagen

Die vorliegende Arbeit, insbesondere der Katalog erneuerbarer Energieanlagen berücksichtigt folgende Aspekte nicht bzw. nur in manchen Fällen:

- a) Umweltwirkungen und Flächenbedarfe, die der Produktionsphase zeitlich vor- oder nachgelagert sind, etwa Aufwände zur Anlagenherstellung und der Abbau- und Entsorgungsphase²;
- b) Anlagenbetriebs-Störfälle;
- c) Umweltwirkungen und Flächenbedarfe, die sich aus der Notwendigkeit der Speicherung und Verteilung der Energie ergeben (etwa: Leitungen, Transformatoren und Umspannwerke, Zufahrtwege und -Straßen außerhalb der Potenzialfläche).

Eine Ausnahme dieser Bearbeitungsregel sind die Biomassen, hier wird auf die Umwelteffekte der Rohstoff-Transporte eingegangen, weil bei den Biomassen Kraftwerke und Energiepotenzialflächen häufig nicht (wie bei Windkraft, Geothermie und Solarenergie) lageident sind.

Flächenkonkurrenz durch erneuerbare Energieproduktion: Die erneuerbare Energieproduktion steht in Konkurrenz zu anderen Funktionen, die auf den Potenzial- und Anlagenflächen stattfinden könnten. Es wird abgeschätzt, wie stark die erneuerbare Energieproduktion folgende anderen Flächenfunktionen konkurrenziert:

- Wohnfunktion (Besiedlung durch den Menschen);
- Sachgüterproduktion (inkl. nachwachsender Rohstoffe) und Dienstleistungen;
- Naherholungsfunktion (kleinräumig);
- Tourismus (großräumig);
- Nahrungsmittelproduktion;
- Konkurrenz zu anderen erneuerbaren Energieformen. Hierbei sind auch Synergien, nicht nur Konkurrenzen möglich.

² Diese Flächenbedarfe verdienen zwar durchaus Beachtung im Sinne integrativer Prozess-Indizes (Narodoslawsky 1993, Lafferty und Narodoslawsky 2003), sind aber auf regionaler Ebene bei Standortentscheidungen zweitrangig, weil Regionen stark an ihr verfügbares Flächen-Portfolio der erneuerbaren Energien gebunden sind, weshalb häufig gar nicht viele alternativen Energieträgerentscheidungen möglich und wirtschaftlich sind.

Region: Zusammenschluss von mindestens zwei Gemeinden im Sinne eines „Aktions- und Entscheidungsraumes“, in dem versucht wird, Probleme und Herausforderungen, die zu Ihrer Lösung eine interkommunale Perspektive benötigen, gemeinsam und partizipativ zu behandeln. Zu solchen Herausforderungen gehört auch das Flächenmanagement der erneuerbaren Energiepotenziale. 2/3 der gesamten österreichischen Fläche und etwa 1/3 der gesamten Bevölkerung sind in Klima- und Energiemodellregionen organisiert (Dumke et al. 2017, S. 322; Klima- und Energiefonds (Österreich) 2017), auch in der Mehrheit der LEADER-Regionen³ wird das Thema erneuerbare Energien häufig bearbeitet, weil es zu den 4 „übergeordneten Themen“ des LEADER Programmes (Ministerium für ein lebenswertes Österreich 2017) gehört.

Regionalplanung: Oberbegriff für Ziele, Instrumente und Maßnahmen, die Akteurinnen und Akteure in Regionen über partizipative Kooperationsprozesse interkommunal entwickeln, beschließen und umsetzen.

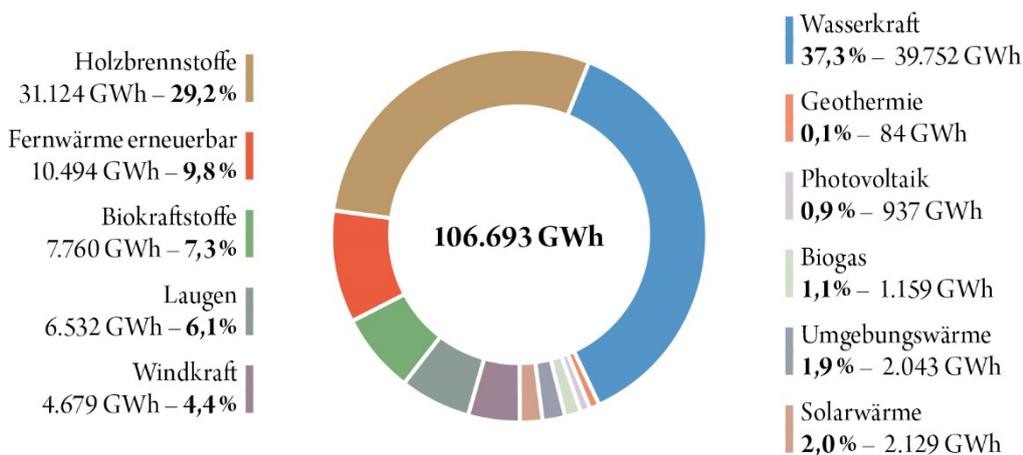
³ Abdeckung: 88% der Bundesfläche (aber ebenso wie die Klima- und Energiemodellregionen die dichtbesiedelten Stadtregionen aussparend), 55% der Gesamtbevölkerung. Auch die 3 anderen übergeordneten Themen haben stark ausgeprägte sachliche Bezüge zu den erneuerbaren Energien: Kooperation von Tourismus und Landwirtschaft, Qualifizierung, Neue Technologien.

2. Erneuerbare Energien und Energieraumplanung in Österreich

2.1. Erneuerbare Energieproduktion in Österreich

Österreich hatte 2016 einen Anteil der erneuerbaren Energien von 32,8% am gesamten Endenergieeinsatz. Die beiden größten Beiträge kommen dabei aus der Wasserkraft und aus verschiedenen biogenen Rohstoffen, alle anderen erneuerbaren Energieträger (Geothermie, Solarenergie, Umgebungswärme) leisten bisher quantitativ nur sehr kleine Beiträge.

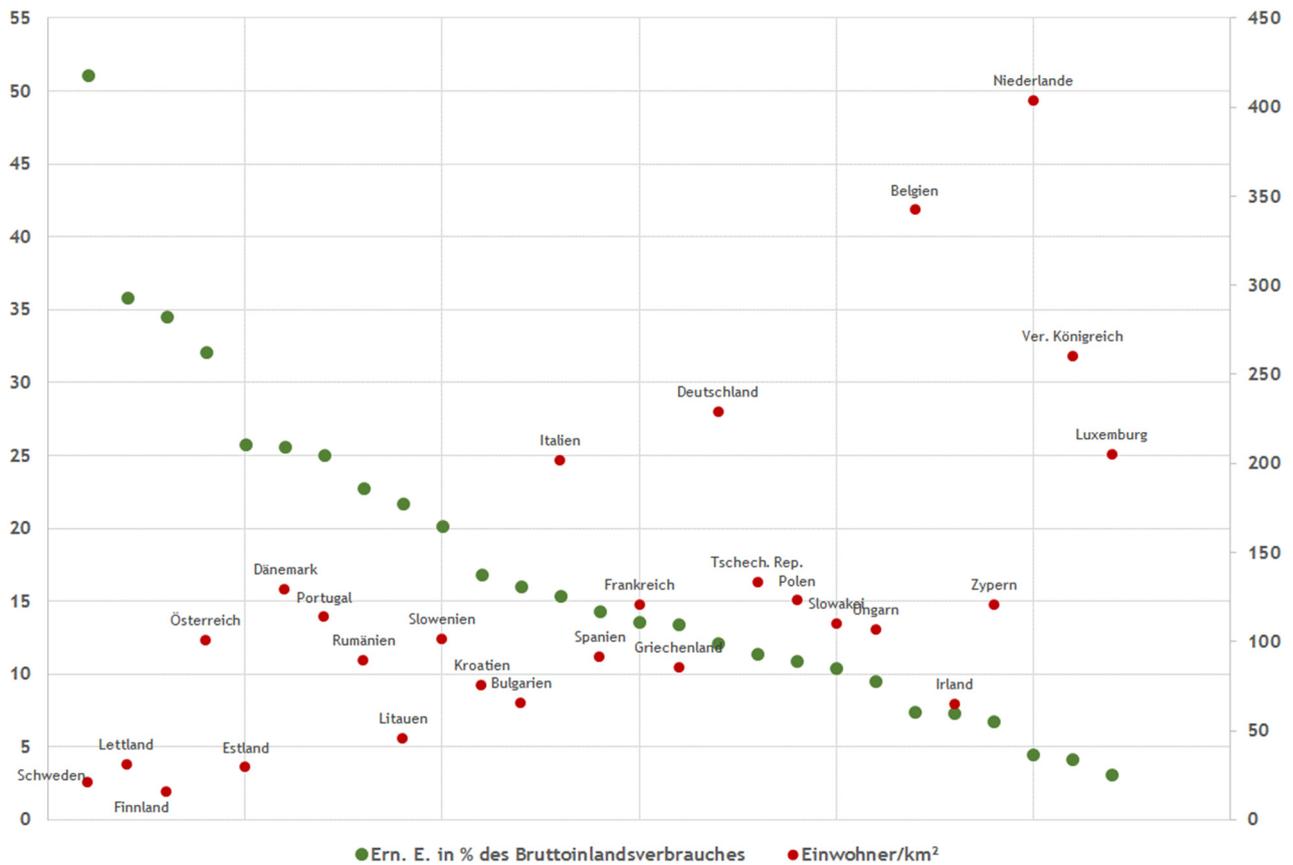
Abbildung 6: Anteile erneuerbarer Energieträger in Österreich 2015



(Biermayr 2016, S. 14)

Da die erneuerbare Energieproduktion große Flächen sowohl für die Energiepotenziale als auch für die Energieanlagenflächen benötigt, sind Statistiken zum Zusammenhang zwischen der gesamten Landesfläche und der Bevölkerungsdichte auch im europäischen Vergleich interessant. Die folgende Grafik zeigt, dass Länder mit hohem erneuerbarem Energieanteil im Europavergleich eher geringe Bevölkerungsdichten haben. Österreich war europaweit 2013 auf Platz 4 beim Anteil erneuerbarer Energien, bei einer Bevölkerungsdichte von 101 Personen/km². Die am dichtesten besiedelten Länder Deutschland, Belgien, Niederlande und das vereinte Königreich hatten 2013 erneuerbare Energieanteile zwischen 12 und 4 %, bei Bevölkerungsdichten von 230 bis 404 Personen/km². Innerhalb des Clusters der Länder, die im Europavergleich bei relativ geringer Bevölkerungsdichte relativ hohe Anteile an erneuerbarer „Energieselbstversorgung“ haben, ist Österreich aber im oberen Bevölkerungsdichtenbereich, zusammen mit Dänemark, Portugal, Rumänien und Slowenien.

Abbildung 7: Anteil an erneuerbaren Energien und Bevölkerungsdichte in den EU-Mitgliedstaaten, 2013

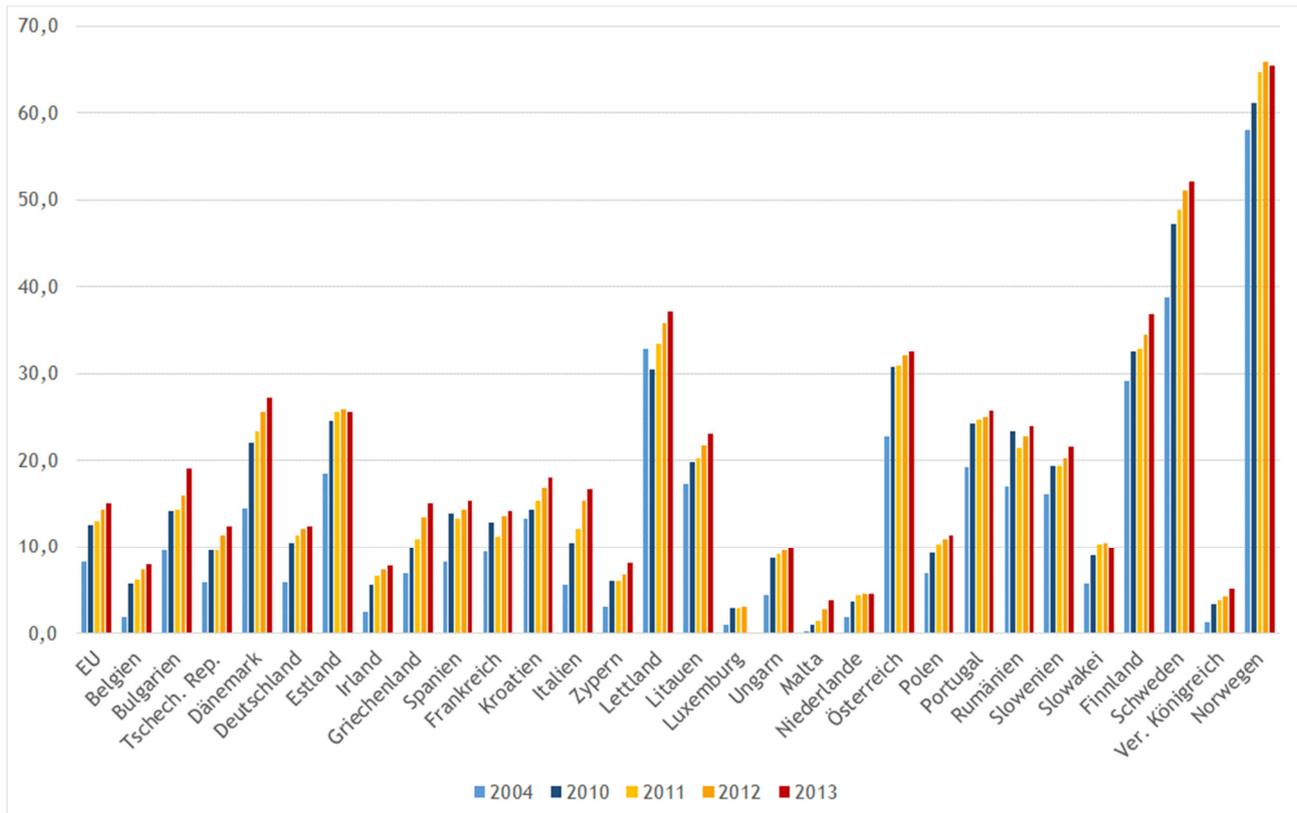


Quelle: (Eurostat 2013).

Anmerkung: Bei der obigen Darstellung wurde aus Übersichtsgründen Malta ausgelassen (erneuerbarer Energieanteil 2,7%, Bevölkerungsdichte 1.322 Personen/km²). Norwegen (kein EU-Mitglied) hatte 2013 einen erneuerbaren Energieanteil von 66% bei einer Bevölkerungsdichte von 15,5 Personen/km².

In der zeitlichen Entwicklung 2004 bis 2013, die in der nächsten Abbildung gezeigt wird, ist ersichtlich, wie langsam die Zuwächse beim Anteil erneuerbarer Energien gelungen sind, und dass es in einzelnen Jahren auch Rückschläge gab. Österreich hat 2016 mit 32,8% (Biermayr 2016, S. 12) erneuerbaren Energien am Endenergieeinsatz seit 2013 eine nahezu konstante Performance.

Abbildung 8: Anteile an erneuerbaren Energien, 2004 bis 2013



Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welchen Stellenwert die erneuerbaren Energien zu anderen stark raum- und energierelevanten Themen wie der Mobilität und dem Energiesparen hat, und wie dazu der Begriff „Energieraumplanung“ entstanden ist.

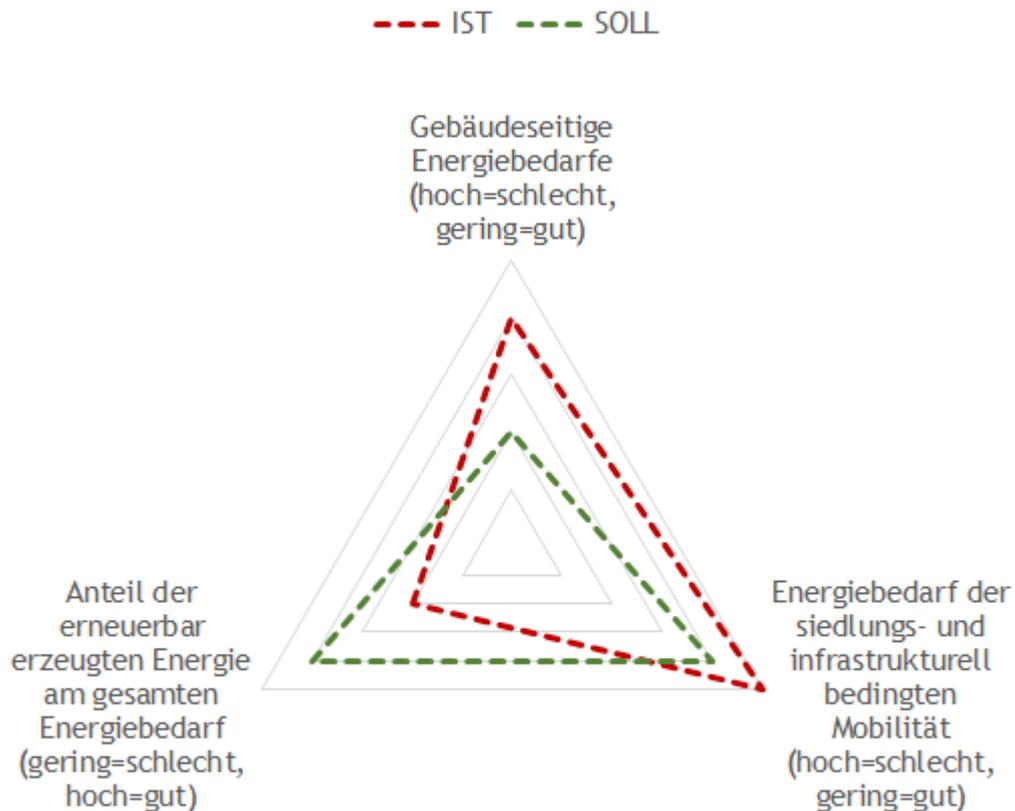
Quelle: (Eurostat 2013)

2.2. Begriffsgenese "Energieraumplanung" in Österreich

Im Einleitungskapitel wurde bereits geschildert, dass es nahezu keine menschliche Handlung gibt, die NICHT energierelevant ist. Das macht die sogenannte Energieraumplanung zu einem besonders wichtigen, aber im Geiste von Walter Schönwandt (Schönwandt 2002) auch zu einem besonders bössartigen Planungsproblem: viele Akteurinnen und Akteure mit sehr heterogenen Erwartungshaltungen an raumrelevante Veränderungen und die Energiewende, und dazu noch eine thematisch sehr breite Vielfalt (etwa Wärme, Elektrizität, Mobilität und die jeweiligen räumlichen Planungshorizonte), die von sich laufend und schnell verändernden Rahmenbedingungen beeinflusst wird.

Bei Energieraumplanung sollte es um ein integratives Betrachten der drei Zieldimensionen Energiesparen, Steigerung des erneuerbaren Energieanteils am Gesamtenergiebedarf und um Mobilitätsaspekte gehen. Zur Veranschaulichung dieser Veränderungsvektoren zwischen einem IST und SOLL Zustand dient die folgende Grafik. „Integrativ“ bedeutet in der Energieraumplanung auch, „klassische“ Ziele der Raumplanung (sparsamer Flächeneinsatz, Erhalt vielfältiger und dezentraler Infrastrukturangebote, nachhaltige Raumentwicklung, ...) im Einklang mit Zielen des Umwelt- und Landschaftsschutzes (Schutz des Landschaftsbildes, Schonung natürlicher Ressourcen, Emissionsvermeidung) zu verfolgen. Die folgende Grafik zeigt, bewusst ohne Skalierungen, die drei „Veränderungsvektoren der Energieraumplanung“.

Abbildung 9: Das Energieraumplanungs-Triangel



Quelle: Eigene Darstellung

Hinterfragt man die Zielgebäude, die hinter diesen drei Ausrichtungen stehen, so ist die hohe Artverwandtschaft zwischen Energieplanung und den jahrzehntealten Grundsätzen der Raumplanungsgesetze offensichtlich: Sparsamer Umgang mit der Ressource Boden, Erhalt oder Verbesserung räumlicher Versorgungsfunktionen und gemischter Infrastruktur-Funktionsangebote. Diesen Zusammenhang zwischen Energie- und Raumplanung bereits zeigt bereits das folgende wörtliche Zitat:

„Die traditionelle Raumplanung befasst sich heute in erster Linie mit der Entwicklung der Siedlungsstrukturen, der Wirtschaftsentwicklung, der Entwicklung von Verkehr, Naturraum und Umwelt etc. und mit Standortentscheidungen für die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur, unter die gelegentlich auch ein Energieprojekt fällt.“
(Jilek 2001, S. 252)

„Energieraumplanung“ ist somit nur als Begriff neu, weil die Ziele der Raumplanung stets hoch energierelevant waren. Raumplanung war immer auch „Energieraumplanung“. Neu ist dagegen der mediale Bedeutungszuwachs, den die erwähnten Sachthemen besonders ab dem Jahr 2010 genießen. Ein weiteres „Landmark“ bei dieser Entwicklung war die nationale österreichische Energiestrategie (BM für Wirtschaft, Familie und Jugend & BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2010), die zusätzlich auch auf die Energieversorgungssicherheit und die ökologische und ökonomische „Stabilität“ der notwendigen Veränderungen im Sinne der Energiewende Wert legte. In der Schärfung des Begriffes „Energieraumplanung“ gab es als Konsensergebnis der beteiligten österreichischen Bundesländer 2014 eine konkrete, mit mehr Raumbezug als zuvor ausgestattete Definition für zwei Leitziele und eine allgemeine Definition:

- *„Ziel 1 (erneuerbare Energieträger): Die räumlichen Potenziale für die Gewinnung erneuerbarer Energie sind in ausreichendem und leistbaren Ausmaß zu erhalten und zu mobilisieren.*
- *Ziel 2 (räumliche Strukturen): Die raumstrukturellen Potenziale für die Umsetzung energiesparender und energieeffizienter Lebensstile und Wirtschaftsformen sind zu erhalten und zu verbessern.*
- *Energieraumplanung ist jener integrale Bestandteil der Raumplanung, die sich mit den räumlichen Dimensionen von Energieverbrauch und Energieversorgung umfassend beschäftigt.“*

(Stöglehner 2014, S. 12)

In der „ÖREK-Partnerschaft Energieraumplanung“, aus der dieses Zitat stammt, wurden vier unterschiedliche Raumtypen genannt, die bei dieser Zielerreichung unterschiedliche, miteinander verwobene Rollen einnehmen sollten: Kernstadt/urbaner Raum, suburbaner Raum, ländliche Kleinstadt, ländlicher Raum (Stöglehner 2014, S. 6ff). In der steiermärkischen Energiestrategie 2025 werden dazu „konsensuale Entwicklungsprozesse“ genannt, die in der Energieraumplanung stattfinden sollten:

„Eine konsequente Energieraumplanung müsste die historisch vorhandenen Instrumentarien energiebewussten Bauens dazu nutzen, langfristige Planungsprozesse im Energie- und Umweltbereich ins Leben zu rufen und zu unterstützen (die derzeit gängige räumliche Entflechtung von Nutzungen und lockeren Bauformen erfordert einen extrem hohen Energieeinsatz). Sie hat gegenüber legislativen Rahmenbedingungen den Vorteil, dass Entwicklungsprozesse konsensual ablaufen können und damit größere Erfolge erzielbar sind“.
(Amt der steiermärkischen Landesregierung o. J., S. 27)

Das nächste Kapitel gibt einen Überblick dazu, welche Begriffe und „Keywords“ zu den strategischen Zielen der erneuerbaren Energien, des Energiesparens, der Energieeffizienz, der Mobilität und des Monitorings in den Energiestrategien der österreichischen Bundesländer vorkommen.

2.3. Erneuerbare Energien, Energiesparziele, Energieeffizienz und Mobilität in österreichischen Energiestrategien

Zum künftigen Status der erneuerbaren Energien gibt es in den Energiestrategien ein sehr unterschiedliches Spektrum, sowohl was die Zeiträume als auch die Titelbegriffe, unter denen die Veränderungen übertitelt werden, angeht. In Vorarlberg wird unter dem Begriff „Energieautonomie“ eine bis 2050 rechnerisch ausgeglichene Jahresbilanz zwischen der Energienachfrage für Wärme, Elektrizität und Mobilität und dem erneuerbaren Energieangebot verstanden (Schwärzler 2011, S. 16). Die Niederösterreichische Energiestrategie nennt bereits bis 2020 ein Ziel von 50% für die Deckung des Gesamtenergiebedarfes aus erneuerbaren Energien (Amt der NÖ Landesregierung (RU3) 2013, S. 7 ff).

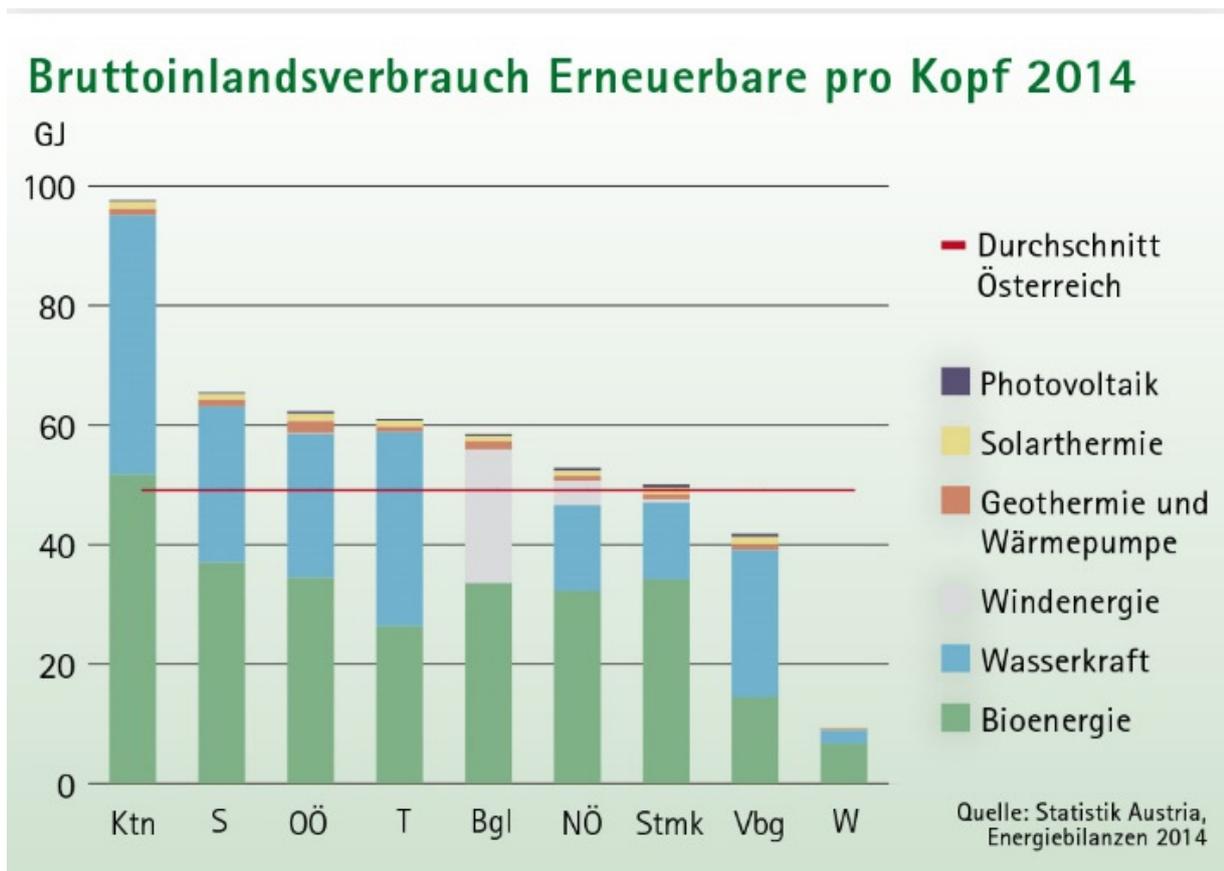
Noch ambitionierter nennt die Energiestrategie Burgenland für 2050 das Ziel einer „vollständigen Energieautarkie“ für den Strom- Wärme- und Treibstoffverbrauch (TOB - Technologieoffensive Burgenland 2013, S. 32). In Kärnten möchte man bis 2050 Heizöl und Erdgas „vollständig ersetzen“ (Faninger 2013, S. 62).

Auch bei den Energiesparzielen sind die „Pfade“ sehr unterschiedlich. In Vorarlberg soll bis 2050 zwar der Gebäudebestand des ganzen Landes „durchsaniert“ werden, aber mit nur geringen Reduktionen beim Energiebedarf der Industrie und des Gewerbes (Schwärzler 2011, S. 17). In Oberösterreich möchte man den Energieeinsatz pro m² „klimabereinigt“ um 1% p.a. senken (Dell 2017, S. 12), in Niederösterreich wird ebenfalls eine Halbierung des Endenergieeinsatzes von 62.000 GWh/a auf 30.000 GWh/a für 2050 genannt (Amt der NÖ Landesregierung (RU3) 2013, S. 13), und in Wien soll der Energieverbrauch für Heizen, Kühlen und Warmwasser um 1% pro Jahr gesenkt werden, und es wird auch eine Senkung des Primärenergieeinsatzes von aktuell 3000 auf 2000 Watt pro Person bis 2050 genannt (Vogl 2017, S. 8 und 32).

Auch bei der Energieeffizienz sind die Begriffe und Zeiträume, die in den verschiedenen Strategien vorkommen, sehr unterschiedlich. Die Energiestrategie Österreich spricht dazu von „freiwilligen Vereinbarungen“, nur wenn deren Zielpfade nicht erreicht werden, sollen „schrittweise verpflichtende Regelungen, wie die Leistung von Ausgleichszahlungen in einen Energieeffizienzfond, in Kraft gesetzt werden“ (BM für Wirtschaft, Familie und Jugend & BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2010, S. 43). In Oberösterreich wird Energieeffizienz überhaupt als Verhältnis zwischen Endenergie und Bruttoregionalprodukt definiert (Dell 2017, S. 12).

Bei den künftigen Zusatzpotenzialen erneuerbarer Energien setzen die Bundesländerstrategien auf den Ausbau Ihrer bereits aktiven Potenziale. Die folgende Abbildung zeigt dabei, dass die Ausbaugrade sowohl in absoluten Mengen als auch pro Kopf bei Solarenergie, Geothermie und Wärmepumpen sowie der Windkraft (Ausnahme: Burgenland) noch mehr „Reserven“ haben als die bereits höher ausgebauten erneuerbaren Energieträger Biomasse und Wasserkraft.

Abbildung 10: Bruttoinlandsverbrauch erneuerbarer Energien pro Kopf in österreichischen Bundesländern, 2014



(Pfemeter et al. 2016, S. 26)

Wenige konkrete Zieldefinitionen gibt es in den Energiestrategien der Länder zur Mobilität, der NÖ Energiefahrplan nennt dazu ein Energiesparziel von -67% zwischen 2009 und 2050 (Amt der NÖ Landesregierung (RU3) 2013, S. 15), im Burgenland wird dazu bis 2020 nur eine geringe Bedarfsreduktion von 11.000 auf 9.800 TJ/a genannt (TOB - Technologieoffensive Burgenland 2013, S. 61f), und in Wien soll bis 2050 der gesamte motorisierte Individualverkehr innerhalb der Stadtgrenzen ohne „konventionelle Antriebstechnologien“ auskommen und auch der Wirtschaftsverkehr mit Quelle und Ziel innerhalb der Stadtgrenzen bis 2030 weitestgehend CO₂ frei sein (Magistrat der Stadt Wien, MA 18 2014, S. 32).

Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Energiestrategien beim Status erneuerbarer Energien, den Energiesparzielen und Mobilität lassen sich im Überblick wie folgt zusammenfassen:

- Die Zeithorizonte der gültigen Bundesland-Strategien variieren stark zwischen 2020 und 2050;
- Nur wenige Bundesländer (etwa Vorarlberg und Wien) erwähnen ausdrücklich die Energierelevanz der Mobilität, und dazu auch konkrete Veränderungsdimensionen für deren Dekarbonisierung;
- Alle Strategien nennen mehr oder weniger konkrete Zielvorgaben für den Versorgungsanteil der erneuerbaren Energieträger (mit großen Detailunterschieden) und betonen Einsparungen und Effizienzsteigerungen;
- Häufig verwendete Keywords sind Energieautonomie, Energieautarkie, Sanierungsraten, Nachhaltigkeit, CO₂ Einsparungen, Versorgungssicherheit, Klimaschutz oder -mitigation;

- Sehr selten findet man konkrete räumliche Strategieempfehlungen für die Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussflächen der erneuerbaren Energieproduktion, oder für die Aktualisierung von Fernwärme-Vorranggebieten inkl. Potenzialanalysen zwischen Energiebedarf und regionalem Energieangebot wie in der steiermärkischen Energiestrategie (Amt der steiermärkischen Landesregierung o. J., S. 22);
- Selten findet man Kartendarstellungen, die die Energie-Nachfragesituation für bestimmte Szenarien-Zeiträume als etwas Veränderliches zeigen (d.h. einen reduzierten Energiebedarf etwa auf grober Rasterbasis, oder gar gebäudegenau in einem Ist- und Soll-Zustand), oder Zusammenhänge zwischen Energieangebot und -nachfrage visualisieren;
- Ebenfalls sehr selten sind Empfehlungen, wie künftig bei den Aufgabenstellungen der Energieraumplanung die Rollen zwischen dem Staat Österreich, den Bundesländern, den Regionen und Gemeinden verteilt werden sollen.

Zum letzten Punkt gibt es wenig vergleichende Grundlagenforschung und nur sehr wenige Studien, die überhaupt versucht haben, bundesländerübergreifend sowohl die Wirkungsweise als auch den Raumbezug von Planungsinstrumenten mit Energierelevanz zu systematisieren. Die folgende Abbildung zeigt einen der Kernbefunde einer solchen Analyse.

Abbildung 11: Exemplarische Raum- und Wirkungsmatrix der österreichischen Steuerungsinstrumente mit Energie-Relevanz

Beschlußebene Bundesland	Raumordnungsgesetz	Landeskonzepte (Energie-Zukunft, Mobilität, Klimaschutz)	Förderungen: Wohnbau, Sanierungen, Produktion erneuerbarer Energien			
Beschlußebene Region, Themen- u. Gemeinde-übergreifend		Regionale E-konzepte, Smart regions, Mobilitätskonzepte				Etablierung v. Regionalentwicklungsmanagements, u. Interessensverbänden
Beschlußebene Stadt, Gemeinde	Flächenwidmungs- u. Bebauungspläne, örtl. Entwickl.konzept	Kommunale Energieleitbilder, -konzepte, -deklarationen	PPP Verträge, Bodenfonds	Investoren-Wettbewerbe, Nutzungsverträge, Grundstücksaufschließung	Master- und Stadtentwicklungspläne, Wärmenetzbetrieb, (erneuerbare) E-produktion	Etablierung von Beratungsstellen, Gebietsbetreuungen, Mobilitätszentralen
Wirkungsebene und -art	Regulativ 	Kommunikativ, Bewußtseinsbildend 	Finanzierend 	Marktaktivierend 	Standortentwickelnd 	Prozesse steuernd 

Quelle: (Department für Raumplanung 2013)⁴.

⁴ Anmerkung: In dem dieser Abbildung zu Grunde liegenden Projekt „ENUR – Energie im urbanen Raum“ wurden in einem Governance-Forschungsmodul insgesamt 42 Planungsinstrumente aus den Bundesländern Vorarlberg, Oberösterreich und Wien analysiert. Die Systematik von 3 indirekt raumverändernden Wirkungsweisen (Regulativ, Kommunikativ-Bewusstseinsbildend, Finanzierend), 2 direkt raumverändernden Wirkungsweisen (Marktaktivierend und Standortentwickelnd), und der Prozessualen Wirkungsweise, welche sowohl direkte als auch indirekte Raumwirksamkeit entfalten kann, basiert auf dem Denkmodell von Klaus Selle (Selle 2005), wurde aber im Projekt ENUR um 3 spezifische Raumbezüge (Bundesländer, Regionen, Gemeinden) erweitert.

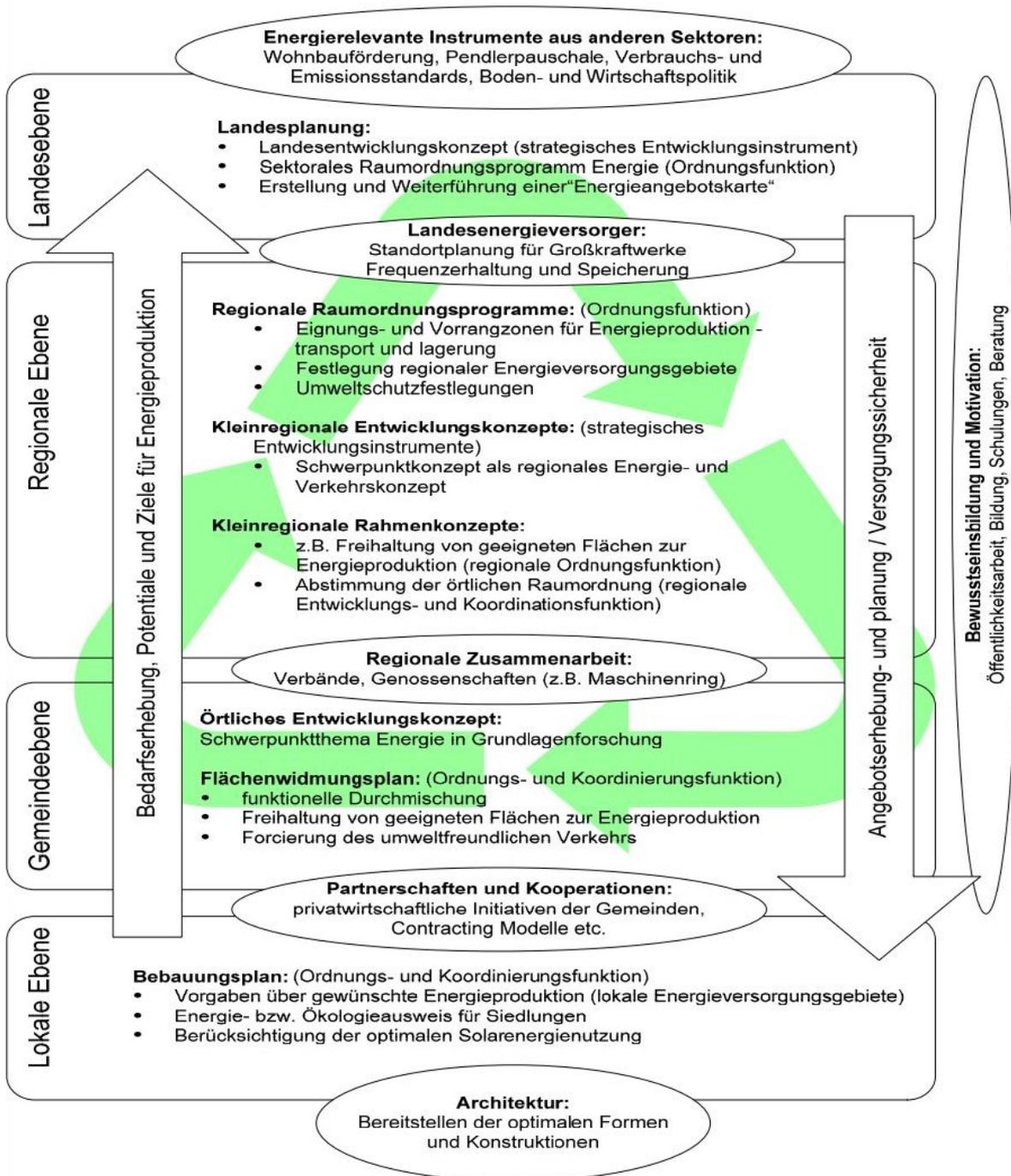
In der oben dargestellten Matrix ist ein Steuerungsvakuum auf regionaler Ebene erkennbar: Bei den Wirkungsweisen „Regulativ“, „Finanzierend“ und „Marktaktivierend“ fehlen auf regionaler Beschluss-Ebene Pendanten zu Steuerungsansätzen auf Bundesland- und Gemeindeebene – die Regionen sind (oft ohne konkrete Zuständigkeit) lediglich „mitgemeint“. Daraus entstehen schwierige Steuerungsprobleme, die nur mit gründlichem Wissen zur Sachkompetenz der beteiligten Akteurinnen und Akteure, und mit viel Verhandlungsgeschick angegangen werden können (Zech und Giffinger 2013, S. 9).

Zwar gelten Raumordnungsgesetze, Landeskonzepte und die vielfältigen Förderungsmechanismen „überall“, aber flächendeckend sind regional differenzierende Konzepte (in der Abbildung oben: „Regionale E-Konzepte, Smart Regions und Mobilitätskonzepte) nicht, und auch nicht in jeder Region institutionalisiert. Und selbst wenn dies der Fall ist, verbleibt die schwierige verbindliche Verankerung und räumliche Verantwortung stets bei den Gemeinden, welche rechtlich vor allem über die „klassischen“ Instrumente des eigenen kommunalen Wirkungsbereiches (Flächenwidmungs- und Bebauungspläne, örtliche Entwicklungskonzepte) Verbindlichkeit erreichen kann.

Zum Verhältnis zwischen Ebenen der Akteurinnen und Akteure und den jeweiligen Sachthemen hat (Geier 2009) für Niederösterreich ein Schema zur „integrierten Energieleitplanung“ entworfen. Die Empfehlungen sahen für die regionale Ebene u.a. einen Ausbau von Eignungs- und Vorrangzonen und die allgemeine Stärkung des Energiethemas in den in Niederösterreich bestehenden Steuerungsinstrumenten „kleinregionales Entwicklungskonzept“ und „kleinregionales Rahmenkonzept“⁵ vor.

⁵ Die seit 2002 gültigen 12 interkommunalen, niederösterreichischen kleinregionalen Rahmenkonzepte haben mehr Verbindlichkeit für die kommunale Ebene (insb. für die örtlichen Entwicklungskonzepte und örtlichen Raumordnungsprogramme) als die wesentlich älteren, aber auch zahlreichen kleinregionalen niederösterreichischen Entwicklungskonzepte; s. dazu Amt der NÖ Landesregierung (RU3) 2016

Abbildung 12: Schema „Nachhaltige Raumordnung mit integrierter Energieleitplanung“



Quelle: (Geier 2009, S. 102)

Ein deutlich anderes Setup zeigt sich im deutschen Planungssystem. Hier sind verbindliche Regionalpläne und regionale Flächenwidmungspläne stärker als in Österreich institutionalisiert.

Abbildung 13: Das System der deutschen Raumplanung

Staatsaufbau	Planungsebenen	Rechtliche Grundlagen	Planungsinstrumente	Materielle Inhalte
Bund	Raumordnung	Raumordnungsgesetz (ROG)	—	Grundsätze der Raumordnung
Länder	Raumordnung in den Ländern (Landesplanung)	Raumordnungsgesetz und Landesplanungsgesetze	zusammenfassende, übergeordnete Pläne	Leitbilder der räuml. Entwicklung
	Regionalplanung			<ul style="list-style-type: none"> → Raumordnungsplan → Räumliche und sachliche Teilpläne → Regionalplan → Regionaler Flächennutzungsplan
Gemeinden	Bauleitplanung	Baugesetzbuch (BauGB)	Bauleitpläne	→ Flächen-nutzungsplan
				→ Bebauungsplan
				Ziele der Raumordnung
				Darstellung der Art der Bodennutzung
				Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung

Quelle: (Akademie für Raumforschung und Landesplanung 2005, S. 896)

Bei den künftigen Definitionen der Energieraumplanung scheint es darum zu gehen, differenziert nach verschiedenen Raumbezügen der Szenarien (Ebenen Bundesland, Regionen, Gemeinden) auch auf der Ebene der beteiligten Akteurinnen und Akteure zu einem Arbeitsprogramm zu gelangen, das festlegt, wo durch welche Kooperationsergebnisse und Projekte was verändert wird – und mit welchen Kooperationsschritten bis wann. Diesen produktorientierten Zugang beschreibt auch das folgende Zitat aus dem Projekt ERP_hoch3:

„Energieraumplanung muss künftig versuchen, sich in der gebauten und ungebauten Umwelt integrativ und nach verschiedenen Raumbezügen mit den Energie-Dimensionen Wärme, Kälte, Warmwasser, Strom und Mobilität auseinanderzusetzen. Dies benötigt die IST- und SOLL-Modellierung der jeweiligen Potenziale nach Nachfrage- und Produktionsmengen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie. Bei den Raumbezügen muss es dabei verstärkt um die „Zwischenebenen“ gehen, weil diese derzeit noch häufig unter einem „Steuerungsvakuum“ leiden. Solche Zwischenebenen sind insbesondere (Stadt)Quartiere, Gebiete um ÖV-Haltestellen und die (Stadt)Regionen.“

Quelle: (Dumke et al. 2017, S. 369)

Die sehr unterschiedlichen Strategien und Zieldefinitionen der österreichischen Bundesländer (und auch auf nationaler Ebene) zum Ausbau der erneuerbaren Energien waren Motivation, einen „Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energien“ zu entwerfen. Dieser Katalog stellt den empirischen Hauptteil dieser Dissertation dar. Der Katalog beinhaltet direkte Flächenbedarfe und Energiepotenzialflächen existierender erneuerbarer Energieanlagen.

3. Katalog: Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion

Bevor die Bauweise des „Kataloges“ erklärt wird, wird einleitend erläutert wie das Thema Energie in der Umweltverträglichkeit vorkommt, und exemplarisch werden „Denkwelten“ genannt, bei denen die Idee entstand, einen „Katalogmethode“ für Anlagen erneuerbarer Energieproduktion zu entwickeln.

3.1. Das Thema Energie in der Umweltverträglichkeitsprüfung

Einer der thematischen Einstiege in das Thema „Flächenbedarfe der erneuerbaren Energien“ war eine Recherche, welche der erneuerbaren Energien im Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit vorkommen und wie die Pflichten kategorisiert sind. Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) bewerten die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen von „Vorhaben“ auf Menschen, Tiere, Pflanzen und deren Lebensräume, auf Boden, Wasser, Luft und Klima, auf die Landschaft und auf Sach- und Kulturgüter (Republik Österreich 2017). Manche „Vorhaben“ sind immer UVP-pflichtig, aber bei den Pflichten gibt es je nach Kategorie der Schutzgebiete, in dem ein „Vorhaben“ sein soll, Unterschiede. Weitere Unterschiede der Pflichten richten sich nach den zu erwartenden Dimensionen der Umweltwirkungen oder der Flächengrößen. Die folgende Tabelle fasst Vorhaben mit Relevanz zu den erneuerbaren Energien, die im UVP-Gesetz vorkommen, zusammen.

Tabelle 1: Erneuerbare Energien im österreichischen UVP Gesetz

Kategorie	UVP Pflicht
Energieanlagen	Ab 200 MW Brennstoffwärmeleistung (Anm. nicht nach erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Brennstoffen unterschieden)
	Anlagen zur Abscheidung von Kohlenstoffdioxidströmen (geolog. Speicherung)
	Anlagen mit CO ₂ Abscheidungen ab 1,5 Mio. t jährlich
	Windenergie mit einer elektrischen Gesamtleistung von mindestens 20 MW oder mit mindestens 20 Konvertern mit einer Nennleistung von mindestens je 0,5 MW
	Wasserkraftanlagen (Talsperren, Flusstäue, Ausleitungen) ab 15 MW Engpassleistung (oder je nach Rückstaulängen und Abständen für den Fischlebensraum auch ab 2 oder 10 MW); Stauwerke ab 10.000.000 m ³ Wasservolumen
	Umwandlung von Ödland oder naturnahen Flächen für Zwecke intensiver Landwirtschaftsnutzung ab 70 ha
	Rodungs-Erweiterungen ab 20 ha Gesamtgröße bei zus. Flächeninanspruchnahme von mind. 5 ha
	Anlagen zur Herstellung von Biotreibstoffen durch chemische Umwandlung ab 100.000 t/a
	Umwandlung von Ödland oder naturnahen Flächen für Zwecke der intensiven Landwirtschaftsnutzung mit einer Fläche von mindestens 70 ha;
Schutzgebiets-Kategorie	Vereinfachte UVP Pflicht (vereinfachtes- oder Einzelprüfverfahren mit weniger Prüf-Auflagen als bei regulärer UVP Pflicht, s.o.)
A	Windenergie-Anlagen ab 10 MW Leistung oder mit mindestens 10 Konvertern zu je mind. 0,5 MW Leistung; Umwandlung von Ödland oder naturnahen Flächen für Zwecke intensiver Landwirtschaftsnutzung ab 35 ha (Einzelfallprüfung); Rodungs-Erweiterungen um +5ha bzw. ab 10 ha (Einzelfallprüfung); Stauwerke ab 2.000.000 m ³ Wasservolumen; Neuerrichtung von Anlagen für Tiefbohrungen im Zusammenhang mit der Wasserversorgung ab 1000 m Teufe (Anm. kann bei Geothermie relevant sein); Umwandlung von Ödland oder naturnahen Flächen für Zwecke der intensiven Landwirtschaftsnutzung mit einer Fläche von mindestens 35 ha; Rodungen ab 10 ha oder ab +2,5 ha.
B	
C	Neuerrichtung von Anlagen für Tiefbohrungen im Zusammenhang mit der Wasserversorgung ab 1000 m Teufe (Anm. kann bei Geothermie relevant sein).
D	thermische Kraftwerke oder andere Feuerungsanlagen in schutzwürdigen Gebieten mit einer Brennstoffwärmeleistung von mindestens 100 MW.
E	

- A ... besonderes Schutzgebiet (Vogelschutzrichtlinie, Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, Bannwälder, Nationalparks, Naturschutzgebiete oder gleichartige kleinräumige Schutzgebiete oder ausgewiesene einzigartige Naturgebilde, UNESCO-Welterbestätten)
B ... Alpinregion (beginnt oberhalb des geschlossenen Baumbewuchses)
C ... Wasserschutz- und Schongebiet
D ... belastetes Gebiet (Luft)
E ... in oder nahe Siedlungsgebieten (Umkreis von 300 m um das Vorhaben)

Quelle: (Republik Österreich 2017)

Diese UVP-pflichtigen Inhalte mit Energierelevanz haben Denkanstöße ausgelöst, die zum „Bau“ des Kataloges erneuerbarer Energieanlagen, insbesondere auch bei den Untersuchungskriterien zu Flächenkonkurrenzen motivierend waren. Etwa:

- Warum werden weder Solarenergie-, noch Geothermie-Anlagen explizit genannt?
- Warum ist das Flächenverhältnis zwischen regulärer und vereinfachter UVP-Pflicht bei Windkraftanlagen und Rodungen genau bei 2:1?
- Warum werden bei einer UVP keine Prozess-Aufwände, die zeitlich vor oder nach der Energieerzeugungsphase liegen (etwa Aufbereitungs- und Transportaufwände von biogenen Rohstoffen) berücksichtigt?

Zum letzten Punkt werden nun zwei weitere „Denkwelten“, der EROI und der SPI (Sustainable Process Index) auf Ihre flächenrelevanten Aspekte bei der erneuerbaren Energieerzeugung hin erörtert.

3.2. Energy Return of Energy invested

Der Faktor der „Energy return of Energy invested“ (EROI, manchmal auch EROEI) beschäftigt sich mit dem Verhältnis zwischen dem Material- und Aufbauaufwand und dem Energieertrag einer Anlage. Zu diesem Faktor gibt es verschiedene Definitionen, eine der gängigsten (Hall et al. 2014; einfacher: Wikipedia 2017) bildet diesen Indikator aus dem Verhältnis zwischen dem über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage erwirtschafteten Energieertrag, und der für die gesamten Umwandlungsaufwände der Anlage einzusetzenden Energiemengen (etwa die Betriebsenergie, aber auch die graue Energie der Kraftwerksbauteile, und auch die Wartungs- und Entsorgungsanteile nach Betriebsende). Grundsätzlich steht ein EROI-Erntefaktor von über 1 für „Wirtschaftlichkeit“, weil mehr Energie erzeugt wird, als an Energieaufwänden für Bau, Betrieb und Abbau einer Anlage nötig ist. Zum EROI muss aber ergänzt werden, dass er nicht als integrativer Indikator einzustufen ist, weil er meist keinerlei Emissions- oder Umweltbewertungen enthält. Erneuerbare Energieträger haben, bei erheblichen lagebedingten Werteunterschieden, EROEI-Indizes von über 100 (Wasserkraft), zwischen 25 und 80 (fossile Energieträger Kohle, Öl und Gas) oder auch nur zwischen 2 und 20 (Solarenergie, Geothermie, Windkraft) erreichen. Zu den EROI Unterschieden zeigt die folgende Abbildung Beispiele.

Abbildung 14: EROI values for various fuel sources and regions

Resource	Year	Country	EROI (X:1) ¹	Reference
Fossil fuels (Oil and Gas)				
Oil and gas production	1999	Global	35	Gagnon, 2009
Oil and gas production	2006	Global	18	Gagnon, 2009
Oil and gas (Domestic)	1970	US	30	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Discoveries	1970	US	8	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Production	1970	US	20	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Oil and gas (Domestic)	2007	US	11	Guilford et al. 2011
Oil and gas (Imported)	2007	US	12	Guilford et al. 2011
Oil and gas production	1970	Canada	65	Freise, 2011
Oil and gas production	2010	Canada	15	Freise, 2011
Oil, gas & tar sand production	2010	Canada	11	Poisson and Hall, in press
Oil and gas production	2008	Norway	40	Grandell, 2011
Oil production	2008	Norway	21	Grandell, 2011
Oil and gas production	2009	Mexico	45	Ramirez, in preparation
Oil and gas production	2010	China	10	Hu et al. 2013
Fossil fuels (Other)				
Natural Gas	2005	US	67	Sell et al. 2011
Natural Gas	1993	Canada	38	Freise, 2011
Natural Gas	2000	Canada	26	Freise, 2011
Natural Gas	2009	Canada	20	Freise, 2011
Coal (mine-mouth)	1950	US	80	Cleveland et al. 1984
Coal (mine-mouth)	2000	US	80	Hall and Day, 2009
Coal (mine-mouth)	2007	US	60	Balogh et al. unpublished
Coal (mine-mouth)	1995	China	35	Hu et al. 2013
Coal (mine-mouth)	2010	China	27	Hu et al. 2013
Other non-renewables				
Nuclear	n/a	US	5 to 15	Hall and Day, 2009, Lenzen, 2008
Renewables²				
Hydropower	n/a	n/a	>100	Cleveland et al. 1984
Wind turbine	n/a	n/a	18	Kubiszewski et al. 2010
Geothermal	n/a	n/a	n/a	Gupta and Hall, 2011
Wave energy	n/a	n/a	n/a	Gupta and Hall, 2011
Solar collectors²				
Flat plate	n/a	n/a	1.9	Cleveland et al. 1984
Concentrating collector	n/a	n/a	1.6	Cleveland et al. 1984
Photovoltaic	n/a	n/a	6 to 12	Kubiszewski et al. 2009
Passive solar	n/a	n/a	n/a	Cleveland et al. 1984
Biomass				
Ethanol (sugarcane)	n/a	n/a	0.8 to 10	Goldemberg, 2007
Corn-based ethanol	n/a	US	0.8 to 1.6	Patzek, 2004, Farrell et al. 2006
Biodiesel	n/a	US	1.3	Pimentel and Patzek, 2005

(1) EROI values in excess of 5:1 are rounded to the nearest whole number.

(2) EROI values are assumed to vary based on geography and climate and are not attributed to a specific region/country.

(Hall et al. 2014, S. 145)

Auch in anderen EROI Quellen als der soeben gezeigten (u.a. Wikipedia 2017) liegen die EROI-Erntefaktoren bei den erneuerbaren Energien deutlich unter denen der fossilen, aber es gibt stets lagebedingte große Werte-Bandbreiten der Werte zu Wasserkraft, Solarthermie, Windkraft, Geothermie, Photovoltaik. Die folgende Abbildung zeigt dafür Beispiele, zusätzlich auch Werte der „energetischen Amortisation“, das ist Zeit in Jahren, über der die energetischen Investitionsaufwände durch die Energieerträge „eingespielt“ werden können.

Abbildung 15: Energierücklaufzeit, Anlagenlebensdauer und Erntefaktor verschiedener Stromerzeugungsanlagen

Kraftwerks-Technologie	Energierücklaufzeit (Jahre)		Lebensdauer (Jahre)	Erntefaktor (Energie-Output/Energie-Input)	
	untere Bandbreite	obere Bandbreite		untere Bandbreite	obere Bandbreite
Braunkohle, neu	1,9	3,7	30,0	2,0	5,4
Steinkohle, neu	0,5	3,6	30,0	2,5	20,0
Steinkohle, alt	1,0	2,6	30,0	2,9	10,1
Erdgas, konv.	1,9	3,9	30,0	1,9	5,6
Erdgas, Gas- und Dampfprozess	1,2	3,6	30,0	2,5	8,6
Schwerwasser-Atomreaktor	2,4	2,6	40,0	2,9	5,6
Leichtwasser-Atomreaktor	0,8	3,0	40,0	2,5	16,0
Photovoltaik*	1,0	3,0	25,0	8	25
Solarthermie	0,7	7,5	25,0	1,0	10,3
Geothermie	0,6	3,6	30,0	2,5	14,0
Windkraft	0,1	1,5	25,0	5,0	40,0
Wasserkraft	0,1	3,5	70,0	6,0	280,0

Quelle: (Österreichische Energieagentur 2017, S. 62)

Da die EROI Denkwelt zwar das Verhältnis zwischen Input und Output an Energiemengen, nicht aber deren Flächenbedarfe behandelt, soll nun ein Index beschrieben werden, der genau das bilanziert. Die Bauweise des Sustainable Process Index war sehr motivierend dafür, einzelne erneuerbare Energieanlagen differenzierter nach ihren direkten Flächenbedarfen, aber auch nach den Flächenanteilen der Energiepotenzialflächen zu „deklinieren“.

3.3. Der Sustainable Process Index (SPI)

Der Sustainable Process Index verwendet als funktionelle Einheit Flächen, weil diese eine limitierte Ressource sind und Prozesse, die viel Fläche benötigen, aus ökologischer Sicht (siehe dazu Kapitel 4.3.) auch viel „kosten“. Ein niedriger SPI-Wert innerhalb einer bestimmten Systemgrenze steht für Nachhaltigkeit, weil die Summe der bewerteten Prozesse weniger Flächen „kosten“ als regional pro Person und Jahr als „Angebot“ zur Verfügung stehen. Die folgende Abbildung zeigt die Berechnung der SPI-Summe:

Abbildung 16: Flächenbestandteile des Sustainable Process Index

$$A_{\text{tot}} = A_R + A_E + A_I + A_S + A_P$$

$$A_R = A_{RR} + A_{RF} + A_{RN}$$

$$A_I = A_{ID} + A_{II}$$

$$A_{\text{tot}} = (A_{RR} + A_{RF} + A_{RN}) + A_E + (A_{ID} + A_{II}) + A_S + A_P$$

A_R , die Fläche welche für die Produktion von Rohstoffen benötigt wird, berechnet sich aus Fläche für erneuerbare Rohstoffe (A_{RR}), Fläche für fossile Rohstoffe (A_{RF}) und Fläche für nicht erneuerbare Rohstoffe (A_{RN}).

A_E bezeichnet die Fläche welche notwendig ist Prozessenergie inklusive Elektrizität bereitzustellen.

A_I stellt die Gesamtfläche aus Infrastrukturinstallationen dar welche sich wiederum aus direktem Landverbrauch (A_{ID}) und Fläche für Gebäude und Infrastrukturinstallationen (A_{II}) zusammensetzt.

A_S ist die Fläche welche für Arbeitskraft vorgesehen ist und

A_P die die Teilfläche zur Dissipation von Emissionen in Luft, Wasser und Boden.“

Quelle: (Narodoslawsky und Krotscheck 2013)

Der nun folgende „Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen“ bezieht sich genau auf die oben als „ A_I “ geschilderten Flächenanteile, und zwar aus den folgenden Gründen:

- Im regionalen Planungskontext geht es darum, große Flächen für die erneuerbaren Energiepotenziale nutzen zu wollen, wenn in der regionalen Energiebilanz deutliche Fortschritte beim Versorgungsanteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergiebedarf gelingen sollen;
- Auch die Prozess-Anteile A_I , A_E , A_S , A_P sind für den SPI relevant, können aber durch regionale Standortentscheidungen kaum beeinflusst werden, weil Regionen sehr an ihr „Flächenportfolio“ und die daraus möglichen erneuerbaren Energiepotenziale gebunden sind.

Im folgendem wird erklärt, wie aus den bisher beschriebenen „Denkwelten“ der „Katalog der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion“ entstand, und welche Eigenschaften und Daten zu einem „Record“ erfasst wurden.

3.4. Bauweise und Datenerfassungsmethode

Der Katalog der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion besteht aus Records zu bestehenden Anlagen der Geothermie, Solarenergie, Windkraft und Biomassen-Anlagen. Erfasst wurden vor allem die Energiepotenzialflächen, in einzelnen Fällen bzw. sofern aus den Datenquellen möglich, auch Flächenbedarfe der Kraftwerksgebäude. Lageschwerpunkt der Records war Österreich, aber zum Vergleich wurden auch „Records“ aus anderen Ländern aufgenommen. Software-Basis waren die google fusion tables, weil dieses Tool Datenbankeigenschaften mit interaktiven Abfragemöglichkeiten und Kartendarstellungen in bedienungsfreundlicher Weise vereint. Die vollständige Dokumentation aller Records befindet sich im Anhang.

3.4.1. „Katalogmethode“ der Datensammlung

Abbildung 17: Dateneingabemaske und Lage-Karte zum „Katalog der Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion“

<p>Name, Typ, Unter-Typ der Anlage</p> <p>Technische Informationen zur Anlage</p> <p>Bewertung des Bearbeitungsstandes und der Datenqualität</p>	<p>Edit row</p> <p>Row ID: 27025</p> <p>Titel: Windpark Munderfing, Oberösterreich, Österreich</p> <p>Typ: Windkraft</p> <p>Unter-Typ: Onshore, Reihe, Bergkamm</p> <p>Info: Baujahr 2014. 5 WKA, je 3 MW, Type: Vestas, V112. Nabenhöhe: 140m, Rotordurchmesser: 112m.</p> <p>record status: fertig</p> <p>Datenqualität: gut</p>
<p>Koordinaten</p> <p>Icon-Auswahl zur Unterscheidung in Kartenausgabeformen</p>	<p>lat: 48.0527767 preview...</p> <p>long: 13.236147 preview...</p> <p>map_icon: purple_blank</p>
<p>Energiepotenzialfläche Direkte Flächenbedarfe der Anlage Elektrische und/oder thermische Leistungs- und Arbeitswerte</p> <p>Errechnete Werte (th, el): m²/kWh/a und kWh/m²/a, Rechnerische Volllaststunden (=Arbeit/Leistung)</p>	<p>e_flaeche_ha: 150</p> <p>e_kwanlage_flaeche_ha: </p> <p>p_el_mw: 15</p> <p>e_el_mwha: 15000</p> <p>p_th_mw: </p> <p>e_th_mwha: </p> <p>selektor_temp: 7</p> <p>m2_kwh_el_a: 0.1</p> <p>m2_kwh_th_a: *****</p> <p>kwh_el_m2_a: 10</p> <p>kwh_th_m2_a: *****</p> <p>vollasth_a_el: 1000</p> <p>vollasth_a_th: *****</p>
<p>Webadressen der Quellen (Bilder und Anlagendaten)</p>	<p>Bild 1: https://www.ews-consulting.com/system/html/03-007ff420.jpg</p> <p>Bild 2: http://www.munderfing.at/sites/munderfing-publicpixel.at/files/styles/galerie_detail_800xx/public/img_7406_klein.jpg?</p> <p>Bild 3: </p> <p>Daten-Quelle 1: https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1055</p> <p>Daten-Quelle 2: http://www.munderfing.at/windpark-munderfing-1</p>

Quelle: Eigene Darstellung

Karte 1: Lageübersicht der „Records“ aus dem Katalog



Übersicht der Records, nach Mengen, Typ und Sub-Typen:

Geothermie	15 Records, seichte Geothermie (Tief- und Flachkollektorenfelder) und tiefe hydrothermale Geothermie, Endenergieformen Wärme und/oder Elektrizität
Biomasse	09 Records, Wärmeerzeugung aus Wald-Hackschnitzeln, Biogas (Mais), Stroh, Kurzumtrieb (Pappeln)
Solarenergie	30 Records, gebäudeintegriert oder im Freiland, vollflächige oder aufgeständerte Kollektorenfelder, CSP Anlagen (concentrated solar power), Endenergieformen Wärme oder Elektrizität
Windkraft	18 Records, Einzel- Reihen- oder Clusterformation, Ebene, Bergkämme, nearshore, offshore, Endenergieform Elektrizität

Quelle: Eigene Darstellung

3.4.2. Begründung zu Auswahl und Ausschluss bestimmter erneuerbarer Energieträger

Neben den Anlagen-Records (Haupt- und Untertypen) der Geothermie, Solarenergie, Windkraft und der Biomassen gibt es weitere Anlagentypen, die aus verschiedenen Gründen nicht in den „Katalog“ aufgenommen werden konnten.

Bei der Wasserkraft wäre es anlagenspezifisch überaus schwierig gewesen, einen horizontalen Flächenbedarf inkl. der Kraftwerksanlagenanteile, aber auch der Ausgleichsflächen und Gewässerströme überhaupt zu ermitteln. Dies betrifft sowohl große Laufkraft- und Speicherkraftwerke, aber ebenso die ca. 3.100 österreichischen Kleinwasserkraftanlagen, die laut (IG Kleinwasserkraft Österreich 2017) 10% des österreichischen Strombedarfes, oder 1,7 Mio. Haushalte mit Strom versorgen. Außerdem wird in Österreich die Großwasserkraft als „zu mindestens 85% ausgebaut“ eingestuft (Stanzer, G. et al 2010), und zu diesen sehr geringen Ausbaupotenzialen kommen sehr gravierende, kaum oder nur mit sehr hohen Aufwänden und Kosten rückbaubare, negative Umweltbeeinträchtigungen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 381).

Ebenfalls nicht im Katalog enthalten sind Anlagen der Umgebungswärme, die Wärme aus der Luft oder aus industriellen Prozessen umwandeln. Auch bei diesen Anlagen wäre die Ermittlung eines horizontalen Flächenbedarfes für den Rahmen dieser Dissertation zu komplex geworden.

Nach den einleitenden Kapiteln zum Forschungshintergrund und der empirischen Methode folgen nun Sachkapitel zu Geothermie, Solarenergie, Windkraft und Biomassen. Diese Sachkapitel enthalten Unterkapitel zu den Themen Prozesskette der Energieumwandlung, Anlagenarten und Bauformen, lageabhängige und -unabhängige Energieertragsunterschiede, räumlich bedingte Potenzialunterschiede in Österreich, Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast- und Spitzenlastversorgung und zusammenfassende Erkenntnisse zu Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen. Illustriert werden die Sachkapitel mit Anlagenbeispielen aus dem „Katalog der Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion“.

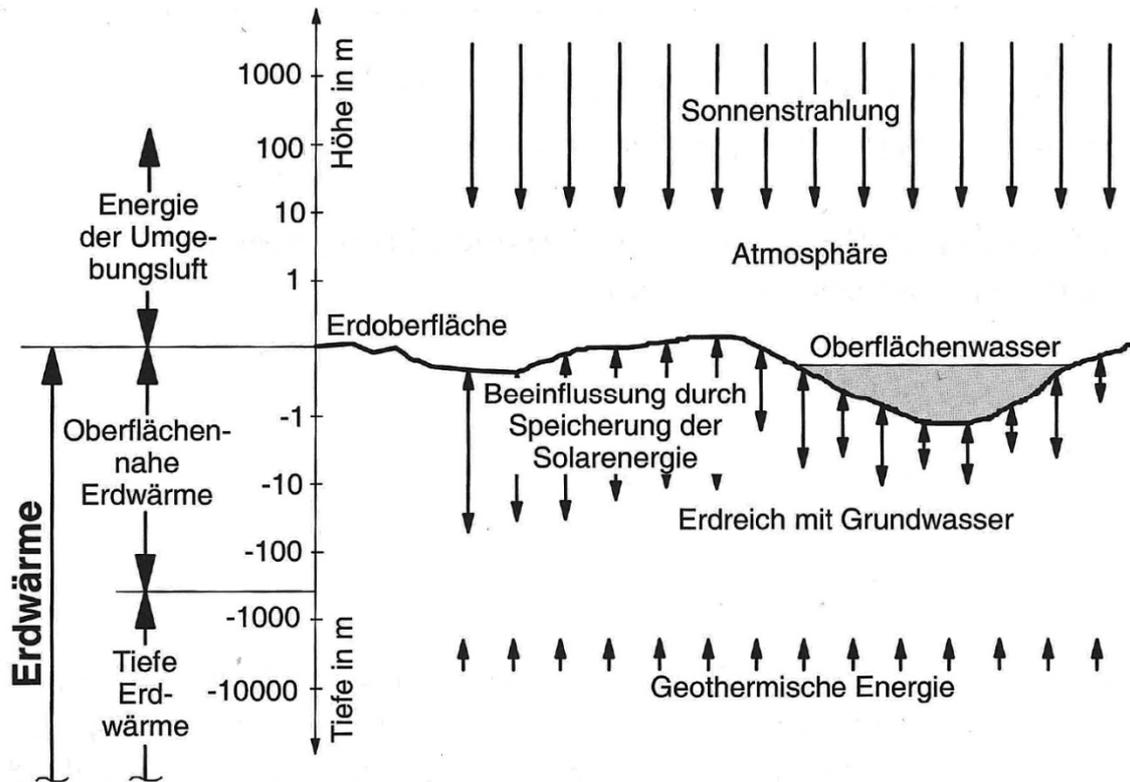
3.5. Geothermie

Dieses Kapitel behandelt die Prozesskette der Energieumwandlung, Anlagenarten, lageabhängige und lageunabhängige Faktoren unterschiedlicher Energieerträge (Wärme) und im empirischen Teil Anlagenbeispiele der seichten und tiefen hydrothermalen Geothermie. Danach werden Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen der Geothermie erörtert, und abschließend reflektiert, welche Erkenntnisse zur Forschungsfrage nach dem Flächenbedarf der Energieerzeugung ($\text{m}^2/\text{kWh}/\text{a}$) aus der Empirie möglich waren.

3.5.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen

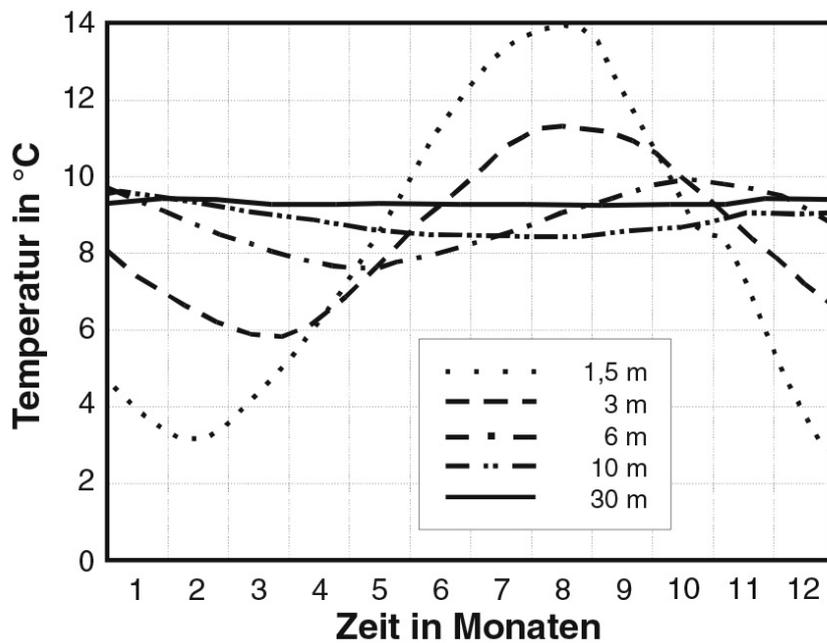
Die seichte oder tiefe Geothermie (oft auch: „Erdwärme“) nutzt sowohl die Strahlungsleistung der auf die Erdoberfläche einfallenden Sonnenstrahlen in das Erdreich als auch die „tiefe“ Erdwärme der heißen Erd-, Gesteins- und Wasserschichten. Bei der sog. „seichten“ Geothermie spielen die Temperatur- und Klimaunterschiede des solaren oberirdischen Wärmeeintrags eine Rolle, mit zunehmender Bodentiefe werden diese Wärmeertragsunterschiede nach geografischer Lage deutlich kleiner. In der Fachliteratur gibt es keine eindeutige „Grenztiefe“ zwischen den Energieumwandlungsarten der seichten und tiefen Geothermie, aber ab einer Bodentiefe von etwa 30 m gehen die durch die solare Einstrahlung bedingten Temperaturunterschiede gegen Null, d.h. unterhalb dieser Tiefe gibt es kaum noch Lageunterschiede, weder beim Temperaturniveau saisonal zwischen Winter und Sommer, als auch lageabhängig (zwischen kalten und warmen Klimazonen), auch die Wärmeentnahme ist dadurch nicht zeitlich begrenzt und (falls von der Abnahmesituation her sinnvoll) bis zum 24/7 Betrieb technisch möglich. Die folgende Grafik zeigt die Tiefen- und Begriffsabgrenzung zwischen seichter und tiefer Geothermie, und ergänzend auch einen Temperatur-Jahresgang mit monatlichen Werten für Tiefen zwischen 1,5 und 30 m.

Abbildung 18: Schicht-Modell zur Abgrenzung zwischen seichter und tiefer Geothermie



(Kaltschmitt et al. 2014, S. 622)

Abbildung 19: Exemplarische Temperaturschwankungen seichter Geothermie nach Tiefen und Monaten



(Kaltschmitt et al. 2006, S. 111)

Tabelle 2: 5 Arten geothermischer Energievorkommen nach Bodentiefe und Potenzialstärke

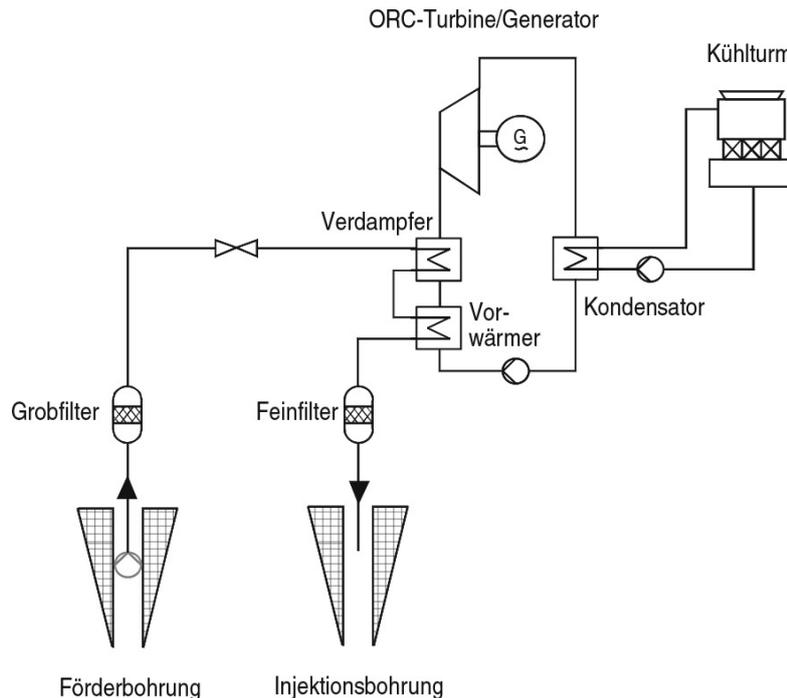
Art	Tiefe	Temperaturen	Temperaturbeeinflussung	Lageabhängigkeit des Energieertrages	Energieerzeugung	Künftig Realisierbares Zusatz-Potenzial
Oberste Erdschichten	bis ca. 400 m	bis ca. 20° C	generell durch Wärmeleitfähigkeit des Bodens, bis 20 m durch solare Einstrahlung, darunter durch aufgeheizte Grundwässer	gering	Wärmetausch durch ein geschlossenes Rohrleitungssystem (Wärmeträgermedium in Schlingen oder Tiefsonden)	Sehr groß
Hydrothermale Niederdrucklagerstätten	um ca. 3000 m	Warm- und Heißwasservorkommen (100 ° bzw über 100 ° C), Heiß- und Trockendampfvorkommen (über 150° C)	Mächtigkeit der heißen Gesteins- und Wasserschicht	hoch	Entnahme und Rückinjektionsbohrung, Wärmetausch an der Oberfläche im Wärmetauscher	Gering, wegen starker Lagerabhängigkeit
Hydrothermale Hochdrucklagerstätten	wie Niederdrucklagerstätten	wie Niederdrucklagerstätten	wie Niederdrucklagerstätten, aber heißes Wasser ist durch Gase (oft: Methan) vorgespannt	hoch	wie Niederdrucklagerstätten (ev. weniger Pumpleistung nötig)	wie Niederdrucklagerstätten
Heiße, trockene Gesteine	bis ca. 10.000 m	mehrere hundert Grad		gering	Durch hohen Druck künstliches Einbringen von Wasser, danach Entnahme und Rückinjektion	Noch gering, dzt. seismische Risiken hoch, trotzdem höchstes technisch machbares Potenzial aller Geothermieformen
Magma-vorkommen	3.000 bis 10.000 m	über 700 Grad	Nähe von tektonisch aktiven Zonen u/o Vulkanen	hoch	Entnahme/ Wärmetausch der Fluidsysteme in Magmanähe	Sehr gering, weil große technische Hürden

Quelle: Eigene Zusammenfassung (Spalten „Lageabhängigkeit“ und Realisierbares Potenzial“), nach (Kaltschmitt et al. 2006, 108ff)

Als Nutzenergieformen der Geothermie sind sowohl Wärme und Kälte als auch Elektrizität, und auch Kombinationen aus diesen Endenergieformen möglich. Allerdings braucht die geothermische Elektrizitätserzeugung ein erheblich höheres Temperaturniveau als die Wärme- und Kälteerzeugung, weil zum Betrieb des Generators oder der ORC⁶-Turbine mehr Hitze als zum Heizen und Kühlen gebraucht wird. Die geothermische Elektrizitätserzeugung ist somit stärker abhängig von besonderen „heißen“ Potenzial-Gunstlagen als die Wärme- und Kältebereitung.

⁶ Organic Rankine Cycle Turbinen arbeiten mit dem Verdampfen organischer Flüssigkeiten, die niedrigere Siedetemperaturen als Wasser haben, um auch mit dem oft nicht sehr hohen Temperaturniveau geothermischer Wärme „arbeiten“ zu können (ORC Fachverband e.V. 2017)

Abbildung 20: Schaltschema einer Anlage zur geothermischen Stromerzeugung



(Kaltschmitt et al. 2006, S. 515)

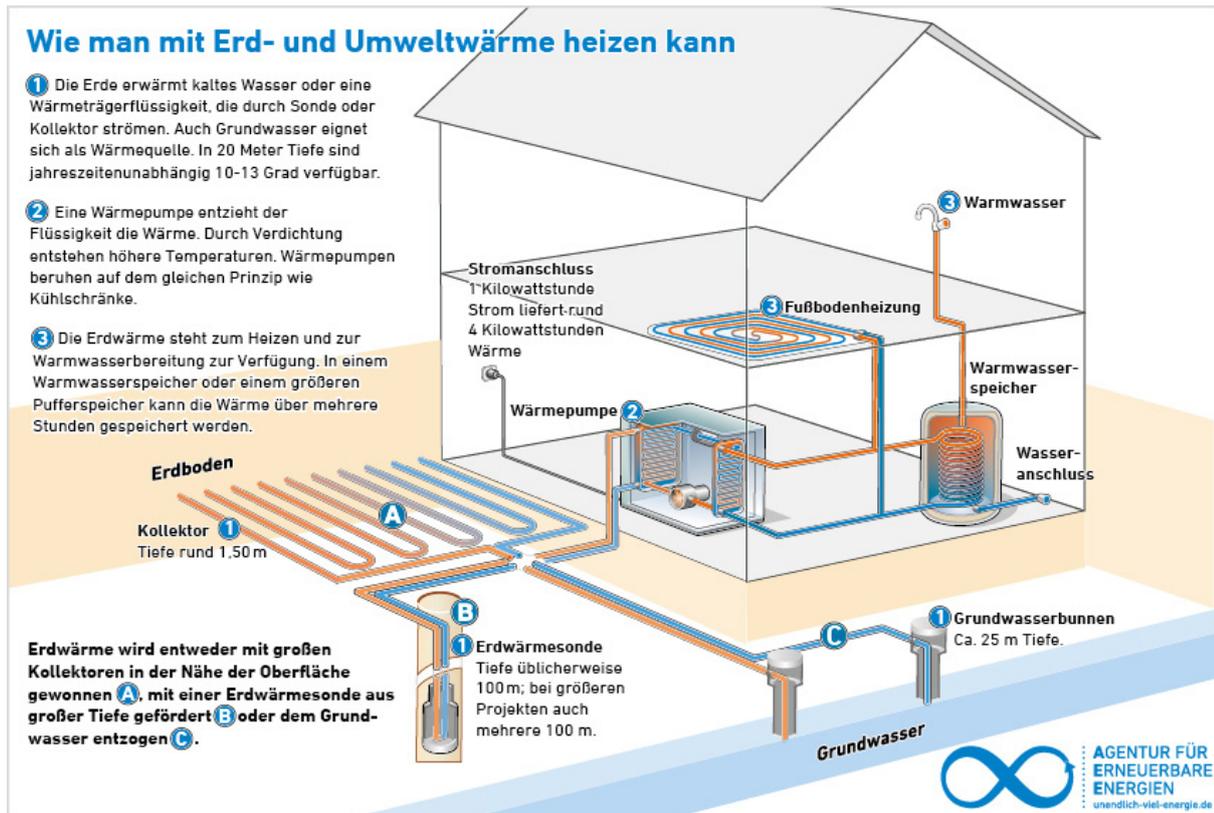
Neben den energetischen Nutzformen (Wärme, Kälte, Elektrizität) wird die Geothermie seit Jahrtausenden auch „direkt“ zu Erholungszwecken in Thermalbädern benutzt. Diese Nutzungsform ist auch im Kombibetrieb mit der Wärmenutzung möglich. Andere Nutzungsformen sind ebenfalls „kaskadisch“ oder einzeln möglich, aber im Anlagenbetrieb erheblich seltener als die energetischen Nutzformen: Die Wärmenutzung in Gewächshäusern, in Aquakulturen, in der industriellen Nutzung (Prozesswärme), in landwirtschaftlichen Trocknungsprozessen (Bundeverband Geothermie 2005).

3.5.2. Anlagenarten und Bauformen

Es gibt zwei verschiedene Funktionsweisen: Entweder es kreist zum Wärmetausch ein Übertragungsmedium in einem zum Erdreich oder im Grundwasserkörper geschlossenen Leitungssystem, oder es wird heißes Tiefenwasser („hydrothermale Geothermie“) an die Erdoberfläche gepumpt, um dort die Wärme mit einem Wärmetauscher zu entnehmen, an ein Wärmenetz abzugeben und danach das dann abgekühlte Wasser wieder zurück in den Boden zu injizieren.

Die geschlossenen Rohrleitungssysteme können sowohl „flach“, d.h. meist bis in nur wenige Meter Tiefe verlegt werden, oder in einem Tiefsondenfeld bis in Tiefen von einigen hundert Metern. Die Flachkollektoren sind bei den Errichtungskosten erheblich günstiger als die Tiefsonden, brauchen aber horizontal mehr Fläche pro Energieertrag als bei Tiefsondenfeldern. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Unterschiede der Kollektorenarten seichter Geothermie.

Abbildung 21: Anlagenarten seichter Geothermie



Quelle: (Agentur für erneuerbare Energien 2016)

Die Abbildung zeigt auch einen weiteren Hauptunterschied der verschiedenen Wärmepumpensysteme. Horizontale oder vertikale Systeme können aus geschlossenen Leitungen, in denen ein Übertragungsmedium kreist, bestehen. Aber es gibt auch offene Systeme, die das oberflächennahe Grundwasser oder die Luft als Wärmeträger nutzen. Diese Unterschiede sind in der folgenden Grafik veranschaulicht.

Abbildung 22: Varianten der Erschließung der Energie des flachen Untergrunds

	Tiefe	Wärmeträger	Bemerkungen
Geschlossene Systeme			
Erdwärmekollektoren (horizontal)	1,2 – 2,0 m	Sole ^a	Klimaeinfluss, große Fläche
Direktverdampfung (horizontal)	1,2 – 2,0 m	Wärmepumpen-Arbeitsmittel	Material Kupfer, ggf. beschichtet
Erdwärmesonden			
gerammt (vertikal oder schräg)	5 – 30 m	Sole ^a	Material Stahl, ggf. Kunststoff, nur in Lockergestein
gebohrt (vertikal)	25 – 250 m	Sole ^a , ggf. Wasser	Material HDPE ^b , ideal in Festgestein
Wärmeübertragerpfähle („Energiepfähle“; horizontal oder vertikal)	5 – 30 m	Wasser, ggf. Sole ^a	statische Funktion hat Vorrang, möglichst keine Frosttemperaturen
Offene Systeme			
Grundwasserbrunnen (Dublette)	4 – 100 m	Wasser	min. 2 Brunnen (Förder- & Schluckbrunnen), Unterwasserpumpe
Sonstige Systeme			
Koaxialbrunnen (vertikal)	120 – 250 m	Wasser	hohe Bohrkosten, nicht überlastbar
Gruben-/Tunnelwasser		Wasser	Möglichkeiten lokal begrenzt
Luftvorheizung/-kühlung (horizontal)	1,2 – 2,0 m	Luft	Rohre im Erdreich, durch welche Luft gesaugt wird

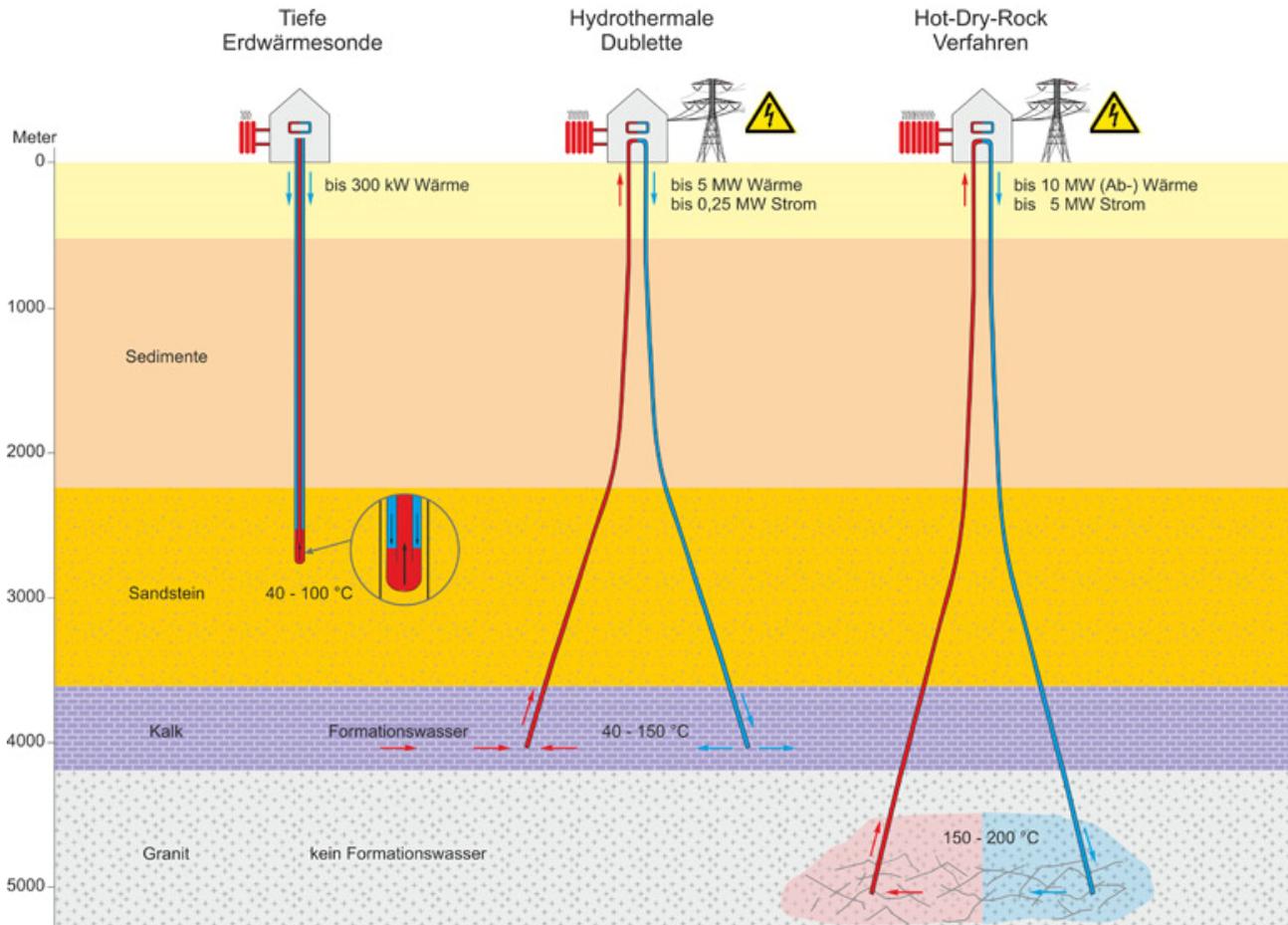
Die Tiefenangaben beziehen sich auf typische Mittelwerte; ^a Wasser-Frostschutz-Gemisch (früher Salze, heute eher Alkohole oder Glykole); ^b High Density Polyethylen .

(Kaltschmitt et al. 2006, S. 409)

Während die seichte Geothermie grundsätzlich „überall“ machbar ist (wenngleich mit den erwähnten klimatisch bedingten Ertragsunterschieden), gilt dies für die tiefe hydrothermale Geothermie nicht. Sie benötigt für den wirtschaftlichen Betrieb eine Lage mit geologischen „Wärmeanomalien“, d.h. das nachgewiesene Vorkommen eines geeigneten Aquifers mit passendem Temperaturniveau und auch mit einer Mindestschüttung (Liter/Sekunde) in Tiefen zwischen 2 und 4 Kilometern.

Zur tiefen Geothermie (s. nächste Abbildung) gehört auch eine weitere Anlagenart, die aber (von wenigen aktiven Pilotanlagen abgesehen) im seriellen Energiesystem-Betrieb noch keine bedeutende Rolle spielen: Enhanced Geothermal Systems (EGS) ist ein Oberbegriff für das künstliche Einpressen von Wasser in große Tiefen und Gesteinsklüfte ab 2 Kilometern. Die Vorteile sind ein erheblich höheres Temperaturniveau und die Lage-Unabhängigkeit von Aquiferen, die Nachteile sind die sehr hohen Bohrkosten und auch die seismischen Risiken dieser Anlagenform. Synonyme Begriffe zu den EGS sind Hot Dry Rock, Deep Heat Mining, Hot Wet Rock, Hot Fractured Rock oder Stimulated Geothermal Systems. In der Umwandlungsart „Wasserentnahme mit Wärmetausch und Rückinjektion“ funktioniert diese Anlagenform gleich wie die tiefe hydrothermale Geothermie, aber beim Hot Dry Rock Verfahren wird (im Gegensatz zum hydrothermalen Verfahren) künstlich Wasser in die tiefen Gesteinsschichten gepresst.

Abbildung 23: Anlagenarten tiefer Geothermie



Quelle: (KBB Underground Technologies GmbH o. J.)

Aktuell am meisten verbreitet sind Kleinanlagen der seichten Geothermie, die ein einzelnes oder wenige Gebäude mit Erdwärme versorgen können. Häufig wird die Erdwärme mit anderen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieproduktionsweisen kombiniert, etwa mit anderen Wärmepumpen (luft- und/oder grundwasserbasiert), oder auch mit der Solarthermie und Photovoltaik.

Wesentlich seltener im aktiven Betrieb sind leistungsstarke Anlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie, die in ein angeschlossenes Wärmenetz einspeisen, und entweder „alleine“ oder im Kombibetrieb mit anderen erneuerbaren oder nicht erneuerbaren Energieträgern mehrere hunderte oder tausende Haushalte versorgen können.

3.5.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ

Die folgenden Abbildungen und Daten zeigen Beispiele aus der Leistungs- und Größenvielfalt der Geothermie-Anlagen. Die Beispiele sind aufsteigend nach dem Energieertrag, und auch nach der Anlagenform sortiert. Die unter „Fläche“ genannten Werte nennen die horizontale Größe der Fläche, der Wärme entzogen wird. In den hier gezeigten Records ist diese Fläche lageident mit den Gebäuden der Kraftwerksanlagen, weil diese direkt über dem Wärmeentzugsgebiet (Erdreich) stehen. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Gebäudeanteilen und der Wärmeentzugsfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

Tabelle 3: Geothermieranlagen nach Lage, Typ und Größe

Tiefe Geothermie, hydrothermal



Name, Lage: Geothermie Landau, oberrheinischer Tiefgraben, Deutschland
Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal
Info: Wärme (aus Tiefenwasser-Wärmetausch) und Elektrizität (ORC-Turbine). Betriebsstart 2007. Bohrteufe 3000 m. Wassertemperatur 159°, Schüttung 70 Liter/s. Dzt. ungewisse Zukunft, auch wegen Beben-Problemen (2,4-2,7 Richter) mit "wahrscheinlichem" kausalem Zusammenhang zum KW- eine Bürgerinitiative ist in Gegnerschaft aktiv.
Fläche (ha): 2.890
Leistung (MW th/a): 2,01
Energie (MWh th/a): 15.300



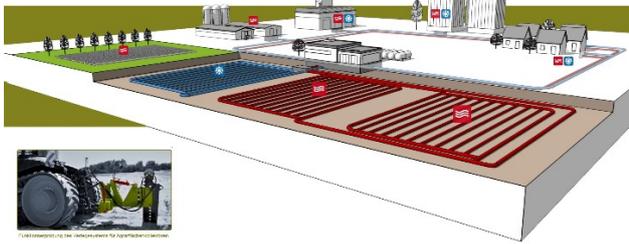
Name, Lage: Geothermie Braunau-Simbach, Deutschland/Österreich
Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal
Info: Wärme mit Fernwärmenetz-Anbindung. Fördertemperatur 80°C; Schüttung 90 Liter/s; sonstige Wärmeerzeugung: Biogas BHKW (1 GWh/Jahr); Erdgas Spitzenkessel (17 GWh/Jahr), Fernwärmenetz Wärmeverkauf 55 GWh/Jahr; Anschlussleistung 43 MW, Netzlänge 38 km, 760 Kundenanschlüsse.
Fläche (ha): 8.611
Leistung (MW th/a): 9,4
Energie (MWh th/a): 46.500



Name, Lage: Geothermie Grünwald (Laufzorn), Bayern, Deutschland
Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal
Info: Wärme (aus Tiefenwasser-Wärmetausch) und Elektrizität (ORC-Turbine), Betriebsstart 2011, Schüttung 132 Liter/s, Wassertemperatur 135°C. Fernwärme-Verbund mit Unterhaching.
Fläche (ha): 2.809
Leistung (MW th/a): 40
Energie (MWh th/a): 59.580

Seichte Geothermie, Flachkollektoren

AGROTHERMIE
 OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE



Name, Lage: Geothermie "Agrothermie"
 Wüstenrot, Baden-Württemberg,
 Deutschland

Unter-Typ: Seichte Geothermie,
 Flachkollektoren

Info: Agrothermie-Flächen, Flachkollektor-Ringleitungen in ca. 2 m Tiefe in landwirtschaftlich genutzten Böden verlegt. Wärmeertrag speist in das lokale Kaltwärmenetz (Anm.: ist ein Synonym für Niedrigtemperaturversorgung) ein, das auch Kühlprozesse-Abwärme (geplant: vom REWE Supermarkt) und Biomasse (Hackschnitzel) nutzt. Die Größe der Agrothermiefläche wurde unter der Annahme der unteren Wärmeentzugsleistung auf den Wärmebedarf der 25 bereits angeschlossenen Wohngebäude inkl. der zusätzlichen künftigen Gebäude optimiert.

Fläche (ha): 1,5

Leistung (MW th/a): 0,3

Energie (MWh th/a): 600

Kein Foto vorhanden

Name, Lage: Geothermische Einfamilienhaus-Anlage, Musterrechnung f. Österreich (trockener Lehmboden)

Unter-Typ: Seichte Geothermie,
 Flachkollektoren

Fläche (ha): 0,03 (300 m²)

Leistung (MW th/a): 0,006

Energie (MWh th/a): 10,8

Seichte Geothermie, Tiefsondenfelder



Name, Lage: Geothermie Panalpina
 Logistikhalle, Nürnberg, Deutschland

Unter-Typ: Seichte Geothermie,
 Tiefsondenfeld

Info: Baujahr 2008. (Zit. Q1): "Im Industriegebiet von Nürnberg, ca. 35 m vom Rhein-Main-Donau-Kanal entfernt, wurde eine Logistikhalle (ca. 10.000 m² Fläche) mit L-förmigem Bürokomplex (ca. 1700 m² Fläche) errichtet. Unter der Bodenplatte der Halle befindet sich das Sondenfeld. Um das Grundwasserstockwerk in 85 m Tiefe zu schützen, erfolgte eine Bohrtiefenbegrenzung von 75 m."

Fläche (ha): 1,04
Leistung (MW th/a): 0,558
Energie (MWh th/a): 670



Name, Lage: Geothermie, Zentrum für berufliche Bildung und Weiterbildung in Duisburg, Deutschland

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld

Info: (Zit. Q1): "In dem Neubau werden auf einzigartige Weise drei bereits am Standort Duisburg ansässige Berufsschulen für insgesamt mehr als 5.000 Schüler vereint. Im zentralen Bereich des Gebäudekomplexes sind eine Aula, die Mensa und eine 4-Feld-Sporthalle mit Besuchertribüne integriert. Zur Beheizung des Gebäudes wird eine Geothermieanlage genutzt. Das Sondenfeld besteht aus 180 Bohrungen, die sich zum großen Teil unter der Bodenplatte befinden. Dabei wurden im Vorfeld an zwei Bohrungen Thermal Response Tests durchgeführt. Der Gebäudekomplex wurde im Herbst 2011 eröffnet."

Fläche (ha): 1,04
Leistung (MW th/a): 1,476
Energie (MWh th/a): 1.395



Name, Lage: Geothermie d. Nordbahnhof-Areals, Wien, Österreich (Projektplanung)

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld

Info: geschlossene Wärmetauscher-Systeme. Projektdaten 2014, im Rahmen der Studie "Vorstudie zum Fachkonzept Energie-Raum-Planung": Feld mit 2.375 Sonden (je 100 m tief) auf einer Fläche von 0.47 km².

Fläche (ha): 46,56
Leistung (MW th/a): 6,172
Energie (MWh th/a): 14.196

Seichte Geothermie, Tiefsondenfelder, Fundamentpfähle



Name, Lage: Geothermie BSU Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg-Wilhelmsburg, Deutschland

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundamentpfähle

Info: Baujahr 2013, damals Deutschlands größte Energiepfahlanlage (950 Sonden), deren Erdwärme werden die Büros von 1.500 Mitarbeitern beheizt und gekühlt.

Fläche (ha): 1,18

Leistung (MW th/a): 0,65

Energie (MWh th/a): 858



Name, Lage: Geothermie ATRIO Shopping center Villach, Kärnten, Österreich

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundamentpfähle

Info: Wärme und Kälte, aktivierte Fundament-Energiepfähle. Winter: Heizen mit Wärmepumpen; Sommer: Kühlen mit Kältemaschinen (Ableitung der Kälteproduktions-Kondensatoren in das Erdreich) oder im free cooling Betrieb (Direktnutzung der Erdkälte über das Medium Wasser/ Umwälzpumpen). Baustart 2005, Energy-Globe Preis Kärnten 2007. Thermoaktive Fundamente/Erdpendelspeicher in 652 von 800 Betonpfählen, die 33 bis 70 m tief sind.

Fläche (ha): 2,86

Leistung (MW th/a): 14

Energie (MWh th/a): 1.220

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.5.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede

Unabhängig vom Temperaturniveau nach Bodentiefe und solarer Einstrahlung hat die Beschaffenheit und der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens viel Einfluss auf die möglichen Wärme-Entzugsleistungen. Vereinfacht gesagt bringt ein hoher Feuchtigkeitsgehalt und eine hohe Dichte des Gesteins einen potenziell höheren Energieertrag als trockene und lockere Böden. Die folgende Abbildung zeigt dazu Entzugsleistungen entlang dieser Eigenschaften für Kleinanlagen der seichten Geothermie.

Abbildung 24: Spezifische Entzugsleistungen (Watt pro Sondenmeter) der Erdwärme, nach Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt

	1 800 h/a Entzugsleis- tungen in W/m	2 400 h/a Entzugsleis- tungen in W/m
Allgemeine Richtwerte		
Schlechter Untergrund (trockene Lockergesteine)	25	20
Festgesteins-Untergrund, wassergesät. Lockergesteine	60	50
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	84	70
Einzelne Gesteine^a		
Kies, Sand, trocken	< 25	< 20
Kies, Sand, wasserführend	65–80	55–65
Kies, Sand, starker Grundwasserfluss, für Einzelanlagen	80–100	80–100
Ton, Lehm, feucht	35–50	30–40
Kalkstein (massiv)	55–70	45–60
Sandstein	65–80	55–65
Saure Magmatite (z. B. Granit)	65–85	55–70
Basische Magmatite (z. B. Basalt)	40–65	35–55
Gneis	70–85	60–70

(Kaltschmitt et al. 2014, S. 647)

Neben der Bodenbeschaffenheit gibt es beim Wärmetausch, und dem resultierenden Ertrag auch zwei wichtige Kennzahlen, die lageunabhängig sind, weil sie mit der technischen Umwandlungseffizienz der Wärmepumpe selbst zu tun haben: Die Leistungszahl (auch „Wirkungsgrad“) und die Jahresarbeitszahl. Die Leistungszahl beschreibt das Verhältnis zwischen abgegebener Wärmeleistung und der dafür aufgenommenen elektrischen Antriebsleistung – zu einem bestimmten Arbeitspunkt. Wesentlich aussagekräftiger ist die Jahresarbeitszahl, die dasselbe aussagt, aber im ganzjährigen Durchschnitt. Wärmepumpen am Stand der Technik haben eine Jahresarbeitszahl von 3 oder höher (Boos o. J.).

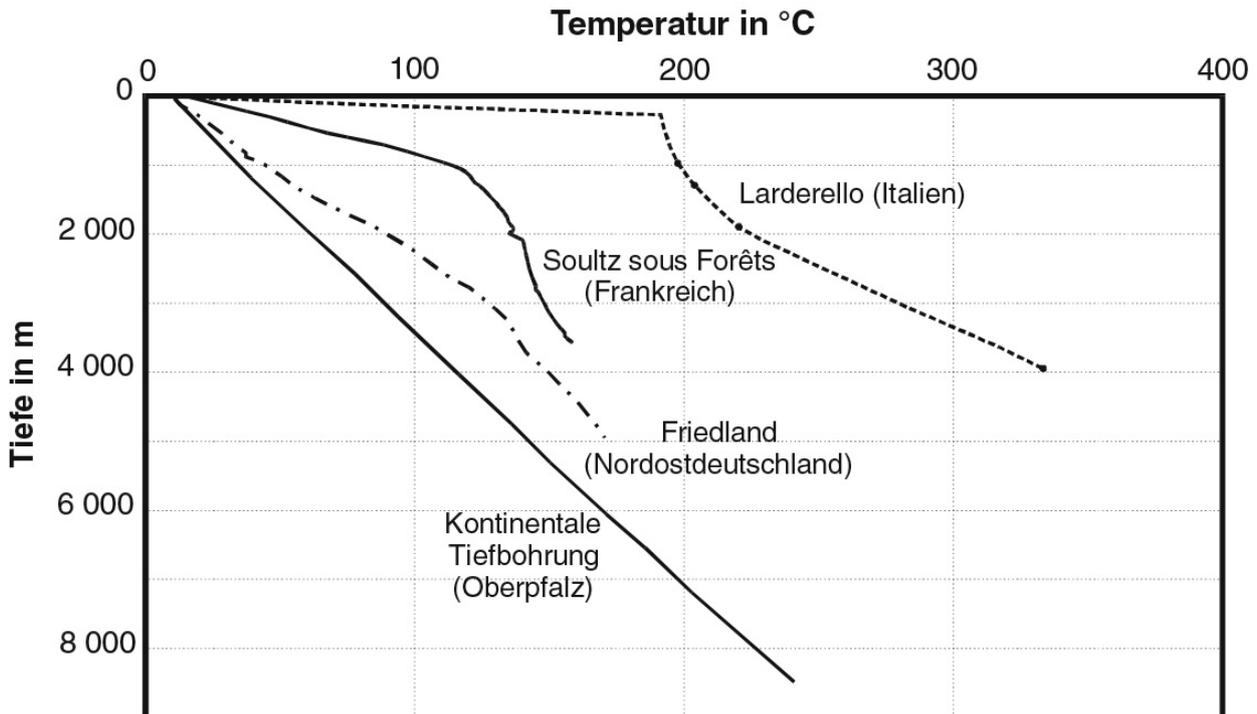
Ein grundsätzlich ebenfalls lageunabhängiges Wärmeertragskriterium ist der geothermische Temperaturgradient, dieser besagt, dass die Temperatur der äußeren Erdkruste im globalen Mittel um 30 K/km (entspricht +3 °C pro 100 m) zunimmt (Kaltschmitt et al. 2014, S. 124). Allerdings gibt es zu diesem Durchschnittswert erhebliche Lageunterschiede (s. dazu nächstes Kapitel) die zwischen 10 K/km und 200 k/km variieren.

Die nutzbare Wärmekapazität richtet sich zusätzlich auch nach zwei weiteren Anlageneigenschaften, nämlich nach der Kapazität des nutzbaren Wärmespeichers, der Charakteristik der Wärmenachfrage (für Warmwasser und Raumwärme). Optimal ist es, wie auch bereits im Kapitel 3.6. für die Solarenergie beschrieben, wenn Energienachfrage und -angebot täglich, über mehrere Tage oder saisonal möglichst genau übereinstimmen.

3.5.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede

Der geothermische Wärmestrom als Mittelwert hat sowohl klein- als auch großräumig eine hohe Varianz. In „jungen Krustengebieten“ und tektonisch aktiven Gebieten wie Island, Japan, Larderello in Italien und im Rheingraben zwischen Deutschland und Frankreich finden sich Werte von 100 bis 200 K/km, in „alten“ Kontinentalgebieten wie Kanada, Indien oder Südafrika beträgt dieser Wert nur um 10 K/km (Kaltschmitt et al. 2014, S. 124).

Abbildung 25: Lage-Varianten des geothermischen Temperaturgradienten

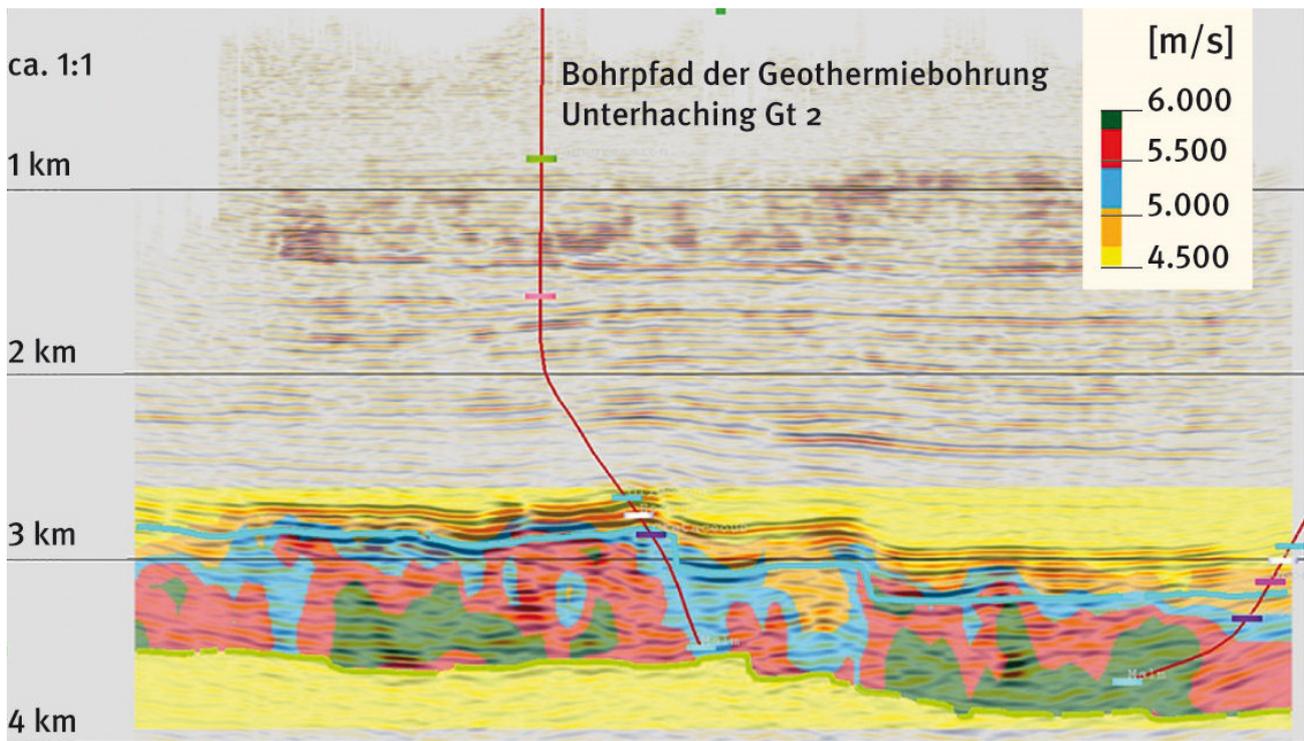


(Kaltschmitt et al. 2006, S. 105)

Larderello und Island sind auch auf der folgenden europaweiten Karte als „Hotspots“ erkennbar, ebenso weitere in Griechenland und der Türkei. Trotzdem ist stets zu bedenken, dass gerade bei der tiefen Geothermie die realen Wärmebedingungen (Temperaturniveau, Schüttung in Litern/Sekunde) nicht so homogen sind wie es aus flächigen Karten zum geothermischen Wärmestrom (s. folgende Abbildung) erscheint. Vielmehr ist unbedingt eine genaue seismische Voruntersuchung⁷ nötig, um das Wärmepotenzial, welches in den tiefen wasserführenden Erdschichten am höchsten ist, realitätsnah prognostizieren zu können. Zur Veranschaulichung, wie genau solche Bohrungen gesetzt werden müssen, hier ein Profil der Geothermie Bohrung in Unterhaching (Bayern). Ziel solcher Bohrungen ist nicht nur ein Aquifer mit möglichst hohem Temperaturniveau, sondern auch das „Treffen“ einer horizontal möglichst weitreichenden Durchlässigkeit der Wasserschichten. Erst diese Kombination sichert einen dauerhaft hohen und konstanten Wärmeertrag.

⁷ Hierbei werden Vibrationsfahrzeuge eingesetzt und das „Echo“ der Boden-Schallwellen wird genau aufgezeichnet (Wien Energie et al. 2017)

Abbildung 26: Bohrfad und Wasserdurchlässigkeits-Klassen beim Geothermiewerk Unterhaching



Quelle: (Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH 2013)

Kommentar von ebda.: „Die Farben stellen unterschiedliche seismische Geschwindigkeiten in 3 - 4 km Tiefe dar, welche als unterschiedliche Wasserdurchlässigkeiten interpretiert werden können (blau = gut, rot und grün = gering). Gelb hinterlegt (ohne Auswertung bzw. Interpretation).“

Ob seismische Voruntersuchungen stattfinden ist je Land sehr unterschiedlich. In Deutschland sind Projekte der tiefen Geothermie ohne vorab stattfindende 2D- und 3D-Seismiken seit vielen Jahren nicht mehr genehmigungsfähig (Bundeverband Geothermie 2005), im Geothermie-Projekt der Seestadt Aspern (Wien) wurde vor dem Bohr-Start keine Seismik vorgenommen, was einer der Gründe für das Scheitern des Projektes wegen zu geringer „Schüttung“ der heißen Tiefenwässer war (derStandard 2012). Um solche Fehlplanungen künftig zu vermeiden, wurde 2017 das Projekt GeoTief Wien gestartet, das u.a. eine genaue seismische Grundlagenerhebung des Wiener Untergrundes anstrebt (Wien Energie et al. 2017).

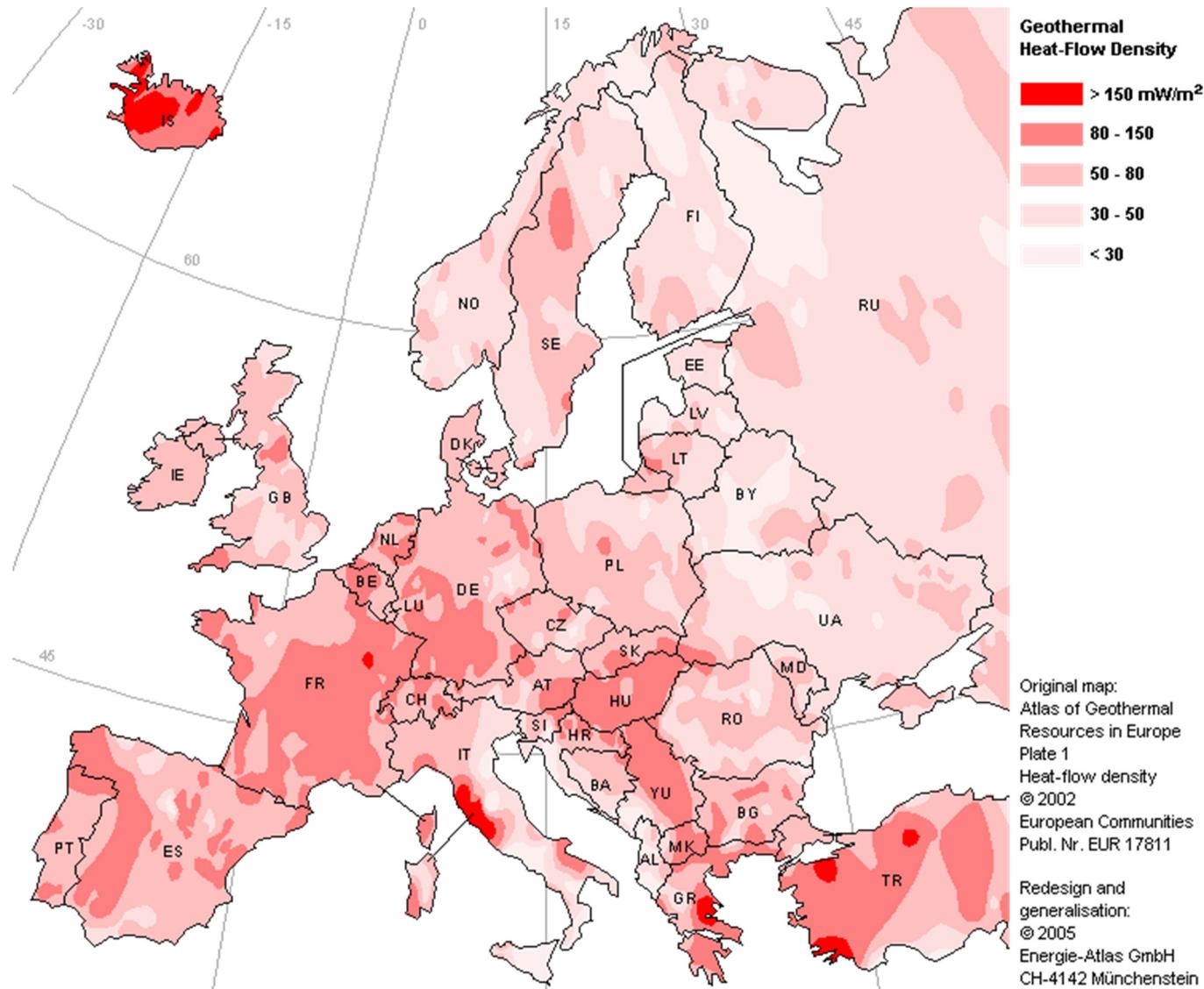
Die lageabhängigen Ertragsunterschiede hängen bei der tiefen hydrothermalen Geothermie auch von Eigenschaften der Tiefenwässer ab, insb. der Schüttung je Standort, d.i. der Volumenstrom des heißen Wassers in Litern pro Sekunde, und auch von der Temperatur dieser Wässer. Die folgende Tabelle zeigt dazu Benchmarks der 10 leistungsstärksten Fernwärmeanlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie in Deutschland (Bayern). Für die Fernwärmeproduktion sind Schüttungen ab 60 Litern pro Sekunden bei Temperaturen von mindestens 60 °C wirtschaftlich. Für die zusätzliche Stromerzeugung sind deutliche höhere Volumina und Temperaturen nötig, die in Europa nur selten vorkommen. Benötigt wird eine Heißwasser- oder Dampftemperatur von mindestens 100°C und eine gute "Fließrate" des Gesteins. Nur wenn diese Bedingungen eines Aquifers erfüllt sind, ist eine wirtschaftliche Stromerzeugung möglich (Kaltschmitt et al. 2006, S. 503); in der folgenden Tabelle haben nur 2 der 10 leistungsstärksten deutschen Anlagen diese Bedingungen und können damit als „Nebennutzung“ der Wärmeerzeugung auch wirtschaftlich Strom erzeugen.

Tabelle 4: Die 10 leistungstärksten Anlagen tiefer hydrothermaler geothermischer Wärmeproduktion in Fernwärmenetzen, Deutschland, 2017

Name	Haupt-nutzung	Nebennutzung	Tem- peratur °C	Fließrate l/s	Teufe (Bohr- tiefe) m	Geo- therm. Mw(th)	Gesamt Mw(th)	Jahresprod. Gwh(th)/a	gesamt Mw(el)	Jahres- prod. Gwh(el)/a
Grünwald (Laufzorn)	Fernwärme	Stromerzeugung	135	140	3755,2	40	71	94,42	4,3	16,89
Kirchweidach	Fernwärme	Gewächshaus	127	105	kein Eintrag	30,6	30,6	86,34	0,68	0
Unterhaching	Fernwärme	Stromerzeugung	123,7	140	3.350	38	83	85	3,36	9,22
München Riem	Fernwärme	kein Eintrag	98,4	90	2.747	13	45	62,46	0	0
Aschheim	Fernwärme	kein Eintrag	87,1	88,5	2.630	10,7	44,5	60,94	0	0
Pullach	Fernwärme	kein Eintrag	107	110	3.443	15,5	32,5	57,3	0	0
Simbach-Braunau	Fernwärme	kein Eintrag	81,7	90	1.942	9	44,1	50,25	0	0
Unterschleißheim	Fernwärme	kein Eintrag	80	100	1.960	7,98	23,78	42,2	0	0
Poing	Fernwärme	kein Eintrag	85	100	3.014	9	39	39,4	0	0
Unterföhring	Fernwärme	kein Eintrag	87	75	2.124	10	30	33,8	0	0

Quelle: (Agemar et al. 2017), Geotis-Browser <https://www.geotis.de/geotisapp/geotis.php>

Karte 2: Geothermischer Wärmefluss in Europa (mW/m², 2002)



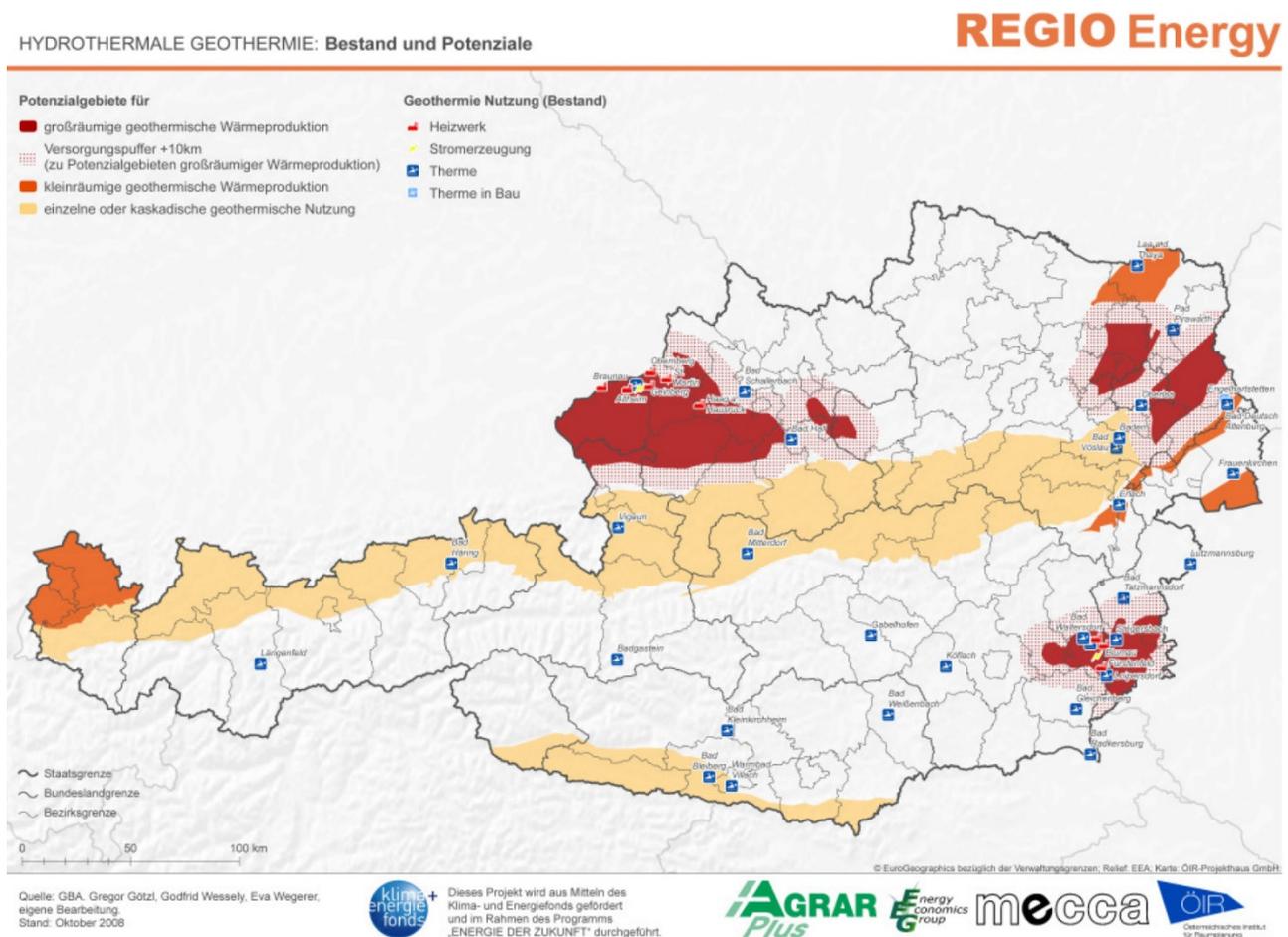
Quelle: (Blatter 2014)

Ein weiteres, sehr lageabhängiges Wirtschaftlichkeitskriterium ist die Nähe zwischen dem seichten und/oder tiefen Geothermie-Potenzial und der wärmeconsumierenden Siedlungsstruktur. Tiefe Geothermie sollte zwecks Wirtschaftlichkeit ein bereits vorhandenes Wärmenetz nutzen, seichte Geothermie benötigt dagegen große unversiegelte Frei-, Grünland-, oder Ackerflächen, um die Kollektoren kostengünstig flach vergraben und verlegen oder in Tiefsondenfeldern organisiert anlegen zu können. Flach- und Tiefsondenfelder der seichten Geothermie sind technisch auch unter versiegelten Flächen und unter bebauten Flächen machbar, allerdings mit erheblich höheren Kosten und Arbeitsaufwänden als unter unversiegeltem Boden. Zu Beispielen der jeweiligen Flächenbedarfe je Energieertrag und Jahr s. Kapitel 3.5.8..

3.5.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich

Bei der tiefen hydrothermalen Geothermie in Österreich gab es 2006 einen Anlagenbestand von 11 Heizwerken, die alle in geologischen „Wärmegunstlagen“ stehen: in der sich nach Bayern forstsetzenden oberösterreichischen Molasse Zone, der Tiefscholle des Wiener Beckens (nordöstlich von Wien), der südlichen Waschbergzone (nördlich von Wien) Richtung Laa an der Thaya, und in Teilen des Steirischen Beckens.

Karte 3: Bestand und Potenziale hydrothermaler Geothermie in Österreich (2006)



Quelle: (Stanzer, G. et al 2010, S. 101)

RegioEnergy nennt diese Lagen „Potenzialgebiete für großräumige geothermische Wärmeproduktion“, die beiden ertragsschwächeren Kategorien haben Potenziale für kleinräumige und einzelne/kaskadische geothermische Nutzungen. Das aktive hydrothermale Potenzial betrug 2006 laut RegioEnergy 93 MW thermische Leistung und 139 GWh thermische Arbeit:

Tabelle 5: Anlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie in Österreich, 2006

Anlage	Thermische Leistung MW	Thermische Arbeit GWh/a	Baujahr
Bad Waltersdorf	3,5	4	1980
Geinberg	6,2	16,23	1982
Bad Schallerbach	3,4	4	1986
Altheim	10,6	16,7	1990
Bad Radkersburg	4	5	1993
Haag	3,9	4,55	1995
Obernberg	4,2	5	1996
St. Martin/Innk.	8,5	16	2000
Blumau	10	14,6	2000
Fürstenfeld	8	10	2000
Braunau-Simbach	31	43	2001
GESAMT	93,3	139,08	

Quelle: (Stanzer, G. et al 2010, S. 102)

Auch neuere Daten-Quellen⁸ nennen ein aktives hydrothermales Leistungs- und Arbeitspotenzial in derselben Größenordnung, rechnen aber (ohne genaues Differenzieren zur Energieerzeugung) die Wärmemengen der Thermalbäder heraus.

Bezüglich der künftigen Potenziale tiefer hydrothermalen Geothermie gibt es in verschiedenen Grundlagenstudien verschiedene Zugänge und auch Szenarien-Erträge, was an den zu Grunde liegenden unterschiedlichen Methoden und Modellen liegt. Die folgende Tabelle bietet dazu eine Übersicht, die zwar Unterschiede in den potenziellen Ertragswerten und dem Szenario-Jahr, nicht aber bezüglich ihrer Lage (eindeutige Kerngebiete in Ober- und Niederösterreich, kleinere Potenziale auch in der Steiermark und in Salzburg) aufweisen.

Tabelle 6: Künftige Potenziale hydrothermalen Geothermie in Österreich nach unterschiedlichen Studien

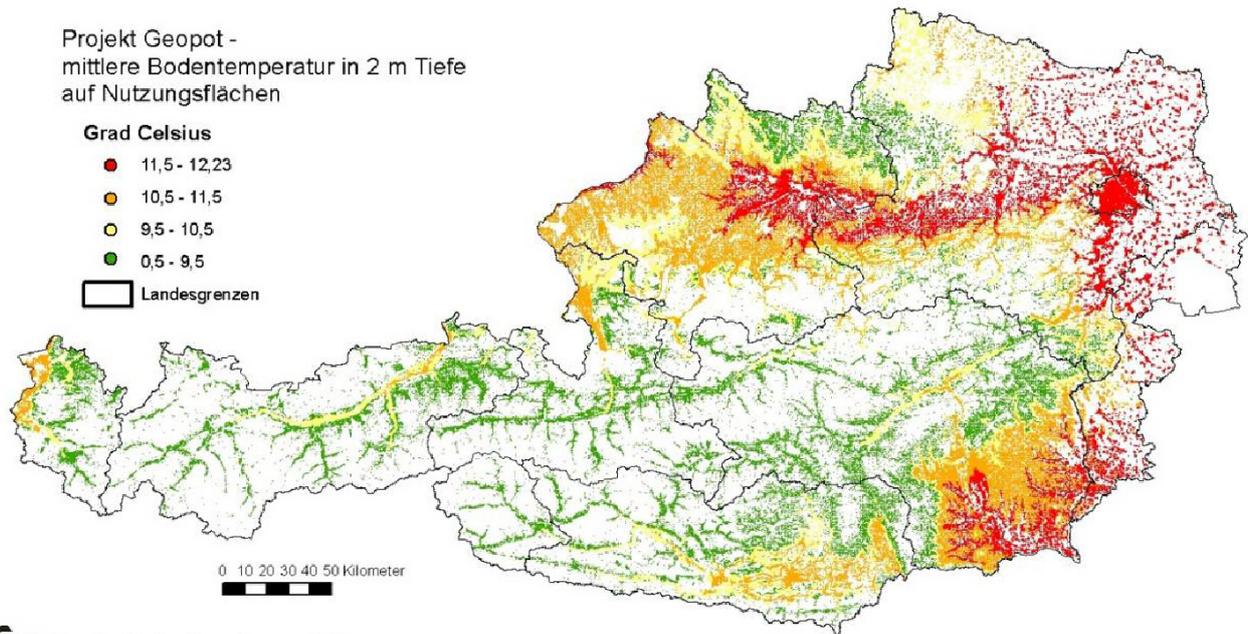
Studie	Quelle	Szenarien-Eigenschaften	Potenzial Leistung (MW) für Jahr	Potenzial Arbeit (GWh/a) für Jahr
Energetische Nutzung der Geothermie	(Goldbrunner und Novak 1991)	„Sofort erschließbares wirtschaftliches Potenzial“ (Nach Potenzialstärke, Anm.)	350 („sofort“=1991)	400 (1991)*
Publikation zur Karte „Geothermie Wärmestrom“	(Götzl 2008)		600 (o.J.)	894 (o.J.)*
RegioEnergy	(Stanzer, G. et al 2010)	Lineare Zuwachsraten-Fortschreibung ab dem Basisjahr 2008	k.A.	813 (2020)
GeoEnergie 2050	(Joanneum Research et al. 2014)	Lage- und Qualitätseigenschaften der Potenzialgebiete ähnlich wie Stanzer, Goldbrunner und Novak	k.A.	k.A.

Quelle: Eigene Darstellung nach den angegebenen Quellen. *: Interpolation Arbeit=Leistung* Zeit (aus österreichischen durchschnittlichen Laufzeiten best. Anlagen).

⁸ (Biermayr 2016, S. 9) nennt 84 GWh th für 2017

Zur Potenzialabschätzung der seichten Geothermie gibt es ebenso wie bei der tiefen Geothermie für ganz Österreich nur wenige Grundlagenstudien, die versucht haben, für ganz Österreich Aussagen zu treffen. Das Projekt GeoPot (Ostermann et al. 2010) hat hierbei ein Rastermodell angewandt, das nicht nur die für die seichte Geothermie relevanten Klimaunterschiede des solaren Eintrages in die oberen Erdschichten, sondern auch die Nachfragesituation im Dauersiedlungsraum, genauer gesagt in „besiedelten Rasterzellen“ berücksichtigt.

Karte 4: Verteilung der Bodentemperatur (2 m Tiefe), nach besiedelten Rasterzellen Österreichs (2010)



Quelle: (Ostermann et al. 2010, S. 21)

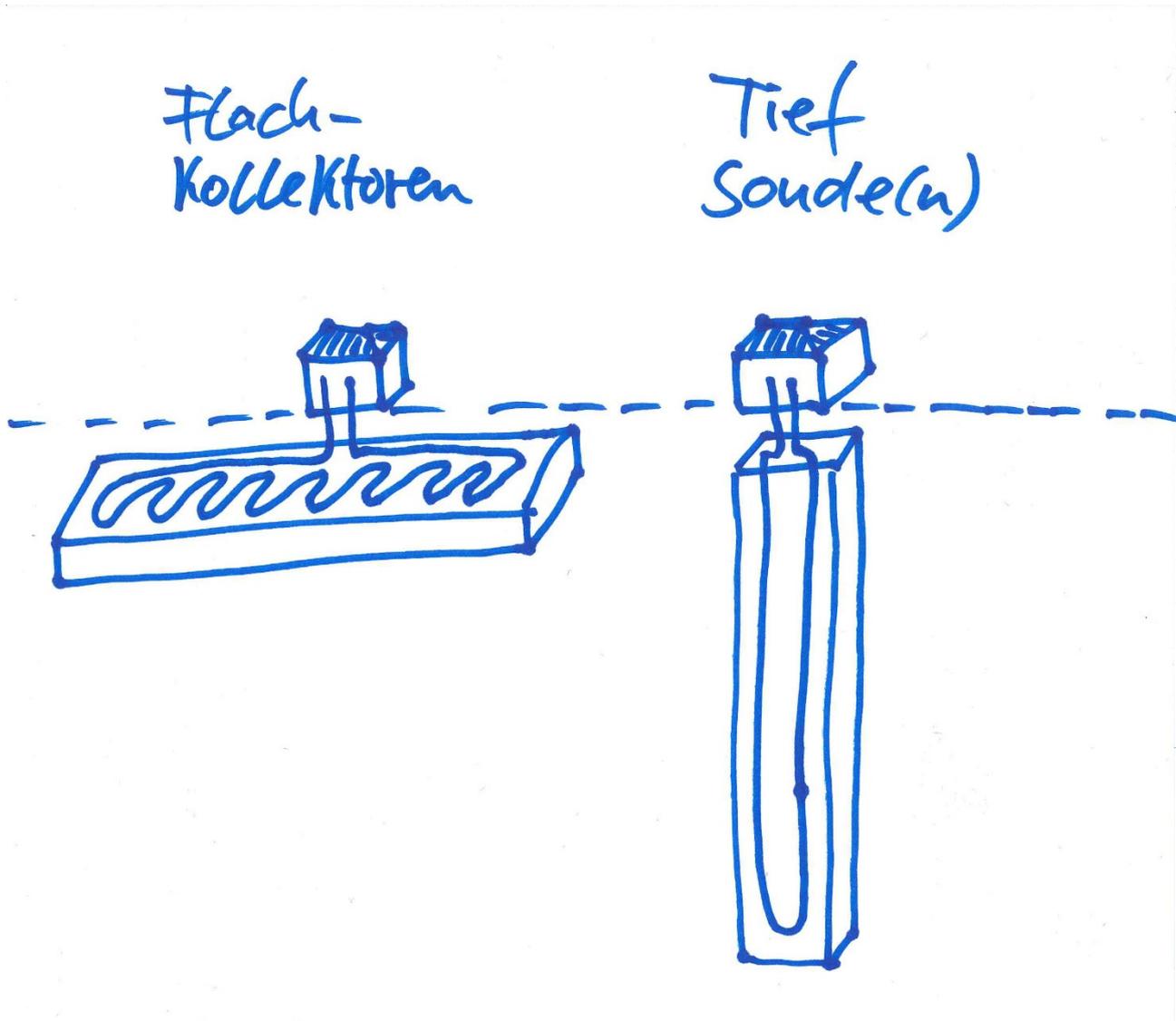
Die Autoren kommen zur Schlussfolgerung, dass es zwar technisch möglich sei, den gesamten österreichischen Wärmebedarf (Raumwärme und Warmwasser) mit Wärmepumpen aus seichter Geothermie zu decken (Ostermann et al. 2010, S. 131), aber die wirtschaftliche Erschließung v.a. in den in der obigen Karte rot und gelb markierten Lagen sinnvoll ist. Hier decken sich eine relativ hohe Bodentemperatur der oberen Erdschichten mit einer relativ hohen Wärmenachfragedichte im Dauersiedlungsraum.

3.5.7. Flächenbedarfe

Die Flächenbedarfe der geothermischen Energieerzeugungsanlagen sind nach den „oberirdischen“ und „unterirdischen“ Anteilen zu unterscheiden. Unterirdisch „steckt“ die Wärme nicht in einer Fläche, sondern immer in einem Volumen. Die Erdkubatur enthält bei der seichten Geothermie als verlegte Bauteile die Flachkollektoren oder die Tiefsonden, plus einem Wärme-Einzugsbereich um diese Rohre. In der Bauweise der seichten Geothermie mit Flachkollektoren wird horizontal etwa doppelt so viel Fläche pro Energiemenge benötigt⁹ als in der der Tiefsonden-Bauweise, weil hier die Wärmeentzugs-Kubatur quer liegt, bei den Tiefsonden hochkant:

⁹ Unter der Annahme der gleichen Lage, Bodenbeschaffenheit und Bodenfeuchtigkeit bei beiden Beispielen.

Abbildung 27: Horizontale und vertikale Kubatur-Lage bei verschiedenen Bauweisen seichter Geothermie



Quelle: Eigene Darstellung

Auch die tiefe hydrothermale Geothermie hat einen horizontal messbaren Flächenbedarf. Dieser betrifft nicht nur die horizontale Fläche der Erd- und Gesteinskubatur, sondern beinhaltet auch Abstandsflächen zum jeweils nächsten Kraftwerk, damit sich mehrere Kraftwerke nicht in Ihrem Wärmeentzug konkurrenzieren.

Für sämtliche Bauweisen der Geothermie gilt, dass es bei der genauen Dimensionierung der horizontalen Flächenbedarfe und -Abstandsbereiche noch zu wenige Flächenmodelle, und auch sehr wenige „Defaultwerte“ oder Tools für die Abschätzung potenzieller Energieerträge gibt. Die optimale Dimensionierung zwischen einem bestimmten Wärmeertrag, unter der Bedingung eines konstanten Temperaturniveaus ohne dauerhafte Auskühlung des Bodens (dies wäre eine nicht nachhaltige Nutzungsform) ist dadurch nur mit einer lokalen Bestandsaufnahme durch eine erfahrene Expertin oder einen erfahrenen Experten sinnvoll.

Oberirdisch entstehen Flächenbedarfe durch die Anlagenbestandteile: Betriebsgelände mit Kraftwerk und Wärmetauschanlage, Pumpanlagen, je nach Größe der Anlage kürzere oder längere Rohrleitungs- oder Wärmenetzleitungen zu den Gebäuden. Der oberirdische Teil des Thermalwasserkreislaufes besteht also aus den Bauteilen zur Weiterleitung und Wärmeübertragung an ein Sekundärsystem, bei der hydrothermalen Bauweise zusätzlich den Komponenten zur Aufbereitung des Injektionswassers durch Druckerhöhung und -Injektion (Kaltschmitt et al. 2006, S. 462).

Sehr häufig wird die Geothermie auch mit anderen Wärmeträgern (fossil wie erneuerbar) „mehervalent“ kombiniert – um auch Spitzenlasten (für deren Bedienung die Geothermie häufig nicht optimal geeignet ist, s. nächstes Kapitel) bedienen zu können. Dies ist relevant für die Anlagenbauteile und deren Flächenbedarf innerhalb oder außerhalb von Gebäuden, monovalente Systeme benötigen dabei weniger Fläche als mehervalente.

Bei kleinen Anlagen für einzelne (oder einige wenige) Gebäude entsteht ein Flächenbedarf durch den Wärmespeicher, der wie bei der Solarthermie meist ein sehr gut isolierter Wassertank mit einigen hundert- oder tausend Litern Volumen ist. Es existieren aber auch größere Anlagen wie in der Salzburger Siedlung „Rosa Zukunft“. Hier ist ein Erdwärme-Tiefsondenfeld mit der lokalen (fossil befeuerten) Fernwärme gekoppelt, und zusätzlich auch mit einem kleinen, siedlungsintegrierten Biomasse-Blockheizkraftwerk, und auch mit Solarthermie und Photovoltaik auf den Gebäudedächern. Der Wärmespeicher ist in dieser Siedlung bewusst sichtbar über die volle Gebäudefassadenhöhe (9 m) integriert worden- im folgenden Foto links als brauner „Fassadenstreifen“ sichtbar. Der Wärmepuffer hat ein Volumen von 90.000 Litern (Siemens Österreich 2017).

Abbildung 28: Wärmepuffer-Speicher und PV-Anlage in der Siedlung „Rosa Zukunft“ Salzburg



Quelle: (Siemens Österreich 2017)

3.5.8. Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Die folgende Tabelle zeigt Zahlenwerte zu den in diesem Kapitel genannten Flächenbedarfen und den jeweiligen thermischen Energieerträgen verschiedener Geothermie-Anlagen. Die Records sind absteigend nach dem Energieertrag pro Fläche sortiert. Die unter „Fläche“ genannten Werte nennen die horizontale Größe der Fläche, der Wärme entzogen wird. In den hier gezeigten Records ist diese Fläche lageident mit den Gebäuden der Kraftwerksanlagen, weil diese direkt über dem Wärmeentzugsgebiet (Erdreich) stehen. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Gebäudeanteilen und der Wärmeentzugsfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

Tabelle 7: Geothermie-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Name, Lage	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW th)	Energie (MWh th/a)	m ² /kWh th/a	kWh th/m ² /a	Rechn. Volllast (h/a)
Geothermie, Zentrum für berufliche Bildung und Weiterbildung in Duisburg, Deutschland	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	Fragwürdig (im Vergleich zu and. Records überm. hoher Energie-Ertragswert)	1,04	1,476	1.395	0,00746	134	945
Geothermie BSU Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg-Wilhelmsburg, Deutschland	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundament-Pfähle	gut	1,18	0,65	858	0,01375	73	1.320
Geothermie Panalpina Logistikhalle, Nürnberg, Deutschland	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	gut	1,04	0,558	670	0,01552	64	1.201
Geothermie ATRIO Shopping center Villach, Kärnten, Österreich	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundament-Pfähle	Fragwürdig (sehr geringe Volllaststundenzahl)	2,86	14	1.220	0,0234	43	87

KATALOG DER FLÄCHENBEDARFE ERNEUERBARER ENERGIEANLAGEN

Name, Lage	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW th)	Energie (MWh th/a)	m ² /kWh th/a	kWh th/m ² /a	Rechn. Volllast (h/a)
Geothermie "Agrothermie" Wüstenrot, Baden-Württemberg, Deutschland	Seichte Geothermie, Flachkollektoren	gut	1,5	0,3	600	0,025	40	2.000
Geoth. Einfamilienhaus-Anlage, Musterrechnung f. Österreich (trockener Lehmboden)	Seichte Geothermie, Flachkollektoren	gut	0,03	6	10,8	0,02777	36	1.800
Geothermie d. Nordbahnhof-Areals, Wien, Österreich (Projektplanung)	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	gut	46,56	6,172	14.196	0,0328	30	2.300
Geothermie Ganghofer Siedlung Regensburg, Bayern, Deutschland	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	Fragwürdig (Wärmeentzugsfläche=ges. Siedlungsgebiet?)	25,4	1,4	2.590	0,09807	10	1.850
Geothermie Unterhaching, Bayern, Deutschland	Tiefe Geothermie, hydrothermal	Fragwürdig (Wärmeentzugsfläche?)	2.809	70	85.947	0,32683	0,30597	1.228
Geothermie Grünwald (Laufzorn), Bayern, Deutschland	Tiefe Geothermie, hydrothermal	Fragwürdig (Wärmeentzugsfläche?)	2.809	40	59.580	0,47147	2,121	1.490
Geothermie Braunau-Simbach, Deutschland/Österreich	Tiefe Geothermie, hydrothermal	Fragwürdig (Wärmeentzugsfläche?)	8.611	9,4	46.500	1,85183	0,54001	4.947
Geothermie Landau, oberrheinischer Tiefgraben (Rheinland-Pfalz), Deutschland	Tiefe Geothermie, hydrothermal	Fragwürdig (Wärmeentzugsfläche?)	2.890	2,01	15.300	1,8888	0,52941	7.612

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.5.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast -und Spitzenversorgung

Ob die seichte und/oder tiefe Geothermie mit anderen Energieträgern kombiniert werden muss, hängt nicht nur von der Anlagenertragsleistung, sondern auch nachfrageseitig vom benötigten Energiebedarf, der bedient werden muss, ab. Einzelne thermisch hocheffiziente Gebäude (etwa ab der Energiekennzahl „B“ oder besser) können im ganzjährigen Heizbetrieb ausschließlich mit seichter Geothermie auskommen, ob das Energieniveau in Leistung und möglicher Arbeit auch für die Warmwasserbereitung und für mehrere Gebäude ausreicht, hängt von deren Energienachfrage, und auch den lokalen Wärmespeichermöglichkeiten, und auch von der Flächenverfügbarkeit für die Erdsonden oder Flachkollektoren ab.

Im Kapitel 3.5.4. wurde bereits geschildert, dass Geothermie Anlagen, die Wärmepotenziale unterhalb einer gewissen Tiefe nutzen (je nach Klimazone unterschiedlich tief), keinerlei Energieertragsschwankungen unterliegen, sondern technisch bis zum 24/7 Vollbetrieb betrieben werden können. Diese Lage- und Saisonunabhängigkeit der Wärmebereitung, gemeinsam mit der technisch sehr einfachen Möglichkeit des An- und Abschaltens, macht die ausgezeichnete Regel- und Grundlastfähigkeit der Geothermie aus, dies aber eben nur bis zu einem bestimmten Leistungsniveau, über dem andere Energieträger „zugeschaltet“ werden müssen (in diesem Fall übernimmt die Geothermie „nur“ das Vorwärmen).

Die gewünschte Wärmenachfrage kann sowohl zu Zwecken der Energieertragsvarianzen, als auch um auf sich verändernde Speichereigenschaften reagieren zu können, mit einer Drehzahlregelung des Pumpenmotors gesteuert werden. Grundsätzlich aber laufen Anlagen der tiefen Geothermie am wirtschaftlichsten in einem bei thermischer Arbeit und Leistung sehr konstant geführtem Grundlastbetrieb (Kaltschmitt et al. 2006, S. 464).

3.5.10. Skalierbarkeit

Die Skalierbarkeit geothermischer Anlagenstärken ist je nach Bauweise unterschiedlich. Technisch sind sehr viele verschiedene Leistungs- und Arbeitsstärken machbar, aber räumlich und nachfrageseitig gibt es je nach Bauweise verschiedene Einschränkungen.

Bei der seichten Geothermie in Flachkollektoren-Bauweise ist die Zugänglichkeit, Verfügbarkeit und Größe von unversiegelten Bodenflächen in der Nähe der wärmenachfragenden Siedlungsstrukturen ein klar limitierender Faktor (s. voriges Kapitel: Lagekarte zu „GeoPot“) für die Auslegung der Wärmeversorgungsleistung. In dieser Bauform sollte das mit den Erdkollektoren bestückte Erdreich auch nicht überbaut werden, um die Zugänglichkeit im Reparatur- und Wartungsfall der Kollektoren-Schläuche zu gewährleisten. Bei der seichten Geothermie in der Bauweise mit Tiefsonden wird die Skalierbarkeit der Anlagenleistung in der Praxis oft durch die Bohrkosten limitiert, weil diese ab Tiefen von über ca. 300 Metern, manchmal auch aufgrund von unerwartet harten Gesteinsschichten stark zunehmen können.

Eine noch geringere Varianz in der Anlagen-Skalierbarkeit haben schließlich Anlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie, weil die Energieertragsleistung und -arbeit sehr lagespezifisch von lokalen Bedingungen abhängt, insbesondere der erreichbaren Wassertemperatur und Schüttung (Liter/Sekunde, s. Kapitel 3.5.5.). Somit ist die Maximalleistung bei der tiefen hydrothermalen Geothermie klar durch diese angebotsseitigen Faktoren limitiert.

3.5.11. Flächenkonkurrenzen

Da oberirdische Flächenkonkurrenzen nur auf durch die oberirdischen Bauteile von geothermischen Energieerzeugungsanlagen belegten Flächen entstehen, kann die Beeinflussung des Orts- und Landschaftsbildes als „sehr gering“ bis „keine“ eingestuft werden. Dadurch ist ebenfalls auch die Konkurrenzierung von Naherholungs- und Tourismusfunktionen in der Nähe von Geothermieanlagen als „sehr gering“ bis „keine“ einzustufen¹⁰. Durch den emissionsfreien Wärmeherstellungsbetrieb sind Geothermie Anlagen auch mitten in Wohn- und Gewerbegebieten raumverträglich, und konkurrieren diese Funktionen daher nur auf den versiegelten Flächen der Kraftwerks-Betriebsgebiete.

In der Bauform der Flachkollektoren besteht allerdings „unterirdisch“ hohe Konkurrenz zur Wohnfunktion, weil die Flächen, in denen die Kollektoren verlegt sind, nicht überbaut werden sollten. Dies würde im Reparaturfall die Zugänglichkeit der Kollektoren verhindern.

„Unterirdisch“ gibt es Flächenkonkurrenzen nur im Sinne maximaler Wärmeentzugsmengen, insbesondere zwischen den Energieerträgen verschiedener benachbarter Geothermieanlagen, unabhängig davon, ob es sich um seichte oder tiefe Geothermie handelt, oder um geschlossene oder offene Rohrsysteme mit und ohne Rückinjektion: Wenn die Wärmeentnahme das Niveau überschreitet, das durch das Temperaturregime des Bodens innerhalb weniger Tage wieder regeneriert werden kann, kommt es zu einer Bodenabkühlung. Vermutlich¹¹ könnte das, wenn es sich um Flachkollektoren unter landwirtschaftlich genutzten Böden handelt, die Ertragsleistung der Feldfrüchte reduzieren, was eine Konkurrenzierung und Beeinträchtigung dieser Nahrungsmittelfunktion darstellt.

Durch den geringen oberirdischen Flächenbedarf ist auch die Konkurrenzierung anderer erneuerbarer Energieträger als „keine“ einzustufen. Vielmehr kann hier von einer Flächensynergie gesprochen werden, weil der „Etagenbetrieb“ etwa in Kombination mit Biomasseerzeugung (egal ob für die Nahrungsmittel- oder die Energieerzeugung), oder der Solar- und Windenergie sehr gut möglich ist. Die folgende Tabelle fasst die Konkurrenzgrade der verschiedenen Geothermie-Arten zusammen.

¹⁰ Bei Windkraft- und Solaranlagen ist der visuelle „Impact“ erheblich größer als bei einem Geothermiekraftwerk.

¹¹ Hierzu konnten keine Quelle aus der Fachliteratur gefunden werden.

Tabelle 8: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Geothermie und anderen lageidenten Flächenfunktionen

Konkurrenzgrad:

keine	gering	indifferent	mittel	hoch
-------	--------	-------------	--------	------

Indifferent = Der Konkurrenzgrad kann verschiedene Ausprägungen (von „kein“ bis „hoch“) einnehmen

Ern. Energieart und Endenergieform	Wohnfunktion	Orts- und Landschaftsbildfunktion	Naherholungsfunktion	Großräumige Tourismusfunktion	Sachgüter- und Dienstleistungsfunktion	Nahrungsmittelproduktion	Andere erneuerbare Energieproduktion
Seichte Geothermie, Flachkollektoren	Kollektorenflächen: Überbaubarkeit kritisch	keine	keine	keine	Oberirdische Kraftwerksbauteile	gering (Ertragsminderung durch Wärmeentzug möglich)	keine
Seichte Geothermie, Tiefsonden	Gebäudeintegriert/ unter Gebäuden	keine	keine	keine	Oberirdische Kraftwerksbauteile	keine	keine
Tiefe hydrothermale Geothermie	Kraftwerksgelände	Oberirdische Kraftwerksbauteile	keine	keine	Kraftwerksgelände	keine	

Quelle: Eigene Darstellung

3.5.12. Umweltwirkungen

Die negativen Umwelteffekte lassen sich bei Wärmepumpen, die in allen Bauformen der Geothermie eingesetzt werden, nach den Phasen Herstellung, Betrieb, Störfall und Betriebsende unterscheiden. Bei Herstellung und Betrieb sind insbesondere die Arbeitsmittel (aufgrund Ihrer chemischen Zusammensetzung) hoch Treibhauseffekt-relevant, im Störfall kann auch der Grundwasserkörper geschädigt werden, allerdings ist dieser Effekt bei korrektem Anlagenbetrieb sehr gut eingrenz- und kontrollierbar, bzw. bei neueren Arbeitsmedien (etwa CO₂ heatpipes statt FCKW basierten Medien) vernachlässigbar. Im Betrieb kann es zu einer Abkühlung des Bodens kommen, bei lageangepasster Dimensionierung (ohne Überlast der Entnahme) ist auch dieser Effekt kontrollierbar, weil sich langfristig das Temperaturgleichgewicht wieder regeneriert. (Kaltschmitt et al. 2006, S. 449).

Bohrungen, die zur Nutzung hydrothermalen Energie notwendig sind, erzeugen in der meist kurzen Bohrphase Lärm und ein geringes Risiko des Wasseraustausches von Grundwasserschichten in verschiedener Tiefe im Boden. Theoretisch möglich, aber bisher sehr selten beobachtet worden ist eine chemische und/oder physikalische Störung des Wasserhaushaltes im Untergrund inkl. mikroseismischen Erscheinungen. Nach dem Betriebsende ist es wichtig, die Bohrung komplett abzudichten, um Schadstoffeinträge zu verhindern. Die Umweltrisiken der Materialentsorgung geothermischer Anlagen entsprechen denen vergleichbarer Fabrikanlagen und sind nicht spezifisch unterschiedlich zu diesen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 483-486).

Anlagen der Bauform Enhanced Geothermal Systems (EGS), s. Kapitel 3.5.2., haben nicht nur in der Bohrphase, sondern auch wenn Wasser künstlich in die Bodenklüfte eingepresst wird, ein erhebliches seismisches Risiko. Dies hat u.a. in einer der noch sehr seltenen Pilotanlagen, der deep-Heat-Mining-Anlage in Basel, zum sofortigen Einstellen des Probetriebes geführt (Schweizerischer Erdbebendienst (SED) 2017).

Nach Betriebsende sind negative Umwelteinflüsse nur durch nicht ordnungsgemäß abgedichtete Bohrungen und Leitungen denkbar; auch die Entsorgung oder das Recycling der Anlagenkomponenten hat keine bekannten negativen Umweltwirkungen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 449).

Zu den positiven Umweltwirkungen der Geothermie (unabhängig von der Bauweise) gehört der emissionsfreie Betrieb. Maßeinheit dafür wären die Emissionsmengen, die gegenüber einer Erzeugung aus nicht erneuerbaren fossilen Ressourcen (Gas, Kohle, Öl) eingespart werden können. Im Heizbetrieb gibt es keine direkte Freisetzung von Stoffen, Gasen oder Partikeln, daher kann der Betrieb als emissionsfrei bezeichnet werden (Kaltschmitt et al. 2006, S. 483-486). Ebenfalls zu den positiven Umweltwirkungen kann die sehr geringe Beeinflussung des Orts- und Landschaftsbildes durch geothermische Anlagen gerechnet werden, denn die „oberirdischen“ Bauteile belegen nur einen sehr kleinen Teil der gesamten Potenzialfläche, die weit größeren, aber „unsichtbaren“ Flächenanteile benötigt die Kubatur des Erdreiches, dem die Wärme entzogen wird.

3.5.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m²/kWh/Jahr“

Zu den flächenspezifischen Energieerträgen aus seichter und tiefer Geothermie sind folgende Erkenntnisse aus diesem empirischen Kapitel möglich:

Die Forschungsfrage: „Wie hoch ist der Flächenbedarf (m²/kWh/Jahr) ausgewählter erneuerbarer Energien, und was macht die standörtlichen Energie-Ertragsvarianzen aus?“ konnte durch die Records der Anlagenbeispiele nur ansatzweise, und nicht sehr zufriedenstellend beantwortet werden. Dies hatte folgende Gründe:

- Die in den Records verwendeten Datenquellen dokumentierten häufig gar nicht die von Tief- oder Flachkollektoren tatsächlich belegte horizontale Fläche. Um trotzdem zu spezifischen Werten zu gelangen, wurde bei den Records der seichten Geothermie (egal ob bei Flach- oder Tiefkollektoren) die sichtbare Grundstücksgrenze als Flächengrenze angenommen und ausgemessen.
- Bei der tiefen hydrothermalen Geothermie gab es noch weniger Anhaltspunkte zum horizontalen Flächenbedarf. Aus diesem Grunde wurde entweder mit flächenspezifischen Energieertragswerten aus der Fachliteratur interpoliert, oder (wenn mehrere gleichartige Anlagen benachbart waren) die Annahme getroffen, dass diese Anlagen sich nicht gegenseitig im Wärmeentzug konkurrenzieren. Daraus konnten Abstände und Flächen zugeteilt werden.
- Unter den mit „guter Datenqualität“ eingestuften Records der Geothermie Anlagen bewegen sich die flächenspezifischen Energieerträge zwischen 30 und 70 kWh/m²/a.
- Auffällig war, dass die Energieerträge der Tiefsondenfelder-Bauweise nahezu lageunabhängig gleich sind, weil die oberirdischen Einflüsse der Solarenergie nur bis in eine Tiefe von etwa 30 m überhaupt einen Einfluss auf das Wärmepotenzial haben, darunter nicht.
- Dabei hat sich (s. Kap. 3.5.8.) auch bestätigt, dass die Bauweise der Tiefsondenfelder gegenüber den Flachkollektoren horizontal pro Energieertrag etwas weniger Fläche benötigt. Die Records der Tiefkollektoren-Bauweise zeigen durchwegs Ertragswerte im oberen Bereich (zwischen 45 und 70 kWh/m²/a), die Flachsondenfelder-Bauweisen lagen im unteren Bereich zwischen 30 und 50 kWh/m²/a, und die Anlagen der tiefen Geothermie zeigten nochmals deutlich geringe flächenspezifische Werte, wobei hierbei leider die Datenqualität der Flächenermittlung als fragwürdig eingestuft werden musste.

- Aus dem Vergleich und den „Benchmarks“ der Records haben sich interessante künftige Forschungsbedarfe gezeigt. Etwa:
 - Wie ist der horizontale Flächenbedarf für Anlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie besser abschätzbar?
 - Wie verhält sich der Flächenbedarf im geothermischen Mehrfachbetrieb, wenn der Heiz- und Kühlbetrieb mit kurz- oder langfristiger Speicherung der jeweiligen Potenziale im Erdreich erfolgt – hierzu konnten ebenfalls keine Records gefunden werden?
 - Geothermie hat eine sehr gute Grundlastfähigkeit, aber eine eher schlechte Spitzenlastfähigkeit. Wie lässt sich daraus Ihr Stellenwert im Ensemble mit anderen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern in einem regionalen „smart grid“ modellieren?

3.6. Solarenergie

Dieses Kapitel behandelt die Prozesskette der Energieumwandlung, Anlagenarten, lageabhängige und lageunabhängige Faktoren unterschiedlicher Energieerträge (Wärme und Elektrizität) und im empirischen Teil Anlagenbeispiele der Solarthermie, der Photovoltaik, und auch zur Bauweise „Concentrated Solar Power“. Danach werden Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen der Solarenergie erörtert und abschließend reflektiert, welche Erkenntnisse zur Forschungsfrage nach dem Flächenbedarf der Energieerzeugung ($\text{m}^2/\text{kWh/a}$) aus der Empirie möglich waren.

3.6.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen

Die Solarenergie nutzt die Strahlungsleistung der auf die Erdoberfläche einfallenden Sonnenstrahlen über Photovoltaik und/oder Solarthermie (Quaschnig 2015, S. 58-59). Die häufigsten Nutzenergieformen sind Warmwasser, das direkt zum Baden und Duschen verwendet, oder auch in Speichieranlagen zur Raumheizung unterstützend verwendet werden kann, und Elektrizität. Die älteste Endenergieform war die direkte Warmwassererzeugung, wesentlich später folgte die Elektrizitätserzeugung, und erst seit einigen Jahren gibt es (über eine Prozessumkehr der Energiepotenzialumwandlung) auch das solare Kühlen von Räumen. Die genannten Nutzenergieformen gehören zur direkten Nutzung der Solarenergie und können mit und ohne Speicher betrieben werden, sehr häufig verbreitet sind aktuell vor allem kleine Anlagen mit kleinen Warmwasserspeichern für den Warmwasserbedarf einzelner Haushalte oder Gebäude.

Neben der direkten Nutzung der Solarenergie ist auch die indirekte Nutzung schon seit Jahrtausenden im Einsatz. Hierbei wird durch gebäudetechnische Eigenschaften wie Orientierung und Kubatur, Glasarten und Größen der Fenster, Anordnung der Gebäude zueinander, Himmelsrichtungsorientierung der Räume nach Funktion und spezifisch nach den Unterschieden zwischen der Außenluft-Wärme nach Klimazone und dem Wunschklima der Innenräume die Wärme der Solarstrahlung „passiv“ genutzt oder blockiert (Hegger 2003, S. 14).

3.6.2. Anlagenarten und Bauformen

Es gibt drei Haupt-Funktionsweisen der Solarenergie: Solarthermische Kollektoren, Photovoltaik-Kollektoren und Photolytische Brennstoffherzeugung (Quaschnig 2015, S. 38) zur Wärme-, Elektrizitäts- oder Brennstoffherzeugung. Erst seit einigen Jahren gibt es auch Mischsysteme, die Elektrizität UND Wärme, teilweise auch Kälte aus der Solarstrahlung transformieren können.

Die wichtigsten Bauformen sind die vollflächig auf Dächern oder Fassadenteilen gebäudeintegrierten Kollektoren, die aufgeständerten Dach- oder Freiflächenanlagen (meist bei größeren Kraftwerken im Einsatz), und verschiedene Arten der „Concentrated Solar Power“ Anlagen. Letztere nutzen entweder über Parabolrinnensysteme die konzentrierte Solarenergie, oder sie fokussieren auf einen gemeinsamen Brennpunkt in einem Turm, wo dann bei hohen Brennpunkt-Temperaturen über einen Dampf-Generator die Wärme in Elektrizität umgewandelt

wird. Eine noch sehr neue, vollständig mobile und dekorative Bauform ist die „Smart Flower“. Auch gibt es bereits einzelne Pilotanlagen, die andere Funktionsweisen nutzen, nämlich als Aufwindkraftwerk oder Solar-See, diese sind aber global (noch) nicht seriell im Einsatz (Schlaich 1995), daher gibt es bisher noch wenig geprüftes Wissen über deren Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit.

3.6.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ

Die folgenden Abbildungen und Daten zeigen Beispiele aus der Leistungs- und Größenvielfalt der Solarenergie-Anlagen. Die folgenden Beispiele sind aufsteigend nach dem Energieertrag, und auch nach der Funktionsweise sortiert. „Fläche“ beinhaltet die durch direkte und indirekte Flächenanteile (Kollektorenflächen vollflächig oder bei aufgeständerter Kollektoren-Bauweise mit Abstandsflächen) belegten horizontalen¹² Gesamtflächen der Anlage. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Kollektorflächen und der Energiepotenzialfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

¹² Mit wenigen Ausnahmen, s. „Info“ zu diesen Records

Tabelle 9: Solarenergieanlagen nach Lage, Typ und Größe

Photovoltaik, Kleinanlagen



Name, Lage: „Simon“, Ökostrom-PV-Kleinstpaneel, Wien, Österreich
Typ: Solarenergie
Unter-Typ: Photovoltaik, Kleinstpaneel
Info: Grundgedanke des Kleinstkraftwerkes "Simon" ist, dass der Strom direkt zu den nächsten Haushaltsgeräten fließt, d.h. stets sofort verlustfrei lokal verbraucht wird, weil alleine der Hausgeräte-Standby-Bedarf meist über 150 Watt liegt. Vorteile des Paneels sind die sehr einfache Montage (eine Steckdose genügt) oder Demontage. Dieser Anlagen-Ansatz ist deshalb sehr intelligent, weil er für urban dichte, mehrgeschossige Gebäudetypologien passt und in einer "Schwarmlösung" sehr netzentlastend wirken könnte.
Flächenangabe hier: LxB des Einzel-Paneels.
Fläche (ha): 0,00012 (1,2 m²)
Leistung (MW el): 0,00015 (150 Watt)
Energie (MWh el/a): 0,133



Name, Lage: Smart flower, Rom, Italien
Typ: Solarenergie
Unter-Typ: Photovoltaik, mobile Einzelanlage, 3-Achsen Nachführung der „Blätter“
Info: Fertigmodul, leicht auf- und abbaubar. Funktion auch direkt als Solartankstelle möglich (selbst ohne Netzanschluss). Faltet sich bei Dunkelheit oder bei zu starkem Wind automatisch zusammen. Laut Hersteller-Angaben: Insg. bis +40 % Ertrag im Vergleich zu fix aufgeständerter Anlage, durch die zweiachsige Nachführung, die Software, die Kollektor-Kühlung und die Selbstreinigung der "Blütenblätter" ("smart tracking, -cooling, -cleaning") beim Zusammenfallen.
Fläche (ha): 0,003 (30 m²)
Leistung (MW el): 0,0023 (2,3 kW)
Energie (MWh el/a): 5,1



Name, Lage: Passiv-Bürohaus SOL 4, Mödling, Österreich

Unter-Typ: Photovoltaik, Gebäudeintegriert (Fassaden)

Info: Das größte Passiv-Bürohaus Österreichs verfügt über eine fassadenintegrierte PV-Anlage. Die netzgekoppelte PV-Anlage ist als hinterlüftete Kaltfassade ausgeführt. Der Heizenergiebedarf des Bürogebäudes ist so gering ($< 15 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$), dass er über das Jahr gerechnet aus der PV-Anlage über den Einsatz einer hocheffizienten Wärmepumpe, gedeckt werden kann. Fläche hier: Vollflächig belegte vertikale Fassadenteile.

Fläche (ha): 0,0215

Leistung (MW): 0,028

Energie (MWh/a): 15,7

Photovoltaik, Groß-Anlagen



Name, Lage: Audi AG Photovoltaik, Neckarsulm, Deutschland

Unter-Typ: Photovoltaik, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren

Info: Baujahr 2009, PV-Großanlage auf einem Industriedach. Besonderheit ist (s. Foto) die ungewöhnliche dichte Kollektor-Belegung des Flachdaches, dies erklärt den sehr effizienten Energieertrag pro Fläche im Vergleich zu anderen Flachdach-PV Parks.

Fläche (ha): 2,7

Leistung (MW el): 1,9

Energie (MWh el/a): 1.800



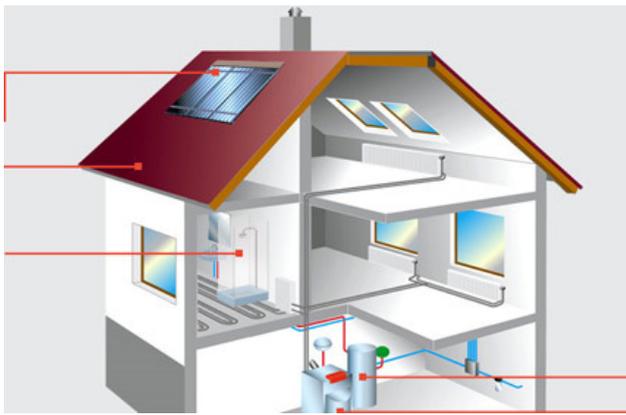
Name, Lage: Tesla Solarpark Ta'u Island, American Samoa

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage fix aufgeständerter Kollektoren, mit Akkuspeichern

Info: Die Anlage (5.328 PV-Freiflächen-Module und 60 Tesla Powerpacks (Speicherkapazität 6 MWh) auf einer Gesamtfläche von 2.22 ha) kann den gesamten Strombedarf (für drei Tage) der Insel abdecken. Eine volle Neuladung benötigt 7h Tageslicht. Die Insel Ta'u hat etwa 600 EinwohnerInnen und war vor der PV-Anlage bei der Stromproduktion ausschließlich von Dieselgeneratoren abhängig (laut den Quellen 110.000 Gallonen Diesel pro

	<p>Jahr). Fläche (ha): 1,95 Leistung (MW): 1,4 Energie (MWh/a): 1.801</p>
	<p>Name, Lage: Lieberose Photovoltaic Park, Freiflächenanlage, Brandenburg, Deutschland Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, fix aufgeständerte Kollektoren Info: 700.000 Dünnschichtmodule des Typs First Solar FS-272-277 mit einem Wirkungsgrad von etwa 10 % und 38 Wechselrichter der Firma SMA Solar Technology. Die Fläche war ein ehem. Truppenübungsplatz, wurde aber von Munitionsresten dekontaminiert. Fläche (ha): 162 Leistung (MW el): 52,79 Energie (MWh el/a): 52.000</p>
	<p>Name, Lage: PV-Kraftwerk, Kagoshima, Japan Unter-Typ: Photovoltaik, schwimmende Kollektoren Info: Baujahr 2013. Erbaut von der Kyocera company, an der Küste der Hafenstadt Kagoshima. Fläche (ha): 110 Leistung (MW el): 70 Energie (MWh el/a): 78.800</p>

Solarthermie, Kleinanlagen



Name, Lage: Solarthermie-Kleinanlage, Wien, Österreich

Unter-Typ: Solarthermie, Schrägdach-Anlage vollflächig, Kleinstanlage auf einem Einfamilienhaus.

Info: Modellrechnung mit Baujahr 2006. Mit 500 l Wasser-Speicher. In Österreich sehr typische und weit verbreitete Einzelanlagen-Größe.

Fläche (ha): 0,00092 (9,2m²)

Leistung (MW th): k.A.

Energie (MWh th/a): 2,131



Name, Lage: Solarwärme bei Fleischwaren Berger, Niederösterreich, Österreich

Unter-Typ: Solarwärme, fix aufgeständerte Kollektoren in Freiflächen-Anlage

Info: Kollektorfläche: 1.067 m², 60 m³ E-Speicher. Ab 2015 Zubau eines 122 m² großen Parabolrinnen-Kollektorfeldes, Leistung 60 kW, als Temperatur-Booster für die Flachkollektoren. Verwendung des Warmwassers im Produktionsprozess der Wurstprodukte (Brauchwasser, Reinigungszwecke). Kumulierter Ertrag 408 kwh/m² Kollektorfläche/a. Gesamtbeitrag solar durchschn. 11% (im Sommer bis 60 %).

Fläche (ha): 0,214

Leistung (MW th): 0,65

Energie (MWh th/a): 489

Solarthermie, Großanlagen



Name, Lage: Solaranlage Fernheizwerk/AEVG Gelände, Graz, Österreich

Unter-Typ: Solarthermie, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend.

Info: Kollektorfläche insg. 3.556 m². Baujahr 2008. Kein Pufferspeicher, sondern Direktabnahme im Fernwärmenetz.

Fläche (ha): 0,5

Leistung (MW th): 1,78

Energie (MWh th/a): 1.600



Name, Lage: Almere Solar Island, Niederlande
Unter-Typ: Solarthermie, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, fernwärmeunterstützend, keine Informationen über Speicher.
Info: Baujahr 2010, Fläche der Flachkollektoren 7.000 m². Besonderheit: Optisch interessante Oval-Lösung, am Rand einer großen Siedlung gelegen.
Fläche (ha): 2,36
Leistung (MW th): 4,9
Energie (MWh th/a): 2.472



Name, Lage: Vojens Fjernvarme, Dänemark
Unter-Typ: Solarthermie, Freiflächen-Anlage mit Saisonspeicher in künstlichem See
Info: Baujahr 2015. Damals ertragsstärkste Solarthermieanlage der Welt. inkl. Saison-Speicher (in einem künstlichen See mit 200.000 m³ Speichervermögen). Deckt fast 50 % des gesamten Heizwärmebedarfes der Gemeinde (7.579 EW, bzw. 2000 Haushalte, 10 Schulen und Industriegebäude)
Fläche (ha): 23
Leistung (MW th): 49
Energie (MWh th/a): 28.000

Concentrated Solar Power, Großanlagen



Name, Lage: Gemasolar Array, Spanien

Unter-Typ: Solarwärme, Freiflächenanlage, CSP (concentrated solar power- 3d-Achsen-Spiegelfeld mit Fokus-Turm)

Info: Besonderheit: Grundlast- und E-Regelfähigkeit durch Wärmespeicherung: "The MSES consists of 60 % potassium nitrate and 40 % sodium nitrate." Die Wärmespeicherung erlaubt die Stromproduktion bis zu 15 h OHNE Solarbeitrag. Dies erklärt auch die (gegenüber thermosolaren Anlagen ohne Speicher) 2- bis 3-fache Produktivität bei den Laststunden. Zugleich sichert die Salzschnmelzen-Speicherung, dass Strom genau entlang aktuellen Bedarfen eingespeist werden kann.

Fläche (ha): 210

Leistung (MW el): 20

Energie (MWh el /a): 110.000



Name, Lage: Solar Energy Generating Systems (SEGS), Mojave Wüste, Kalifornien, USA

Unter-Typ: Thermal-elektrisch, Freiflächenanlage, Wärme-Parabolspiegel-Sammler

Info: 936.384 Parabolspiegel>Wärme synthetisches Öl>Wärmeübergabe an Wasser>Rankine cycle>Elektrizität. Baujahr 1984, damals "zweitgrößtes thermal-elektrisches Solarkraftwerk".

Fläche (ha): 647

Leistung (MW el): 394

Energie (MWh el/a): 539.000

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.6.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede

Bei den Energieertragsvarianzen der Solarenergie (egal ob zur Warmwasser- und/oder Elektrizitätserzeugung) gibt es eine Reihe von Faktoren, die unabhängig von der geografischen Lage der Solaranlage wirksam sind. Dazu gehört die Ausrichtung der Module und auch die eingesetzte Technologie der Module. Horizontal ist aufgrund der Sonneneinstrahlungsrichtung die genaue Ausrichtung nach Süden für den Energieertrag ideal, die vertikale „ideale“ Ausrichtung variiert nach Jahreszeit: Ein sehr flacher Winkel würde den Sommer-Ertrag optimieren, ein steiler den Winter-Ertrag. Aus diesem Grund wird bei fix installierten Anlagen in mitteleuropäischen Breiten häufig 35° als Kompromiss gewählt.

Die Neigungsgrade der Photovoltaik-Kollektoren können bei freistehenden Anlagen mit ein- oder zweiachsiger Nachführung ertragsoptimiert geändert werden. Auch kann (je nach Verbaueungsart der Module am Dach und/oder in der Fassade) die Erwärmung der Module 1,5 bis 10 % Ertragsverluste bringen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 239). Zusätzlich gibt es geringe Systemverluste, die geringfügig nach der Bauweise des gesamten elektrischen Systems variieren können.

Die folgende Testreihe illustriert diese Ertragsunterschiede. Bei gleichbleibender Referenzlage (Wien) und gleichbleibender Leistung (5 kW) wurden die vertikale und die horizontale Neigung (Himmelsrichtung), danach zum Vergleich auch die Photovoltaik-Technologie verändert und diese Ertragsbeispiele mit einem optimierten System (freistehend, zweiachsige Nachführung) verglichen.

Tabelle 10: Nach Kollektoren-Ausrichtung unterschiedliche Ertragsvarianzen einer PV-Anlage, Leistung 5 kW, Standort Wien

	Stromertrag kWh el/a	Unterschied z. Optimalvariante
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth Süd (=0°), PV Technologie Kristallin Silizium	5.110	-5,02%
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth Nord (=180°), PV Technologie Kristallin Silizium	2.840	-47,21%
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth West (=90°), PV Technologie Kristallin Silizium	4.120	-23,42%
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth Ost (= -90°), PV Technologie Kristallin Silizium	4.150	-22,86%
Fix montiert, senkrecht Gebäudeintegriert, vert. Neigung 90 Grad, Azimuth Süd (=0°), PV Technologie Kristallin Silizium	3.470	-35,50%
Fix montiert, waagrecht Gebäudeintegriert, vert. Neigung 0 Grad, Azimuth Süd (=0°), PV Technologie Kristallin Silizium	4.470	-16,91%
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth Süd (=0°), PV Technologie Dünnschicht (CIS)	2.880	-46,47%
Fix montiert, Gebäudeintegriert, vert. Neigung 35 Grad, Azimuth Süd (=0°), PV Technologie Cadmium Telluride Dünnschicht (CdTe)	3.370	-37,36%
Optimalvariante: Freistehend, 2-achs. Nachführung vertikal und horizontal, PV Technologie Kristallin Silizium	5.380	

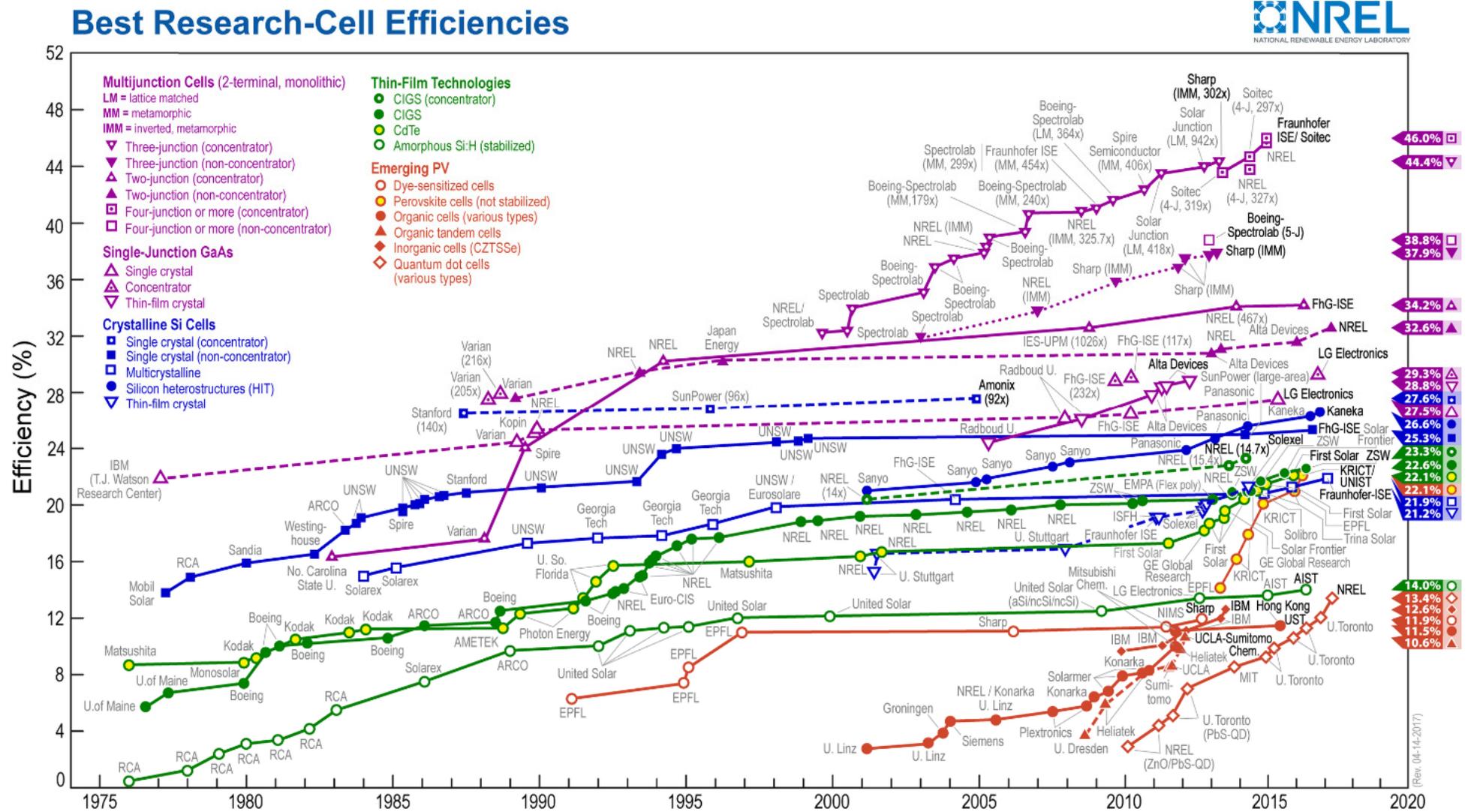
Quelle: Eigene Berechnungen unter Verwendung des Web-Tools PV potential estimation utility (Joint research centre, Institute for Energy and Transport (IET) 2017)

Die höchste Ertragsvarianz (-47 % zwischen reiner Nord- und Südorientierung) macht die horizontale Ausrichtung aus, deutlich geringer sind die Verluste bei der Variation der vertikalen Ausrichtung (waagrecht od. senkrecht zwischen -16 und -35 %). Dagegen überrascht es, das das Optimalsystem (freistehend mit zweiachsiger Nachführung) gegenüber dem „besten“ fix montierten System (35° vertikal, Azimuth Süd) in dieser Testreihe nur 5 % mehr Ertrag aufweist.

Freistehende Anlagen mit Nachführungen benötigen pro Energiemenge etwas mehr Fläche als fix montierte Systeme, und schneiden in der Wirtschaftlichkeit wegen höheren Wartungskosten auch etwas schlechter ab als diese.

Sehr deutlich sind auch die Ertragsunterschiede zwischen verschiedenen PV Technologien. Hierbei schneiden die Dünnschicht-Technologien (sowohl CdTe als auch CIS) beim solar-elektrischen Umwandlungsgrad im Durchschnitt schlechter ab als Kristallin-Siliziumbasierte Kollektoren – allerdings sind sie wesentlich wirtschaftlicher, weil sie pro m² Kollektor erheblich günstiger sind als diese und aufgrund des geringeren Materialbedarfes auch einen weit günstigeren ökologischen „Fußabdruck“ haben. Daher könnten sie künftig gerade bei freistehenden Großanlagen, wenn die Flächenverfügbarkeit gegeben ist, eine günstige Wahl sein. Pro Kollektorfläche (nicht: pro Anlagenfläche) haben Konzentrator-Systeme eine nochmals höhere Umwandlungseffizienz. Die folgende Abbildung zeigt die zeitlichen Lernkurven der verschiedenen Technologien, die aber möglicherweise in Zukunft nur mehr geringe zusätzliche Wirkungsgradsteigerungen erwarten lassen. Die am häufigsten im Einsatz stehenden Technologien haben aktuell einen Umwandlungsgrad zwischen 20 und 25 %.

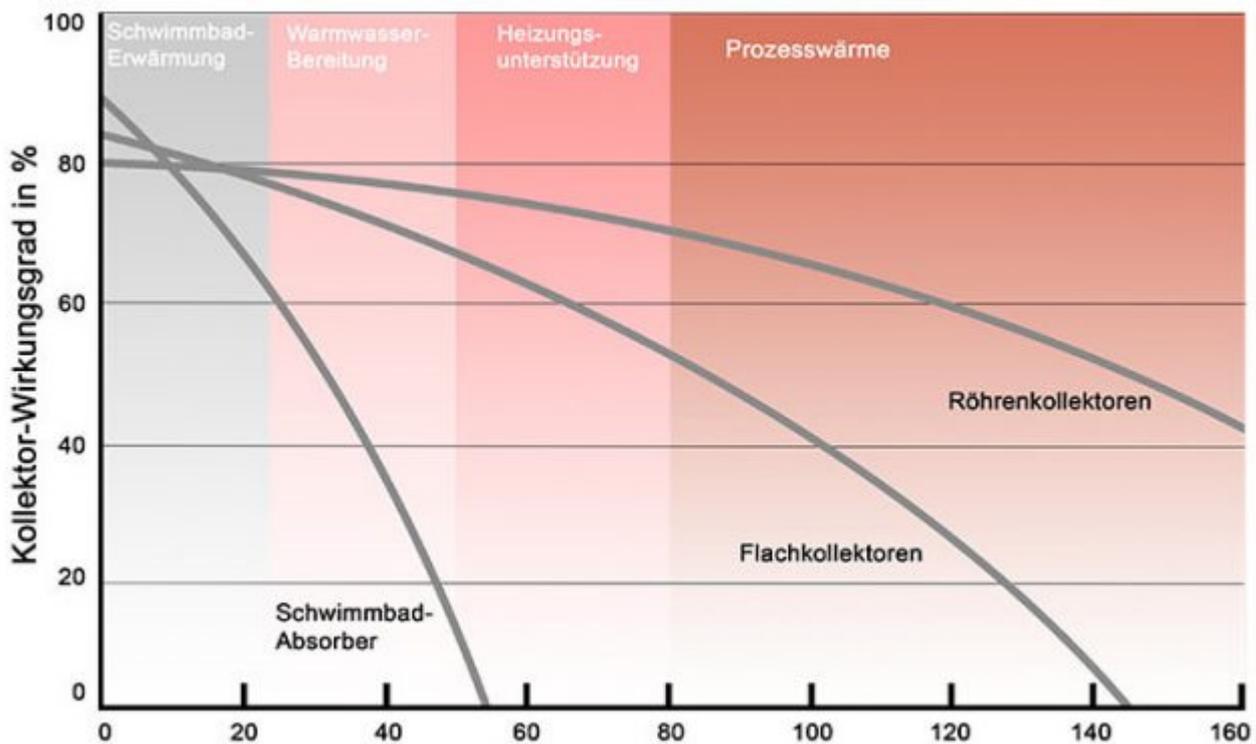
Abbildung 29: Energie-Ertragseffizienz div. PV-Technologien im zeitlichen Verlauf



Quelle: (NREL 2014)

Bei der Warmwassererzeugung gibt es drei grundlegend verschiedene Bauweisen, die unabhängig von der Einstrahlungsstärke und -dauer verschiedene Wirkungsgrade zeigen. Diese Bauweisen sind der Flachkollektor, der Vakuumröhrenkollektor und der Luftkollektor. Grundsätzlich funktionieren sie gleich, weil die Solarwärme über ein Trägermedium (Wasser oder Wasser mit Frostschutzmittel, oder auch Luft) gesammelt und übertragen wird (Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG 2017).

Abbildung 30: Wirkungsgradunterschiede und Temperaturniveaus verschiedener Solarthermie-Kollektorarten



Quelle: (Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG 2017)

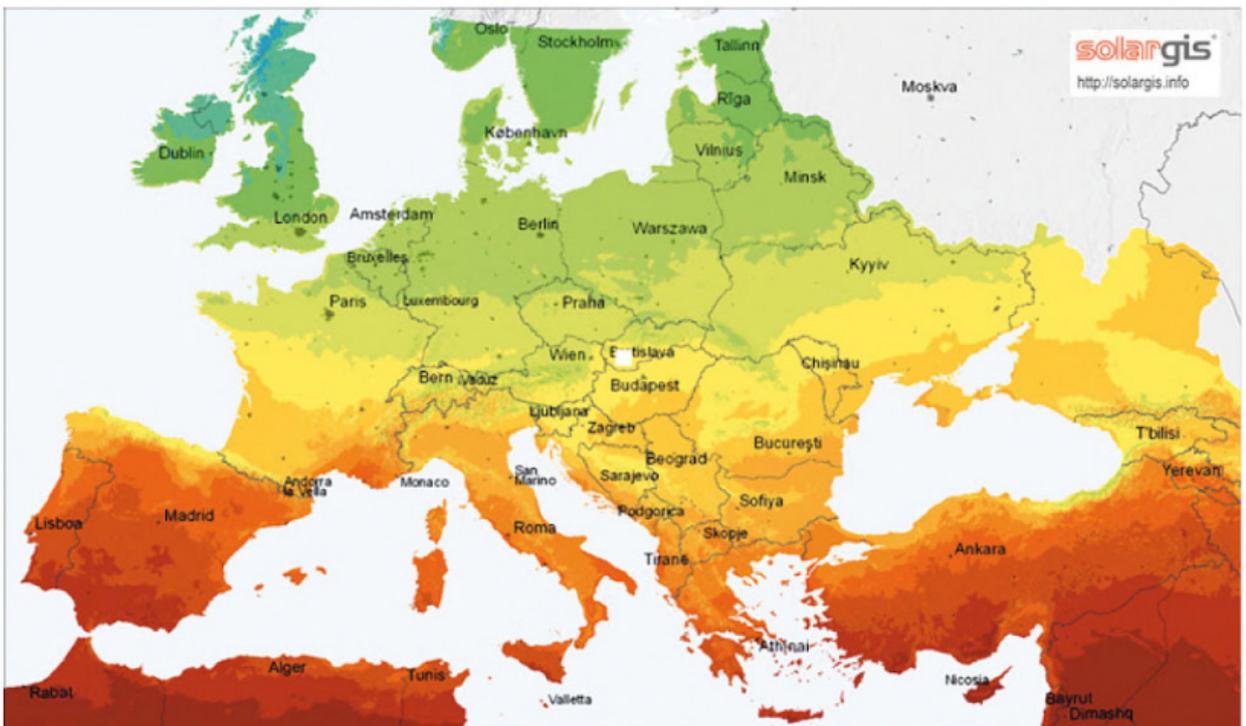
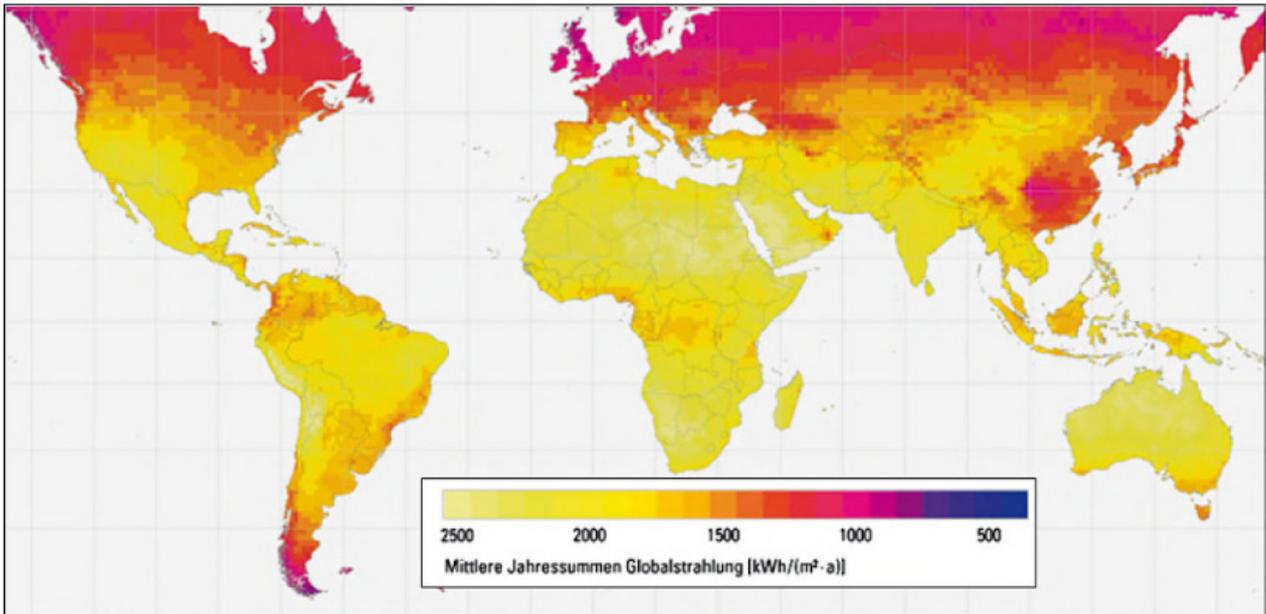
Die Grafik zeigt, dass die drei Wirkungsgradkurven sehr unterschiedlich sind. Pro Fläche ist insbesondere, wenn höhere Temperaturen benötigt werden (Heizungsunterstützung, industrielle Prozesswärme) der Vakuum-Röhrenkollektoren am effektivsten. Allerdings kostet er pro Einheit/kWp auch deutlich mehr als der Flachkollektor. Die Wahl der „optimalen“ Technologie hat also sowohl mit der Flächenverfügbarkeit als auch den Wirtschaftlichkeitserwartungen zu tun.

Den lageunabhängig höchsten Ertrag pro Kollektorfläche haben Kombimodule, die sowohl solarthermisch Warmwasser als auch photovoltaisch Elektrizität erzeugen. Nicht nur wird der Wärme- und Elektrizitätsertrag kombiniert, sondern durch die Wärmeabfuhr werden auch die PV Module gekühlt, was zusätzlich für geringere Umwandlungsverluste sorgt.

3.6.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede

Der wichtigste lageabhängige Ertragsfaktor bei der Solarenergie ist die Stärke und Intensität der Solarstrahlung, d.h. die Anzahl und Stärke der Sonnenstunden pro Jahr. Diese Zeitmenge nimmt nördlich und südlich des Äquators ab. Hierzu eine Global- und Europa-Übersicht:

Karte 5: Unterschiede der solaren Globalstrahlungsstärke weltweit und in Europa



Quelle: (Mertens 2015, S. 49)

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

Die Karten zeigen die Verteilung und die Lagen der unterschiedlichen Strahlungsstärken. Sie bewegen sich global zwischen 500 und 2500 kWh pro Quadratmeter und Jahr bzw. in Europa zwischen 700 (Schottland) und 1800 kWh (Sizilien, Griechenland, Südspanien) pro Quadratmeter und Jahr.

Der Energieertrag ergibt sich aus der Strahlungsstärke, multipliziert mit den Sonnenstunden pro Jahr. Hierzu gib es sehr gute Simulations- und GIS Grundlagen. Zur Illustration dazu nochmals Ertragswerte, die sich nur durch die Lage, aber nicht durch die Anlageneigenschaften der Leistung und Ausrichtung der Kollektoren (die hier gleich belassen wurden) unterscheiden.

Tabelle 11: Standortabhängige Ertragsvarianzen einer PV-Anlage, Leistung 5 kWp

	Energieertrag kWh el/a	Unterschied zum "Optimalstandort" Gibraltar
Edinburgh, Schottland, UK	4.430	-43,06%
Hamburg, Schleswig Holstein, DE	4.530	-41,77%
Paris, FR	4.910	-36,89%
München, Bayern, DE	4.950	-36,38%
Waidhofen an der Thaya, nördl. Waldviertel, AT	4.690	-39,72%
Villach, Kärnten, AT	5.450	-29,95%
Rom, IT	6.840	-12,08%
Gibraltar, Südspanien, ES	7.780	

Quelle: Eigene Berechnungen unter Verwendung des Web-Tools PV potential estimation utility (Joint research centre, Institute for Energy and Transport (IET) 2017)¹³. Unveränderte Parameter der Referenzanlage: PV Leistung 5 kWp, fix montiert, gebäudeintegriert, vertikale Neigung optimiert, horizontale Ausrichtung Süd.

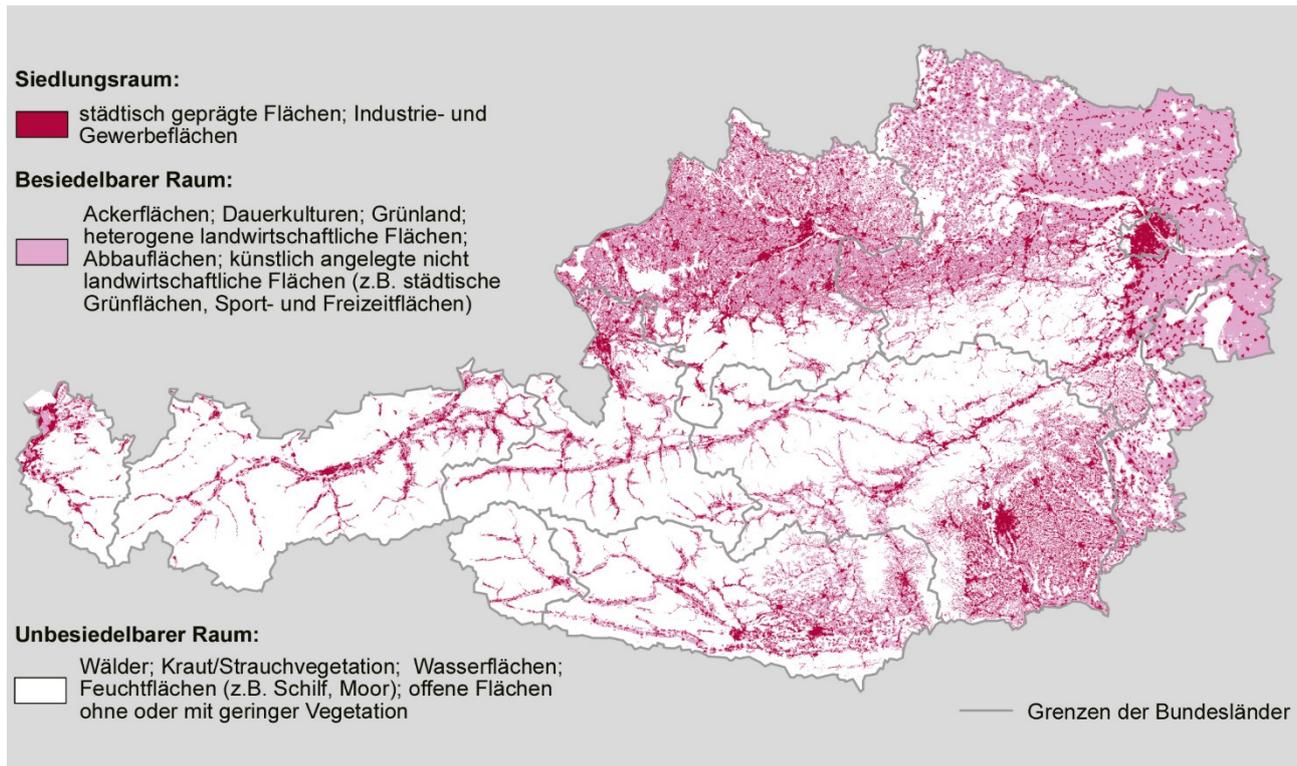
Die Ertragsunterschiede photovoltaischer elektrischer Energie in kWh el pro Jahr variieren somit nach dieser Modell-Tool-Berechnung innerhalb von Europa um 43 %, innerhalb von Österreich (aufgrund der geringen Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 290 km) nur um 10 %.

3.6.6. Räumlich bedingte Potenzialertragsunterschiede in Österreich

Die nachfrageseitigen Potenzialertragsaspekte sind weniger gleichförmig im Raum verteilt als die Solarstrahlung. Aufgrund der Lagen und der Verteilung des Dauersiedlungsraumes in Österreich haben solare Großanlagen (sowohl für Solarthermie als auch für Photovoltaik) außerhalb der alpinen Regionen – aufgrund der größeren horizontalen Freiflächenpotenziale und der höheren Energiedichte der Nachfrage – ein höheres und leistungsstärkeres Umsetzungspotenzial als innerhalb der „engen“ alpinen Täler. In der folgenden Karte sind diese Lageunterschiede sehr klar erkennbar.

¹³ Die zugrundeliegende Einstrahlungsdatenbank Climate-SAF PVGIS führt keine Records nördlich und südlich der hier verwendeten Beispiele. Das ist aber für die vergleichende Zusammenschau unerheblich, denn Edinburgh und Gibraltar liegen bereits in der energieertragsschwächsten bzw. -stärksten Lageklasse.

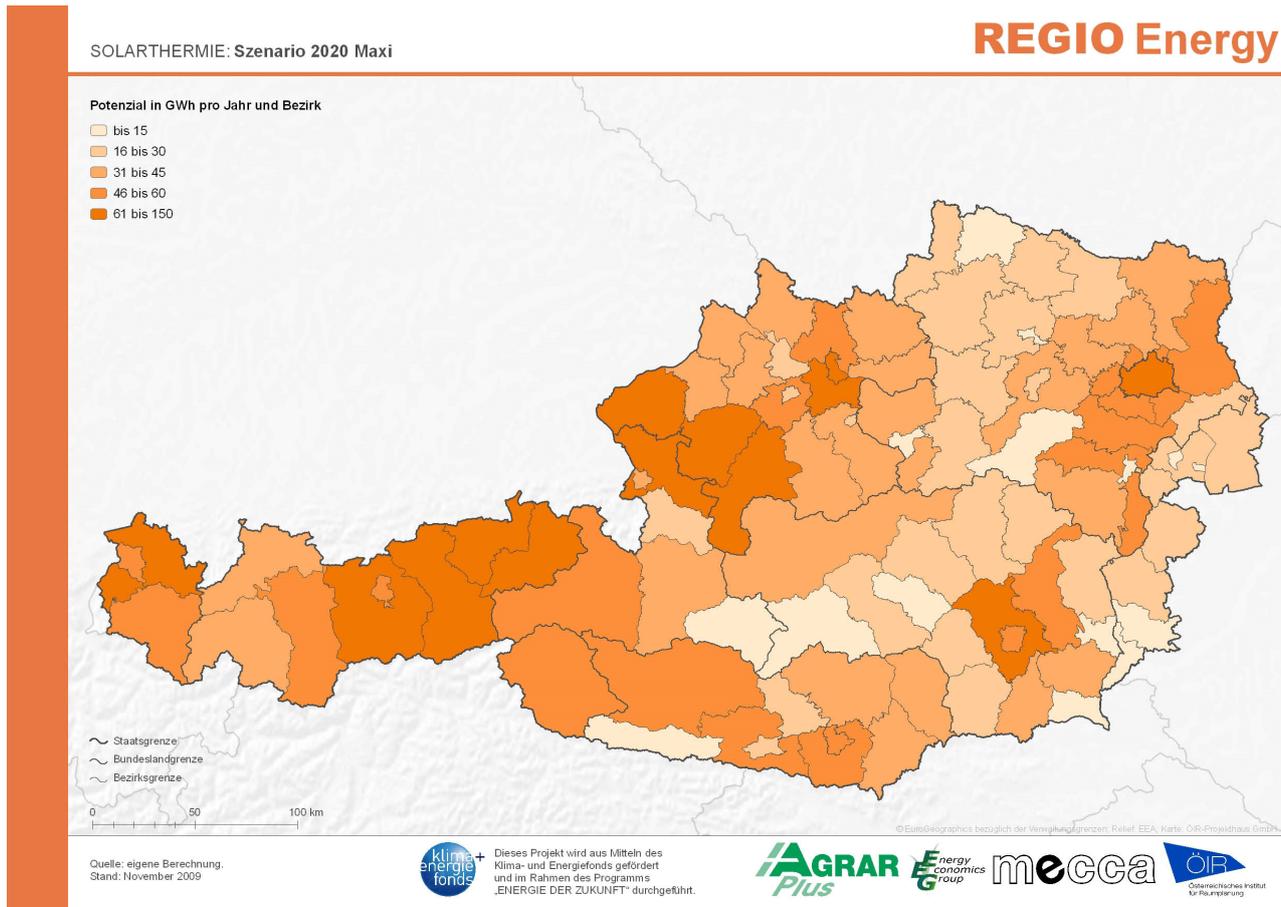
Karte 6: Siedlungsräume, besiedelbare und nicht besiedelbare Räume in Österreich



Quelle: (Wonka 2008)

Beim künftigen realisierbaren Potenzial für Solarthermie und Photovoltaik werden auch Netzkoppelungs- und Abnahmebedingungen bei Wärme und Elektrizität eine Rolle spielen. Die Photovoltaik kann an jedem Stromnetzknotten fast lageunabhängig Elektrizität einspeisen, während sowohl Groß- als auch Kleinanlagen der Solarthermie am wirtschaftlichsten in der Nähe hoher Abnahmedichten oder in der Nähe von bestehenden Nah- und Fernwärmenetzen betreibbar sind. Die folgende Abbildung (Projekt RegioEnergy) zeigt auf Bezirksebene klar diese städtisch-dicht geprägten solarthermischen Potenzialschwerpunkte. Im räumlichen Modell des Projektes RegioEnergy wurde bei der Abschätzung der realisierbaren Potenziale auch berücksichtigt, dass Solarthermie und Photovoltaik in einer Produktionskonkurrenz auf gleichartigen Dach- und Freilandflächen stehen. Die Flächenanteile wurden zu 50 % zur Solarthermie und zu 50 % für Photovoltaik angenommen.

Karte 7: Solarthermiepoteziale im Szenario „Maxi 2020“, Projekt RegioEnergy



Quelle: (Stanzer, G. et al 2010, S. 120)

3.6.7. Flächenbedarfe

Der Flächenbedarf von Solarenergieanlagen besteht aus unterschiedlichen Anteilen. Gemessen an der gesamten Energiepotenzialfläche machen die horizontal „versiegelten“ Flächen bei Freiflächen-Anlagen (etwa die Fundamente der Kollektoren-Masten) nur einen sehr kleinen Teil des gesamten Flächenbedarfes aus. Zusätzlich benötigen die Zufahrtswege, Gebäude und Anlagen der Transformatoren und Gleichrichter ebenfalls Flächen. Bei der Bauweise mit aufgeständerten Kollektoren sind außerdem „Abstandsflächen“ zwischen den Kollektoren nötig, damit sich die Kollektoren nicht gegenseitig verschatten, was energieertragsmindernd wäre.

Bei gebäudeintegrierten Anlagen (Dach- und/oder fassadenintegriert) ist der Flächenbedarf geringer als bei Freilandanlagen, weil die Zufahrtswege entfallen bzw. Anlagenkomponenten direkt im Gebäude untergebracht werden können. Dadurch findet gar keine zusätzliche Flächeninanspruchnahme statt. Gebäudeintegrierte Anlagen können auch vollflächig, etwa vertikal auf Fassaden oder schräg auf Dächern installiert werden. Weiterer Flächenbedarf entsteht über den Platzbedarf der Speicheranlagen, bei der Solarthermie wird durch den zeitlichen Unterschied zwischen Wärmeangebot (Mittagsspitze) und Nachfrage (Morgen- und Abendspitze) unbedingt ein Puffer-Speicher benötigt (meist ein Wassertank), bei der Photovoltaischen Stromerzeugung ist dies nicht unbedingt nötig, weil lokal zeitlich nicht „nutzbarer“ Strom in das Elektrizitätsnetz eingespeist werden kann.

3.6.8. Anlagenbeispiele nach Flächenertrag der Energieproduktion

Die folgende Tabelle zeigt Zahlenwerte zu den hier genannten Flächenbedarfen und den jeweiligen Energieerträgen verschiedener Solarenergieanlagen aus dem Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energien. Die Records sind absteigend nach dem Energieertrag pro Fläche sortiert, zunächst werden Anlagen der Photovoltaik, danach Anlagen der Solarthermie gezeigt. „Fläche“ steht hier für die Werte der gesamten horizontalen Energiepotenzialfläche. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Kollektorflächen und der Gesamtfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

Tabelle 12: Anlagenbeispiele Photovoltaik nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Name, Lage	Typ	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW el)	Energie (Mwh el/a)	m ² /kWh el/a	kWh el/m ² /a	Rechn. Volllastst. (h/a)
Smart flower, Rom, Italien	Solar-energie	Photovoltaik, mobile Einzelanlage mit 2-achsiger Nachführung, für Freiflächen	gut	0,003	0,00231	5.1	0,00588	170	2.208
"Simon", Ökostrom-PV-Kleinstpaneel, Wien, Österreich	Solar-energie	Photovoltaik, mobiles Kleinstpaneel, vollflächig (Neigung und Ausrichtung variabel)	gut	0,000119	0,00015	0,133	0,00895	112	887
Tesla Solarpark Ta'u Island, American Samoa	Solar-energie	Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Akkuspeicher	gut	1,95	1,4	1.801	0,01083	92	1.286
Solar Energy Generating Systems (SEGS), Mojave Wüste, Kalifornien, USA	Solar-energie	Elektrizität, Freiflächenanlage, Wärme-Parabolspiegel-Sammler	gut	647,5	361	539.000	0,01201	83	1.493
Passiv-Bürohaus SOL 4, Mödling, Österreich	Solar-energie	Photovoltaik, gebäudeintegriert (Fassaden)	gut	0,0215	0,02805	15,67	0,01372	73	559
PV-Kraftwerk, Kagoshima, Japan	Solar-energie	Photovoltaik, schwimmende Kollektoren	gut	110	70	78.800	0,01396	72	1.126
Audi AG Photovoltaik, Neckarsulm, Deutschland	Solar-energie	Photovoltaik, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren	gut	2,7	1,9	1.800	0,015	67	947
Lieberose PV Park, Freiflächenanlage, Brandenburg, Deutschland	Solar-energie	Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Dünnschicht-modul-Kollektoren (daher ca. 50 % Flächenertrag vs. anderen PV Anlagen mit Silizium Kollektoren)	gut	162	52,79	52.000	0,03115	32	985

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

Tabelle 13: Anlagenbeispiele Solarthermie nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Name, Lage	Typ	Unter-Typ	Datenqualität	Fläche (ha)	Leistung (MW th)	Energie (MWh th/a)	m ² /kWh th/a	kWh th/m ² /a	Rechn. Volllastst. (h/a)
Solaranlage Fernheizwerk/AEVG Gelände, Graz, Österreich	Solar-energie	Solarthermie, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend, kein Speicher	Fragwürdig (sehr hoher Flächen-ertragswert th.?)	0,496	1,78	1.600	0,0031	322	899
Solarthermie-Kleinanlage, Wien, Österreich	Solar-energie	Solarthermie, Schrägdach-Anlage vollflächig, Kleinanlage auf einem Einfamilienhaus	gut	0,00092	k.A.	2.131	0,00432	232	k.A.
Solarwärme bei Fleischwaren Berger, Niederösterreich, Österreich	Solar-energie	Solarthermie, für Ind. Prozesswärme, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren (Parabolrinnen), 60 m ² Speicher	gut	0,214	0,65	489	0,00438	229	752
Solaranlage Vojens Fjernvarme, Dänemark	Solar-energie	Solarthermie, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Saisonspeicher in künstlichem See (200.000m ³), Fernwärmeunterstützung für Haushalte, Schulen und Industriegebäude	gut	23	49	28.000	0,00821	121	571
Almere Solar Island, Niederlande	Solar-energie	Solarthermie, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend, keine Inf. über Speicher	gut	2,36	4,9	2.472	0,00955	105	505

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.6.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast- und Spitzenlastversorgung

Da die Intensität und Dauer der Solarstrahlung unregelmäßig und schwer vorhersehbar erfolgen kann, ist die Regelfähigkeit der Solarenergie (im Sinne einer zeitlich genauen Bedienung von Nachfragespitzen und -tälern) ohne geeignete Speicher- und Verteilungsinfrastruktur nur sehr bedingt, etwa durch An- oder Abschalten möglich. Dies gilt für alle solaren Endenergieformen, also die photovoltaische Elektrizität, die Warmwasserbereitung, die Kälteerzeugung oder Mischformen aus diesen Endenergiearten.

Wirtschaftlich, netz- und effizienztechnisch besonders attraktiv ist es, wenn die lokale Menge der Energienachfrage dem zeitgleich umwandelbaren solaren Angebot entspricht, weil dann (und ohne Speicher NUR dann) die Energie ohne „Abgänge“ in das Netz genutzt werden kann. Bei Strom-Nachfrage über Mittag, die mit keinen oder geringen Verlusten zwischen Produktions- und Nachfrageort genutzt werden kann, wird der „volle“ Endenergiepreis fällig, der meist höher liegt als der Einspeisetarif. Bezüglich der optimierten Entfernungen zwischen Solarenergieerzeugung und der Wärme- oder Elektrizitätskonsumation sind deutliche räumliche Unterschiede gegeben, weil Elektrizität prinzipiell sehr gut in das die Erzeugungsanlage umgebende Stromnetz abfließen kann, hingegen sind Wärme und Kälte erheblich schwerer über längere Entfernungen speicher- und transportierbar.

In Mittel- und Nordeuropa ist die solarthermische Wärmenutzung dann besonders effizient, wenn das erreichbare (niedrige) Temperaturniveau ausreicht und die Nachfrage zeitlich passend (oder zu mindestens nicht komplett gegenläufig) zum Angebot ist. Dies ist nicht nur beim Haushalts-Warmwasserbedarf der Fall, sondern auch bei Sportanlagen, Hotels, Krankenhäusern, und auch bei der Fernwärmeunterstützung und div. Prozesswärmebedarfen in der Industrie. Weitere Möglichkeiten sind das direkte Lufttrocknen von Stoffen (z.B. Biomasserohstoffen) und auch das solare Kühlen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 174). Solares Kühlen ist wirtschaftlich attraktiv, weil Nachfrage und Angebot zeitlich ideal zur Mittagsspitze zusammenfallen.

Liegen Energienachfrage und solares Angebot zeitlich auseinander, ist die Situation genau umgekehrt, der mögliche Ausnutzungsgrad hängt dann sehr von der Kapazität und Leistung der Speicher ab. Kleine Warmwasserspeicher können Warmwasser einige Tage lang speichern. Bei einer Warmwassernachfrage von 50 Litern pro Person braucht ein 4-Personenhaushalt 8 m² Solarthermiekollektoren und einen Speicher mit 250 bis 500 l Volumen, um 50 bis 65 % der Warmwassernachfrage decken zu können (Kaltschmitt et al. 2014, S. 169). Große Saisonspeicher, die die Sommerwärme (auch für größere Siedlungen, nicht nur für einzelne Wohnungen) bis in den Winter speichern können, sind anlagentechnisch noch eher selten.

Um optimierte Verhältnisse zwischen der Grundlast- und Spitzenlastversorgung zu erzielen, müssen Leistung und Arbeit der Solaranlagen und die Systemgrenze der Nachfrage aufeinander abgestimmt werden. Eine interessante und auch wirtschaftlich attraktive Möglichkeit ist dabei auch die solare Fernwärmeunterstützung, d.h. das solare Vorwärmen des Wassers, das dann unter dem Einsatz anderer regenerativer oder nicht regenerativer Energieträger auf das benötigte Temperaturniveau angehoben wird. Solare Nahwärmesysteme gibt es mit und ohne Langzeitwärmespeicherung und mit Zwei- und Vierleiternetz (d.h. mit gemeinsamer oder getrennter Heiz- und Warmwasserwärmeverteilung (Kaltschmitt et al. 2006, S. 172).

3.6.10. Skalierbarkeit der Anlagenleistung und -arbeit

Die aus der Solarstrahlung umwandelbare Energiemenge, unabhängig von der Endenergieform (Wärme, Kälte, Elektrizität oder Kombinationen), ist direkt proportional zur Kollektorgröße. Insbesondere bei PV-Kollektoren existieren nahezu alle Größenformen, von mobilen Kleinstkollektoren (um Mobilgeräte zu laden) bis zur PV-Großanlage auf großen Flachdächern oder im Freiland. Durch die Ertragsproportionalität zur Kollektorgröße ist eine sehr variable Größenskalierbarkeit der Anlagen möglich. Limitiert wird die Anlagengröße daher vor allem über das mobilisierbare Flächenangebot, aber auch nach der gewünschten nachfrageoptimierten Energieleistung und -arbeit, häufig auch über die Toleranzgrenzen der visuellen Veränderung des Orts- oder Landschaftsbildes durch eine Solarenergieanlage.

Es gibt Größenklassen, die bei bestehenden Anlagen wesentlich häufiger vorkommen als andere. Im Bereich privater Kleinanlagen in vollflächiger Aufdach-Bauweise, sehr häufig auf einzelnen freistehenden Einfamilienhäusern, sind solarthermische oder photovoltaische Kollektorgrößen von 10-40 m², bei einer thermischen und/oder elektrischen Leistung von etwa 5 bis 10 kW, sehr verbreitet, weil diese Baugrößen gut zum Flächenangebot dieser Gebäude, aber auch zur Nachfragemenge an Wärme und/oder Elektrizität passen.

Großanlagen der solarthermischen Stromerzeugung (Parabolrinnen- und Solarturm-Kraftwerke) haben typische Anlagen-Spitzenleistungen von 20-100 MW. PV-Kraftwerke haben eine sehr große Leistungsbandbreite von wenigen kW bis zu mehreren Hundert MW, im Freiland auch deutlich darüber im ein- bis zweistelligen MW Bereich (Kaltschmitt et al. 2014, 810f), dies gilt ebenso für solarthermische Großkraftwerke. Bei Ihrer Dimensionierung spielt ebenfalls das verfügbare Flächenangebot und die meist in Wärmenetze eingespeiste, gewünschte Wärmeleistung und -arbeit eine Rolle.

3.6.11. Flächenkonkurrenzen

Wie stark nicht-energetische Flächennutzungen durch die Solarenergie-Anlagen konkurrenziert werden, hängt stark von der Bauform ab. Dach-, Gebäude- und fassadenintegrierte, vollflächig befestigte Kollektoren nehmen keine zusätzlichen Flächen in Anspruch, sondern „nutzen“ bestehende Gebäudeflächen. Dadurch konkurrenzieren sie auch keine anderen Flächenfunktionen dieser Gebäude.

Bei Photovoltaik- oder Solarthermieanlagen im Freiland (aufgeständerte Kollektorenfelder) ist die Flächenbelegung nach den versiegelten und unversiegelten Anteilen zu unterscheiden. Die versiegelten Teile, etwa die Fundamente der Aufständungen, benötigen nur einen sehr kleinen Teil der gesamten horizontal belegten Fläche (Kaltschmitt et al. 2006, S. 268).

Der Grad der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und/oder zur Produktion nachwachsender Rohstoffe hängt davon ab, in welchem Ausmaß diese Produktionsfunktionen nach dem Zubau der Solarenergieanlagen verändert wird oder nicht. Der energetisch-landwirtschaftliche Kombibetrieb in „Etagenwirtschaft“ scheint möglich zu sein, im Zuge der empirischen Recherchen konnten aber keine existierenden Anlagen gefunden werden, die beide Ertragsformen nutzen, etwa Viehwirtschaft- und Grünlandnutzung oder landwirtschaftliche Produktion unter aufgeständerten Kollektoren – auch das Fahren mit landwirtschaftlichen Maschinen zwischen den Kollektoren-Ständern ist schwer möglich.

Daher gilt im Regelfall, dass Solarenergieanlagen, wenn sie auf landwirtschaftlichen Flächen errichtet werden, sowohl die Nahrungsmittelproduktion als auch die Produktion nachwachsender Rohstoffe weitgehend verdrängen können, was einer starken Flächenkonkurrenz entspricht. Genauer gesagt hat der Grad der Konkurrenzierung etwas damit zu tun, ob die landwirtschaftliche Bearbeitbarkeit trotz der Kollektoren-Bauten überhaupt erhalten bleibt (oder inwieweit die Fruchterträge reduziert werden). Geringer ist die Flächenkonkurrenz ausgeprägt, wenn Freilandflächen genutzt werden, auf denen auch vor Errichtung der Solaranlage gar keine Produktionsfunktion aktiv war, etwa bei landwirtschaftlichen Brachen, oder auch bei Böschungen an Straßen und Schienen.

Auch der Grad der Konkurrenzierung der kleinräumigen Erholungsfunktion und der großräumigen Tourismusfunktion der durch Solarenergieanlagen belegten Flächen ist nicht generell einheitlich abschätzbar, sondern lageabhängig. Hier gibt es viele Variantenabstufungen zwischen 2 Extremen:

- Verliert die Fläche durch den Zubau der Solaranlage Ihre Naherholungs- oder Tourismusfunktion und -qualität vollständig, ist die Flächenkonkurrenz als sehr hoch einzustufen;
- Liegen Naherholungs- und Tourismusfunktion und die Solaranlage weit auseinander, ist die Konkurrenzwirkung als sehr gering einzustufen.

Ebenfalls schwierig ist die Konkurrenzeinschätzung der Solaranlagen zu anderen Flächenfunktionen, nämlich zur Wohnfunktion, und zur Sachgüter- und Dienstleistungsproduktion. Dieses Konkurrenzverhältnis ist grundsätzlich als „keines“ einzustufen, weil große Solaranlagen im Freiland meist nicht auf gewidmeten Flächen der Nutzungskategorien Bauland, Wohngebiet, Betriebs- und Industriegebiet stehen.

Große Solaranlagen im Freiland können auch andere erneuerbare Energieformen konkurrenzieren, die auf diesen Flächen realisiert werden könnten, wenn es ein „entweder-oder“ ist. Dazu gehören insbesondere biogene Rohstoffe, die ebenfalls pro Energiemenge große Flächen benötigen, und die der Nahrungsmittelproduktion ebenso wie der energetischen Verwertung dienen können, wie Mais, Getreide, Stroh, Raps oder andere Korn- und Ölsaaten.

Im Fall einer „Etagenwirtschaft“ wären große Solarenergieanlagen im Freiland mit anderen erneuerbaren Energieformen wie der Windkraft und der seichten und tiefen Geothermie kombiniert. Auch hierzu konnten bei den Recherchen zum Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen keine Beispiele gefunden werden, bei denen die jeweiligen Flächenanteile mehrerer erneuerbarer Energieträger und deren spezifische Energieerträge dokumentiert wären.

Die folgende Tabelle fasst die Flächenkonkurrenzaspekte tabellarisch zusammen, und erklärt schlagwortartig, wodurch der Konkurrenzgrad bedingt ist.

Tabelle 14: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Solarenergie (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen

Konkurrenzgrad:

keine	gering	indifferent	mittel	hoch
-------	--------	-------------	--------	------

Indifferent = Der Konkurrenzgrad kann verschiedene Ausprägungen (von „keine“ bis „hoch“) einnehmen

Ern. Energieart und End-energieform	Wohnfunktion	Orts- und Landschaftsbildfunktion	Naherholungsfunktion	Großräumige Tourismusfunktion	Sachgüter- und Dienstleistungsfunktion	Nahrungsmittelproduktion	Andere erneuerbare Energieproduktion
Gebäudeintegrierte Photovoltaik oder Solarthermie	keine	Ortsbildbeeinflussung abhängig von Sichtbarkeit der Kollektoren	keine	keine	keine	keine (weil nicht auf Lebensmittel-Ertragsböden)	keine
Photovoltaik- oder Solarthermiekraftwerke, Freiland, aufgeständerte Kollektoren	keine (weil nicht auf Bauland)	deutliche visuelle Veränderung des Landschaftsbildes	Nach Größe der Anlage kann Konkurrenz entstehen	Nach Größe der Anlage kann Konkurrenz entstehen	keine (weil nicht auf Betriebsgebieten)	Ertragsminderung bis Verlust der Funktion	abhängig davon, mit was kombiniert wird (zu Windkraft und Biomasse: Konkurrenz, zu Geothermie: keine Konkurrenz)

Quelle: Eigene Darstellung

3.6.12. Umweltwirkungen der Solarenergieproduktion

Die Umweltwirkungen der Solaranlagen lassen sich nach den Bereichen Herstellung, Betrieb und Betriebsende unterscheiden. In der Herstellung der PV- und ST-Module kommen mittlerweile immer weniger umweltbelastende Stoffe zum Einsatz, allerdings werden nach wie vor seltene Erden (Wang et al. 2011) und andere Stoffe benötigt, die bei Gebäudebränden freigesetzt werden können, etwa Cadmium, Tellur und Selen, deren Emissionen (außer bei sehr langer Branddauer) aber unter den gesundheitsgefährdenden Schwellenwerten liegen. Nach Betriebsende sind v.a. die Glasanteile der Module sehr gut recycelbar, andere Modulkomponenten benötigen aufwändige chemische Trennverfahren, sind aber ebenfalls isolierbar. Im Normalbetrieb der Energieumwandlung emittiert eine Solaranlage nichts, weder CO₂, noch SO_x, noch NO_x oder Feinstaub, auch die Lärmerzeugung während der Wärme- oder Elektrizitätserzeugung ist sehr gering (Kaltschmitt et al. 2006, S. 267).

Bei Freiflächenanlagen kann das Mikroklima geringfügig beeinträchtigt werden, insb. durch die Verschattung, die aber eine zusätzliche (auch extensive) landwirtschaftliche Vieh- und Pflanzen-Nutzung nicht grundsätzlich ausschließt.

Wenn eine monokulturelle landwirtschaftliche Nutzung nach Errichtung einer Solaranlage eingestellt wird, kann aber durch die Biotop-Entstehung auch eine ökologische Verbesserung gegenüber dem früheren Zustand erreicht werden (Kaltschmitt et al. 2006, S. 268). Zusätzliche Verschattungen durch Solaranlagen im dicht verbauten Siedlungsgebiet sind ambivalent einzustufen: Eine Dach-Verschattung kann durchaus einen positiven Mehrwert für die Bewohnerinnen und Bewohner bringen, aber es sind ebenso negative Verschattungseffekte möglich, wenn durch den Schattenwurf die Helligkeit in Innenräumen benachbarter Gebäude reduziert wird.

Zu den positiven Umweltwirkungen von Solaranlagen gehört der emissionsfreie Energieerzeugungsbetrieb, Maßeinheit dafür¹⁴ wären die Emissionsmengen, die gegenüber einer Energieerzeugung aus nicht erneuerbaren fossilen Ressourcen (Gas, Kohle, Öl) bei der Wärme-, Kälte-, und Elektrizitätsproduktion eingespart werden können. Solarenergieanlagen im Freiland können aber auch eine landschaftsschützende Wirkung entfalten. Diese landschaftsschützende Wirkung besteht in einer Erschwerung der Versiegelung, weil die Umwidmung einer solchen Kombi-Fläche in Bauland (mit dem dadurch notwendigen Rückbau der Solaranlage) sicherlich schwerer zu argumentieren ist als die Umwidmung einer „rein“ landwirtschaftlichen Fläche. Dieser Zusammenhang gilt sinngemäß auch für Windparks auf landwirtschaftlichen Flächen.

Eine weitere Umweltwirkung von Solaranlagen ist die visuelle Veränderung der belegten Flächen (Dächer, Fassaden, Freiland). Diese Veränderung kann als negativ empfunden werden, weil der originale Zustand verändert wird. Die visuelle Veränderung ist bei Freiflächenanlagen stärker ausgeprägt als bei der vollflächigen Aufdachvariante, weil Freilandanlagen meist erheblich größer sind als Aufdachanlagen, und durch das „Freistehende“ optisch wesentlich stärker auffallen als Gebäude- und dachintegrierte Solaranlagen. Die Sichtbarkeit von gebäudeintegrierten Solaranlagen kann je nach Orientierung und dem Sichtachsen-Standpunkt zwischen dem Straßenraum und dem Dach oder den Fassaden sehr unterschiedlich ausfallen, von starker visueller „Veränderung“ bis zur „Unsichtbarkeit“.

Das folgende Zitat beschreibt die visuelle Wirkung von Photovoltaikanlagen:

„Fotovoltaikanlagen haben keinen Anschluss an Wahrnehmungsgewohnheiten, sie spiegeln und irisieren, doch liegen sie bei geringer Eigenhöhe mehr oder weniger horizontal in der Landschaft und gelangen nur hier und da ins Blickfeld. Meist befinden sie sich auf Dächern und anderen Bauten, so dass eine sinnvolle Mehrfachnutzung gegeben scheint“
(Deutscher Rat für Landespflege 2006, S. 24).

Der Grad der visuellen Gebäude-, Ortsbild- oder Landschaftsveränderung durch Solarenergieanlagen hängt über die Sichtbarkeit, wie im obigen Zitat beschrieben, stark vom Regelwerk und den einzuhaltenden Sichtbarkeitslinien und Mindestabständen ab, die bei der Genehmigung einer Solarenergieanlage angewandt wurden (oder eben auch nicht angewandt wurden). Die Beachtung solcher Sichtbeziehungen und Belichtungsverhältnisse kann jedenfalls zu den „Qualitätskriterien energieautarker Siedlungsstrukturen“ (Voigt et al. 2015, S. 103) gerechnet werden.

Nach dem Betriebsende können viele Bauteile der Solarenergieanlagen recycelt werden. Zusammenfassend sind die negativen Umweltauswirkungen des Betriebes von Solarthermischen und photovoltaischen Anlagen als gering einzustufen (Kaltschmitt et al. 2006, S. 188-190). Mit Ausnahme der fix fassadenintegrierten Kollektoren sind die beschriebenen Anlagen weitgehend rückstandsfrei wieder demontierbar – dies erlaubt die Wiederherstellung des ursprünglichen Flächenzustandes.

¹⁴ Dies gilt ebenso für die Gebäude- fassaden- und Dachintegrierten Solarenergie-Bauformen

3.6.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m²/kWh/Jahr“

Zu den flächenspezifischen Energieerträgen aus der Solarenergie sind folgende Erkenntnisse möglich:

Die Forschungsfrage: „Wie hoch ist der Flächenbedarf (m²/kWh/Jahr) ausgewählter erneuerbarer Energien (Windkraft, div. Biomassen, Solarenergie, Geothermie), und was macht die standörtlichen Energie-Ertragsvarianzen aus?“ konnte durch die Anlagenbeispiele gut beantwortet werden. Dies hatte folgende Gründe:

- Die Energiepotenzialflächen waren aus Luftbildern sehr gut messbar. Ein häufiger Fall: Kollektorenfelder plus Abstandsflächen=gesamter Flächenbedarf;
- Die Datenqualität der Records ist häufig gut, dokumentiert sind dann sowohl Leistungs- als auch Energiewerte der Anlagen.
- Es gibt mehrere Online-Tools (u.a. Joint research centre, Institute for Energy and Transport (IET) 2017), mit denen Solarenergie-Ertragswerte modelliert oder abgeschätzt werden können, wenn etwa nur die Leistung der Anlage, nicht aber deren Energieertrag bekannt ist.

Unter den mit „guter Datenqualität“ eingestuften Records bewegen sich die flächenspezifischen Energieerträge bei der Photovoltaik zwischen 65 und 170 kWh/m²/a und bei der Solarthermie zwischen 100 und 230 kWh/m²/a.

Aufgrund der geringen Nord-Süd-Ausdehnung Österreichs variieren die Erträge zwischen dem nördlichen Waldviertel und Südkärnten um nur 10 %, dagegen zwischen den „Ertragsklassen“ von PV Gis Tools zwischen Nordschottland und Nordafrika um 43 %.

Innerhalb der Solarthermie- und Photovoltaik-Records zeigen Anlagen gleicher geografischer Lage, bei denen die Kollektoren „vollflächig“ installiert sind (etwa bei Aufdachanlagen), pro Fläche und Jahr in etwa den doppelten Energieertrag als Anlagen mit fix aufgeständerten Kollektorenfeldern (egal ob im Freiland oder auf Flachdächern).

Die bisherigen zusammenfassenden Erkenntnisse bezogen sich auf Anlagenformen, die in der Praxis bereits häufig im Einsatz sind, also vor allem Vakuumkollektoren bei der Solarthermie und siliziumbasierte Kollektoren bei der Photovoltaik. Darüber hinaus gibt es aber weitere Möglichkeiten, zu denen keine oder zu wenig valide Records gefunden werden konnten – sie wären im Zuge künftiger Forschungen nähere Analysen wert, um Flächenbedarfe und flächenspezifische Energieerträge ermitteln zu können:

- Konzentrator-Systeme (die die Solarenergie auf einen Brennpunkt spiegeln, oder in Parabolrinnen sammeln), diese Bauform wurde in den Katalog-Records nur ansatzweise behandelt;
- Genauere Analysen zu photovoltaischen Anlagen mit Dünnschicht-Kollektoren. Dünnschicht-Kollektoren haben zwar einen geringeren Energieumwandlungsgrad als siliziumbasierte Systeme, kosten aber pro m² Kollektor erheblich weniger als diese;
- Kombi-Systeme, die sowohl solarthermisch Wärme als auch photovoltaisch Elektrizität erzeugen;
- Groß-Anlagen, die über ausreichende Speichermöglichkeiten (etwa: Wassertanks, Sole-Tanks, Stromspeicher, ...) verfügen, um Elektrizität und/oder Wärme über mehrere Tage oder auch saisonal ganzjährig zur Verfügung stellen zu können. Auch diese Speichermöglichkeiten benötigen zusätzliche Flächenbedarfe, die bei der Integration in bestehende oder neue Energiesysteme zu berücksichtigen wären.

3.7. Windkraft

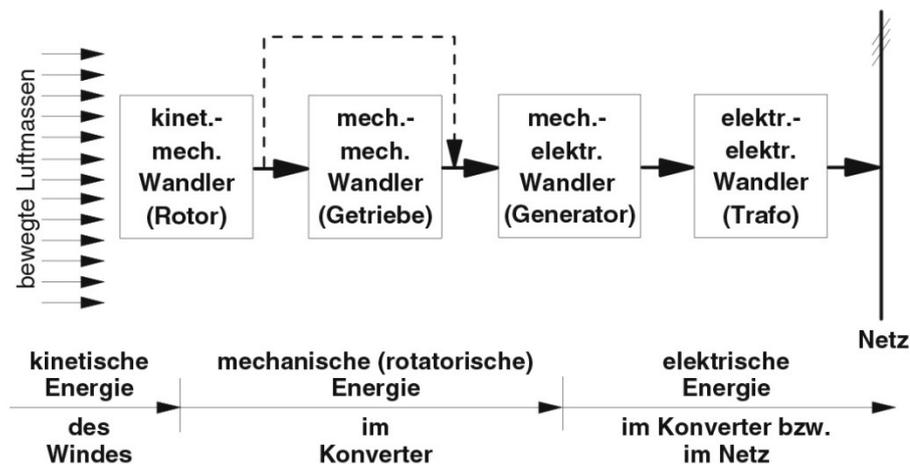
Dieses Kapitel behandelt die Prozesskette der Energieumwandlung, Anlagenarten, lageabhängige und lageunabhängige Faktoren unterschiedlicher Energieerträge (Elektrizität) und im empirischen Teil Anlagenbeispiele verschiedener Windkraftensembles (Einzelanlagen, Reihen- und Clusterformation, Situation onshore, nearshore oder offshore). Danach werden Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen der Windkraft erörtert, und abschließend reflektiert, welche Erkenntnisse zur Forschungsfrage nach dem Flächenbedarf der Energieerzeugung ($\text{m}^2/\text{kWh/a}$) aus der Empirie möglich waren.

3.7.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen

Windkraftanlagen wandeln die kinetische Energie des Windes in einem Konverter („Windrad“) in elektrische Energie um. Ebenso wie bei Biomassen und Solarenergie ist hierbei die primäre Energiequelle die Sonne, weil Wind aufgrund der Reibung zwischen Luftmassen verschiedener Temperatur entsteht. Die bei weitem häufigste Nutzenergieform der Windkraft ist die Elektrizität, auch wenn es noch die „historischen“ Nutzungen in Windmühlen und als Antrieb bei Segelschiffen gibt.

Windkraftrotoren nutzen das Auftriebsprinzip aus der Tragflügeltheorie bei der Umwandlung der Luftströmung in kinetische Energie über die Rotorblätter und die Rotorachse, die dann (mit oder ohne zwischengelagertem Getriebe) im Generator der Turbine nochmals in elektrische Energie umgewandelt wird, um anschließend in das Stromnetz eingespeist zu werden:

Abbildung 31: Umwandlungskette von Windkraftkonvertern

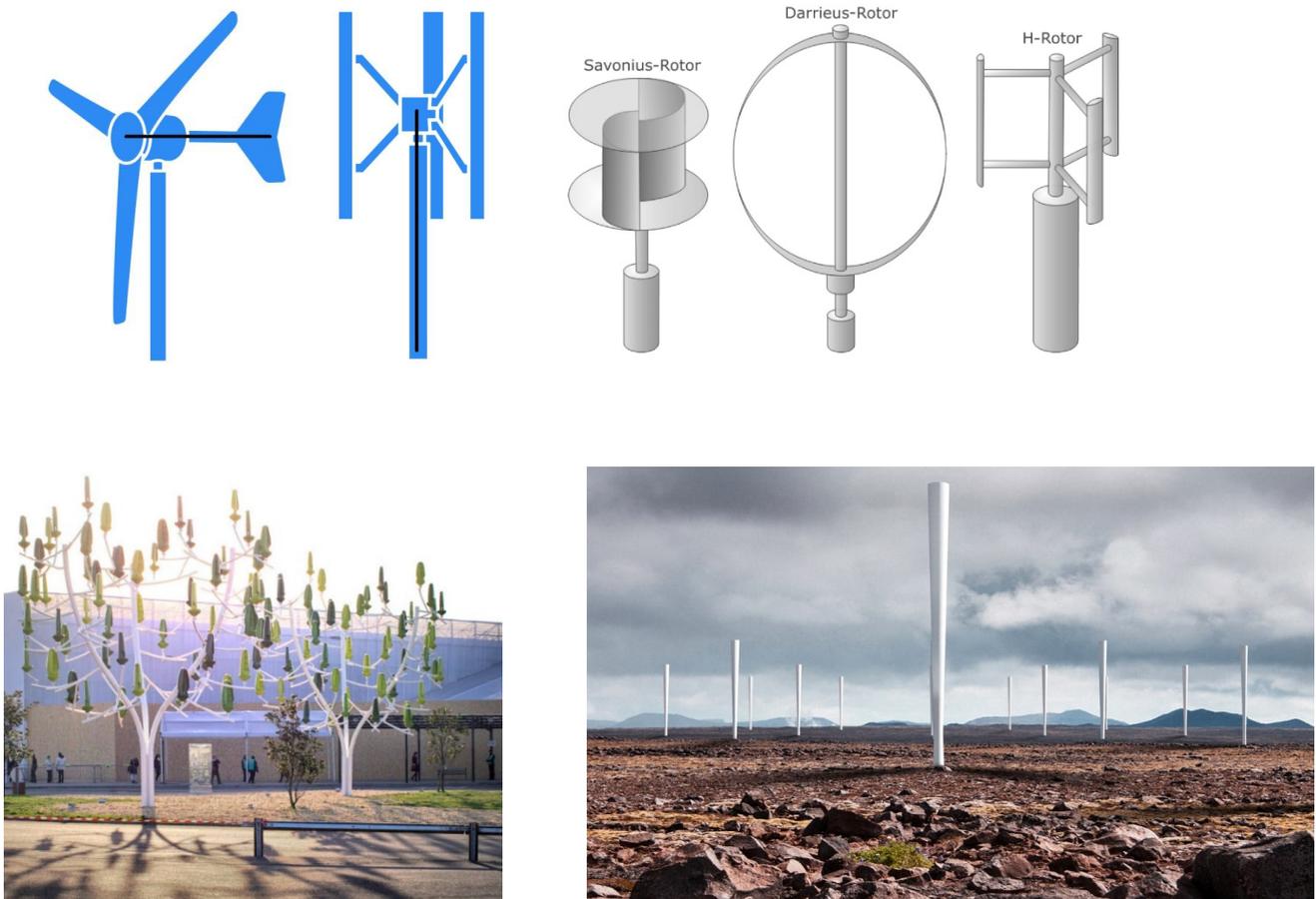


Quelle: (Kaltschmitt et al. 2006, S. 284-294).

3.7.2. Anlagenarten und Bauformen

Es existiert eine Vielzahl von Bauformen und -größen bei Windkraftanlagen. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sind die Anordnung der Achse (vertikal oder horizontal), die Form und Anzahl der Rotorblätter. Weitere Unterschiede betreffen technische Eigenschaften, wie etwa die Art der Netzkopplung und der Sturmsicherung (Kaltschmitt et al. 2006, S. 291-292). In leistungsstarken offshore- und onshore Windparks, aber auch bei einzelnen Windrädern kommen heutzutage fast ausschließlich getriebelose Horizontalachser mit drei Rotorblättern, häufig mit im Mast oder in der Gondel integrierten Elektrizitäts-Transformationsanlagen zum Einsatz. Unabhängig von der Bauweise können alle Windkraftkonverter sowohl als Einzel-Anlagen als auch in Reihen- oder Clusteranordnung (Windparks) betrieben werden.

Abbildung 32: Windkraftkonverter in Vertikal- und Horizontalachsenbauweise



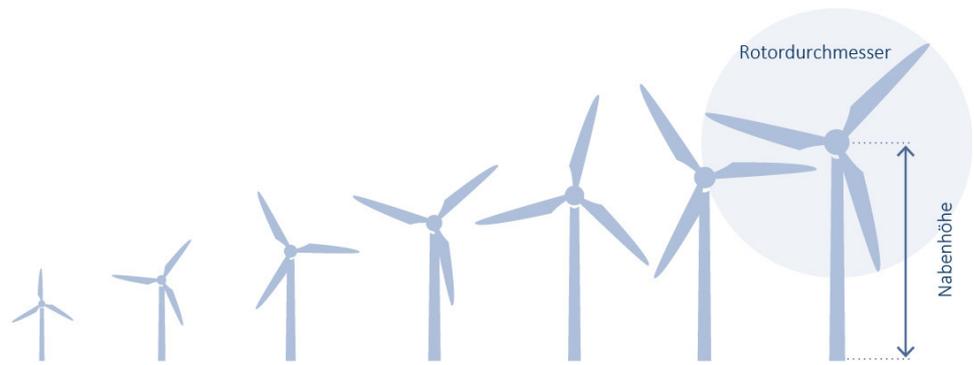
Quellen: (Jüttemann o.J.), (Quaschnig 2015, S. 288), (Michaud-Larivière 2015), (Vortex bladeless company 2017)

Bei den einzelnen, kleinen Windkraftanlagen (oft nur wenige Meter hoch) gibt es drei Haupt-Bauformen, die einzeln, aber auch kombiniert verwendet werden können. Savonius-, Darrius- und H-Rotoren laufen bereits bei wesentlich geringeren Windgeschwindigkeiten an als große Horizontalachsen und können zusätzlich auch schnell wechselnde Windrichtungen besser umsetzen als Großanlagen mit drei Rotorblättern. Dadurch sind sie für den Einsatz im bebauten Gebiet grundsätzlich geeignet, haben aber pro Anlage (und auch pro Fläche) viel geringere Energieerträge als große Windräder. Ein Grund, warum sich bei den Windkraft-Modellen im „Serienbetrieb“ die großen Horizontalachsen mit 3 Rotorblättern durchgesetzt haben, ist auch, dass in dieser Bauform die geringsten schwingungsdynamischen Probleme auftreten, und daher weniger Materialermüdung als bei anderen Bauformen zu erwarten ist (Energie Burgenland o.J.).

In der Fachliteratur ist keine klare Abgrenzung zwischen Groß- und Kleinwindenergieanlagen erkennbar, „Groß“ und „Klein“ kann sich sowohl auf die äußere Größe als auch auf die Leistungsstärke der Anlagen beziehen. Beispielsweise nennt (Latzer 2013, S. 38) als obere Leistungsgrenzen für Kleinwindenergieanlagen 100 kW, mit Sub-Abstufungen von 0 bis 5 kW („Mikrowindenergieanlage“), 5 bis 30 kW („Miniwindenergieanlage“), 30 bis 100 kW (Mittelwindenergieanlagen).

In den letzten Jahrzehnten gab es in Windparks ein deutliches „Größenwachstum“, sowohl der Nabenhöhen, als auch der Rotordurchmesser. Die Bandbreite reicht bei den Nabenhöhen von 20 bis 150 Metern, und bei der Leistung von 30 kW bis 7,5 MW. Dagegen erreichen die vielfältigen anderen „kleinen“ Bauformen der Vertikalachsen (s.o.) meist nur Bauhöhen bis max. 20 Meter.

Abbildung 33: Höhen- und Leistungsklassen von Windenergieanlagen, 1980 bis heute



	1980	1985	1990	1995	2000	2005	heute
Max. Nennleistung (kW)	30	80	250	600	1.500	3.000	7.000
Max. Rotordurchmesser (m)	15	20	30	46	70	90	130
Überstrichene Rotorfläche (m ²)	177	314	707	1.662	3.848	6.362	13.273
Max. Nabenhöhe (m)	30	40	50	78	100	105	150
Max. Jahresenergieertrag (MWh/a)	35	95	400	1.250	3.500	6.900	15.000

Quelle: (Bundesverband WindEnergie o.J.)

3.7.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ

Die folgenden Abbildungen und Daten zeigen Beispiele existierender Windkraftanlagen und -parks aus dem Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen. Diese Beispiele sind nach der räumlichen Lagesituation (Ebene, Berg, Küsten) und nach der Aufstellungsart (einzeln, in Reihe, in Clustern) sortiert. Die unter „Fläche“ genannten Werte beinhalten die versiegelten und unversiegelten Anteile der durch die Windkraftanlagen sicht- und messbar belegten Anteile, was der Summe aus „direkten“ versiegelten Flächenbedarfen (Fundamentflächen, Wartungs-flächen, Zufahrtswege) und den „indirekten“ Flächenbedarfen der Abstandsflächen (egal ob diese aus Grünland oder aus anderen Flächen bestehen) zwischen den Windkraftanlagen entspricht. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen diesen direkten Flächenbedarfen und der gesamten Energiepotenzialfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

Tabelle 15: Windkraftanlagen nach Lage, Typ und Größe

Windkraft in der Ebene (Einzelanlagen, Cluster, Reihen)	
	<p>Name, Lage: Groß-Windräder Potzneusiedl, Burgenland, Österreich Unter-Typ: onshore, Einzelanlage, Ebene Info: 2 Stück 7,5 MW Enercon E126 (dzt. leistungsstärkstes serienmäßig verfügbares Einzel-Windkraftanlagen-Modell der Welt), Baujahr 2011. Größte Windräder Österreichs, Nabenhöhe 135 m. Steht an einer der „windkrafteinträglichsten“ Stellen in Österreich. Fläche (ha): 25 Leistung (MW el): 15 Energie (MWh el/a): 30.000</p>
	<p>Name, Lage: Windpark Neusiedl a. See, Burgenland, Österreich Unter-Typ: onshore, cluster, Ebene Info: 44 Windkraftanlagen (zu je 1,5 und 2 MW), Nabenhöhe 100 m, Fertigstellung 2003. Fläche (ha): 785 Leistung (MW el): 79 Energie (MWh el/a): 166.320</p>
	<p>Name, Lage: Windpark Hagenbrunn, Niederösterreich, Österreich Unter-Typ: onshore, Reihe, Ebene Info: Lage zw. dem Ort Hagenbrunn und der Bundesstraße 7. Standortdaten wenig bis mäßig turbulent, flacher Binnenlandstandort mit mittelmäßiger Bodenrauigkeit. 3 WKA zu 0,64 MW Leistung. Fläche (ha): 10,8 Leistung (MW el/a): 1,92 Energie (MWh el/a): 3.716</p>
	<p>Name, Lage: Giessenwind, Südholland, Niederlande Unter-Typ: onshore, Reihe, an Autobahn Info: Neben einer Autobahn. 3 Stück WKA zu 3 MW Leistung. Baujahr 2017. Fläche (ha): 12,7 Leistung (MW el/a): 9 Energie (MWh el/a): 16.077</p>



Name, Lage: Gansu Wind farm, China (Wüste Gobi)

Unter-Typ: onshore, cluster, Ebene
Info: Größter und leistungsstärkster Windpark der Welt (Stand 2016), Baustart 2009. Die geplante Leistung für 2020 ist 20.000 MW (2016: 7.965 MW). Lage: In der Wüste Gobi. Trotz fragwürdiger Daten- und Quellenlage (sowohl zu Größe, Leistung, Arbeit als auch zur Fläche) „eine Klasse für sich“.

Fläche (ha): 106.731

Leistung (MW el): 7.965

Energie (MWh/a): 15.930.000



Name, Lage: Alta Wind Energy Center, Kalifornien (Mojave-Wüste), USA

Unter-Typ: onshore, cluster, Ebene
Info: 600 Windkraftanlagen, Baujahr 2010. Fragwürdige Daten- und Quellenlage (sowohl zu Größe, Leistung, Arbeit als auch zur Fläche), lt. Datenquellen eventuell zweitstärkster Windpark der Welt.

Fläche (ha): 44.100

Leistung (MW el): 1.547

Energie (MWh/a): 2.680.600

Windkraft auf Berg- und Hügellandschaften (Reihe)



Name, Lage: Windpark Munderfing, Oberösterreich, Österreich

Unter-Typ: onshore, Reihe, Bergkamm
Info: Baujahr 2014. 5 WKA, je 3 MW, Type: Vestas, V112 Nabenhöhe: 140m, Rotordurchmesser: 112m.

Fläche (ha): 150

Leistung (MW el): 15

Energie (MWh el/a): 15.000



Name, Lage: Tauernwindpark, Steiermark, Österreich

Unter-Typ: onshore, Reihe, Bergkamm

Info: 14 WKA, Seehöhe 1.900m, höchstgel. Windpark Österreichs. Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 7 m/s (entspricht in etwa einer Nordsee-Lage). Besonderheit: Große PV-Freiflächen-Anlage am Fuße des Windparks.

Fläche (ha): 52

Leistung (MW el): 23

Energie (MWh el/a): 48.000

Windkraft an Küsten („nearshore“), Reihen und Cluster



Name, Lage: Wind farm Middelgrunden, Copenhagen, Dänemark

Unter-Typ: nearshore, Reihe

Info: 20 WKA (zu 2 MW Leistung), Nabenhöhe 64 m, Rotorendurchmesser 76 m. Baujahr 2000. Besonderheit: „Betonte“ Sichtbarkeit vom Stadtzentrum aus.

Fläche (ha): 69

Leistung (MW el): 40

Energie (MWh el/a): 89.000



Name, Lage: Windpark Noordoostpolder Binnen- und Buitendijk, Niederlande

Unter-Typ: nearshore und offshore, Cluster

Info: 42 WKA zu 3 MW, 29 WKA zu 7,5 MW.

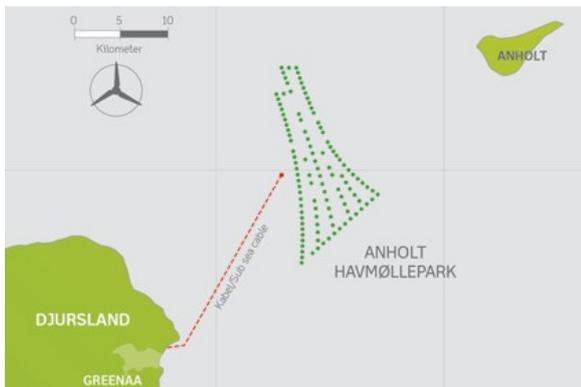
Besonderheit: Situation der WKA-Organisation, die leistungsstärkeren 7,5 MW offshore-Anlagen stehen vor den leistungsschwächeren nearshore Anlagen, dadurch besondere visuelle Prägung der Küstenlinie.

Fläche (ha): 5.700

Leistung (MW el): 344

Energie (MWh el/a): 937.800

Windkraft offshore, cluster



Name, Lage: Anholt Offshore Wind Farm, Dänemark
Unter-Typ: offshore, Cluster
Info: 111 Windkraftanlagen SWT-3.6-120, Baujahr 2013, 20 km Entfernung zur dänischen Küste. Besonderheiten: Einer der leistungsstärksten und größten offshore Windparks Europas, über 4.300 Vollaststunden.
Fläche (ha): 14.700
Leistung (MW el): 200
Energie (MWh el/a): 1.722.000



Name, Lage: London Array offshore wind farm, Nordsee bei Kent, UK
Unter-Typ: offshore, Cluster
Info: Leistungsstärkster Windpark Europas, Baujahr 2011, 11 km vor der Küste von Kent, 175 Windkraftanlagen Siemens SWT-3.6-120.
Fläche (ha): 24.700
Leistung (MW el): 630
Energie (MWh el/a): 2.500.000

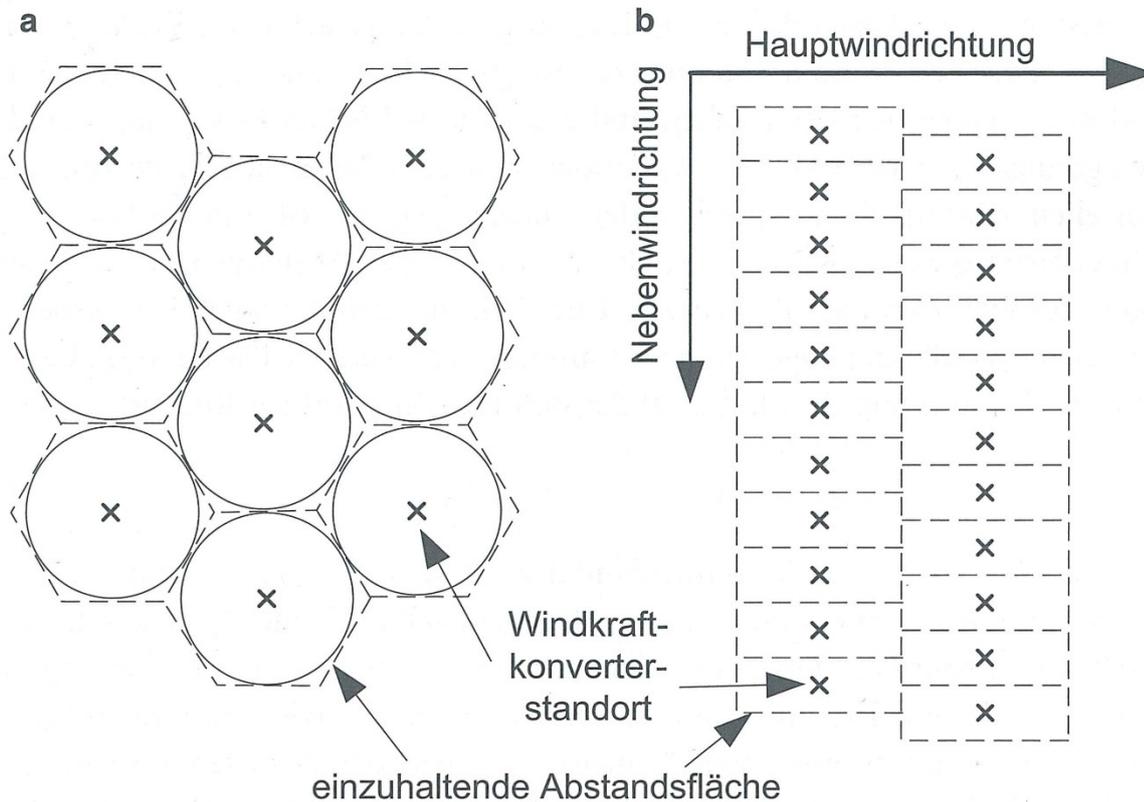
Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.7.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede

Der Umwandlungsgrad der am Markt seriell erhältlichen, am weitesten verbreiteten Windkraftanlagen-Bauform (Horizontalachser, 3 Rotorblätter, Nabenhöhe ≥ 70 m) zwischen der kinetischen Energie des Luftstromes und der elektrischen Energie, die die Windkraftanlage verlässt, beträgt 30 bis 45 % (Kaltschmitt et al. 2006, S. 310). Die kleineren Vertikalläufer-Modelle liegen bei maximal 40 %, haben aber gegenüber den „großen“ Bauformen auch Vorteile, dazu gehört die bessere Eignung für turbulente Windverhältnisse, die geringere Mindestwindgeschwindigkeit zum Anlaufen, geringere Lärmemissionen, die einfache Wartung, die bessere Raumverträglichkeit in dichter bebauten Siedlungsstrukturen und der geringere Schattenwurf ((Amme 2013) und (Jüttemann o.J.)).

Wenn große Windkraftanlagen in Reihen- oder Clusterform organisiert sind, hängt Ihr lageunabhängiger Energieertrag davon ab, ob bzw. wie stark sie sich gegenseitig „verwind-schatten“. Energieertragsspezifisch ist damit der Windschatten gemeint, den eine Anlage gegenüber der nächststehenden verursacht. Je nachdem, ob es dabei eine häufig auftretende Hauptwindrichtung gibt oder nicht, sind die Abstandsregeln sehr unterschiedlich:

Abbildung 34: Abstandsregeln für Windparks mit und ohne Hauptwindrichtung



Quelle: (Kaltschmitt et al. 2014, S. 531)

3.7.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede

Die wichtigsten lageabhängigen Energieertragsunterschiede einer Windkraftanlage ergeben sich aus der Windstärke (m/s) und den Windhäufigkeitszeiten (h/a bestimmter Windstärken) je Standort. Rechnerische Volllaststunden ergeben sich aus dem Jahresenergieertrag dividiert durch die Leistung einer Windkraftanlage. Beispiel: Energie 2.000 (MWh/a) / Leistung einer Windkraftanlage 2 (MW) = 1.000 Volllaststunden (h/a). Trotzdem sagen die rechnerischen Volllaststunden wenig darüber aus, wie oft und wie stark der Windeintrag lokal tatsächlich erfolgt ist, dafür braucht es genauere Messprotokolle.

Lageabhängig ist auch die maximale Abnahmekapazität des an einen Windpark angeschlossenen Stromnetzes. Nicht immer, insbesondere bei plötzlich einsetzenden Starkwind- und Sturmphasen, sind die lokalen 380 KV-Knoten in der Lage, in Echtzeit die sprunghaft ansteigenden Elektrizitätsmengen ohne Überlast (die Folge kann ein lokaler oder regionales Blackout sein) zu transportieren. Viele Windparks verfügen für solche Fälle über automatische Abschaltungsautomatiken.

Ein weiterer lageabhängiger Ertragsunterschied ergibt sich auch aus der Seehöhe, auf der eine Windkraftanlage steht. Mit zunehmender Höhe nimmt auch die durchschnittliche Windgeschwindigkeit über Grund, und somit der Energieertrag einer Windkraftanlage zu. Ebenso wie die Seehöhe bestimmt das Relief, bzw. die „Rauigkeit“ des Geländes die Windturbulenzen. „Rau“ wird das Gelände durch Gebäude, Pflanzen, Berge und Hügel. Ein „idealer“ Windkraftstandort steht möglichst außerhalb dieser Turbulenzen-Gebiete. (Quaschnig 2015, 260f) spricht von mindestens der dreifachen Höhe des Hindernisses als empfohlene Nabenhöhe eines Windrades bzw. bis zur 35-fachen Höhe des Objektes als Horizontalabstand.

Auch die Siedlungsstruktur selbst hat, ähnlich zur „Rauigkeit“, viel mit den Ertragsunterschieden zu tun, weil je nach den lokal gültigen gesetzlichen Auflagen unterschiedliche (meist radial um Siedlungsgebiete gezogene) Mindestabstände einzuhalten sind, die die nutzbaren Potenzialflächen definieren und limitieren. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den sehr unterschiedlichen Windkraftregeln der österreichischen Bundesländer. Das Reglement ist nicht nur bezüglich der Mindest-Horizontalabstände (von „keine Regelung“ bis „1.200m“) sehr unterschiedlich, sondern variiert auch stark nach anderen Faktoren wie der Leistungsklasse der Windkraftanlage oder der jeweils für Windkraftnutzung erlaubten Widmungsart. Das Burgenland hat als Besonderheit eine rechtlich verbindliche Positivzonierungsart, die Eignungszonen. Insgesamt korreliert die Regelungstiefe deutlich mit dem je Bundesland umgesetzten Windkraftpotenzial je Bundesland (s. dazu nächstes Kapitel).

Tabelle 16: Rechtsgrundlagen, Widmungsarten und Abstandsregelungen zu Windkraftanlagen in den österreichischen Bundesländern

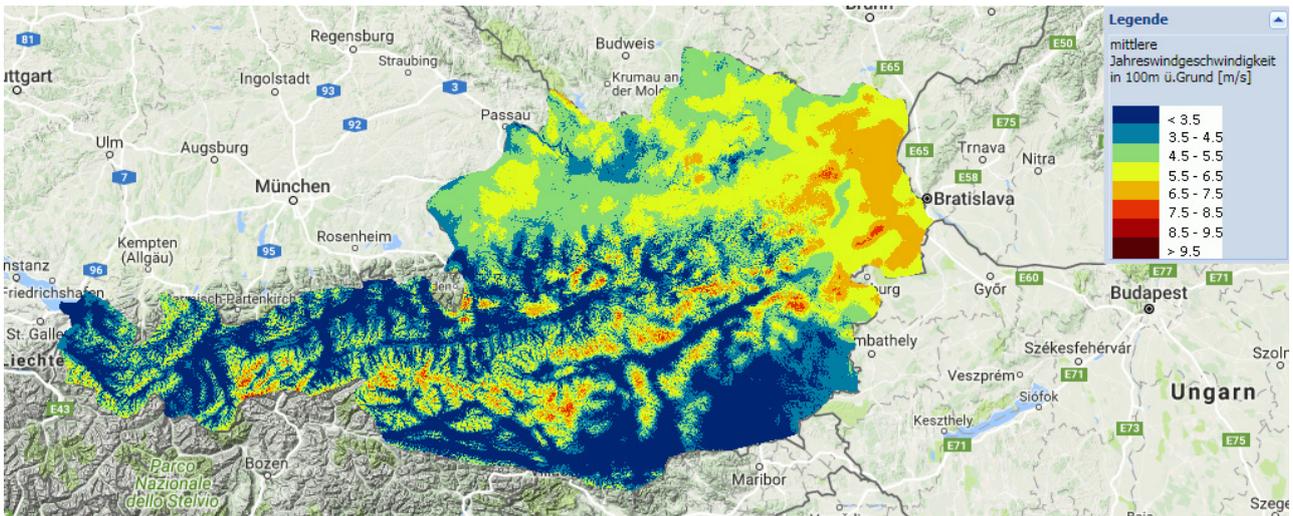
Bundesland	Rechtsgrundlage	Widmung	Abstandsregelungen
Niederösterreich	§19 Abs2 Z19 ROG, §19 Abs 3a ROG	Grünland Windkraftanlage	1.200 m zu gewidmetem Wohnbauland und Bauland-Sondergebiet mit erhöhtem Schutzanspruch, z.B. Krankenhaus, Schule, Altersheim 750 m zu landwirtschaftlichen Wohngebäuden und erhaltenswerten Gebäuden im Grünland, Grünland Kleingärten und Grünland Campingplätzen 2.000 m zu gewidmetem Wohnbauland, welches nicht in der Standortgemeinde liegt. Mit Zustimmung der betroffenen Nachbargemeinde(n) kann der Mindestabstand von 2.000 m auf bis zu 1.200 m reduziert werden.
Oberösterreich	§30 Abs4 ROG; §12 Abs2 OÖEIWOG	Sonderwidmung Grünland	Mindestabstand zu überwiegend für Wohnzwecke genutzten Gebäuden im Grünland, zu gewidmetem Bauland, zu Flächen, die als künftiger Baulandbedarf festgelegt sind (neu mit dem Windmasterplan ab Herbst 2017): Bis zu 30 kW: 100 m 30 kW bis 0,5 MW: 500 m über 0,5 MW: 800 m
Burgenland	Burgenländisches Raumplanungsgesetz; Bgld. Planzeichenverordnung	Grünfläche-Windkraftanlage (§ 13 und § 16 Abs 2 RplG)	Abstände: 1.000 m zu Siedlungsgebiet Ausgewiesene Eignungszonen: Regionales Raumordnungskonzept, das von der Landesregierung beschlossen wurde und auf welches sich Fachdienststellen des Landes im Verfahren beziehen.
Steiermark	§25 ROG, § 26 Abs 7, § 32 Abs 3 Z 1 ROG	Freiland mit Sondernutzung Energieerzeugungsanlagen	Keine rechtlichen Regelungen zu Mindestabständen
Kärnten	§ 5 Abs 6 Kärntner Windkraftstandorträume-Verordnung	Sonderwidmung Grünland § 5 GplG oder Sonderwidmung Bauland § 3 Abs 10	Entfernung von Windparks zu ständig bewohnten Gebäuden und zu gewidmetem Bauland: 1500 m, dieser Abstand ist reduzierbar, wenn "unzumutbare Belastungen von ständig bewohnten Gebäuden" vermieden werden können.
Tirol, Vorarlberg, Salzburg			Keine rechtlichen Regelungen zu Mindestabständen
Internationaler Vergleich	<i>In Europa stehen Windräder zumeist viel näher bei Häusern als dies in Österreich der Fall ist. Mindestabstände zu Wohnhäusern gibt es nur in den seltensten Fällen. Im Schnitt werden Windräder in Deutschland mit einem Abstand zwischen 500 Meter und 800 Meter errichtet. Die oft zitierte Regelung in Bayern (10 H Regelung = 10 Mal die Höhe der Windräder) wurde zur Beschränkung des Windkraftausbaus eingeführt, hat keine inhaltliche Grundlage und gilt nur für die Standortgemeinde. An Wohnhäuser der Nachbargemeinde kann ohne Mindestabstand herangebaut werden. In Großbritannien stehen moderne Windräder in einem Abstand von 300 Meter. Immer wieder behauptete Mindestabstände von 3.000 Meter gibt es in keinem Staat der Welt. Die hier angeführten Länder haben gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstände. Die zwingenden Mindestabstände in Österreich zählen weltweit zu den strengsten Regelungen.</i>		

Quelle: (Interessengemeinschaft Windkraft Österreich 2016)

3.7.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich

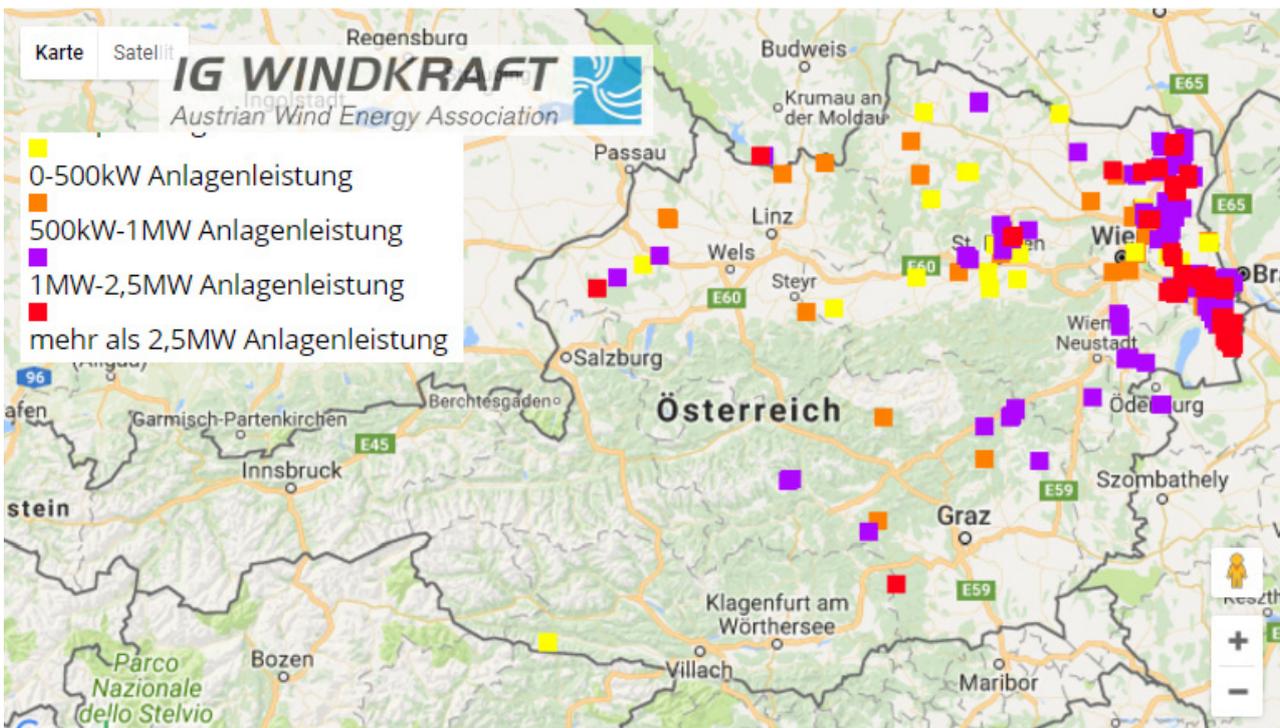
Die im vorigen Kapitel beschriebenen Topografieunterschiede sind eindeutig an der räumlichen Ost-West-Verteilung der existierenden Windkraftanlagen erkennbar. Dazu zeigen die beiden folgenden Karten die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in 100 m über Grund und das aktive Windkraftpotenzial in Österreich. Auch ist erkennbar, dass es flächenmäßig sehr große und zugleich sehr leistungsstarke Windparks fast nur im Nordburgenland und im östlichen Niederösterreich gibt, in den „windstärksten“ Regionen Österreichs.

Karte 8: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in 100 m über Grund (m/s), Österreich 2011



Quelle: (Energiewerkstatt et al. 2011)

Karte 9: Windkraftanlagen in Österreich 2017



Quelle: (Interessengemeinschaft Windkraft Österreich 2017b)

Für die Größe des künftig zusätzlich nutz- und realisierbaren Windkraftpotenzials werden die beschriebenen Lageunterschiede der Windstärken und -häufigkeiten ebenso eine Rolle spielen wie die unterschiedlichen gesetzlichen und konzeptionellen Steuerungsansätze der Bundesländer. Zusätzliche Potenziale können sowohl über zusätzliche Windkraftanlagen als auch über das „Repowering“ gelingen. „Repowering“ bedeutet das Ersetzen alter, leistungsschwacher Windkraftanlagen durch neuere, leistungsstärkere. Hierbei wäre es sogar möglich, einzelne Windkraftanlagen abzubauen, und andernorts (möglicherweise auch in windtragsreicherer Lage) wieder zu Parks zusammenzufassen, mit dem Resultat eines veränderten Landschaftsbildes: Weniger Windkraftstandorte, diese aber in leistungsstärkeren Parks als zuvor zusammengefasst. Die Windkraft-Steuerungsansätze sind damit ein sehr interessantes Beispiel für den sog. „Energy sprawl“¹⁵.

Beim zusätzlich realisierbaren Windkraftpotenzial kommen verschiedene Studien (aufgrund der sehr vielfältigen Modellierungsmöglichkeiten), zu unterschiedlichen Prognosen, die aber in derselben Energieertragsdimension liegen, und auch bei den Bundesländer-Mengen dieser Zusatzpotenziale zu ähnlichen Schlüssen gelangen: Bedeutende zusätzliche Potenziale werden vor allem in den Bundesländern Burgenland und Niederösterreich gesehen, bei heute bereits deutlich höherem realisiertem Potenzial (Ausbaugrad) im Burgenland.

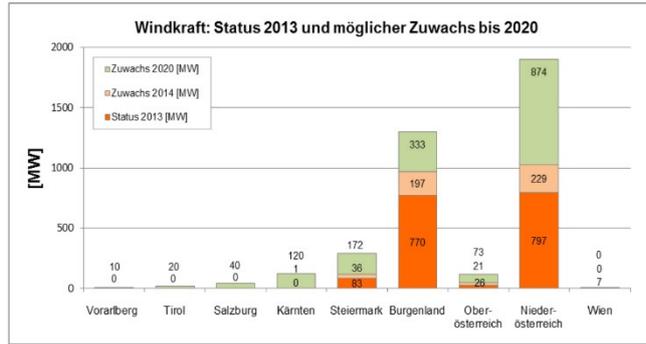
Als Beispiel dazu hier zwei Szenarien-Ergebnisse, die die Leistungsveränderung und die grobe Lage nach Bezirken der Windkraft-Potenziale zeigen.

¹⁵ Unter diesem Schlagwort wird sehr kontrovers diskutiert, welche Anlagenensembles (insb. in regionalen Energieszenarien) welchen Flächenbedarf verursachen, weil sowohl große, leistungsstarke Anlagen, als auch kleinere, dezentrale Potenziale genutzt werden können und müssen. (Moroni et al. 2016) haben dazu argumentiert, dass Szenarien erneuerbarer Energien auf regionaler Ebene nicht automatisch die „Energieanlagenersiedlung“ fördern, dass es aber, um diesen Effekt zu vermeiden, sehr sorgfältig modellierte und geplante polyzentrische Energieszenarien braucht. Letztere sollten auch, unter dem Schlagwort „building related renewable energy production“ (Bronin 2012), die jeweiligen energiekonsumierenden Siedlungsteile optimal bedienen. „Optimal“ bedeutet dabei, dass Produktions- und Abnahmepotenziale der Energie gut zueinander passen.

Abbildung 35: Leistungsszenarien der österreichischen Windkraft (2020 und 2030)

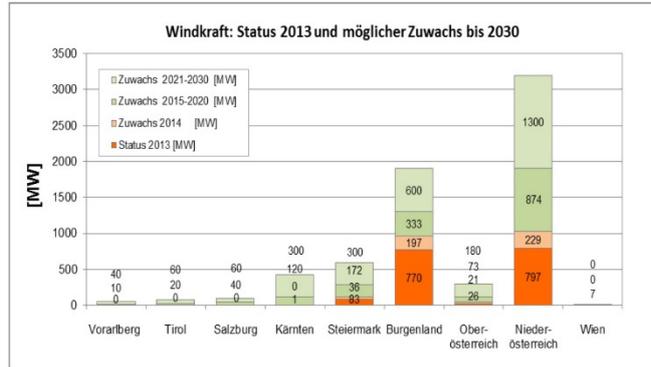
Ergebnis 2020:

- **3.800 MW** Windkraftleistung
- **8,9 Mrd. kWh** Stromerzeugung
- **13,5%** des österreichischen Stromverbrauchs



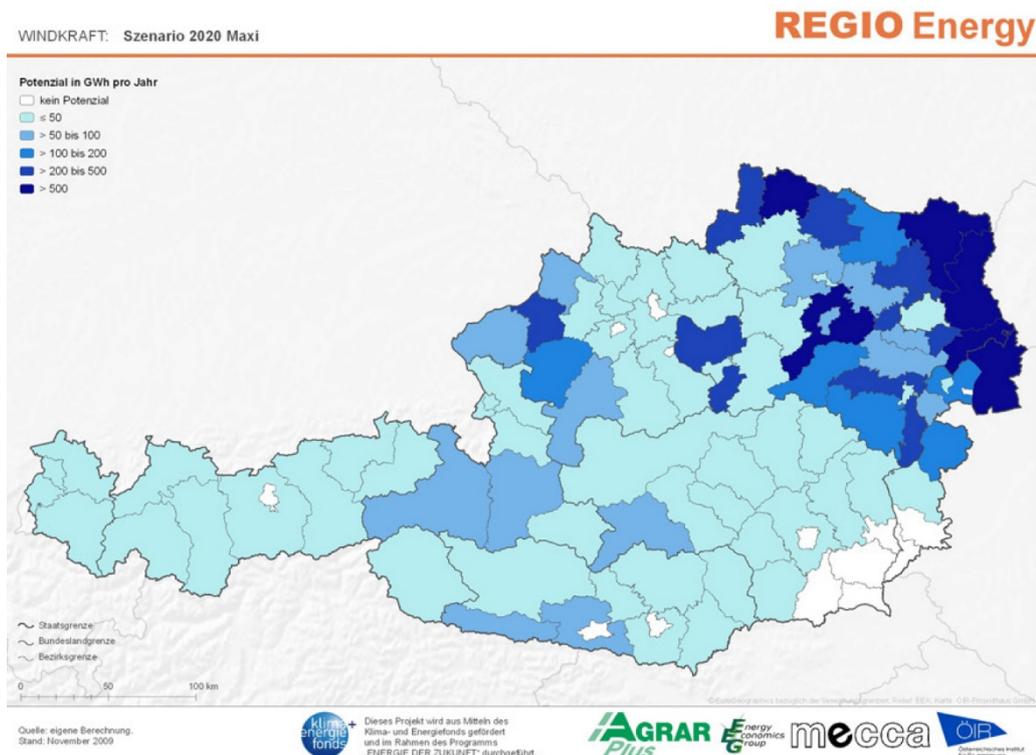
Ergebnis 2030

- **6.650 MW** Windkraftleistung
- **17,7 Mrd. kWh** Stromerzeugung
- **24%** des österreichischen Stromverbrauchs



Quelle: (Winkelmeier et al. 2014, S. 20)

Karte 10: Windkraftszenario "2020 maxi" nach Bezirken Österreichs, Projekt RegioEnergy



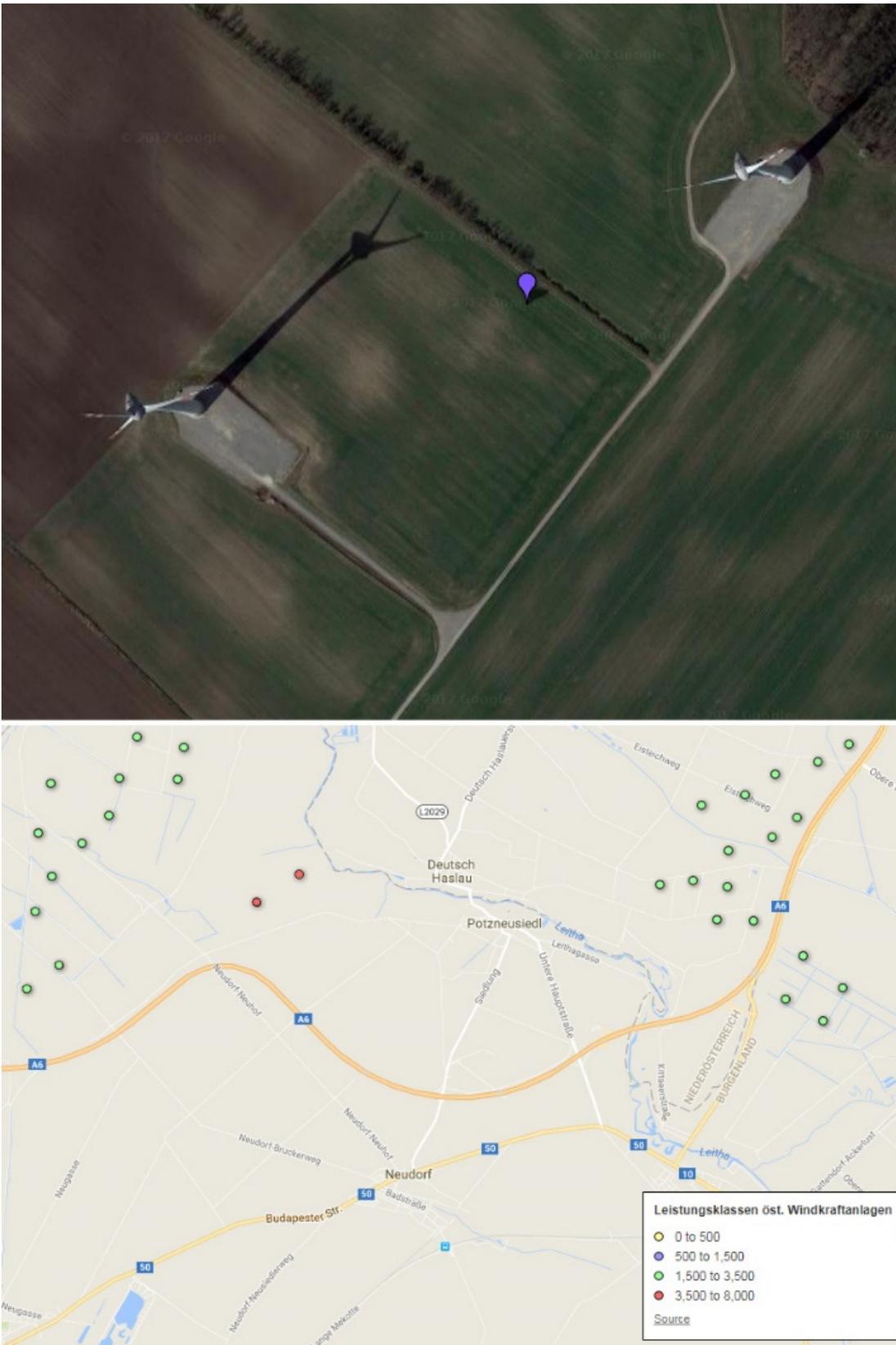
Quelle (Stanzer, G. et al 2010, S. 142)

3.7.7. Flächenbedarfe

Der Flächenbedarf von Windparks besteht aus unterschiedlichen Anteilen. Gemessen an der gesamten horizontalen Flächenbelegung machen die horizontal versiegelten Flächen nur einen sehr kleinen Teil des gesamten horizontalen Flächenbedarfs aus. Zu diesen versiegelten Flächen gehören die Mastfundamente, die Zufahrtswege, Gebäude und Anlagen der Transformatoren, Wartungsflächen neben den Masten, die mit einem Kran (bei Wartungs- und Reparaturnotwendigkeiten) befahrbar sein müssen. Zwischen den Windkraftanlagen liegen die sog. „Abstandsflächen“, die sehr häufig land- oder forstwirtschaftlich genutzt werden und dabei nicht nur der Nahrungsmittelproduktion dienen, sondern auch andere wichtigen Lebensraum- und Ökologiefunktionen sichern (s. dazu Kap. 3.7.12.).

Die folgende Abbildung zeigt dazu die beiden einzigen 7,5 MW Windkraftanlagen in Österreich im Detail- und Übersichtsmaßstab. Im Zoom sind die angesprochenen versiegelten Fundament- und Wartungsflächen gut erkennbar, und umliegend größeren Windpark-Cluster. Die Sockel- und Wartungsfläche (inkl. der Fundamente) beträgt hier etwa 500 m² pro Windrad, bei kleineren Leistungsklassen finden sich in der Fachliteratur nur Durchschnittswerte für den Flächenbedarf der Fundamente: 100 bis 2.000 m² bei einer Anlage mit 1,5 MW (Kaltschmitt et al. 2014, S. 539).

Abbildung 36: Detail- und Übersichtskarte der beiden leistungsstärksten Windkraftanlagen Österreichs in Potzneusiedl, Burgenland



Quelle: (Interessengemeinschaft Windkraft Österreich 2017a) und eigene Bearbeitung

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal beim Flächenbedarf ist, ob es eine Hauptwindrichtung gibt oder nicht. Je nach Standort in der Landschaft brauchen Windparks in einer Lage mit Hauptwindrichtung (z.B. an Küsten), pro Energieertragsmenge und Jahr erheblich weniger Flächen als Windparks in Lagen mit häufiger wechselnden Hauptwindrichtungen (z.B. im Binnenland in der Ebene), weil sie ohne gegenseitige Verwindschattung, die energieertragsmindernd wäre, „dichter“ gestellt werden können als in einem Clusterensemble ohne Hauptwindrichtung.

Der Flächenbedarf pro Energieertragsmenge korreliert auch direkt zur mittleren Durchschnittswindgeschwindigkeit und den lokalen Jahresvolllaststunden der Turbine. Burgenländische Windparks kommen auf etwa 1.500 bis 2.000 Volllaststunden, in dänischen, skandinavischen, deutschen und britischen Offshore-Windparks gibt es bis zu 4.300 Volllaststunden (s. Anlagenbeispiele im nächsten Kapitel).

Windparks belegen aber nicht nur horizontale, sondern auch große vertikale Flächen¹⁶ durch den Rotordurchmesser. Bei Vertikalachsen ist der Energieertrag, unabhängig von der Windstärke und Häufigkeit, auch proportional zum Quadrat der vertikalen Kreisfläche des Rotors. Bei gleichem Energieertrag bedeutet das, dass sehr leistungsstarke Windkraftanlagen (>3,5 MW Leistung) im Cluster-Ensemble pro Energieertragsmenge und Jahr weniger horizontale Fläche benötigen als Windkraftanlagen kleinerer Leistungsklassen. Andererseits ist ihr visueller „Impact“ durch die deutlich höheren Masten¹⁷ vertikal stärker als bei den Windkraftanlagen geringerer Leistung.

3.7.8. Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Die folgende Tabelle zeigt Zahlenwerte zu den hier genannten Flächenbedarfen und den jeweiligen Energieerträgen verschiedener Windparks aus dem Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen. Die Records sind absteigend nach dem Energieertrag pro Fläche sortiert. Die unter „Fläche“ genannten Werte beinhalten die versiegelten und unversiegelten Anteile der durch die Windkraftanlagen sicht- und messbar belegten Anteile, was der Summe aus „direkten“ versiegelten Flächenbedarfen (Fundamentflächen, Wartungsflächen, Zufahrtswege) und den „indirekten“ Flächenbedarfen der Abstandsflächen (egal ob diese aus Grünland oder anderen Flächen bestehen) zwischen den Windkraftanlagen entspricht. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen diesen direkten Flächenbedarfen und der Gesamtgröße der Potenzialertragsfläche veranschaulicht. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

¹⁶ Diese vertikalen Flächenbelegungen wurden im Katalog der erneuerbaren Energieanlagen nicht erfasst, sie sind aber für die visuelle Veränderung des Landschaftsbildes überaus relevant.

¹⁷ In der 7,5 MW Klasse bis 130 m statt 75 m bei den 2-3 MW-Klassen

Tabelle 17: Windkraft-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Name, Lage	Typ	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW el)	Energie (Mwh el/a)	m ² /kWh el/a	kWh el/m ² /a	Rechn, Voll-lastst. (h/a)
Wind farm Middelgrunden, Copenhagen, Dänemark	Windkraft	nearshore, Reihe	gut	69	40	89.000	0,00775	129	2.225
Giessenwind, Südholland, Niederlande	Windkraft	onshore, Reihe, an Autobahn	gut	13	9	16.077	0,0079	127	1.786
Groß-Windräder Potzneusiedl, Burgenland, Österreich	Windkraft	onshore, Einzelanlage, Ebene	gut	25	15	30.000	0,00833	120	2.000
Tauernwindpark, Steiermark, Österreich	Windkraft	onshore, Reihe, Bergkamm	gut	65	23	48.000	0,01354	74	2.110
Windpark Hagenbrunn, Niederösterreich, Österreich	Windkraft	onshore, Reihe, Ebene	gut	10,8	1,92	3.716	0,02906	34	1.935
Windpark Neusiedl am See, Burgenland, Österreich	Windkraft	onshore, Cluster, Ebene	gut	785	79	166.320	0,0472	21	2.105
Windpark Noordoostpolder Binnen- und Buitendijk, Niederlande	Windkraft	nearshore und offshore, Cluster	gut	5.700	344	937.800	0,06078	16	2.730
Gansu Wind farm, China (Wüste Gobi)	Windkraft	onshore, Cluster, Ebene	frag-würdig (Größe, Ertrag)	106.731	7.965	15.930.000	0,067	15	2.000

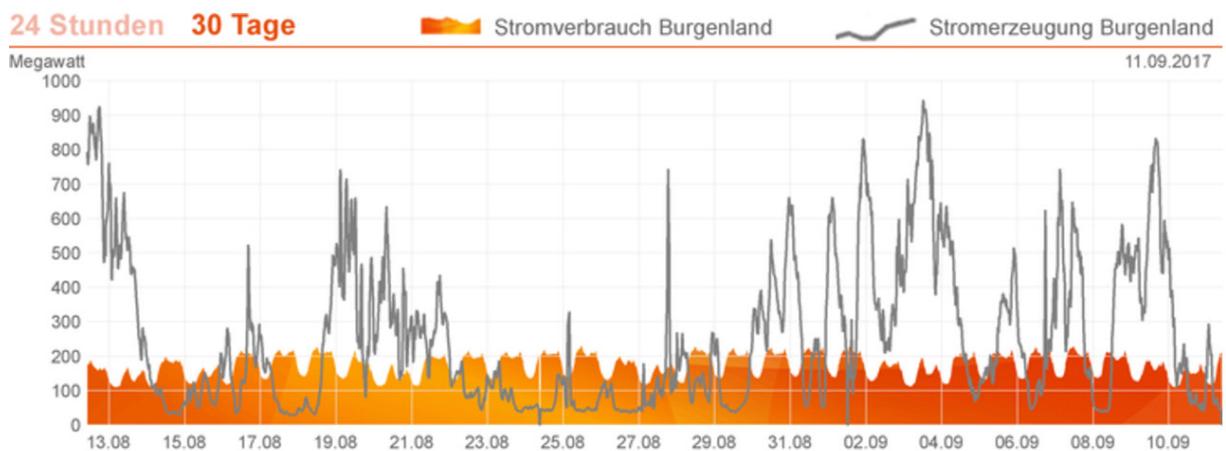
Name, Lage	Typ	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW el)	Energie (Mwh el/a)	m ² /kWh el/a	kWh el/m ² /a	Rechn, Voll-lastst. (h/a)
Anholt Offshore Wind Farm, Dänemark	Windkraft	offshore, Cluster	gut	14.700	400	1.722.000	0,08537	12	4.305
London Array offshore wind farm, Nordsee bei Kent, UK	Windkraft	offshore, Cluster	gut	24.700	630	2.500.000	0,0988	10	3.968
Windpark Munderfing, Oberösterreich	Windkraft	onshore, Reihe, Bergkamm	gut	150	15	15.000	0,1	10	1.000
Alta Wind Energy Center, Kalifornien (Mojave-Wüste)	Windkraft	onshore, Cluster, Ebene	frag-würdig (Größe, Ertrag)	44.100	1.547	2.680.600	0,1645	6	1.733

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

3.7.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast -und Spitzenversorgung

Wie die Solarenergie gehört auch die Windkraft zu den „schwer planbaren“ erneuerbaren Energieträgern, weil Windstärken und deren Häufigkeiten je nach Lage zwar aus Messungen und Ertragsmodellen ungefähr bekannt sind, sich aber schnell und deutlich ändern können. Dies stellt für die angeschlossenen Stromnetz-Schaltungen eine logistisch schwierige Aufgabe dar. Zur Illustration dazu Stromverbrauch und Stromerzeugung im Burgenland (30 Tage, 08-09 2017).

Abbildung 37: Stromverbrauch und -erzeugung im Burgenland (30 Tage, 08-09 2017)



Quelle: (Energie Burgenland Gruppe 2017)

Die obenstehende Grafik lässt keine trennscharfen Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Elektrizitätsproduktion zu, es kann aber mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die eher kurzen, tw. bis zum Zehnfachen über der Stromnachfrage liegenden Produktionsüberschüsse zu sehr großen Anteilen aus den sehr leistungsstarken burgenländischen Windparks stammen. Auch ist im Diagramm gut erkennbar, dass die Mindestgrundlast der Nachfrage (etwa 100 MW elektrische Dauerleistung) trotz der zeitweisen „Überschüsse“ nicht immer ausschließlich aus burgenländischen Anlagen bedient werden kann.

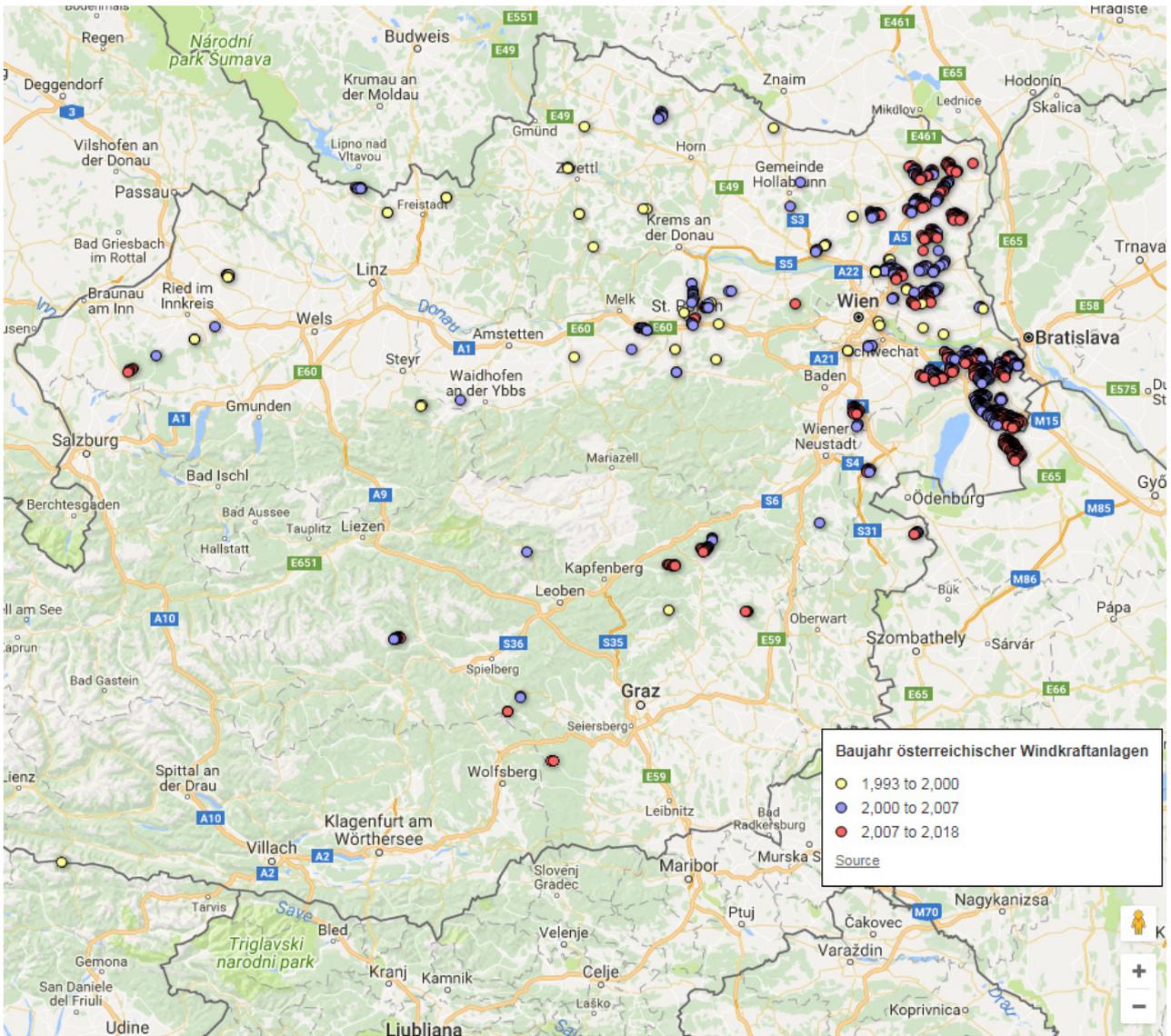
Angesichts dieser starken Unterschiede zwischen Nachfragelast und Erzeugung der Elektrizität ist auch klar ersichtlich, wie wichtig die Verteilung und Speicherung von Elektrizität aus Windkraft im Gesamtnetz ist, wenn möglichst viel der erneuerbaren Energie auch „in Echtzeit“ genutzt werden können soll. Österreich hat dazu grundsätzlich gute Voraussetzungen, weil große Pumpspeicher-Wasserkraftwerke außerhalb der 3 Tagesspitzenzeiten der Stromnachfrage (morgens, mittags, abends) Elektrizität aufnehmen können und als Regelenergie sehr genau entlang der zeitlichen Nachfrage auch wieder abgeben können.

Die Eignung der Windkraft zur Grund- und Spitzenlastversorgung hängt somit ganz maßgeblich von den Stromnetzfähigkeiten zur Verteilung und der Menge und Leistung von Speicherkraftwerken ab. Eine Ausnahme davon stellen nur kleine Insel-Windkraftanlagen dar, die (bei entlegenen Gebieten) gar keine Stromnetz-koppelung haben. Hier wäre die maximale elektrische Grundlast-Nachfrage zwecks optimaler, verlustfreier und ständiger lokaler Ausnutzung der Elektrizität aus Windkraft stets etwas höher als die maximale Nennlast-Windkraftproduktion (Latzer 2013, S. 31).

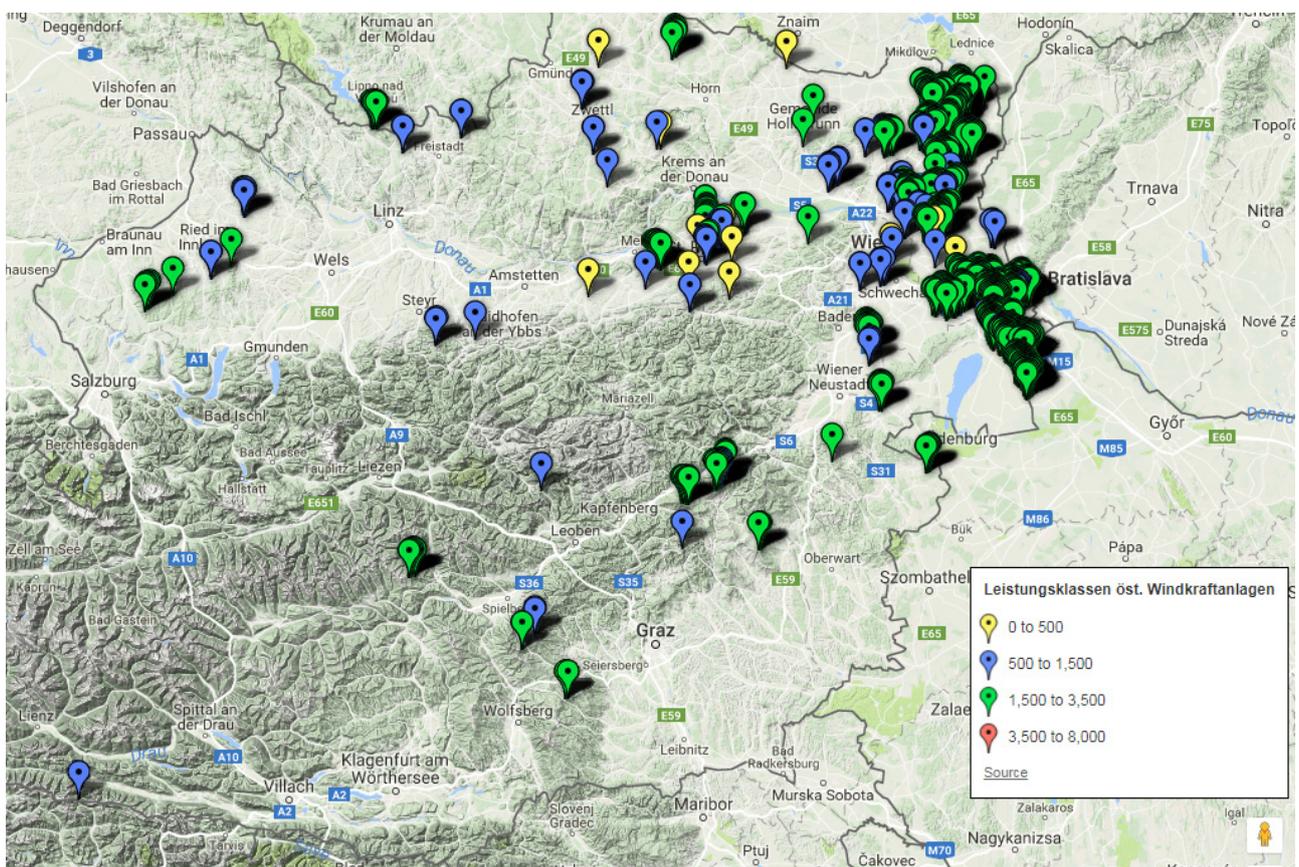
3.7.10. Skalierbarkeit

Wie im Kapitel 3.7.2. beschrieben, sind bei Windkraftanlagen technisch nahezu sämtliche Leistungs- und Größenklassen herstellbar, egal ob es sich um „große“ oder „kleine“ Anlagen handelt. Im österreichischen, seriellen Standard-Anlagenbetrieb der Horizontalachser mit 3-Blatt-Rotor gibt es aber nur wenige häufig vorkommende Leistungsklassen. Die folgenden Karten zeigen, dass die österreichische Windkraft zwischen 1993 und 2000 zunächst im nördlichen Ober- und Niederösterreich ausgebaut wurde, damals vor allem mit einzelnen Windrädern (also noch nicht in Clustern) der Leistungsklassen bis 500 KW. Ab 2000 folgten die ersten größeren Windparks, bereits deutlich öfters in Clustern und mit deutlich leistungsstärkeren und zahlreicheren Windkraftanlagen der Leistungsklassen zwischen 1.000 und 2.000 MW. Ab 2007 folgten nochmals leistungsstärkere Ausbaustufen, sowohl was die Einzelleistungen der Windkraftanlagenmodelle, aber auch die Energieerträge ganzer Windparks angeht, räumlich nochmals näher an der Grenze Österreichs zu der Slowakei und Ungarn konzentriert.

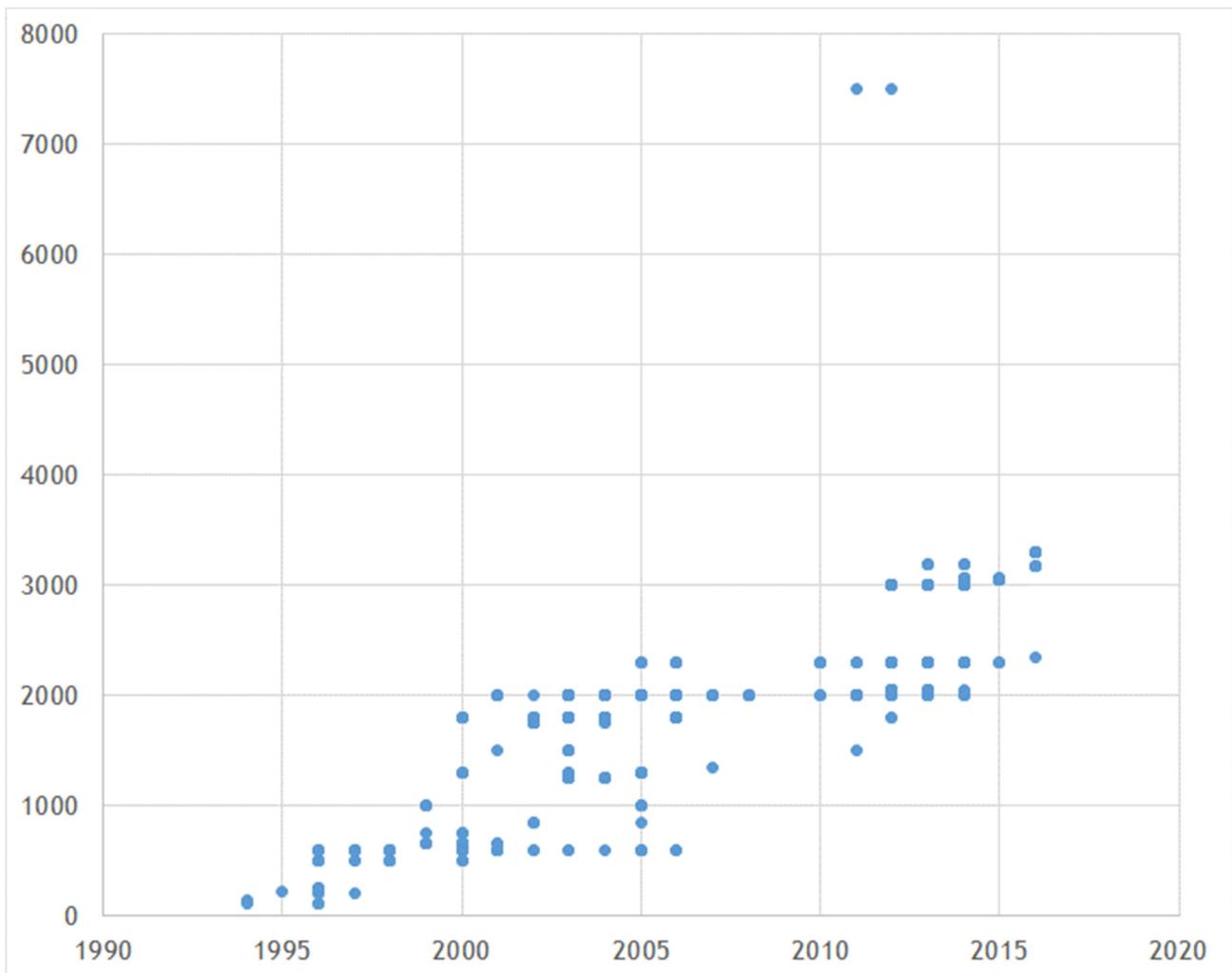
Karte 11: Alters- und Leistungsklassen österreichischer Windkraftanlagen (1993-2016) und deren Lagen



KATALOG DER FLÄCHENBEDARFE ERNEUERBARER ENERGIEANLAGEN



Anmerkung: Die beiden einzigen Windkraftanlagen Österreichs der 7,5 MW-Klasse (in Potzneusiedl, Burgenland) sind hier durch die Icon-Dichte überdeckt.



Quellen: (Interessengemeinschaft Windkraft Österreich 2017a), eigene Bearbeitung

3.7.11. Flächenkonkurrenzen

Wie stark nicht-energetische Flächennutzungen durch Windkraftanlagen konkurrenziert werden, hängt sehr von der Bauform und Anlagengröße ab. Kleine einzelne Vertikalläufer-Windkraftanlagen sind meist gebäude- oder asphaltintegriert und benötigen horizontal nur wenige Quadratmeter.

Größere Windkraftanlagen (einzeln, in Reihe oder in Cluster-Parks) stehen in Österreich vor allem im Grün- und Freiland, nur sehr vereinzelt auf versiegelten Gebieten oder in der Nähe von Straßen und Industriegebieten¹⁸ (s. dazu die Übersichtskarten im vorigen Kapitel). Da in Österreich bei weitem am meisten Flächenbelegung durch die Anlagenform Windpark-Cluster besteht, sollen im Folgendem vor allem diese Flächenkonkurrenzaspekte erörtert werden.

¹⁸ Wie in Kapitel 3.7.3. gezeigt wurde, findet man Windkraftanlagen u.a. in Holland sehr viel häufiger als im deutschsprachigen Raum auch an Straßen und in Industriegebieten, und in Ländern, die an die Ost- und Nordsee grenzen, auch an Küsten (nearshore) oder bis in Entfernungen von 50 km zur Küste als offshore-Anlagen.

Windparks auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen schließen die Nahrungsmittelproduktion und ökologischen Funktionen (Luft- und Wasserreinhaltung) nur auf den versiegelten Flächenanteilen aus. Dazu gehört die horizontale Mastfläche inkl. dem Fundament, die meist geschotterten oder asphaltierten Wartungsflächen unmittelbar neben den Masten sowie die durch Transformations-Anlagen belegten Flächen und die Zufahrtswege.

Auf den „Abstandsflächen“ zwischen den einzelnen Rotormasten wird keine dieser Funktionen konkurrenziert. Somit sind österreichische Windpark-Cluster auf landwirtschaftlichen Flächen eine synergetische „Etagenwirtschaft“ der kombinierten Energie- und Nahrungsmittelerzeugung.

Stark konkurrenziert wird dagegen die Lebensraumfunktion auf Windpark-Flächen für Vögel und Fledermäuse, aus diesem Grund sind bekannte Vogelflugkorridore ein sehr wichtiges Kriterium im Genehmigungsverfahren der Standortplanung und -genehmigung.

Der Grad der Konkurrenzierung der kleinräumigen Erholungsfunktion und der großräumigen Tourismusfunktion der durch Windkraftanlagen belegten Flächen ist nicht generell einheitlich abschätzbar, sondern lageabhängig. Hier gibt es viele Variantenabstufungen zwischen 2 Extremen:

- Verliert die Fläche durch den Zubau der Windkraftanlage ihre Naherholungs- oder Tourismusfunktion und -qualität vollständig, ist die Flächenkonkurrenz als sehr hoch einzustufen;
- Liegen Naherholungs- und Tourismusflächen und die Windkraftanlagen weit auseinander, nimmt die Flächenkonkurrenzwirkung (insbesondere über die visuelle Veränderung) mit zunehmender Entfernung deutlich ab.

Die Konkurrenzeinschätzung der Windkraftanlagen zu anderen Flächenfunktionen, insbesondere zur Wohnfunktion, und der Sachgüter- und Dienstleistungsproduktion ist grundsätzlich als „keine“ bis „gering“ einzustufen, weil große Windparks in Österreich im Freiland meist nicht auf gewidmeten Flächen der Nutzungskategorien Bauland, Wohngebiet, Betriebs- und Industriegebiet stehen.

Große Windkraftanlagen im Frei- und Grünland konkurrenzieren andere erneuerbare Energieträger, die auf diesen Flächen realisiert werden könnten, nur zu einem sehr geringen Ausmaß (auf den kleinen versiegelten Flächenanteilen). Insbesondere Feldfrüchte, die sowohl der Nahrungsmittelerzeugung als auch der energetischen Verwertung dienen können (Mais, Getreide, Stroh, Raps oder andere Korn- und Ölsaaten), sind mit der Windkraftfunktion kombinierbar.

Im Fall einer „Etagenwirtschaft“ ist die Kombination mehrerer erneuerbarer Energieformen auf derselben Fläche nicht immer konkurrenzierend, sondern auch synergetisch denkbar. Neben der erwähnten Kombination mit der landwirtschaftlichen Produktion wären zusätzlich auch weitere Kombinationen mit anderen erneuerbaren Energieformen wie der Solarenergie und der seichten und tiefen Geothermie (s. Kap. 3.5.) denkbar. Hierzu konnten im Zuge der Recherchen keine Anlagenbeispiele gefunden werden. Die Mehrfachnutzung erneuerbarer Energieformen im Freiland ist mit Sicherheit ein stark unterschätztes Zukunftspotenzial, weil der gesamte Energieertrag pro Fläche um ein vielfaches höher wäre, als wenn nur eine erneuerbare Energieform genutzt wird.

Die folgende Tabelle fasst die Flächenkonkurrenzaspekte tabellarisch zusammen und erklärt schlagwortartig, wodurch der Konkurrenzgrad bedingt ist.

Tabelle 18: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Windkraft (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen

Konkurrenzgrad:

keine	gering	indifferent	mittel	hoch
-------	--------	-------------	--------	------

Indifferent = Der Konkurrenzgrad kann verschiedene Ausprägungen (von „kein“ bis „hoch“) einnehmen

Ern. Energieart und Endenergieform	Wohnfunktion	Orts- und Landschaftsbildfunktion	Naherholungsfunktion	Großräumige Tourismusfunktion	Sachgüter- und Dienstleistungsfunktion	Nahrungsmittelproduktion	Andere erneuerbare Energieproduktion
Windpark, Cluster im Frei- und Grünland	keine (weil nicht auf Bauland)	starke visuelle Veränderung des Landschaftsbildes	keine	abhängig von Tourismus-Qualität und Entfernung zwischen Funktion und Windpark	keine (weil nicht auf Betriebsgebieten)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)
Windpark, Reihe im Frei- und Grünland	keine (weil nicht auf Bauland)	deutliche visuelle Veränderung des Landschaftsbildes	keine	Abhängig von Tourismus-Qualität und Entfernung zwischen Funktion und WKA-Reihe	keine (weil nicht auf Betriebsgebieten)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)
Einzel-Windkraftanlage im Frei- und Grünland	keine (weil nicht auf Bauland)	geringe visuelle Veränderung des Landschaftsbildes	keine	keine	keine (weil nicht auf Betriebsgebieten)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)	gering (nur auf versiegelten Anteilen)
Windkraftanlagen in Industriegebieten oder an Straßen	keine (weil nicht auf Bauland)	keine	keine	keine	gering (nur auf versiegelten Anteilen)	keine	keine

Quelle: Eigene Darstellung 2017

3.7.12. Umweltwirkungen

Der Betrieb von Windkraftanlagen verursacht mehrere, sehr unterschiedliche Umweltwirkungen. Insbesondere große Windparks verändern das Landschaftsbild sowohl horizontal als auch vertikal visuell deutlich. Die Stärke der visuellen Veränderung hängt sowohl von der Windparkgröße (der zweidimensionalen, horizontalen Flächenbelegung), aber auch von der Nabenhöhe der Rotoren ab.

Zu den visuellen Umweltwirkungen gehört auch der Schattenwurf durch die sich drehenden Rotoren und der sog. Diskoeffekt über Lichtreflexionen der Rotorblätter. Wie stark diese Effekte als störend für Menschen empfunden werden können, hängt von den jeweiligen Abstandsreglements ab. Das betrifft auch die potenziellen Gefahren durch Eiswurf (Ablösung von Eisbrocken von den Rotoren bei sehr kalten Temperaturen).

Die Häufigkeit des Eiswaufes hängt von den meteorologischen Umgebungsbedingungen, insbesondere der Temperatur, ab. An Standorten erhöhten Eiswauf-Risikos werden die Gefahren durch automatische Abschaltungen reduziert (Kaltschmitt et al. 2014, S. 537), und es gibt in Österreich bereits Windkraftanlagen, bei denen die Rotorblätter beheizt werden, etwa am Moschkogel bei Müzzzuschlag (Krenn et al. 2013, S. 6). Wirtschaftlich ist die Vermeidung von Abschaltungszeiten deshalb interessant, weil (auch in Österreich, aber noch stärker in anderen, nördlicheren und kälteren Ländern) gerade im Winter oft lange Starkwindzeiten bestehen.

Die Immissionen durch die Schallerzeugung durch die Luftströmung der Rotoren und das Getriebe selbst sind ebenfalls von Abstandsreglements abhängig. Die Fachliteratur nennt dafür bei Anlagen am Stand der Technik Schalleistungs-Pegelbereiche von ca. 103 db(A) zwischen 0,5 und 2 MW (Kaltschmitt et al. 2014, S. 353 f.) direkt am Mast, und bei einer Entfernung von 400 m nur mehr 40 db(A). Allerdings kann es hierbei, abhängig von der Hauptwindrichtung und der Rauigkeit des Reliefs, große lokale Schallimmissionsunterschiede geben.

Kontrovers diskutiert wird eine andere Schallimmission, nämlich der Infraschall, der durch Windkraftanlagen ebenfalls erzeugt wird. Windkraftanlagen erzeugen als Infraschall Frequenzen von 0,6 bis 1,5 Hz. Dies liegt eindeutig unter der menschlichen Hörschwelle, daher gehen die meisten Expertinnen und Experten (z.B. (Kaltschmitt et al. 2014, 536 f.)) von keinen nachweisbaren Belastungen für die Mensch- und Tierwelt aus. Am anderen Ende des Meinungsspektrums stehen insbesondere Windkraftgegner und Anti-Windkraftinitiativen, die von einer „gesundheitlichen Gefährlichkeit des Infraschalls“, und zwar nicht nur in unmittelbarer Nähe der Windkraftanlagen, sondern auch bis in 15 km Entfernung, sprechen (Windstill 2017).

Ein stark negativer Umwelteffekt ist die Beeinträchtigung der Lebensräume von Vögeln und Fledermäusen. Die Störungen betreffen sowohl das Zug- und Flugverhalten (egal ob in onshore oder offshore Anlagen) als auch das lokale Fress- und Rastverhalten, und auch den meist tödlich ausgehenden „Vogelschlag“, wenn Vögel oder Fledermäuse von den Rotoren getroffen werden (Kaltschmitt et al. 2014, S. 538).

Welche Umweltwirkungen in der Bauphase auftreten können, ist überaus standortabhängig. In der flachen Ebene und wenn es bereits Zufahrtswege gibt, werden in der Bauphase erheblich geringere Umweltauswirkungen bestehen als u.a. in einer schwer zugänglichen alpinen Lage, wo diese Infrastrukturen erst neu errichtet werden müssen.

Insgesamt sind die Umweltauswirkungen von Windkraft während der Bau- und Betriebsphase anschaulich in der folgenden Abbildung gelistet. Die Themenbereiche folgen der typischen Schutzgüter-Systematik von Umweltverträglichkeitsprüfungen und -erklärungen.

Abbildung 38: Zusammenfassende UVE-Beurteilung für Bau- und Betriebsphase des Windparks Andau/Halbthurn

ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER VERBLEIBENDEN AUSWIRKUNGEN			
Themenbereich	Aussagebereich	Verbleibende Auswirkungen	
		Bauphase	Betriebsphase
Siedlungswesen	Regionalentwicklung und Örtliche Raumplanung	keine / sehr gering	gering
	Freizeit, Erholung und Tourismus	mittel	mittel
	Gesundheit und Wohlbefinden	mittel	gering
Landschaft und Kulturgüter	Landschaftsbild	gering	mittel
	Kulturgüter	mittel	mittel
Land- und Forstwirtschaft, Jagd	Landwirtschaft	mittel	gering
	Forstwirtschaft	mittel	mittel
	Jagd	mittel	gering
Ökologie	Pflanzen und deren Lebensräume	keine bis sehr gering	keine bis sehr gering
	Tiere und deren Lebensräume – Vögel	gering	gering bis mittel

Quelle: (Austrian Wind Power GmbH und RaumUmwelt Planungs-GmbH 2010, S. 39)

Zur Vervollständigung dieses Kapitels seien auch kurz die positiven Umweltwirkungen der Energieerzeugung aus Windkraft erläutert. Sie verhalten sich sehr ähnlich zu denen der Solarenergie, weil auch die Windkraft bei der Elektrizitätserzeugung weder SO_x noch NO_x und auch nur sehr kleine Mengen an Feinstaub (Materialabriebe) emittiert werden. Ob durch Windkraft viel oder wenig CO₂ eingespart wird, hängt davon ab, wie die jeweilige Strommenge andernorts produziert werden müsste. Falls diese Primärenergienmengen nicht erneuerbar sind (Öl, Gas, Kohle), entspricht die durch Windkraft eingesparte CO₂ Menge den Emissionen der eingesetzten nicht erneuerbaren Rohstoffe.

Trotz der nicht unerheblichen negativen Umweltwirkungen hat die Windkraft auch eine landschaftsschützende Kraft. Diese Wirkung besteht in einer Erschwerung der Versiegelung, weil die Umwidmung einer Windparkfläche in Bauland (mit dem dadurch notwendigen Rückbau der Windkraftanlage) sicherlich schwerer zu argumentieren ist als die Umwidmung einer „rein“ landwirtschaftlichen Fläche. Dieser Zusammenhang gilt sinngemäß auch für große Solarkraftwerke auf landwirtschaftlichen Flächen.

Nach Betriebsende lassen sich die Windkraftanlagenbauteile weitestgehend recyceln (Kaltschmitt et al. 2014, S. 543). Auch können die Fundamente, die Masten und die Rotoren ebenso vollständig entfernt und „rückgebaut“ werden wie die Wartungsflächen und -wege, was eine vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Landschaftsbildes erlaubt.

3.7.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m²/kWh/Jahr“

Die Forschungsfrage: „Wie hoch ist der Flächenbedarf (m²/kWh/Jahr) ausgewählter erneuerbarer Energien (Windkraft, div. Biomassen, Solarenergie, Geothermie), und was macht die standörtlichen Energie-Ertragsvarianzen aus?“ konnte durch die Anlagen-Beispiele gut beantwortet werden. Dies hatte folgende Gründe:

- Ähnlich wie bei der Solarenergie sind die direkten und indirekten Flächenbedarfe aus Satellitenbildkarten der Windkraftanlagen gut messbar, d.h. der gesamte Flächenbedarf als Summe aller direkten Flächenbedarfe (Mast-Fundamente, Wege, Wartungsflächen) und der „indirekten“ Flächenbedarfe (Abstandsflächen, unabhängig davon ob die Windkraftanlagen einzeln, in Reihe oder in Cluster-Parks stehen) ist eindeutig „sichtbar“;

- Die Datenqualität der Records ist häufig gut, d.h. sowohl Leistungs- als auch Jahresarbeitswerte der Anlagen sind dokumentiert;

Zur Bandbreite der flächenspezifischen Energieerträge sind Interpretationen zu den Records möglich:

- Windkraftanlagen in Reihen-oder Einzelform (egal ob on- oder offshore) haben pro Fläche erheblich höhere Energieerträge als die Clusterformen. Dies hat mit der geringeren gegenseitigen „Verwindschattung“ (s. Kapitel 3.7.7.) dieser Aufstellungsformen zu tun;
- Insgesamt variieren die Flächenenerträge sehr stark, nämlich zwischen 10 und 129 kWh/m²/a, bzw. in einer Bandbreite von über 1:20 zwischen der Lage Munderfing/Oberösterreich und Kopenhagen/Dänemark;
- Auch die Bandbreite der rechnerischen Volllaststunden pro Jahr variiert stark (1.000 h/a in Munderfing/Österreich vs. 4.305 h/a im offshore Windpark Anholt/Dänemark);
- Offshore-Anlagen sind offenbar horizontal wesentlich „lockerer“ als onshore-Anlagen aufgestellt, denn dort liegt trotz der bis zu doppelt so hohen Volllaststundenzahl der spezifische Flächenenertrag sehr deutlich unter dem der onshore-Anlagen. Möglicherweise gibt es offshore weniger Gründe, sparsam mit dem Belag der Meeresfläche umgehen zu müssen, oder es geht um Mindestabstände für den Schiffsverkehr – diese Vermutungen müssten aber anhand einer erheblich größeren Anzahl an offshore- und onshore-Records überprüft werden.

Die bisherigen zusammenfassenden Erkenntnisse bezogen sich auf Anlagenformen, die in der Windkraft-Praxis bereits häufig im Einsatz sind, also v.a. horizontalachsige Windkraftanlagen mit Nabenhöhen ab 50 m und Leistungsklassen ab 2 MW pro Windrad. Es gibt aber viele weitere Anlagenformen, zu denen keine oder zu wenige Records mit guter Datenqualität gefunden werden konnten. Solche Beispiele wären im Zuge künftiger Forschungen ebenfalls eine nähere Analyse wert, um flächenspezifische Energieerträge ermitteln zu können:

- Diverse Kleinwindkraftanlagen, egal ob in Horizontal- oder Vertikalachser-Bauweise (s. Kapitel 3.7.2.);
- In Industriegebieten, an Autobahnen oder in gemischten Siedlungsstrukturen stehende Windkraftanlagen, weil hier aufgrund der Luft-Verwirbelungen (Relief-Rauigkeit) andere Windertragsverhältnisse als im Frei- und Grünland oder offshore im Meer herrschen können;
- Windkraft bietet neben der Direkteinspeisung von Elektrizität auch die Möglichkeit, Wasserstoff und/oder synthetisches Methan herstellen zu können. Dazu braucht es zusätzliche Anlagen- und Speichergebäude, deren Flächenbedarf zu erfassen wäre. Zu Wasserstoff- oder Biomethan-Potenzialen aus Windstrom, auch in der Form von Einspeisungen in bestehende Erdgasnetze und -speicher s. Kapitel 3.8.6..

3.8. Biomassen

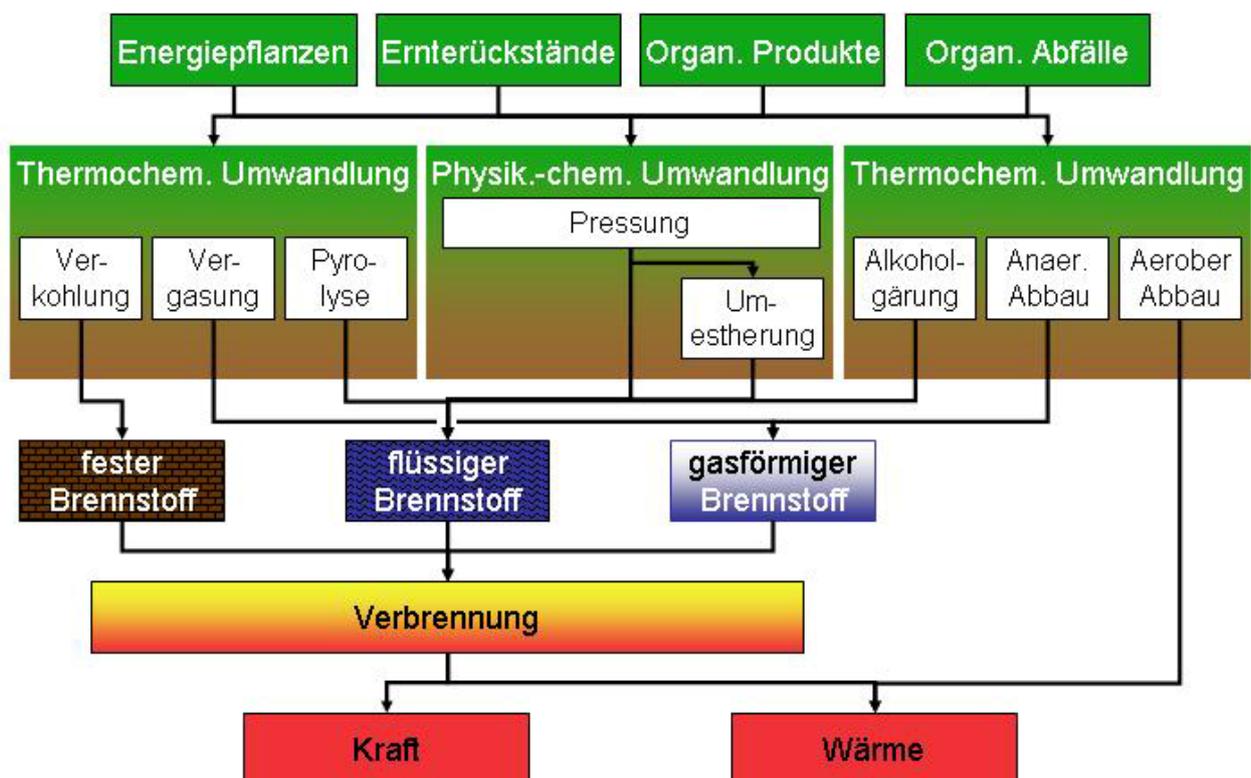
Dieses Kapitel behandelt die Prozesskette der Energieumwandlung aus biogenen Rohstoffen, Anlagenarten, lageabhängige und lageunabhängige Faktoren unterschiedlicher Energieerträge (Wärme bzw. Bioethanol) und im empirischen Teil Anlagenbeispiele verschiedener Biomassen-Kraftwerke, die Hackschnitzel aus der Forstwirtschaft verwerten, oder agrarische Rohstoffe wie Stroh, Mais oder Pappeln im Kurzumtrieb. Danach werden Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen der Energieerzeugung aus Biomassen erörtert und abschließend reflektiert, welche Erkenntnisse zur Forschungsfrage nach dem Flächenbedarf der Energieerzeugung ($m^2/kWh/a$) aus der Empirie möglich waren.

3.8.1. Prozesskette der Energieumwandlung, Nutzenergieformen

Energetisch nutzbare Biomasse entsteht, wenn Pflanzen über Photosynthese Solarenergie in Kohlenstoff umwandeln und damit „photosynthetisch fixieren“ (Kaltschmitt et al. 2009, S. 2). Im engeren Arbeitskontext dieser Dissertation sind damit vor allem pflanzliche, nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung in Heizanlagen gemeint. Weiter gefasste Definitionen (Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften e.V. 2008), erweitern diese „Sortimente“ auf erneuerbare Stoffe aus Phyto- und Zoomasse inkl. deren Folge- und Nebenprodukte, wie z.B. Tierische Gülle oder Klärschlamm.

Die folgende Abbildung zeigt die wichtigsten Bestandteile der Wandlungsketten: Primärprodukte wie Pflanzen, aber auch Sekundärprodukte wie Ernterückstände, organische Produkte und Abfälle werden durch thermochemische oder physikalisch-chemische Umwandlung zu festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen und dann durch Verbrennung zu den Nutzenergieformen Wärme und/oder „Kraft“.

Abbildung 39: Wandlungsketten für Bioenergieträger

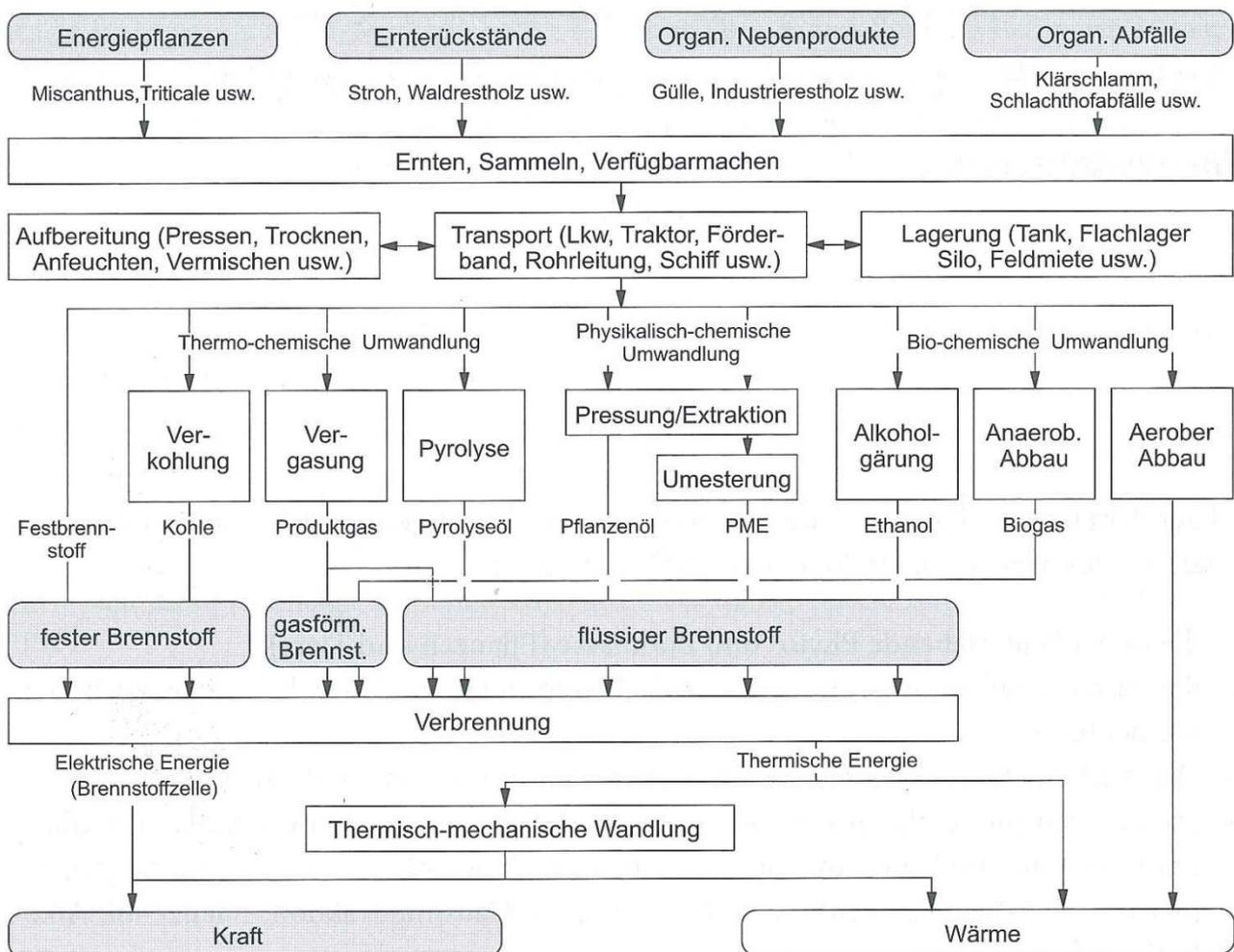


Quelle: (VDE ETG Energietechnische Gesellschaft o. J.)

Im Vergleich zu den erneuerbaren Energieformen Windkraft, Solarenergie und Geothermie hat die Biomasse die vielfältigsten Variations- und Umwandlungsmöglichkeiten zwischen Primär- und Nutzenergieformen. Ein weiterer wesentlicher Unterschied ist, dass die direkten und indirekten Flächenbedarfsanteile der Energieumwandlung aus Biomasse (etwa das Kraftwerk und die Rohstoffpotenzialflächen) häufiger als bei Windkraft, Solarenergie und Geothermie räumlich voneinander getrennt, also nicht „lageident“ sind.

Sinngemäß ist die folgende Abbildung ähnlich zur vorigen, aber sie betont aber stärker die vielfältig möglichen Verfahrensschritte und insbesondere auch die Transportaufwände zwischen den verschiedenen Umwandlungsschritten. Die gesamte Biomasse-Ökobilanz wird maßgeblich davon beeinflusst, wie viele solche Verfahrensschritte zwischen Primär- und Nutzenergie aus Biomasse notwendig sind, und auch wie weit die Standorte dieser Verfahrensschritte voneinander entfernt sind, weil daraus erhebliche Transportaufwände (inkl. deren ökologischer „Fußabdrücke“) entstehen können.

Abbildung 40: Energiebereitstellungsmöglichkeiten aus Biomasse



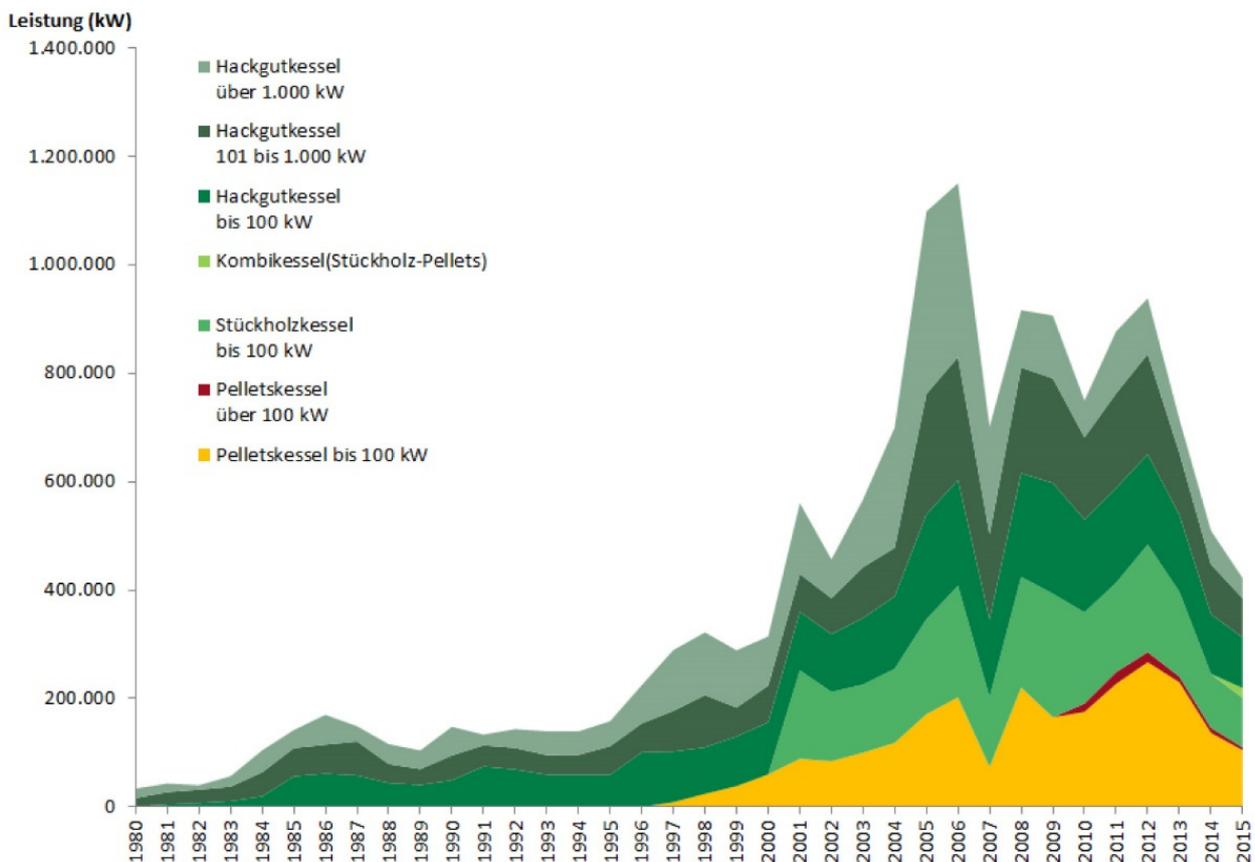
Quelle: (Kaltschmitt et al. 2014, S. 894). Anm.: Grau unterlegt=Energieträger, weiß unterlegt=Umwandlungsprozesse)

3.8.2. Anlagenarten und Bauformen

Da die Primär- und Endprodukte der Energieumwandlung aus Biomasse so vielfältig sind, gilt dies auch für die Anlagenarten und Bauformen der Wärmenutzung. Grundsätzlich ist dabei zwischen Einzelanlagen ohne Wärmenetzkopplung (etwa auch die älteste Form der „menschlichen“ Wärmeerzeugung: Ein Holzkamin) und netzgekoppelten Anlagen zu unterscheiden.

Die folgende Abbildung zeigt die Bedeutungszunahme der Biomasse seit 1980, speziell auch seit 1997 mit den Leistungsbeiträgen von Pelletskesseln, und sehr deutlich auch die schnelle Auswirkung des Ölpreises (etwa beim Preiseinbruch 2006-2007) auf die Zu- oder Abnahme der Anzahl neu installierter Biomassefeuerungen pro Jahr.

Abbildung 41: Leistungsentwicklung von Biomasse-Feuerungen, 1980-2015

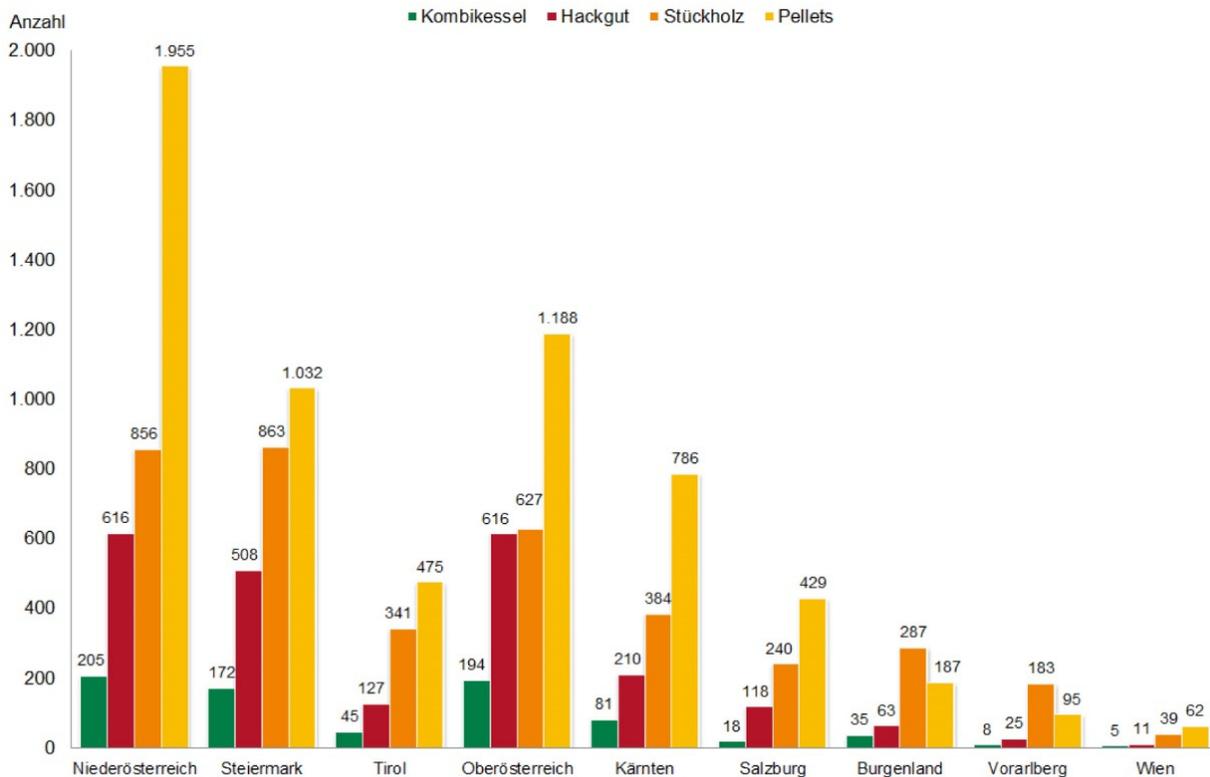


Quelle: (Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung Betriebswirtschaft und Technik 2015, S. 5)

Die Landwirtschaftskammer Niederösterreich listet in Ihrer Publikation auch die Pellets-Feuerungen bis 30 kW und kategorisiert diese Leistungsklasse als „Wohnraumkessel mit Zentralheizungsfunktion“ (Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung Betriebswirtschaft und Technik 2015, S. 8). Wiederum fast 90% dieser kleinen Privat-Anlagen hat die Leistungsklasse bis 17 kW, was der Leistung einer typischen Erdgas-Kombitherme für einen Haushalt entspricht.

Die folgende Abbildung der Bundesländerverteilung von Biomassekesseln zeigt eine starke Linearität zur jeweiligen Bevölkerungszahl, mit der Ausnahme Wiens, weil hier etwa 90 % aller Haushalte mit den zentralen Netzleistungen der Fernwärme oder des Erdgases versorgt sind. Zur Entwicklung der wesentlich leistungsstärkeren Biomasseanlagen (ab 10 MW) s. Kapitel 3.8.10..

Abbildung 42: Bundesländerverteilung von Biomasse-Kesseln bis 100 kW, 2014



Quelle: (Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung Betriebswirtschaft und Technik 2015, S. 9)

3.8.3. Anlagenbeispiele nach Lage und Typ

Die folgenden Abbildungen und Daten zeigen ausgewählte österreichische Beispiele existierender Biomassenkraftwerke. Diese Beispiele sind nach dem biogenen Rohstoffpotenzial sortiert. Die hier unter „Fläche“ genannten Werte beinhalten ausschließlich die für die Potenzialrohstoffe benötigte Fläche. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Kraftwerks-Flächenanteilen und der Größe der Potenzialrohstoff-Flächen veranschaulicht. Im Unterschied zu Geothermie, Solarenergie und Windkraft sind bei den Biomassen diese beiden Flächenarten nicht lageident. Alle Daten- und Bildquellen befinden sich in der vollständigen Anlagenliste im Anhang.

Tabelle 19: Biomasse-Anlagen nach Lage, Typ und Größe

Biomasse, Wald-Hackschnitzel, Wärmeerzeugung mit Wärmenetzanschluss	
	<p>Name, Lage: Biomasse Heizwerk Rankweil, Vorarlberg, Österreich</p> <p>Unter-Typ: Forst, Hackschnitzel, Wärme</p> <p>Info: P_{th} gesamt 1.700 MW (Winterbetrieb) bzw. 1.000 MW (Sommerbetrieb) variabel durch den Einzel- oder Kombibetrieb der beiden Kessel. Brenngut: Wald-Hackschnitzel. Großabnehmer der Wärme: Krankenhaus Rankweil und öffentl. Gebäude der Marktgemeinde. Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010</p> <p>Fläche (ha): 568</p> <p>Leistung (MW th/a): 1,7</p> <p>Energie (MWh th/a): 10.000</p>
	<p>Name, Lage: Biomasse KWK Heizwerk Simmering, Wien</p> <p>Unter-Typ: Forst, Hackschnitzel, Wärme</p> <p>Info: Baujahr 2006, damals eines der größten Biomassekraftwerke Europas. Mehrere Heizblöcke für Erdgas, Biomasse und Heizöl. Der Biomasse-Anteil versorgt 41.000 Wiener Haushalte mit Fernwärme. 7.500 Volllaststunden pro Jahr. Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010</p> <p>Fläche (ha): 26.535</p> <p>Leistung (MW th/a): 37</p> <p>Energie (MWh th/a): 470.000</p>
Biomasse, agrarisch, Wärmeerzeugung mit Wärmenetzanschluss	
Kein Foto vorhanden	<p>Name, Lage: Biogas (Flächen-default o. Referenzanlage)</p> <p>Unter-Typ: agrarisch, Mais (Biogas), Wärme</p> <p>Info: Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010</p> <p>Fläche (ha): 100</p> <p>Leistung (MW th/a): 3</p> <p>Energie (MWh th/a): 5.900</p>
Kein Foto vorhanden	<p>Name, Lage: Kurzumtrieb (Flächen-default o. Referenzanlage)</p> <p>Unter-Typ: agrarisch, Pappeln, Wärme</p> <p>Info: Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010</p> <p>Fläche (ha): 100</p> <p>Leistung (MW th/a): 3</p> <p>Energie (MWh th/a): 7.040</p>



Name, Lage: Strohkraftwerk & Nahwärme Stetteldorf, Niederösterreich
Unter-Typ: agrarisch, Stroh, Wärme
Info: 1993 Gründung der Fernwärmegenossenschaft, Herbst 1994 Start des Heizbetriebes. Feuerung zu 100 % aus Stroh von umliegenden, nahen Getreidefeldern; Öl-Ausfallkessel 2 MW. Versorgung von 220 Haushalten und allen öffentlichen Gebäuden der Gemeinde. Durchschn. Strohbedarf ca. 1.500 t/a, entspricht 500-600 ha Getreidefläche. Verwertung der kalihältigen Stroh-Asche als Dünger. Quelle kWh/m²/a: Kaltschmitt et al. 2009, S. 182
Fläche (ha): 600
Leistung (MW th/a): 2,5
Energie (MWh th/a): 8.333



Name, Lage: Strohkraftwerk & Fernwärme Bockfließ, Niederösterreich
Unter-Typ: agrarisch, Stroh, Wärme
Info: Gemischter Feuerungsbetrieb Holz-Hackgut (1,7 MW), Stroh (2,5 MW), Öl (Ausfallsicherung, 1,75 MW). 386 Hausanschlüsse, 10 km Netz, 137 m³ Pufferspeicher. Fernwärme-Genossenschaft (gegr. 1992), Mitglieder sind alle Wärmeabnahme-Kunden. 1993 Baustart und Betrieb. Stroh aus 500 ha Getreideflächen. Mit Bauern aus der Umgebung bestehen Strohlieferverträge.
Fläche (ha): 500
Leistung (MW th/a): 2,5
Energie (MWh th/a): 7.830

Biomasse, agrarisch, Bioethanol



Name, Lage: Agrana Stärke (Bioethanol), Pischelsdorf, Niederösterreich
Unter-Typ: agrarisch, Bioethanol
Info: Baujahr 2008, Österreichs einzige Bioethanol-Anlage. Jahresdurchsatz etwa 500.000 t Getreide, v.a. Weizen und Mais, Jahresproduktion 240.000 m³ (=240 Mio. Liter) Bioethanol. Über dieses Ethanol-Volumen und dessen Energiegehalt (7,4 kWh/kg) wurde der Flächenbedarf abgeschätzt. Nebenproduktion 180.000 t Eiweißfuttermittel. Gute Verkehrsanbindung (Straße, Schiene, Wasser), Lage im Zentrum der Getreide-Anbauggebiete. Quelle kWh/m²/a: Kaltschmitt et al. 2009, S. 182
Fläche (ha): 4.291
Leistung (MW th/a): k.A.
Energie (MWh th/a): 177.600

3.8.4. Lageunabhängige Ertragsunterschiede

Die wichtigsten lageunabhängigen Faktoren, die die Biomasse-Erträge beeinflussen, sind die Bewirtschaftungsform und der Düngemiteleinsatz für die jeweiligen Pflanzen. Auch die Wahl der Fruchtfolge selbst (Anzahl der Fruchtart pro Saison/Jahr oder auch über mehrere Jahre), die Art und Intensität der Düngung, Art und Frequenz der Pflegemaßnahmen und auch das spezifische Ernteverfahren bestimmen ganz maßgeblich den Ernteertrag (Kaltschmitt et al. 2006, S. 100). Falls es sich um essbare Pflanzenerträge handelt, ist auch einfach die Entscheidung, welcher Flächenanteil für die Energieumwandlung aus der Nahrungsmittelfunktion „abgekoppelt“ wird, nicht lageabhängig, aber für den Energieertrag ebenso relevant wie für den Grad der Konkurrenzierung der Lebensmittelfunktion.

3.8.5. Lageabhängige Ertragsunterschiede

Die Produktivität der Photosynthese, und damit das Biomasseertragspotenzial ist sehr vom lokalen Klima, insbesondere von der Luft- und Bodentemperatur und der Niederschlagsmenge abhängig. Weitere lageabhängige Ertragsfaktoren sind Bodeneigenschaften wie Tiefe und Volumen der Humus-Schicht, die Bodenfruchtbarkeit (Nährstoff- und Mikroorganismengehalt), aber auch die Wasserhalte-Fähigkeiten durch die Textur und Körnung des Bodens (Kaltschmitt et al. 2006, S. 98-100). Innerhalb derselben Fruchtart bringt auch das Relief der Landschaft Ertragsunterschiede, weil z.B. in schlecht erschlossenen, steilen Hanglagen-Wäldern maschinell weniger „geernet“ werden kann als in flachen, gut erschlossenen Wäldern¹⁹. Ähnliche Unterschiede bestehen auch innerhalb der agrarischen Biomassen, etwa nach unterschiedlichen Klimazonen und Bodenqualitäten.

3.8.6. Räumliche bedingte Potenzialunterschiede in Österreich

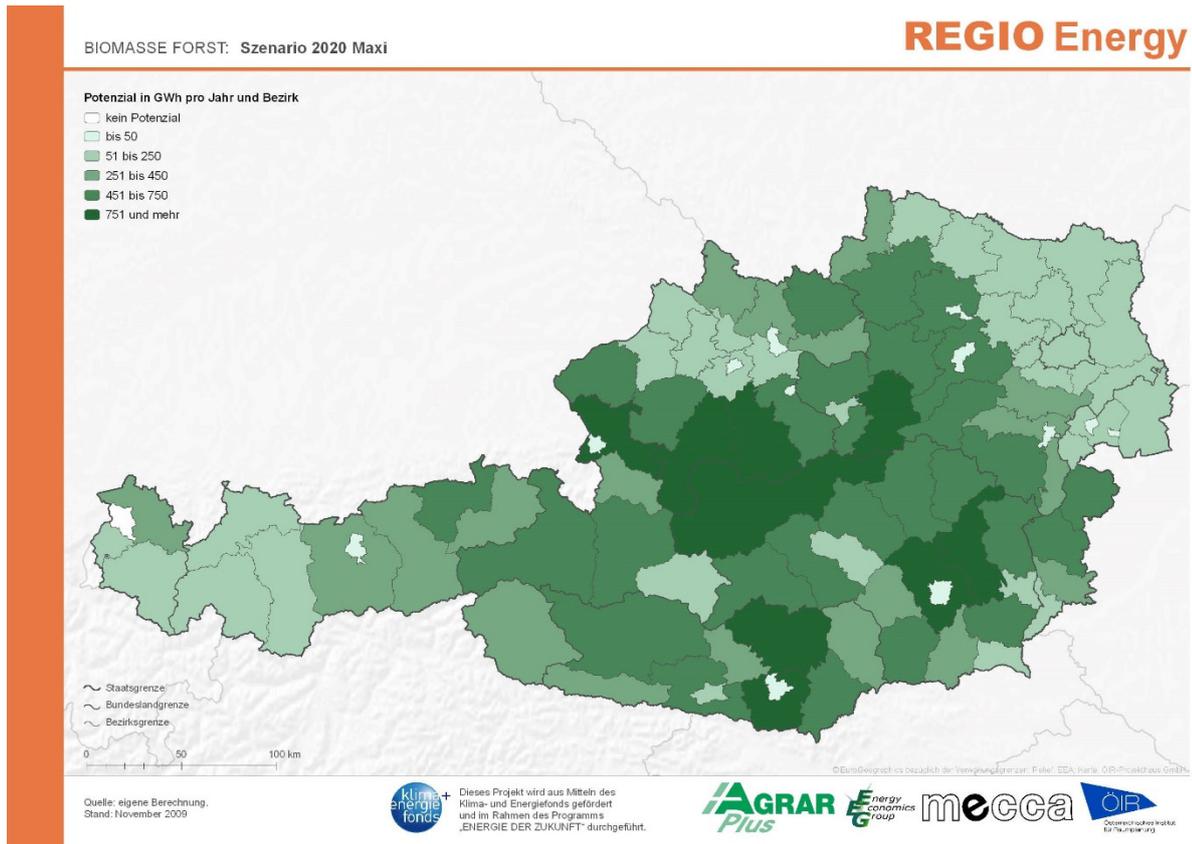
Im folgendem Kapitel räumliche Lage- und Potenzialunterschiede österreichischer Biomassepotenziale veranschaulicht. Es konnten nur sehr wenige Studien recherchiert werden, die überhaupt versucht haben, mit kleinerer Auflösung als der der Bundeslandebene für mehrere Biomassen Potenzialunterschiede verortet zu visualisieren. Eine dieser Studien dazu ist RegioEnergy (Stanzer, G. et al 2010), hier wurden auf der Ebene der österreichischen Bezirke u.a. für die Agrar-, Forst-, Grünland- und Viehwirtschaft Biomassen Potenzialszenarien für 2020 berechnet und visualisiert.

Die folgenden Karten zeigen über die Absolutwerte der Potenziale (Gigawattstunden pro Bezirk und Jahr) deutlich die räumlichen Schwerpunkte der Biomasse-Rohstoffpotenziale aus dem Wald (v.a. Tirol, südliches Salzburg, Kärnten, westliche Steiermark, südwestliches Niederösterreich), agrarisch (Nordburgenland, nördliches und östliches Niederösterreich), und der räumlich ohne größere eindeutige Schwerpunkte verteilten Vieh- und Grünlandwirtschaft.

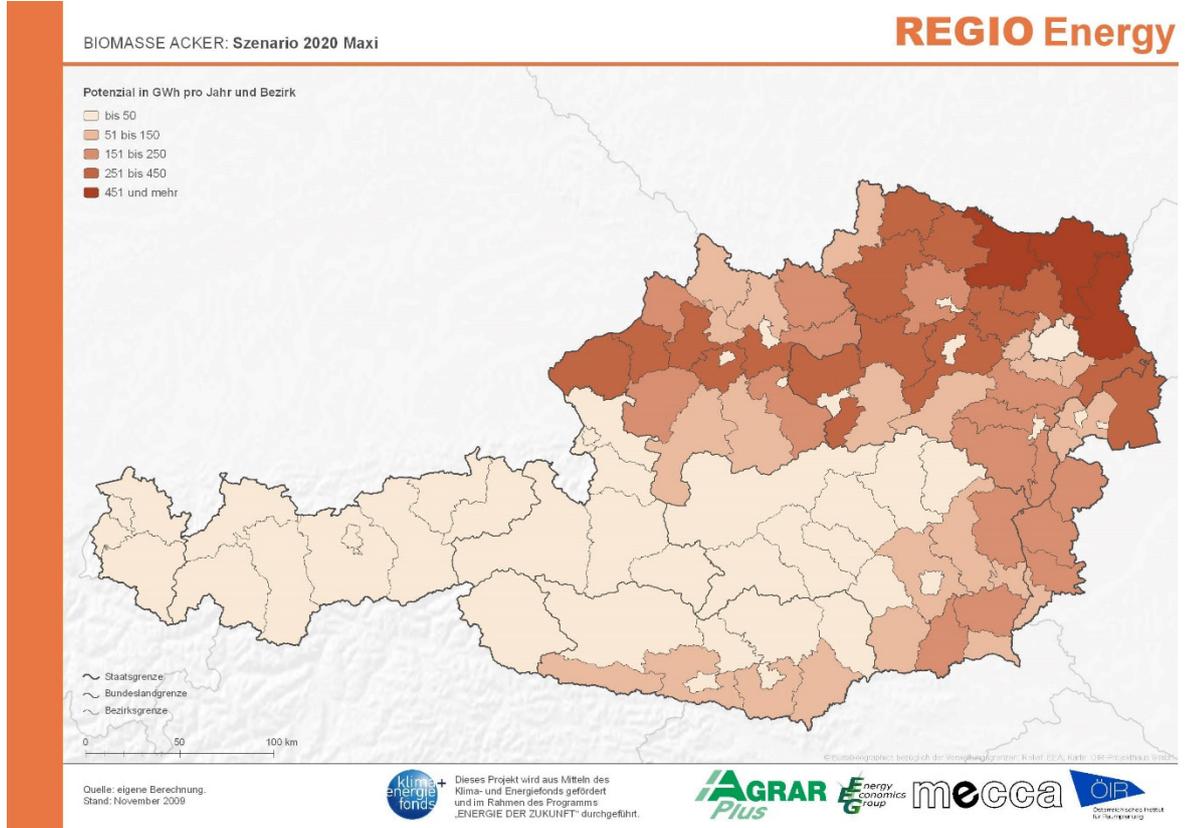
Vereinfacht gesagt, umschließen die eher im flachen Land liegenden agrarischen Biomasse-Potenziale im Norden und Osten Österreichs die zentral gelegenen, großen Wälder im voralpinen Hügelland und den alpinen Landschaften. Grundsätzlich ist die Verbrennung von Nahrungsmitteln aus ethischen Gründen abzulehnen, dazu konnten aber keine genauen Analysen recherchiert werden, die darstellen, welche Flächen die Energieproduktion aus Nahrungsmitteln in Österreich (nicht: global!) tatsächlich der Nahrungsmittelfunktion entziehen, oder ob Teile der „entzogenen“ Flächen auch in anderen Lagen „ersetzt“ werden.

¹⁹ All diese lageabhängigen Ertragsunterschiede können auch innerhalb eines kleinen Landes wie Österreich große Ertragsunterschiede innerhalb einer Biomassefraktion bringen, aber es ist überaus schwierig hierzu Datenmaterial, das etwa nach Klima- und Bodenarten Energieerträge unterscheidet, zu finden.

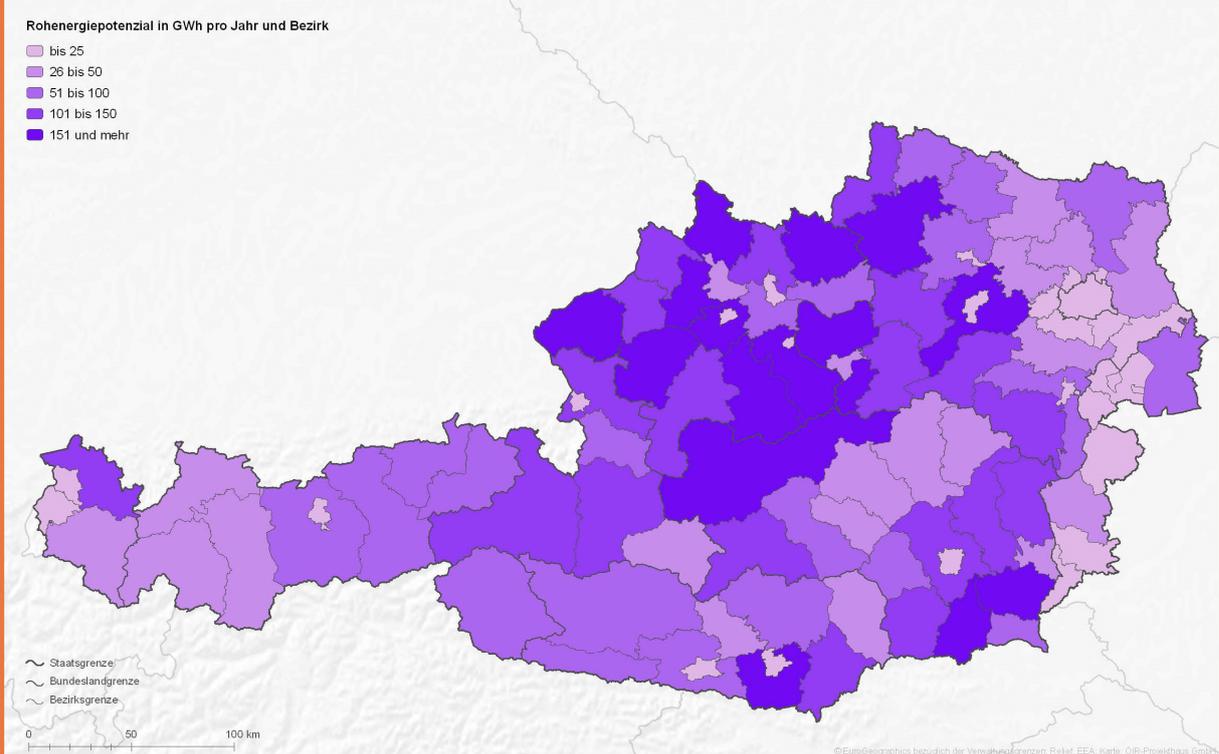
Karte 12: Szenarienergebnisse „maxi 2020“ des Projektes RegioEnergy, 2010



Anm.: In der folgenden Karte „Biomasse Acker“ wurden mehrere Feldfruchtarten summiert.



BIOMASSE GRÜNLAND-VIEHWIRTSCHAFT: Szenario 2020 Maxi



Quelle: eigene Berechnung.
 Stand: November 2009



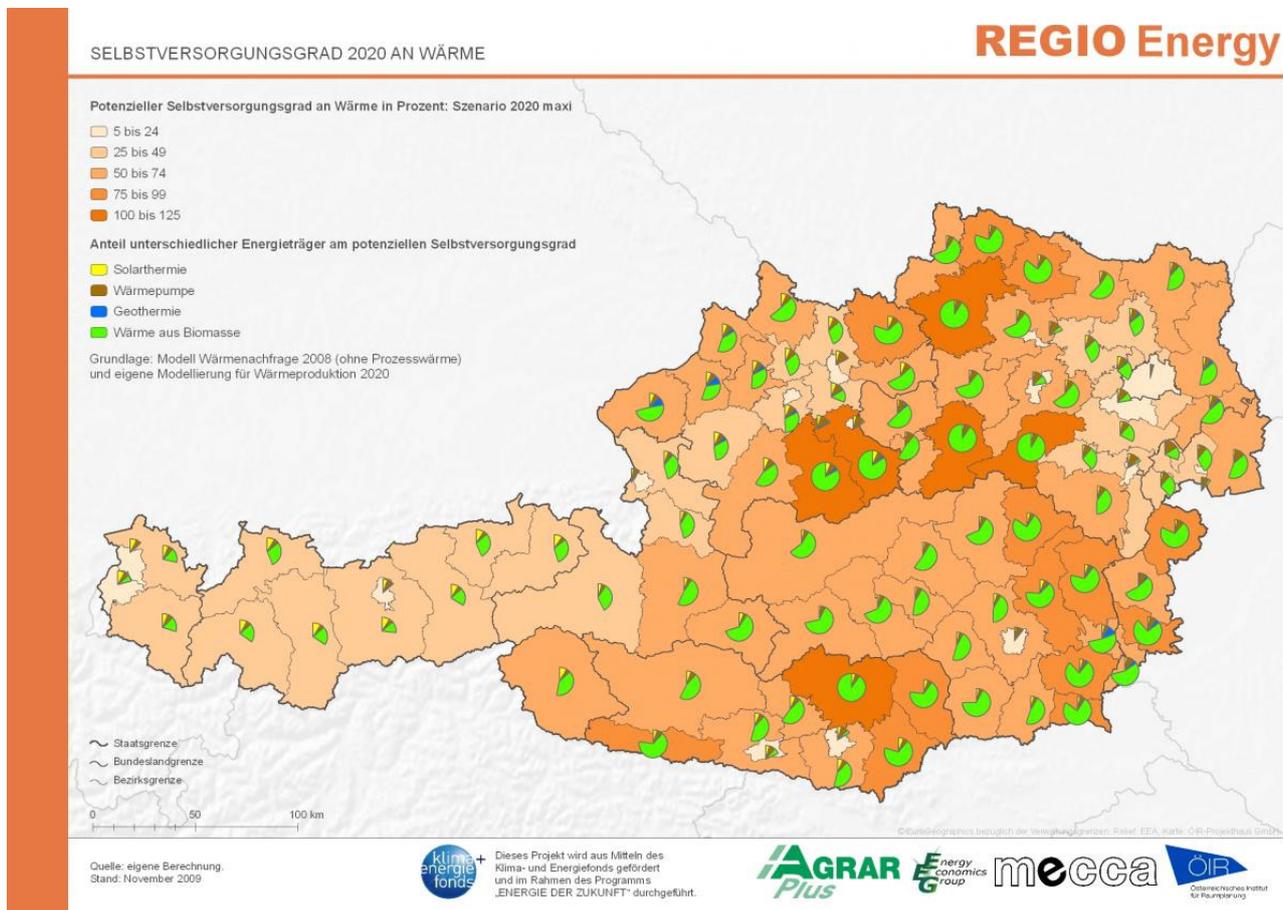
Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt.



Quelle: (Stanzer, G. et al 2010)

Für die künftigen zusätzlichen erneuerbaren Potenziale ist nicht nur die Verteilung einzelner Produktionspotenziale im Raum wichtig, sondern auch das Verhältnis zwischen der Wärmenachfrage und den erneuerbaren Energiepotenzialen im Ensemble mehrerer erneuerbarer Energien. Ein solches Szenario zeigt die folgende Karte.

Karte 13: Anteile verschiedener erneuerbarer Energiepotenziale zur Wärmenachfrage auf Bezirksebene, 2020



Quelle: (Stanzer, G. et al 2010)

Diese Karte zeigt folgende wesentliche räumliche Unterschiede:

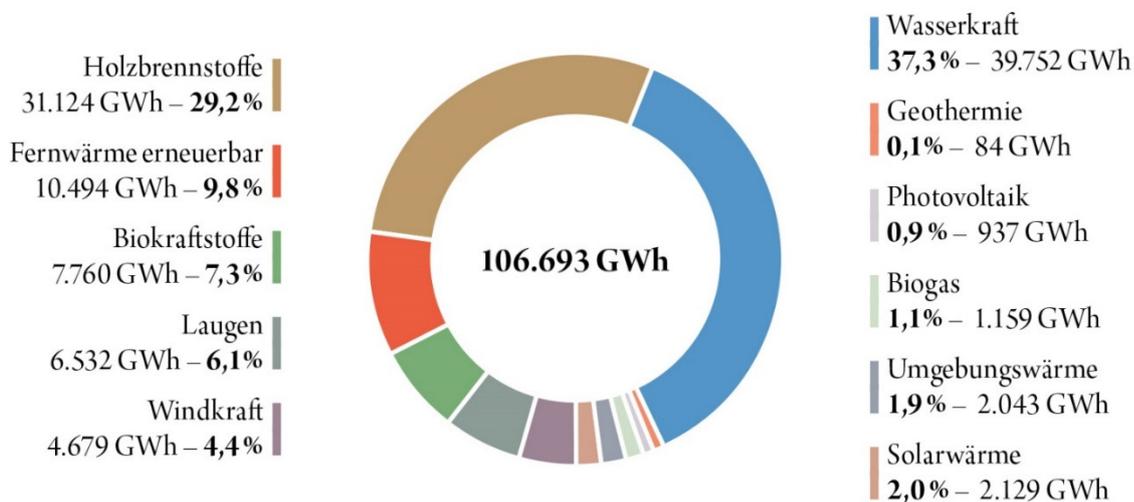
- Dicht besiedelte Bezirke (etwa die Hauptstädte der Bundesländer) „schaffen“ auf Ihren bezirkseigenen Flächen Energieertragspotenziale, die bei weitem nicht für Ihren Eigenbedarf an Wärme ausreichen. Dadurch sind sie auf Kooperationen mit dem Umland angewiesen;
- Nur 6 Bezirke haben ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen der in RegioEnergy modellierten jährlichen Wärmenachfrage und den erneuerbaren Energiepotenzialen im Szenario „maxi 2020²⁰“ – in der Karte durch die „geschlossenen“ Tortendiagramme dargestellt;
- Die Wärme aus Biomassen tragen im Verhältnis zu den anderen erneuerbaren Energiepotenzialen eindeutig die größten zusätzlichen Leistungsbeiträge bei (oft über 80 %);

²⁰ Der Begriff „Selbstversorgungsgrad“ wurde von den RegioEnergy Autorinnen und Autoren etwas vollmundig gewählt. Selbstversorgung klingt danach, dass es möglich sei auf Bezirksebene, also ohne Im- und Exporte außerhalb derselben, mit allen Problemen der Energiespeicherung, -verteilung und allen täglichen und saisonalen Nachfrageschwankungen eine vollständige Wärme-Selbstversorgung erreichen zu können. Dies ist weder realistisch noch netztechnisch sinnvoll.

- Innerhalb der biogenen Rohstoffe wird es auch künftig eine Rolle spielen, unter welcher Flächenkonkurrenz diese Flächen stehen. Denn während durch die zunehmende Versiegelung durch Gebäude und Verkehrswege fruchtbare Ackerlandböden eher „gefährdet“ sind, nehmen die Waldflächen und damit auch die daraus mobilisierbaren biogenen Rohstoffe kontinuierlich zu: zwischen 1971 und 2009 ist der österreichische Holzvorrat von 827 auf 1135 Millionen Vorratsfestmeter angewachsen, der jährliche Zuwachs an Sägerundholz, Industrierundholz, Brennholz und Hackgut beträgt 23 Millionen Vorratsfestmeter (Österreichischer Biomasse-Verband 2017, S. 50);
- Zum Wärmenachfragemodell, das in RegioEnergy verwendet wurde, ist es wichtig zu erwähnen, dass die Autorinnen und Autoren den Wärmebedarf 2020 gleich dem von 2008 gesetzt haben. Es wurden keine „Energiesparpfade“ modelliert. Die tatsächlichen Sanierungsraten in Österreich der letzten Jahre zeigen Werte von nur 1 bis 1,5 % pro Jahr, für die ungefähre Zielerreichung der Pariser Klimaziele bräuchte es aber 3 % p.a. (derStandard 2016). Die realen Sanierungsraten stehen somit in einem deutlichen Widerspruch etwa zu den Landesenergiekonzepten (s. Kap. 2.3.), die von viel höheren „Sparzielen“ bis hin zur Halbierung des Wärmebedarfes ausgehen.

Bisher wurden vor allem die räumlichen Angebotslagen der verschiedenen Biomassen in Österreich gezeigt. Im Überblick ist nun die Nachfragesituation darzustellen: Österreich hatte 2015 einen Anteil erneuerbarer Energie am gesamten Endenergieverbrauch von 32,8 % (Biermayr 2016, S. 12). Die folgende Abbildung zeigt dazu die Mengenaufteilungen, die Bioenergie hält in Summe knapp 60 % der gesamten erneuerbaren Energie, der nächstgrößere Einzelbeitrag kommt aus der Wasserkraft mit 37 %. Die Bioenergien tragen laut dieser Darstellung in Österreich 46 % bei, der Biomasseverband Österreichs (Pfemeter et al. 2016, S. 28) nennt dagegen einen deutlich höheren Wert, nämlich 57 %²¹. Glaubt man den 46 %, ergibt sich zum Gesamtbedarf incl. nicht erneuerbarer Energien ein Gesamtbeitrag der Bioenergien in Österreich von $32,8 \% \cdot 0,46 = 15 \%$.

Abbildung 43: Anteile erneuerbarer Energieträger in Österreich, 2015



(Biermayr 2016, S. 14)

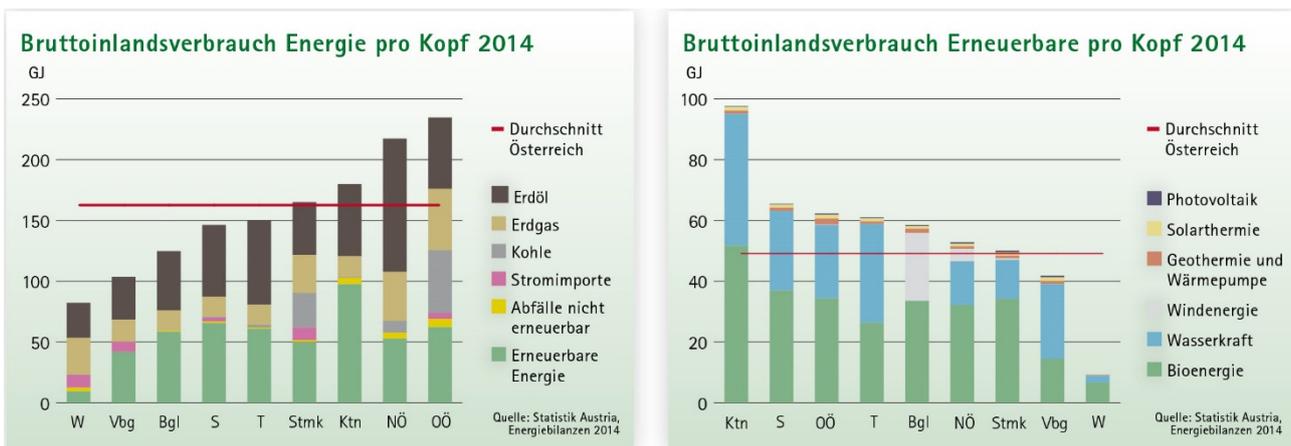
²¹ Dieser Unterschied von fast 10 % ist aus den zugrundeliegenden Daten und Berichten nicht offensichtlich erklärbar, könnte aber an unterschiedlichen Zuteilungen von Primär- und Sekundärprodukten der Biomasse liegen, die in den Originaldaten verwendet wurden.

Auf Bundesländerebene betrachtet ergeben sich bei den einzelnen Beiträgen der erneuerbaren Energien, aber auch im gesamten Energie-Pro-Kopf-Verbrauch, sehr große Unterschiede. Die folgende Grafik zeigt dazu u.a.:

- Wienerinnen und Wiener verbrauchen pro Kopf mit Abstand am wenigsten Energie pro Kopf, nämlich deutlich weniger als die Hälfte der oberösterreichischen und niederösterreichischen Mengen. Zugleich hat Wien im Pro-Kopf-Vergleich den kleinsten erneuerbare-Energie-Anteil mit etwa 13 %. Im Bundesländervergleich hier nicht differenziert dargestellt sind die unterschiedlichen Industrialisierungsgrade. Wahrscheinlich einer der Gründe für den insgesamt höchsten Pro-Kopf-Energieverbrauch Oberösterreichs;
- Innerhalb der erneuerbaren Energien liefern die Bioenergien (mit Ausnahme Tirols mit dem höchsten Wasserkraft-Anteil aller Bundesländer) den jeweils größten Einzelbeitrag.

Gerade für die Biomassen wären zusätzlich wesentlich genauere Aufschlüsselungen interessant, etwa *welche* Biomasse-Fractionen über eine längere Zeitreihe welche Beiträge beisteuern, und dies auch auf regionaler Ebene differenziert. Auch Aussagen über die Entfernungen zwischen den Potenzialflächen und den Kraftwerken²² wären für die Life Cycle-Bilanzierung wichtig.

Abbildung 44: Gesamter Bruttoinlandsverbrauch Energie und erneuerbarer Bruttoinlandsverbrauch pro Kopf in österreichischen Bundesländern, 2014



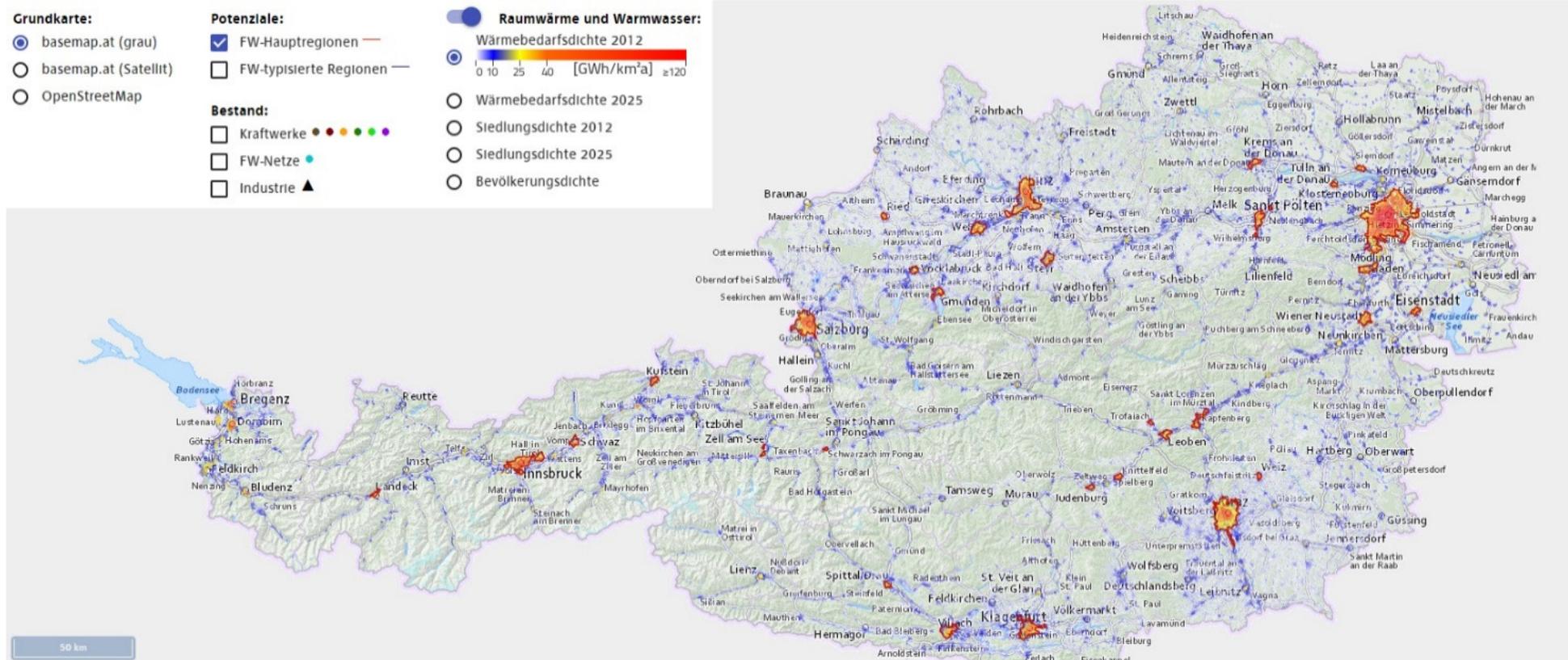
(Pfemeter et al. 2016, S. 26)

Nachdem die räumlich bedingten Potenzialunterschiede der Biomasse (sowohl nachfrage- wie angebotsseitig) im IST-Zustand erörtert wurden, soll dieses Kapitel mit zwei Aspekten zum SOLL-Zustand abgerundet werden: Der Bedeutung künftiger Veränderung von Wärmenachfragedichten und den Einspeisepotenzialen von Biomethan und Wasserstoff in bestehende Erdgasnetze.

Die Studie „Austrian Heat Map“ (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013) hat dazu Wärmenachfragedichten für 2012 und 2020 modelliert. Visualisiert und abgegrenzt wurden u.a. Fernwärme-Hauptregionen aufgrund Ihrer Wärmebedarfsdichte. Die folgende Karte zeigt diese Situation im Überblick.

²² Trotz zeitintensiver Versuche konnten im Zuge dieser Dissertation dazu keine Datenquellen oder -karten gefunden werden.

Karte 14: Projekt Austrian Heat Map, Potenziale österreichische Fernwärme-Hauptregionen

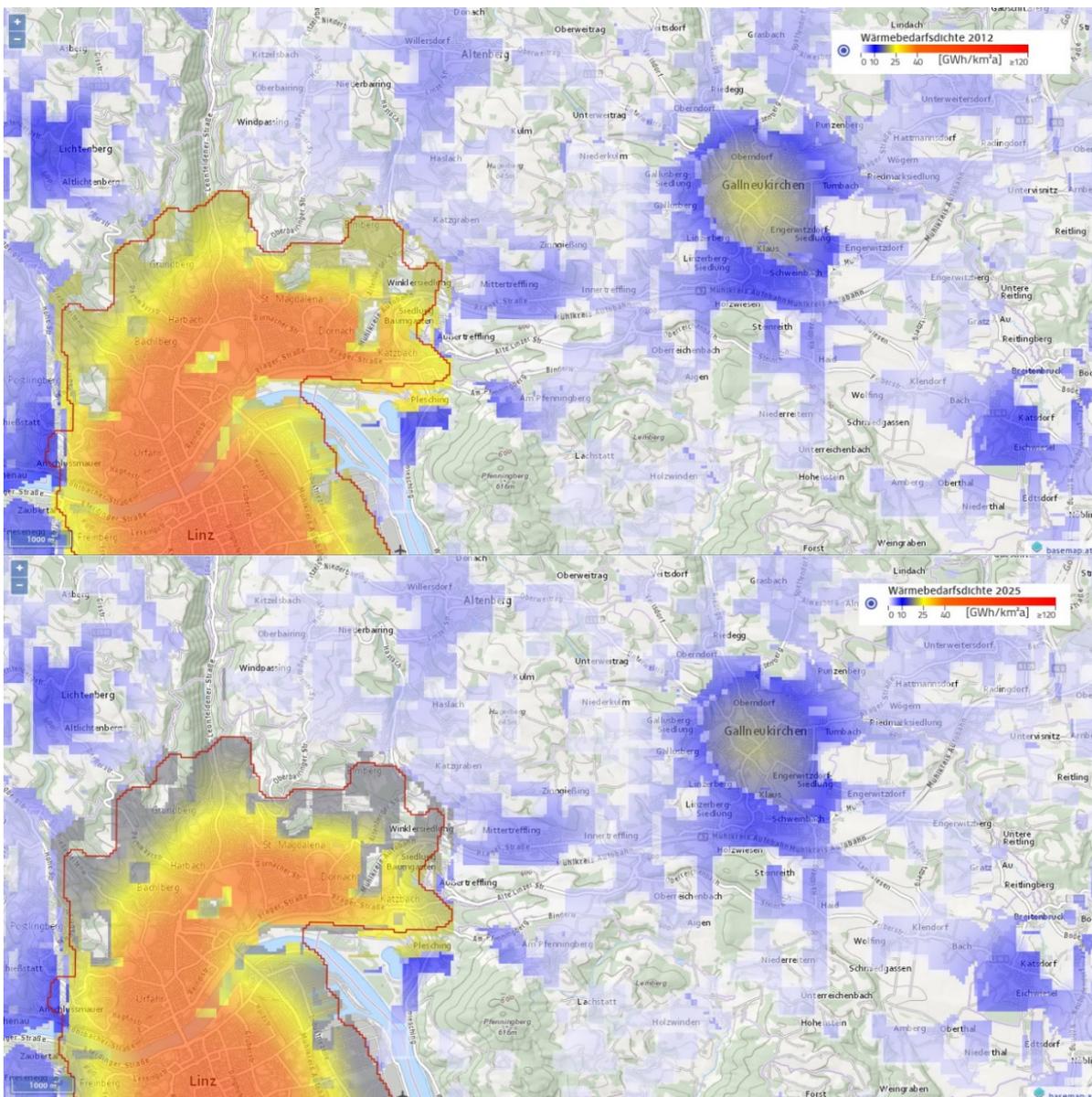


Quelle: (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013)

Die Autoren sind bei ihren Modellierungen von einem maximalen technischen Gesamtpotenzial mit Wärmedichten von über 10 GWh/km²/a und Anschlussgraden von 90 % bzw. einem reduzierten technischen Potenzial (über 20 GWh/km²/a, Anschlussgrad 45 %) ausgegangen. Dies erklärt, warum die Fernwärme-Hauptregionen (in der obigen Karte orange eingrahmt) eher klein erscheinen, d.h. vor allem die sehr dichten Kernbereiche der Siedlungen, wie der Landeshauptstädte, nicht aber das weitere Umland enthalten. Insgesamt steht die Studie für einen sehr vorsichtig-optimistischen Blick auf den zusätzlich machbaren Ausbaugrad der Fernwärme, und damit auch der biogenen Rohstoff-Anteile, die zu Fernwärme werden.

Erschwert wird dieser Ausbau auch dadurch, dass zukünftig entlang der jeweiligen jährlichen Raten der thermischen Sanierungen eher mit einer leichten Abnahme der Wärmedichten zu rechnen ist. Dies wird die Wirtschaftlichkeit des Netzbetriebes, je nach Ausprägung des Wärme-Nachfragerückganges, zusätzlich erschweren. Umgekehrt sind bei Nachverdichtungen ebenso auch kleinräumige Steigerungen der Wärmenachfragedichte denkbar. Die folgenden beiden Zoom-Ausschnitte zeigen einen Stadtrandbereich von Linz im Modellvergleich 2012 und 2025.

Karte 15: Projekt Austrian Heatmap, Zoom Wärmebedarfsdichten (2012-2025)

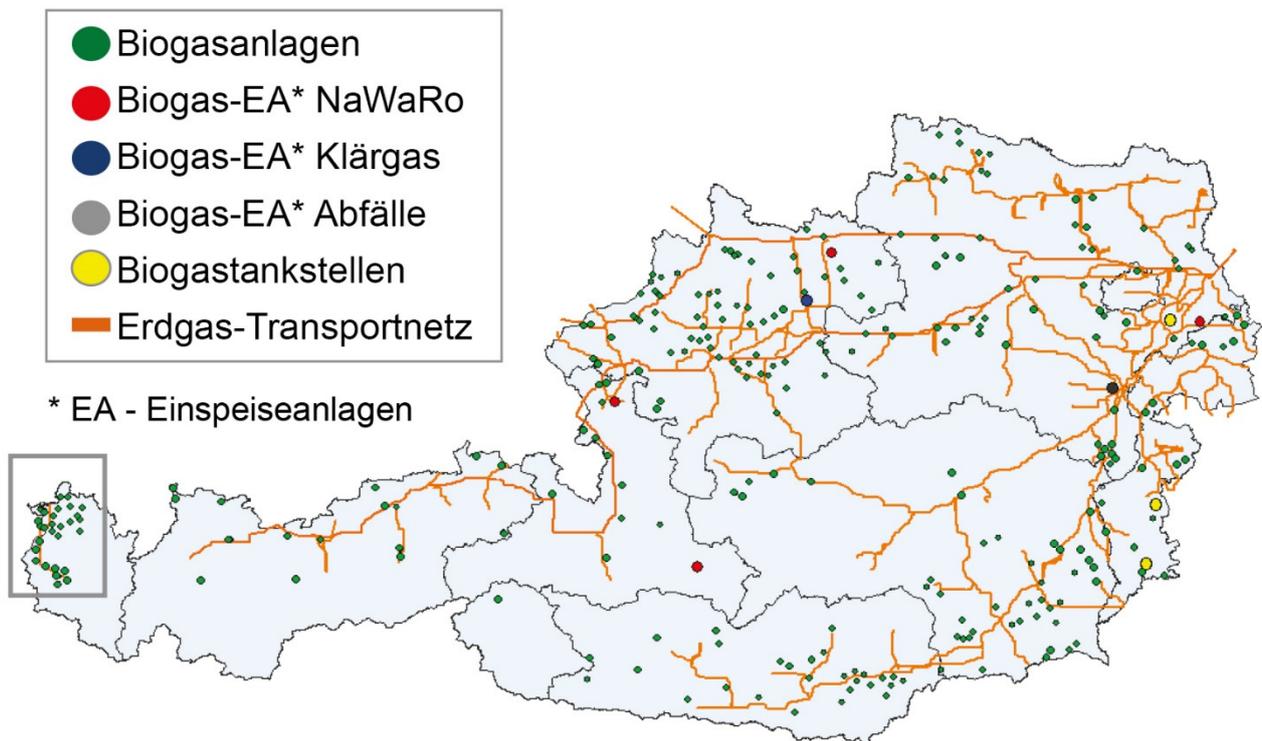


Quelle: (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013)

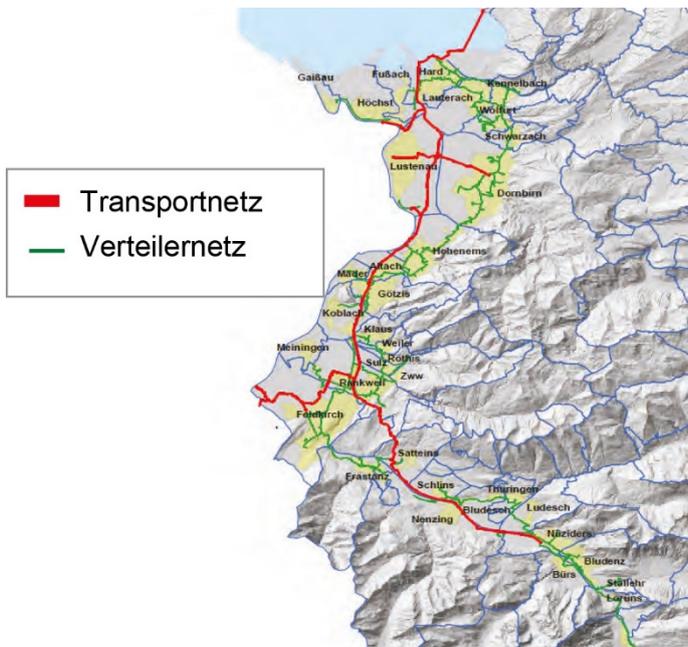
Die nur geringen Abnahmen der Wärmenachfrage, die diese Karten sowohl für die dichten als auch für die weniger dichten Siedlungsstrukturen (etwa der Kernstadt Linz und den Umlandgemeinden) zeigen, könnten für sehr vorsichtige Annahmen der thermischen Sanierungsraten stehen, von denen die Autorinnen und Autoren in ihren Modellen ausgegangen sind. Künftig abnehmende Wärmenachfragedichten werden die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen (unabhängig vom eingesetzten Brennstoff) erschweren, was auch keine günstige Voraussetzung für eine weitere Steigerung der Biomassenanteile darstellt.

Andere Versorgungszuwächse der Biomassen in der künftigen Wärmeversorgung sind aber auch ohne Veränderungen im Gebäudebestand, der an Wärmenetzen angeschlossen ist, denkbar. Eine dieser Möglichkeiten wäre es, künftig in bestehende Erdgasnetze mehr aufgereinigtes Biomethan oder Wasserstoff einzuspeisen. Dieses Potenzial zeigt die folgende Karte.

Karte 16: Biogaseinspeiseanlagen und ihre Lage zum Erdgasnetz, 2008



350 Biogasanlagen (Stand 2010),
davon 280 Biogasanlagen (Stand Juni 2008) dargestellt



Quelle: (Pötsch 2008)

Anm. das feinmaschigere Verteilergasnetz, das die Biogas-Einspeise-Anlagen nutzen, ist nicht für ganz Österreich, sondern nur als Zoom für Vorarlberg abgebildet.

Pötsch kommt beim künftigen Einspeise-Potenzial zu folgenden Empfehlungen:

- 2008 gab es nur 6 Biogas-Einspeiseanlagen, davon vier Biogas-Anlagen mit nachwachsenden Rohstoffen, eine mit Klärgas und eine mit Abfällen betrieben. Viele weitere Biogasanlagen wären nahe genug am Erdgashaupt- und Verteilernetz, und auch die Untertage-Erdgasspeicher in Nieder- und Oberösterreich hätten dafür noch genügend Kapazitätsreserven;
- Aufgrund aktueller Einspeisetarife ist die Gaseinspeisung im Direktvergleich mit der Verstromung einfach nicht lukrativ genug. Für eine Trendwende wird es dazu dauerhafte Änderungen im Ökostromgesetz brauchen;
- Auch der Windstrom hat durch „Power-to-Gas“ (Umwandlung von Windstrom in Wasserstoff oder synthetisches Methan) ein beträchtliches Einspeisepotenzial, räumlich wird dies auch durch die Nähe der Erdgasspeicher im Marchfeld zu den leistungsstarken Windparks im östlichen Niederösterreich und dem Nordburgenland begünstigt.

3.8.7. Flächenbedarfe

Die Flächenbedarfe der Energieproduktion aus Biomasse setzen sich aus den Rohstoffpotenzialflächen und dem Anlagegebäudenflächen zusammen. Die „versiegelten“ Flächen der Kraftwerke und der zugehörigen Leitungsinfrastruktur benötigen nur einen sehr kleinen Teil der horizontal benötigten Gesamtfläche, die auch die Rohstoffpotenzialflächen enthalten. Zu den versiegelten Flächen gehört das Kraftwerksgelände inkl. der Zufahrtswege und dem Flächenbedarf für die Rohstoff-Lagerhallen (Pellets, Hackschnitzel, Getreide, Stroh, ...).

Insbesondere bei leistungsstarken Biomassenkraftwerken kann der Lagerplatz, aufgrund der geringen Energiedichte der Biomassenrohstoffe große Flächen benötigen, die nicht überall in bestehenden Siedlungsstrukturen mobilisierbar sind. Aus diesem Grunde stehen viele Biomassekraftwerke im sog. ländlichen Raum²³ häufig am Ortsrand. Zur Illustration dazu drei Kraftwerksanlagen-Beispiele, die bewusst aus völlig anderen Größenordnungen Ihrer Leistung und Jahresarbeit gewählt wurden.

Abbildung 45: Luftaufnahmen und Fotos von Biomasse-Kraftwerken: Hackschnitzel, Stroh, Bioethanol



Wald-Hackschnitzel-Kraftwerk, Leistung 1,7 MW, Energie 10.000 MWh th/a, Rankweil, Vorarlberg



Stroh-Kraftwerk, Leistung 2,5 MW, Energie 8.333 MWh th/a, Stetteldorf, Niederösterreich



Österreichs einzige Bioethanolanlage, Energie 177.600 MWh/a, Pischeldorf, Niederösterreich

Quelle: Eigene Darstellung

²³ Gerade im Kontext integrativer Energieraumplanung sind die gewohnten Begriffe „ländlich“ und „urban“ wenig hilfreich, denn in allen diesen Siedlungsstrukturen gibt es sehr unterschiedlich dichte Energienachfragemuster, die für die Optimierung der Systemgrenzen zwischen Energieangebots- und -nachfragegrenzen relevant sind.

Die Flächenbedarfe der Rohstoff-Potenziale richten sich zunächst nach der Energiehaltigkeit der jeweiligen Pflanze pro Fläche, und im Energieerzeugungsbetrieb nach der gewünschten Jahresarbeit an Wärme und Elektrizität. Dazu hier ein Überblick.

Tabelle 20: Jährlicher Flächenbedarf unterschiedlicher Biomassen-Anlagen

	Energieertrag in GJ/(ha a) (in t/(ha a))	Klein- anlage	Mittlere Anlage in 1 000 ha	Groß- anlage	Sehr große Anlage
Rückstände, Nebenpro- dukte, Abfälle					
Waldrestholz	15 (1)	9,0	90	900	3 600
Stroh ^c	50 (3,4) ^c	2,7	27	270	1 080
Energiepflanzen					
Kurzumtriebsholz ^a	150 (10)	0,9	9	90	360
Miscanthus ^a	225 (15)	0,6	6	60	240
Mais ^b	255 (22)	0,5			
Ganzpflanzensilage ^b	175 (15)	0,8			

^a biogene Festbrennstoffe; ^b Biogassubstrate; ^c Annahme: ca. zwei Drittel des gesamten Strohertrags stehen für die energetische Nutzung zur Verfügung

Quelle: (Kaltschmitt et al. 2009, S. 182)

Die Abschätzung des Flächenbedarfes der Energieproduktion aus Biomassen, genauer gesagt eines „Bereitstellungskonzeptes“ wird in der Praxis häufig dadurch erschwert, dass Kraftwerksanlagen oft mit mehreren und unterschiedlichen Biomasse-Fraktionen „befeuert“ werden können, diese aber nicht homogen, sondern in sehr unterschiedlicher Entfernung und Größe und Flächenmischung um das Kraftwerk situiert sein können. All diese Faktoren definieren das Einzugsgebiet, dies kann zu einer Typisierung nach Vorzugsregionen, günstigen Regionen und ungünstigen Regionen führen. Dazu hier eine einfache Typisierung nach Kilometer-Radien²⁴.

²⁴ Im Kapitel 3.8.12. wurde dazu auch bereits ein anderer Zugang erörtert: Nämlich, nur einen möglichst kleinen Anteil des Energiegehalts der biogenen Brennstoffe für den Transport zu „verlieren“.

Tabelle 21: Biobrennstoff-Einzugsgebiete für unterschiedliche Anlagengrößen

	Flächen- basis in %	Klein- anlage	Mittlere Anlage in km	Groß- anlage	Sehr große Anlage
Rückstände, Nebenprodukte, Abfälle ^a					
– in Vorzugsregionen	80	3,3	10,4	32,8	65,6
– in günstigen Regionen	60	3,8	12,0	37,8	75,7
– in ungünstigen Regionen	40	4,6	14,7	46,4	92,7
Energiepflanzen – Festbrennstoffe ^b					
– in Vorzugsregionen	50	2,7	8,5	26,8	53,5
– in günstigen Regionen	20	3,8	12,0	37,8	75,7
– in ungünstigen Regionen	10	5,4	16,9	53,5	107,0
Energiepflanzen – Biogassubstrate ^c					
– in Vorzugsregionen	40	2,1			
– in günstigen Regionen	20	2,9			
– in ungünstigen Regionen	10	4,1			

^a Stroh; ^b Kurzumtriebsplantagenholz; ^c Mais

Quelle: (Kaltschmitt et al. 2009, S. 183)

Anhand der Radien der Einzugsgebiete ist eindeutig, dass die Dichte, Größe und Nähe der jeweiligen benötigten Rohstoffflächen den Radius bestimmen: „Vorzugsregionen“ haben nahegelegene große Rohstoffflächen des benötigten biogenen „Stoffmixes“, bei „ungünstigen“ Regionen sind diese weiter entfernt und/oder kleiner. „Günstig“ meint hierbei sowohl die räumliche als auch die gesamtwirtschaftliche Effizienz des Anlagenbetriebes.

3.8.8. Katalog-Beispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Die folgende Tabelle zeigt ausgewählte Zahlenwerte zu Flächenbedarfen und den jeweiligen Energieerträgen verschiedener Biomassen-Kraftwerke. Die Records sind absteigend nach dem Energieertrag pro Fläche sortiert. Die unter „Fläche“ genannten Werte beinhalten ausschließlich die für die Potenzialrohstoffe benötigte Fläche. Im Kapitel 4.4. werden ergänzend ausgewählte Anlagen nach Ihrem Verhältnis zwischen den Kraftwerks-Flächenanteilen und der Größe der Potenzialrohstoff-Flächen verglichen. Im Unterschied zu Geothermie, Solarenergie und Windkraft sind bei den Biomassen diese beiden Flächenarten nicht lageident. Alle Daten- und Bildquellen der folgenden Anlagenbeispiele befinden sich im Anhang.

Anmerkung: Die empirische Arbeit zu den Flächenmengen insbesondere der Biomassen-Rohstoffe war leider von sehr vielen Fehlschlägen und unvollständigen Records geprägt. Zwar war es möglich, von wenigen Anlagen durch Befragungen den realen Flächenbedarf zu erfragen, aber oft wussten auch die Kraftwerksbetreiber nicht, woher die Rohstoffe kommen oder wie groß die entsprechenden Rohstoffflächen sind. Um im Forschungsdesign konsistent zu bleiben, wurden aber zu mindestens einige wenige Anlagen-Records gesammelt, auch wenn deren Menge und Validität nicht die Qualität der anderen Katalog-Sachkapitel (Geothermie, Solarenergie, Windkraft) erreicht hat. So konnte immerhin ein Mindestsample der flächenspezifischen Energieerträge dargestellt werden.

Tabelle 22: Biomasse-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion

Name, Lage	Typ	Unter-Typ	Daten-qualität	Fläche (ha)	Leistung (MW th)	Energie (Mwh th/a)	m ² / kWh th/ a	kWh th/m ² / a	Rechn, Volllast-st. (h/a)
Kurzumtrieb (Flächen-default o. Referenz-anlage)	Biomasse	Agrarisch, Pappeln, Wärme	gut	100	3	7.040	0,142	7,04	2.347
Biogas (Flächen-default o. Referenzanlage)	Biomasse	Agrarisch, Mais (Biogas), Wärme	gut	100	3	5.900	0,169	5,90	1.967
Agrana Stärke (Bioethanol), Pischelsdorf, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Bioethanol	gut	4.291	k.A.	177.600	0,242	4,14	k.A.
Biomasse KWK Heizwerk Simmering, Wien	Biomasse	Forst, Hack-schnitzel, Wärme	gut	26.535	37	470.000	0,565	1,77	k.A.
Biomasse Heizwerk Rankweil, Vorarlberg, Österreich	Biomasse	Forst, Hack-schnitzel, Wärme	gut	568	1,7	10.000	0,568	1,77	5.882
Strohkraftwerk & Nahwärme Stetteldorf, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Stroh, Wärme	gut	600	2,5	8.333	0,720	1,39	3.333
Strohkraftwerk & Nahwärme Bockfließ, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Stroh, Wärme	gut	500	2,5	6.944	0,720	1,39	2.778

Quelle: Eigene Bearbeitung 2017

Datengrundlagen der Flächenermittlung:

- Energie-Erträge pro Fläche bei Waldhackschnitzeln, Mais, Kurzumtrieb (Pappeln): (Stanzer, G. et al 2010);
- Energieerträge pro Fläche bei Stroh und Bioethanol: (Kaltschmitt et al. 2009, S. 182);
- Flächen der Kraftwerksanlagen: Eigene Messungen.

3.8.9. Regelenergiefähigkeit, Eignung zur Grundlast- und Spitzenlastversorgung

Im Vergleich zur Geothermie, Solarenergie und Windkraft haben die Biomassen die beste Regelenergiefähigkeit. Dies liegt einfach daran, dass Biomassen bereits aus „gespeicherter Solarenergie“ (s. Kapitel 3.5.1.) bestehen. Energiesystemtechnisch bedeutet das, dass mit Biomassen-Feuerung schnell, kurz- oder langfristig auf kurze oder längere, geringe oder hohe Energie-Nachfrageunterschiede reagiert werden kann. Diese Eigenschaft haben Geothermie, Solarenergie und Windkraft ohne zusätzliche Energiespeicherlösungen nur sehr bedingt.

Biomassen eignen sich daher ausgezeichnet nicht nur für die Sicherstellung einer Grundlast- und Spitzenlastversorgung, sondern auch zur Kombination mit anderen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern, weil deren „Unregelmäßigkeit“ sehr gut kompensiert werden kann.

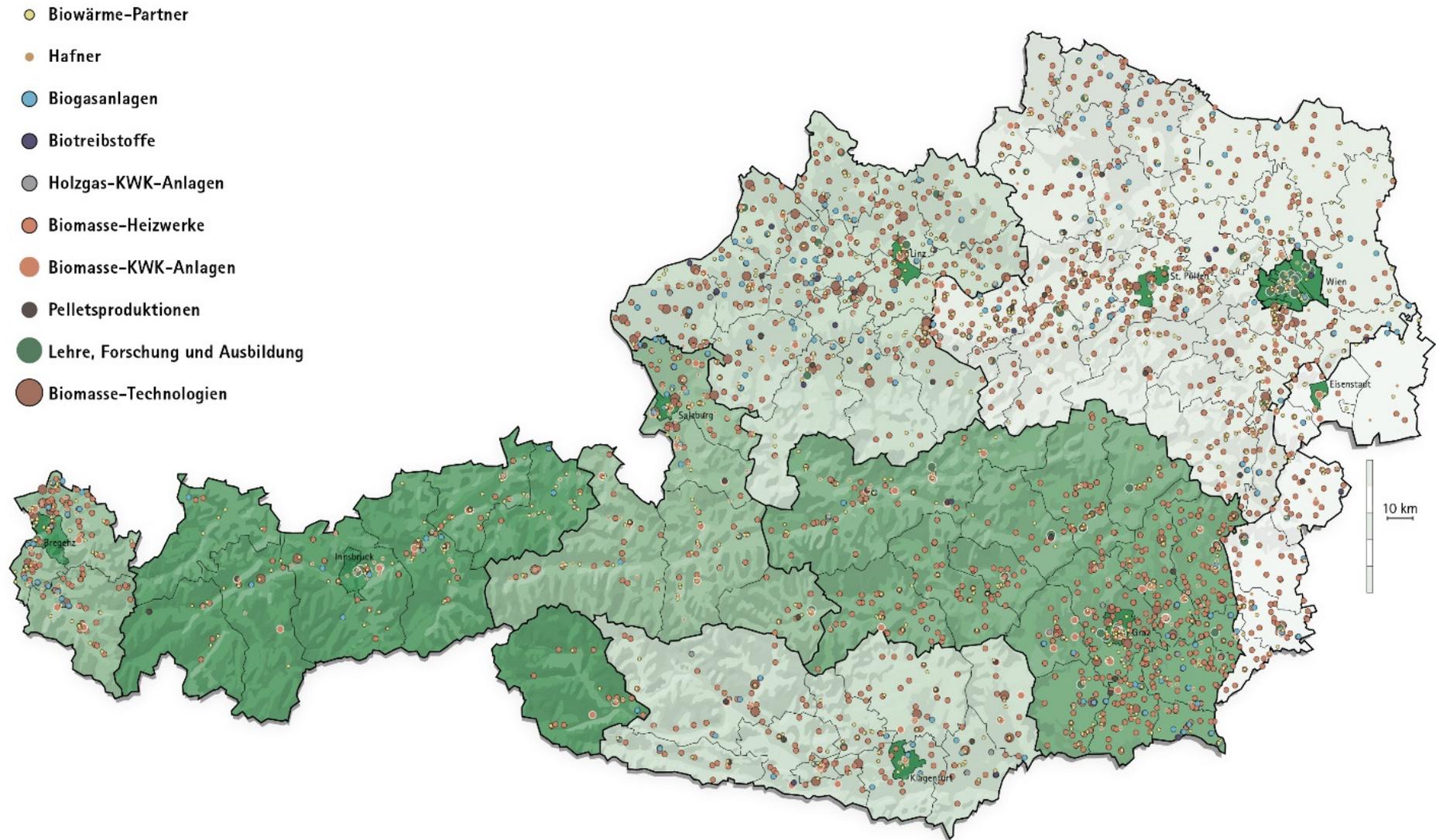
Auch die maximale Spitzenlast- und Grundlastleistung eines Biomasse-Kraftwerkes hat Limits, aber diese sind anlagen- und standorttechnisch, nicht durch die Verfügbarkeit der gelagerten biogenen Rohstoffe bedingt. Zwar können auch diese in Schwerlastzeiten (besonders kalte Winter) knapp werden, für diese seltenen Fälle haben die meisten Biomassekraftwerke meist einen mit Erdöl oder -gas befeuerten Reservekessel.

3.8.10. Skalierbarkeit

Grundsätzlich haben Biomasse-Brenner eine sehr gute Skalierbarkeit, es sind unterschiedlichste Leistungsklassen der verschiedenen Brenner- und Anlagenarten aus Serienproduktionen verfügbar. Die optimale Größe wird bei der Standortplanung eher von den Randbedingungen des gewünschten Energieertrages oder dem lokal und regional mobilisierbaren Rohstoffpotenzialangebot bestimmt und limitiert. Im Kapitel 2.1. wurde bereits beschrieben, dass die Bioenergien Österreichweit knapp die Hälfte des gesamten erneuerbaren Endenergiebeitrages leisten²⁵. Die folgende Karte erzeugt räumlich einen ganz anderen Eindruck, nämlich eine fast „flächendeckende“ Präsenz der Biomasse-Kraftwerke in der Fläche.

²⁵ Gesamter Erneuerbarer Anteil am Endenergieverbrauch in Österreich 2016: 32 %, Biomasse-Anteil am Endenergieverbrauch: 7 %, übrige (auf 32 %) Anteile aus Wasserkraft, Solarenergie, Geothermie und Umgebungswärme, Abfällen.

Karte 17: Bioenergie in Österreich, 2016



Quelle: (Pfmeter et al. 2016, S. 15)

Der nahezu „flächendeckende“ Lageeindruck der Bioenergie-Anlagen wird relativiert, wenn man nach den Leistungen der einzelnen Anlagen und aggregiert nach den Brennstoff-Summenbeiträgen unterscheidet. Dazu zeigt die folgende Pivot-Tabellen-Auswertung, wie sich die Mengenbeiträge der einzelnen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Brennstoff-Fraktionen zueinander verhalten.

Tabelle 23: Fernwärme-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen nach Leistungsklassen und Brennstoffen, 2013

Brennstoff	Summen der thermischen Nennleistungen (MW) je Leistungsklasse									
	4,4-44,4	44,4-84,4	84,4-124,4	124,4-164,4	164,4-204,4	204,4-244,4	244,4-284,4	364,4-404,4	444,4-484,4	Gesamtergebnis
Abfall	40	185				210				435
Biomasse	299									299
Erdgas	18	60	100	427	341	243	250	770	450	2659
Kohle	17				200	230				447
Öl	35	50	120		200					405
Gesamtergebnis	408	295	220	427	741	683	250	770	450	4244

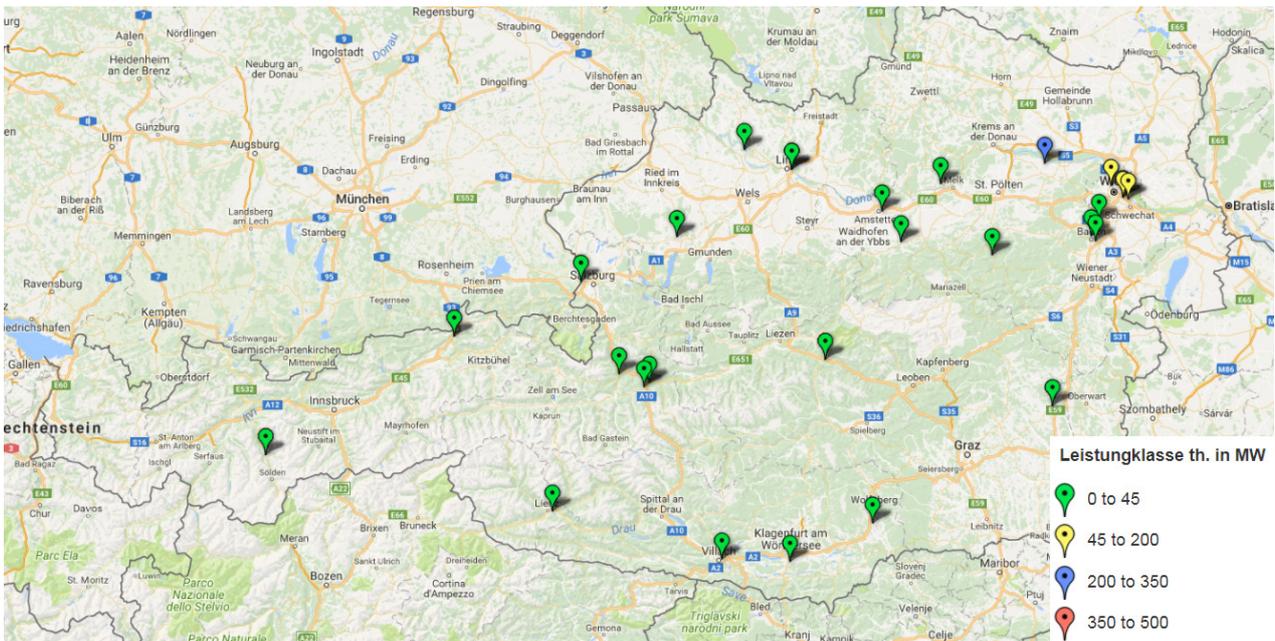
Quelle: (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013), eigene Bearbeitung. Die Leistungsdaten enthalten ausschließlich netzgekoppelte Anlagen.

In der obenstehenden Tabelle sind Zusammenhänge zwischen absoluten und relativen Mengenverhältnissen der thermischen Leistungen erkennbar:

- 23 Biomassen-Kraftwerke, mit maximalen Leistungsklassen bis 45 MW, tragen in Summe 7 %, bzw. 299 von 4.244 thermischen MW bei;
- Demgegenüber tragen 20 fossil befeuerte Kraftwerke (Erdgas, Kohle, Öl) in den deutlich größeren Leistungsklassen in Summe 83 %, bzw. 3510 von 4244 thermischen MW bei;
- Die restlichen 10 % der Leistungsbeiträge entfallen auf 5 Abfall-befeuerte Kraftwerke, hierbei lässt die Datenquelle keine genaue Aufschlüsselung zwischen den erneuerbaren Anteilen (etwa den organischen Fraktionen des Hausmülls) und den nicht erneuerbaren Anteilen zu;
- Bei den elektrischen Leistungsbeiträgen (hier nicht tabellarisch dargestellt, aber aus demselben Datensatz wie oben ausgewertet) sind die Beiträge noch stärker ungleichverteilt. 3 % und 2 % Beiträge (129 und 72 MW, 6 und 27 Anlagen) aus Abfällen und Biomassen, 95 % (4.661 MW in 27 Anlagen) aus Erdgas, Kohle und Öl;
- Noch wesentlich aussagestärker als die Leistungsanteile, aber leider in der Datenquelle nicht enthalten, wären die Wärme- und Elektrizitäts-Energiemengen (Jahresarbeit in MWh_{th} und el./a).

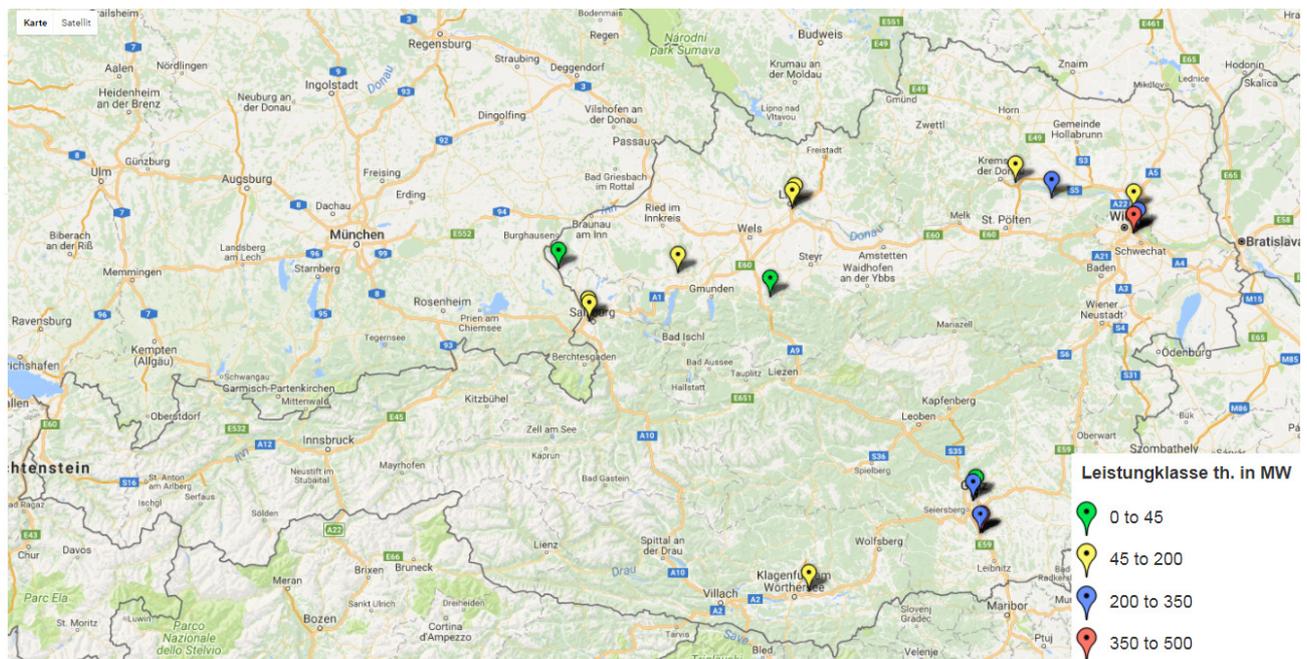
Zur räumlichen Übersicht der thermischen Leistungsklassen hier auch eine Karten-Darstellung der erneuerbar und nicht erneuerbar befeuerten Kraftwerksstandorte.

Karte 18: Kraftwerks-Leistungsklassen und Standorte, Biomasse und Abfall (2013)



Quelle: (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013), eigene Bearbeitung per google fusion tables. Deutlich erkennbar sind die 4 Müllverbrennungsanlagen mit Leistungsklassen zwischen 45 bis 200 MW (in der Karte mit gelben icons): Die 3 Wiener Anlagen Spittelau, Pfaffenau und Simmering mit insgesamt 185 MW und das „stärkste“ österreichische Müllkraftwerk in Zwentendorf/Dürnrohr (blaues icon). Alle anderen Standorte in der obenstehenden Karte sind Biomasse-befeuert und ausnahmslos aus der Leistungsklasse bis 45 MW.

Karte 19: Kraftwerks-Leistungsklassen und Standorte, Erdgas, Öl und Kohle (2013)



Quelle: (e-think und Energy Economics Group (EEG) 2013), eigene Bearbeitung per google fusion tables

Die hier gezeigte Standorte-Filterung nach den Brennstoffen Öl, Kohle und Erdgas enthielt 2013 „nur“ noch 6 ganz oder teilweise Öl-befeuerte Kraftwerke (Werndorf-Neudorf und Thondorf, Steiermark; Klagenfurt, Kärnten (Auslauf der Genehmigung 2015); St. Pölten Nord und Süd, Niederösterreich, sowie Salzburg Nord, Salzburg), „nur“ 4 ganz oder teilweise Kohle-befeuerte (Dürnrohr VTP (Stilllegung geplant) und EVN, Niederösterreich; Mellach, Steiermark und Riedersbach 2, Oberösterreich), alle anderen Standorte sind ausschließlich Erdgas-befeuert.

3.8.11. Flächenkonkurrenzen

Wegen den erwähnten empirischen Problemen der Flächenermittlung bei den Katalog-Records der Biomasse (s. Kapitel 3.5.8.) können hier nicht Flächenkonkurrenz-Aspekte sämtlicher Biomassen erörtert werden. Stattdessen wird die Bewertung auf die wenigen Biomassen-Arten beschränkt, anhand der wenigen Anlagen, bei denen die Flächenermittlung gelungen ist. Die Bewertung erfolgt tabellarisch nach dem jeweiligen Konkurrenz-Aspekt und erklärt schlagwortartig, wodurch der Konkurrenzgrad bedingt ist.

Tabelle 24: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Biomassen (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen

Konkurrenzgrad:

keine	gering	indifferent	mittel	hoch
-------	--------	-------------	--------	------

Indifferent = Der Konkurrenzgrad kann verschiedene Ausprägungen (von „kein“ bis „hoch“) einnehmen

Ern. Energieart und Endenergieform	Wohnfunktion	Orts- und Landschaftsbildfunktion	Naherholungsfunktion	Großräumige Tourismusfunktion	Sachgüter- und Dienstleistungsfunktion	Nahrungsmittelproduktion	Andere erneuerbare Energieproduktion
Forst, Hack-schnitzel, Wärme	Keine, Nicht lageident	Keine funktionale Beeinflussung	Gering ("Aus-räumung")	Keine funktionale Beeinflussung	Keine, bei aussch. Verwertung minderw. Anteile	Keine (weil nicht lageident)	Bei Kombination mit Windkraft
Kurzumtrieb, Agrarisch, Pappeln, Wärme	Keine, Nicht lageident	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine, Nicht lageident	hoch	Bei Kombination mit Windkraft u/o Solarenergie
Agrarisch, Bioethanol, Treibstoff (Annahme: Rohstoff Weizen und Zuckerrüben)	Keine, Nicht lageident	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine, Nicht lageident	hoch	Bei Kombination mit Windkraft u/o Solarenergie
Agrarisch, Stroh, Wärme	Keine, Nicht lageident	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Stroh ist auch als Streu oder Tierfutter einsetzbar	Stroh ist auch als Streu oder Tierfutter einsetzbar	Bei Kombination mit Windkraft u/o Solarenergie
Agrarisch, Mais (Biogas), Wärme	Keine, Nicht lageident	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine funktionale Beeinflussung	Keine, Nicht lageident	hoch	Bei Kombination mit Windkraft u/o Solarenergie

Quelle: Eigene Darstellung

Zu diesen Bewertungen sind folgende Erläuterungen und Relativierungen nötig:

- Bei den hier kategorisierten Biomassen werden weder die Orts- und Landschaftsbildfunktion, noch die großräumige Tourismusfunktion, noch die Naherholungs- und Wohnfunktion konkurrenziert, weil kein funktionaler Einfluss durch die Energieerzeugung entsteht und die Potenzial-Rohstoffflächen nicht lageident mit Wohngebieten sind;

- Bei Bioethanol und Mais wird bei der hohen Konkurrenzeinstufung zur Nahrungsmittelproduktion von 100 % Flächeneinsatz für Wärmeerzeugung ausgegangen. Grundsätzlich wäre aber auch dieses Konkurrenzverhältnis relativierbar, weil Kombinationen (z.B. 10 % Nutzung für Wärmeerzeugung, 90 % verbleibt für Nahrungsproduktion) denkbar sind. Es handelt sich somit nicht immer um eine Entweder-oder-Situation. **Grundsätzlich ist jede Verbrennung von Nahrungsmitteln oder die Konkurrenzierung der Nahrungsmittelfunktion als ethisch höchst verwerflich einzustufen**, aber hierbei geht es nicht nur um lokale, sondern um globale Systemgrenzen.²⁶
- Beim Stroh besteht eine geringe Konkurrenz zur Nahrungsmittel- und Sachgüterproduktion, weil Stroh auch als Tierfutter und/oder Streu im Viehhaltungsbetrieb eingesetzt werden kann;
- Die Flächenkonkurrenz zu lageidenten, anderen als biogenen erneuerbaren Energieproduktionsarten ist als indifferent einzustufen. Windkraftanlagen in Wäldern etwa konkurrieren nur auf Ihren versiegelte Flächenanteile (Fundamente, Wartungsflächen, Zufahrtswege, Transformatorengelände, ...) die Biomasse-Produktion und die anderen Waldfunktionen, der Konkurrenzgrad richtet sich daher nach den Größenverhältnissen dieser Flächen zur gesamten Waldfläche;
- Noch unterschiedlicher – und daher als indifferente Konkurrenz einzustufen – sind die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener erneuerbarer Energieproduktionsarten auf dem Ackerland. In Österreich stehen große Windparks meist ohnehin auf landwirtschaftlichen Flächen, aber zusätzlich wären auch der Einsatz von Solarenergiekollektoren und/oder die Kombination mit Geothermie denkbar, was andere Konkurrenzeinstufungen der jeweiligen Funktionen, Flächenanteile und -konkurrenzen zueinander bringen würde.

3.8.12. Umweltwirkungen

Bei den Biomassen spielen nicht nur Umweltwirkungen des Kraftwerksbetriebes, sondern deutlicher als bei Geothermie, Solarenergie und Windkraft die Entfernung zwischen der Potenzialquelle und dem Kraftwerk für die gesamte Umweltbilanz eine wesentliche Rolle. Wenn das Kraftwerk nicht unmittelbar bei der Rohstoffquelle steht, fallen Transportwege an. Die Transportaufwände richten sich nicht nur nach der Entfernung, sondern auch nach der Energiedichte des Rohstoffs. Die folgende Tabelle zeigt, dass Raps-Körner (obwohl Raps unter den biogenen Brennstoffen dieser Darstellung der „flächeneffizienteste“ Brennstoff ist), bei der Energiedichte nur den halben Wert von Heizöl erreicht. Bei einzelnen biogenen Brennstoffen wie den Pellets kann die Energiedichte durch vorgelagerte Behandlungs- und Verdichtungsschritte erhöht werden. Aber auch diese Arbeitsschritte benötigen Energie, was beim „ERoEI“ (s. Kap. 3.2.) im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien zu eher kleinen „Erntefaktoren“ führt.

²⁶ (Searchinger et al. 2015) argumentieren etwa, dass global 25 bis 50 % der Anbauflächen für Bioethanol nicht durch andere Flächen für Nahrungsmittelproduktion „ersetzt“ werden, dagegen wirft (Lane 2015) ihm bei dieser Denkweise ein völlig falsches Modell von Systemgrenzen vor und negiert damit die Konkurrenz Ethanol - Nahrungsmittel.

Tabelle 25: Transport-Parameter von biogenen und fossilen Brennstoffen (2008)

Conversion	Material	Humidity [%w/w]	Energy content [MJ/kg]*	Density [kg/m ³]*	Energy density [MJ/m ³]*
Incineration	Straw (grey)	15	15	100-135	1.500-2.025
	Wheat (grains)	15	15	670-750	10.050-11.250
	Rape seed	9	24.6	700	17.220
	Wood chips	40	10.4	235	2.440
	Split logs (beech)	20	14.7	400-450	5.880-6.615
	Wood pellets	6	14.4	660	9.500
Biogas production	Grass silage	60-70	3.7	600-700	2.220-2.590
	Corn silage	65-72	4.2	770	3.230
	Organic municipal waste	70	2.4	750	1.800
	Manure	95	0.7	1000	700
	<i>Light fuel oil</i>	<i>0</i>	<i>42.7</i>	<i>840</i>	<i>36.000</i>
	<i>Anthracite</i>	<i>0</i>	<i>35,3</i>	<i>800-930</i>	<i>28.000-33.000</i>

Note: *All numbers related to fresh material.

Quelle: (Gwehenberger und Narodoslowsky 2008)

Häufig wird Biomasse in Wärmenetzen eingesetzt. Die folgende Tabelle illustriert die bekannte Tatsache, dass Elektrizität sich mit erheblich geringeren Verlusten über lange Strecken transportieren lässt, wogegen bei der Wärme bereits ab nur 10 km erhebliche Wirtschaftlichkeits-Verluste eintreffen.

Abbildung 46: Effizienz-Aspekte nach Reichweiten netzgebundener Energieträger

Energieform		Dichte	Reichweite	Einspeisung	Nutzer
Elektrizität	Niederspannung	sehr hoch	10 km	überall	überall
	Mittelspannung	hoch	50 km	überall	überall
	Hochspannung	mittel	500 km	international, Stadt Suburbaner Raum Kleinstadt	Stadt Suburbaner Raum Kleinstadt
Gas	Niederdruck	sehr hoch	20 km	Stadt, Suburbaner Raum, Kleinstadt Punktuell Land	Stadt Suburbaner Raum Kleinstadt
	Hochdruck	sehr gering	1.000 km	international, Stadt	Stadt
Wärme		sehr hoch	10 km	überall	überall
Öl		sehr gering	1.000km	international, Stadt	Stadt

Quelle: (Stöglehner et al. 2011, S. 219)

In der Studie Bio Energy Train (Projekt Bio Energy Train 2016) wurden dazu folgende raumrelevanten Tatsachen formuliert, die Limits für die Form und Größe von Wärmenetzen in Siedlungsstrukturen definieren:

- Die Wärmebedarfsdichte (sowohl über die Fläche, als auch pro Länge der Wärmeleitungen) ist entscheidend, weil bei einem zu geringen Abnahmewert die Verluste über 25 % steigen können. Siedlungsstrukturell bedeutet das bei künftig tendenziell abnehmender Wärmenachfrage pro Wohngebäude, dass Großkunden (wie etwa Schulen, öffentliche Gebäude, Industriebetriebe oder Büro-Komplexe) unbedingt für die dauerhafte Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzbetriebes benötigt werden;
- Auch die Leitungsdurchmesser spielen bei der Form des Wärmenetzes eine Rolle, weil die Wärmeverluste bei kleineren Durchmessern größer sind als bei großen;
- Zusatzpotenziale hat biogenes Methan (oder auch Wasserstoff) auch in bestehenden Erdgasleitungen, weil diese Gase (entsprechend vorgereinigt) eingespeist werden können. Dies erlaubt eine Steigerung des erneuerbaren Versorgungsanteiles im Netz ohne jede Notwendigkeit von Veränderungen in der Heiztechnik der wärmenachfragenden Gebäude. Die Biogas-Einspeisung ist dadurch besonders für dicht besiedelte Städte eine interessante Option, auch weil Städte häufig nur kleine eigene (oder jedenfalls zur Wärmenachfrage-Befriedigung bei weitem nicht ausreichende) biogene Rohstoffpotenzialflächen haben.

Beim nicht leitungsgebundenen Transport von Biomassen hängt der Transportaufwand (und die damit verbundenen Umweltwirkungen) davon ab, wie effizient der Transport erfolgen kann. Die „kritische Ladedichte“ beschreibt dabei das Verhältnis zwischen Masse und Volumen eines Transportmittels, was je Fahrzeug sehr unterschiedlich kann und den Treibstoffaufwand je Tonnen-Kilometer bestimmt. Die folgende Tabelle zeigt dazu Beispiele:

Tabelle 26: Netzeigenschaften netzgebundener Energieträger

Transportmittel	kritische Ladedichte	Treibstoffaufwand	Anhängervolumen
Traktor	720 kg/m ³	1,2 MJ/tkm	18 m ³
LKW	300 kg/m ³	1,4 MJ/tkm	94 m ³
Eisenbahn	390 kg/m ³	0,2 bis 0,7 MJ/tkm	135 m ³

Quelle: (Projekt Bio Energy Train 2016). Enthält keine Darstellung von Schiffs-Transporten. Diese haben nochmals erheblich geringere Treibstoffaufwände pro tkm als Züge und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.

Wenn man davon ausgeht, dass Effizienz bedeuten würde, möglichst wenig Transportaufwände zu „verschwenden“, lassen sich für verschiedene Biomassen- und Fahrzeugkombinationen maximal gewollte „Reichweiten“ für Biomasse-Transporte andenken. (Narodoslawsky 2016) ging dafür von maximal „gewollten“ 1 % des Energiegehaltes des Transportgutes aus, daraus ergeben sich folgende Transportweiten, die „Grenzen“ einer Biomasse-Energieregion ziehen:

- Traktor: Stroh 12 km, Gülle: 5,7 km, Maissilage 18 km;
- Lkw: Stückholz 100 km, Hackschnitzel 40 km;
- Eisenbahn: Holzpellets 475 bis 525 km.

Hierzu eine Musterrechnung zum Stroh-Kraftwerk Stetteldorf (s. Katalog-Records in Kap. 3.8.3.) zu CO₂-Gehalten der Transportstrecken vs. dem gegenüber einer fossilen Wärmeerzeugung (hier zur besseren Übersicht ebenfalls mit Diesel-Werten berechnet) eingesparten CO₂, bei angenommenen Muster-Fahrtweiten von 10, 100 und 150 km. Dieses Beispiel zeigt, wie komplex die genaue Berechnung der Transportaufwände bei Biomassen geraten kann²⁷.

²⁷ Dies auch, weil bei den Biomassen sehr viele unterschiedliche Volumens-Dimensionen verwendet werden: Schüttmeter, Raummeter, t atro (absolut trocken), Festmeter, usw.

Tabelle 27: Musterrechnung CO₂ Gehalte des Stroh-Transportes vs. dem gegenüber einer fossilen Wärmeerzeugung eingesparten CO₂

CO ₂ aus dem Stroh-Transport			Einheit
Traktorladung pro Anhänger	3	3	3 t/a
Stroh-Bedarf KW Stetteldorf, NÖ	1500	1500	1500 t/a
Traktor-Ladungen	500	500	500 Anzahl
Annahme durchschn. Fahrtweite	10	100	150 km/fahrt
Gesamte Traktoren-Fahrtleistung	5000	50000	75000 km/a
Dieselbedarf bei 10 L/100 km	500	5000	7500 L/a
CO ₂ (bei 2,62 kg CO ₂ /L Diesel)	1310	13100	19650 kg CO ₂ /a
CO ₂ (bei 2,62 kg CO ₂ /L Diesel)	1,31	13,1	19,65 t CO ₂ /a
Durch Stroh-Einsatz eingespartes CO₂ der Wärmeerzeugung			
Wärmeproduktion			8333 MWh/a
Energiegehalt Diesel			11,8 kWh/kg
Diesel für Wärmeproduktion			593.197 L/a
CO ₂ (bei 2,62 kg CO ₂ /L Diesel)			1.554.175 kg CO ₂ /a
CO ₂ (bei 2,62 kg CO ₂ /L Diesel)			1.554 t CO ₂ /a
Transport-CO ₂ zu eingesparten CO ₂ in %:	0,08%	0,84%	1,26%

Quelle: Eigene Berechnung

Zu den Umweltwirkungen des Transportes von Biomassen mit Fahrzeugen, die fossile Brennstoffe verwenden (insbesondere Diesel-Lkw's) ist es wichtig zu berücksichtigen, dass neben dem CO₂ auch andere Emissionen beim Transport entstehen: Etwa Stick- und Schwefeloxide, Lärm und Stäube. Beim Land-Transport sind künftig erheblich geringere Emissionswerte denkbar, wenn in mittelbarer Zukunft elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge verfügbar werden, dann wären die Emissionen im Fahrbetrieb so umweltfreundlich wie eben aus den Primärenergiearten der Elektrizitätserzeugung möglich. Hierbei hat gerade Österreich mit aktuell bereits 70 % erneuerbar erzeugtem Strom gute Rahmenbedingungen im Vergleich mit anderen Ländern, die noch erheblich geringere erneuerbare Anteile in Ihren Strom-Mixes haben.

Neben den Transport- und Umwandlungsaufwänden, die die verschiedenen Biomassen bis zur Energieumwandlung benötigen, sind auch die Emissionen der Biomasse-Verbrennung selbst, auch im Vergleich zu nicht erneuerbaren Ressourcen, hoch umweltrelevant. Diese Emissionsunterschiede sind gut in den beiden folgenden Tabellen erkennbar, auch wenn die Gesamt-Vergleichbarkeit zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Brennstoffen und die teilweise sehr große Varianz einzelner Biomasse-Emissionswerte in dieser Quelle nicht vollständig erklärt wird²⁸.

²⁸ die Quelle vermischt Durchschnittswerte mit realen, anlagenspezifischen Messungen, und die Emissions-Daten sind von Anlagen aus dem Jahr 2000, somit ev. nicht mehr dem Stand der heutigen Brenner- und Filter-Technik entsprechend.

Tabelle 28: Durchschnittliche und Anlagenspezifische Emissionsfaktoren

Für Heizwerke über 50 MW_{th}

Brennstoff	SO ₂ kg/TJ	NO _x kg/TJ	C _x H _y kg/TJ	CO kg/TJ	Staub kg/TJ	CO ₂ kg/TJ
Steinkohle	21	53	1	4	1	93.000
Heizöl Schwer	74	69	6	6	2	80.000
Erdgas	<1	28	2	8	<1	55.000

Für Heizwerke unter 50 MW_{th}

Brennstoff	SO ₂ kg/TJ	NO _x kg/TJ	C _x H _y kg/TJ	CO kg/TJ	CO ₂ kg/TJ
Holz und Biomasse ²⁹	11	143	7	72	0
Heizöl extra leicht	45	65	6	10	75.000
Heizöl leicht	92	159	1	10	78.000
Heizöl mittel	196	159	10	15	78.000
Heizöl schwer	398	317	10	15	78.000
Öl (gewichtetes Mittel)	125	175	2	11	78.000
Erdgas	< 1	41	2	5	55.000

Grenz- und Messwerte von Anlagen der EVN für CO₂, NO_x und Staub (Auszüge)

Name	Leistung	Brennstoff	CO (mg/m ³)*	NO _x * (mg/m ³)	Staub (mg/m ³)*
Fernheizwerk Mank	1,5 MW _{th}	Biomasse (Rinde+Hackgut)	18 250	198 200	11,5 120
Fernheizwerk Pyrha	1,5 MW _{th}	Biomasse (Rinde+Hackgut)	119 250	207 300	116 150
Fernheizkraftwerk Allentsteig	5 MW _{th}	Biomasse (Rinde+Waldhackgut)	74 100	115 285	1,6 50
Fernheizkraftwerk Lasse	3,15 MW _{th}	Stroh	166 250	122 300	5 20

*Angaben: Messwert | Grenzwert

Quelle: (Umweltbundesamt Österreich 2004, 64-66)

Die Emissionsunterschiede der letzten drei Tabellen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Biomassen „punkten“ gegenüber den nicht erneuerbaren Brennstoffen durch die CO₂ Freiheit bei der Verbrennung. Allerdings sind dabei keinerlei Aufbereitungs- und Transportaufwände enthalten, die vor der Verbrennung notwendig sind;
- Beim SO₂, NO_x, C_xH_y, CO und beim Staub zeigt diese Datenquelle das Erdgas „sauberer“ als die Biomassen;
- Steinkohle, Erdgas und Öl sind beim CO₂ schlechter, aber bei den anderen Emissionsarten teilweise schlechter oder besser als die Biomassen;

²⁹ Z.B. Pellets haben aufgrund der der Verbrennung vorgelagerten Prozesse einen CO₂ Abdruck.

- Die große Varianz zwischen anlagenspezifischen Werten, auch zwischen Mess- und Grenzwerten (3. Tabelle), ist aus der Quelle heraus (und ohne nähere Erklärungen) nicht nachvollziehbar, wahrscheinlich sind die sehr varianten Emissions-Werte durch unterschiedliche Rauchgas- und Filterungstechniken bedingt.

Zusammenfassend zu diesem Kapitel bietet die folgende Tabelle einen Überblick über die Umweltwirkungen der Energieerzeugungsphase aus Biomassen.

Tabelle 29: Qualitative Bewertung der Umweltwirkungen durch Energieproduktion (Betriebsphase) aus Biomassen

Bewertungsstufen der Umweltwirkungen:

Positiv	Gering positiv	indifferent	Gering negativ	Negativ
---------	----------------	-------------	----------------	---------

Indifferent = Die Umweltwirkung kann verschiedene Ausprägungen (von „Positiv“ bis „Negativ“) einnehmen

Ern. Energieart und Endenergieform	Visuelle Wirkungen	Ökologische u. mikroklimatische Wirkungen auf den Potenzialflächen	Emissionen: CO ₂	Emissionen: NO _x , SO _x , C _x H _y , Feinstaub	Emissionen: Lärm	Emissionen: Rohstoff-Transport
Forst, Hack-schnitzel, Wärme	Visuelle Veränderungen nur durch die Kraftwerksanlagen	Keine Veränderungen bzw. kein Unterschied zur nicht energetischen Verwertung	Keine, Deutlicher CO ₂ Einsparungseffekt gegenüber nicht ern. E-Produktion	vorhanden	Lärmemissionen (Kraftwerksbetrieb) vorhanden	Abhängig von Transportweite und -volumen
Kurzumtrieb, Agrarisch, Pappeln, Wärme	Visuelle Veränderungen nur durch die Kraftwerksanlagen	Keine Veränderungen bzw. kein Unterschied zur nicht energetischen Verwertung	Keine, deutlicher CO ₂ Einsparungseffekt gegenüber nicht ern. E-Produktion	vorhanden	Lärmemissionen (Kraftwerksbetrieb) vorhanden	Abhängig von Transportweite und -volumen
Agrarisch, Bioethanol, Treibstoff/Kinet. Energie (Annahme: Rohstoff Weizen und Zuckerrübe)	Visuelle Veränderungen nur durch die Kraftwerksanlagen	Keine Veränderungen bzw. kein Unterschied zur nicht energetischen Verwertung	Keine, deutlicher CO ₂ Einsparungseffekt gegenüber nicht ern. E-Produktion	vorhanden	Lärmemissionen (Kraftwerksbetrieb) vorhanden	Abhängig von Transportweite und -volumen
Agrarisch, Stroh, Wärme	Visuelle Veränderungen nur durch die Kraftwerksanlagen	Keine Veränderungen bzw. kein Unterschied zur nicht energetischen Verwertung	Keine, deutlicher CO ₂ Einsparungseffekt gegenüber nicht ern. E-Produktion	vorhanden	Lärmemissionen (Kraftwerksbetrieb) vorhanden	Abhängig von Transportweite und -volumen
Agrarisch, Mais (Biogas), Wärme	Visuelle Veränderungen nur durch die Kraftwerksanlagen	Keine Veränderungen bzw. kein Unterschied zur nicht energetischen Verwertung	Keine, deutlicher CO ₂ Einsparungseffekt gegenüber nicht ern. E-Produktion	vorhanden	Lärmemissionen (Kraftwerksbetrieb) vorhanden	Abhängig von Transportweite und -volumen

Quelle: Eigene Bearbeitung

Zu diesen Bewertungen sind folgende Erläuterungen/Relativierungen nötig:

- Es fällt auf, dass die hier genannten Biomassen je Bewertungskategorie gleichartig bewertbar sind und die Umweltwirkungen v.a. durch den Kraftwerksbetrieb und die Transportaufwände entstehen;
- Beim CO₂ ist die Unterscheidung zwischen der „Klimaneutralität“ des biogenen Rohstoffes selbst und Emissionen der Transportaufwände wichtig, weil sie (wie zuvor veranschaulicht wurde) nach Entfernung, Energiedichte des Rohstoffs, Verkehrsmittel usw. eine sehr große Varianz entfalten können und daher hier nur als „indifferent“ bewertbar sind;
- Gerade bei den Umweltwirkungen wäre eine Ausweitung auf weitere biogene Rohstoffe interessant gewesen, war aber aus empirischen Problemen heraus nicht möglich. Tierische Gülle und andere organische Abfälle haben zwar (im Vergleich zu den hier gezeigten Biomassen) einen geringeren Energieertrag pro Fläche, aber sie emittieren u.a. Methan, welches in CO₂-Äquivalenten laut (Paschotta 2014) einen 25-mal höheren Treibhaus-Effekt hat.

3.8.13. Zusammenfassende Erkenntnisse zur Forschungsfrage „m²/kWh/Jahr“

Die Forschungsfrage: „Wie hoch ist der Flächenbedarf (m²/kWh/Jahr) ausgewählter erneuerbarer Energien (Windkraft, div. Biomassen, Solarenergie, Geothermie), und was macht die standörtlichen Energie-Ertragsvarianzen aus“? konnte durch die Anlagen-Beispiele der Biomassen nur ansatzweise, und nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Dies hatte folgende Gründe:

- Die in den Records verwendeten Datenquellen dokumentierten nur in Einzelfällen die horizontale Fläche der biogenen Potenzialrohstoffe. Um trotzdem zu spezifischen Werten zu gelangen, wurden bei den Records entweder Default-Werte aus der Fachliteratur eingesetzt, oder es wurden die Anlagenbetreiber persönlich befragt;
- Besonders schwierig geriet die Abschätzung bei der Wärmeerzeugung aus forstlicher Biomasse, hier wussten auch die Anlagenbetreiber nicht, woher genau und aus welchen Entfernungen die Biomassen geliefert werden;
- Insgesamt hat der Anlagen-Katalog sowohl bei der Anzahl der Records als auch bei der Vielfalt der biogenen Rohstoffe etwas zu wenig Aussagekraft.

Unter den wenigen mit „guter Datenqualität“ eingestuften Records bewegen sich die flächenspezifischen Energieerträge zwischen 1,7 kWh/m²/a (Stroh) und 7 kWh/m²/a (Pappeln im Kurzumtrieb). Dazwischen liegen Mais (5,9 kWh/m²/a), Bioethanol (1,4 kWh/m²/a) und Wald-Hackschnitzel (1,7 kWh/m²/a).

Zu den biogenen Rohstoffen, zu denen keine Kraftwerks- und flächenspezifische Energieerträge gefunden werden konnten, gehören u.a. die tierische Gülle (auch „Wirtschaftsdünger“), Mehrfrucht-Bewirtschaftungsformen (2 oder 3 Feldfrüchte pro Jahr), Miscanthus (Chinaschilf) und Grünschnitt aus der Viehwirtschaft und aus dem Bewirtschaften von Parks, Gärten und dem Begleitgrün von Straßen- und Schienenanlagen.

4. Ergebnisse: Erneuerbare Energieproduktion im Flächenvergleich

4.1. Vergleich der Katalog-Werte kWh/m²/a erneuerbarer Energieanlagen

Die folgende Tabelle zeigt Flächen-, Leistungs- und Arbeitswerte erneuerbarer Energieanlagen im Vergleich zwischen Geothermie, Solarenergie, Windkraft und Biomassen. Die Records sind absteigend nach der Flächenertragseffizienz sortiert, d.h. die Anlage mit der höchsten Flächenproduktivität steht an 1. Stelle. Ausgewählt wurden ausschließlich Records mit guter Datenqualität, die auch in den bisherigen Sachkapiteln vorkamen. Zunächst folgen Anlagen der Endenergieart „Wärme“, danach Anlagen mit der Endenergieart Elektrizität. Der vollständige Datenbanksatz aller empirisch erfassten Anlagen befindet sich im Anhang.

Tabelle 30: Flächenertragswerte aus dem Katalog erneuerbarer Energieanlagen (Wärme)

Anlagen-Titel	Typ	Unter-Typ	Energiepotenzialfläche (ha)	Therm. Leistung (MW)	Energie th. (MWh/a)	kWh th/m ² /a	Th. Volllasth./a
Solarthermie-Kleinanlage, Wien, Österreich	Solarenergie	Solarthermie, Schrägdach-Anlage vollflächig, Kleinstanlage auf einem Einfamilienhaus	0,00092	k. A.	2	231,6	k. A.
Solarwärme bei Fleischwaren Berger, Niederösterreich, Österreich	Solarenergie	Solarthermie, für Ind. Prozesswärme, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren (Parabolrinnen), 60 m ³ Speicher	0,214	0,65	489	228,5	752
Solaranlage Vojens Fjernvarme, Dänemark	Solarenergie	Solarthermie, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Saisonspeicher in künstlichem See (200.000m ³), Fernwärmeunterstützung für Haushalte, Schulen und Industriegebäude	23	49	28.000	121,7	571
Almere Solar Island, Niederlande	Solarenergie	Solarthermie, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend, keine Info über Speicher	2,36	4,9	2.472	104,8	505
Vakuurröhren-Druckkollektor-Solaranlage Wels, Oberösterreich	Solarenergie	Solarthermie, Flachdach-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützung ohne Speicher	1,57	2	1.500	95,5	750
Geothermie BSU Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg-Wilhelmsburg, Deutschland	Geothermie	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundament-Pfähle	1,18	0,65	858	72,7	1.320
Geothermie Panalpina Logistikhalle, Nürnberg, Deutschland	Geothermie	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	1,04	0,56	670	64,4	1.196

ERGEBNISSE: ERNEUERBARE ENERGIEPRODUKTION IM FLÄCHENVERGLEICH

Anlagen-Titel	Typ	Unter-Typ	Energiepotenzialfläche (ha)	Therm. Leistung (MW)	Energie th. (MWh/a)	kWh th/m ² /a	Th. Volllasth./a
Geothermie "Agrothermie" Wüstenrot, Baden-Württemberg, Deutschland	Geothermie	Seichte Geothermie, Flachkollektoren	1,5	0,3	600	40,0	2.000
Geoth. Einfamilienhaus-Anlage, Musterrechnung f. Österreich (trockener Lehmboden)	Geothermie	Seichte Geothermie, Flachkollektoren	0,03	0,006	11	36,0	1.800
Geothermie d. Nordbahnhof-Areals, Wien, Österreich (Projektplanung)	Geothermie	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	46,56	6,17	14.196	30,5	2.301
Kurzumtrieb (Flächen-default o. Referenzanlage)	Biomasse	Agrarisch, Pappeln, Wärme	100	3	7.040	7,0	2.347
Biogas (Flächen-default o. Referenzanlage)	Biomasse	Agrarisch, Mais (Biogas), Wärme	100	3	5.900	5,9	1.967
Agrana Stärke (Bioethanol), Pischelsdorf, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Bioethanol	4.291	k.A.	177.600	4,1	k.A.
Biomasse KWK Heizwerk Simmering, Wien	Biomasse	Forst, Hackschnitzel, Wärme	26.535	37	470.000	1,8	k.A.
Biomasse Heizwerk Rankweil, Vorarlberg, Österreich	Biomasse	Forst, Hackschnitzel, Wärme	568	1,7	10.000	1,8	5.882
Strohkraftwerk & Fernwärme Bockfließ, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Stroh, Wärme	500	2,5	7.830	1,6	3.132
Strohkraftwerk & Nahwärme Stetteldorf, Niederösterreich	Biomasse	Agrarisch, Stroh, Wärme	600	2,5	8.333	1,4	3.333

Quelle: Eigene Bearbeitung. Anmerkung: Die Tabelle beinhaltet derzeit keine Kombinationslösungen zu „Etagenwirtschaften“, in denen auf derselben Fläche mehrere erneuerbarer Energieträger eingesetzt werden, ein bereits vielfach praktiziertes Beispiel (s. Siedlung Rosa Zukunft, Kap. 3.5.7.) ist die Kombination Photovoltaikstrom mit einem Erdwärmefeld-Tiefsondenfeld.

Es zeigt sich folgendes „Energieertragsranking“ bei dem Wert kWh th/m²/a:

1. Solarthermie vollflächig-gebäudeintegriert;
2. Solarthermie, aufgeständerte Kollektoren;
3. Seichte Geothermie, Tiefsondenfelder;
4. Seichte Geothermie, Flachkollektorenfelder;
5. Biomassen, nach „Flächeneffizienz“ absteigend: Pappeln im Kurzumtrieb, Biogas aus Mais, Bioethanol, Wald-Hackschnitzel, Stroh.

Beim „Ranking“ sind zu den flächenbezogenen Energieertragswerten auch die Unterschiede der Volllaststunden zu berücksichtigen. Wären zwei Anlagen in der Leistung und der Energiepotenzialfläche ident, nicht aber bei den Volllaststunden, wirkt die Anlage mit der höheren Volllaststundenzahl beim Flächenertrag „flächeneffizienter“, obwohl das nicht stimmt, denn bei einer Berechnung auf 1000 h „normiert“ hätten beide Anlagen denselben Wert bei kWh/m²/a. Solche Normierungen wären eine interessante Fortsetzungsaufgabe für den „Katalog“, weil die verschiedenen Anlagen noch besser vergleichbar würden.

Andererseits ist es im großen räumlichen Zusammenhang (etwa auf EU-Ebene) interessant, eben genau solche lageabhängigen Unterschiede bei den Volllaststunden darzustellen, weil das etwas dazu aussagt, wo (auch unter der Perspektive eines großeuropäischen smart grids) Großkraftwerke künftig für optimierte Erträge stehen sollten, und auch wo nicht.

Tabelle 31: Flächenertragswerte aus dem Katalog erneuerbarer Energieanlagen (Elektrizität)

Anlagen-Titel	Typ	Unter-Typ	Energie-potenzial-fläche (ha)	El. Leistung (MW)	Energie el. (MWh/a)	kWh el/m ² /a	El. Voll-lasth./a
Smart flower, Rom, Italien	Solarenergie	Photovoltaik, mobile Einzelanlage mit 2-achsiger Nachführung, für Freiflächen	0,003	0,00231	5	170,0	2.208
Wind farm Middelgrunden, Copenhagen, Dänemark	Windkraft	nearshore, Reihe	69	40	89.000	129,0	2.225
Giessenwind, Südholland, Niederlande	Windkraft	onshore, Reihe, an Autobahn	12,7	9	16.077	126,6	1.786
Groß-Windräder Potzneusiedl, Burgenland, Österreich	Windkraft	onshore, Einzelanlage, Ebene	25	15	30.000	120,0	2.000
"Simon", Ökostrom-PV-Kleinstpaneel, Wien, Österreich	Solarenergie	Photovoltaik, mobiles Kleinstpaneel, vollflächig (Neigung und Ausrichtung variabel)	0,000119	0,00015	0,133	111,8	887
Tesla Solarpark Ta'u Island, American Samoa	Solarenergie	Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Akkuspeicher	1,95	1,4	1.801	92,4	1.286
Solar Energy Generating Systems (SEGS), Mojave Wüste, Kalifornien, USA	Solarenergie	Elektrizität, Freiflächenanlage, Wärme-Parabolspiegel-Sammler	647,5	361	539.000	83,2	1.493
Tauernwindpark, Steiermark, Österreich	Windkraft	onshore, Reihe, Bergkamm	65	22,75	48.000	73,8	2.110
Passiv-Bürohaus SOL 4, Mödling, Österreich	Solarenergie	Photovoltaik, gebäudeintegriert (Fassaden)	0,0215	0,02805	16	72,9	559
PV-Kraftwerk, Kagoshima, Japan	Solarenergie	Photovoltaik, schwimmende Kollektoren	110	70	78.800	71,6	1.126

ERGEBNISSE: ERNEUERBARE ENERGIEPRODUKTION IM FLÄCHENVERGLEICH

Anlagen-Titel	Typ	Unter-Typ	Energiepotenzialfläche (ha)	EI. Leistung (MW)	Energie el. (MWh/a)	kWh el/m ² /a	EI. Volllasth./a
Audi AG Photovoltaik, Neckarsulm, Deutschland	Solarenergie	Photovoltaik, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren	2,7	1,9	1.800	66,7	947
Solarpark Oberzeiring, Steiermark, Österreich	Solarenergie	Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, am Windpark	4,81	2	2.500	52	1.250
Windpark Hagenbrunn, Niederösterreich, Österreich	Windkraft	onshore, Reihe, Ebene	10,8	1,92	3.716	34,4	1.935
Windpark Neusiedl a. See, Burgenland, Österreich	Windkraft	onshore, Cluster, Ebene	785	79	166.320	21,2	2.105
Windpark Noordoostpolder Binnen- und Buitendijk, Niederlande	Windkraft	nearshore und offshore, Cluster	5.700	343,5	937.800	16,5	2.730
Anholt Offshore Wind Farm, Dänemark	Windkraft	offshore, Cluster	14.700	400	1.722.000	11,7	4.305
London Array offshore wind farm, Nordsee bei Kent, UK	Windkraft	offshore, Cluster	24.700	630	2.500.000	10,1	3.968
Windpark Munderfing, Oberösterreich, Österreich	Windkraft	onshore, Reihe, Bergkamm	150	15	15.000	10,0	1.000

Quelle: Eigene Bearbeitung

Diese Tabelle beinhaltet keine Kombinationslösungen von „Etagenwirtschaften“, in denen auf derselben Fläche mehrere erneuerbarer Energieträger eingesetzt werden, ein bereits in Pilotanlagen praktiziertes Beispiel wäre die Kombination Photovoltaik - Solarthermie („PVT“).

Bei den Werten $\text{kWh el/m}^2/\text{a}$ zeichnet sich zwischen Solarenergie und Windkraft kein eindeutiges „Ranking“ ab. Aber Tendenzen sind erkennbar, bei aller Vorsicht wegen der kleinen Anzahl der Records, wie bereits in den Sachkapiteln zur Solarenergie (3.6.) und Windkraft (3.7.) angedeutet:

- Vollflächige gebäudeintegrierte PV-Systeme haben beim Relativwert $\text{kWh el/m}^2/\text{a}$ höhere Energieertragswerte, nicht aber beim absoluten Energieertrag, hierbei sind die Kraftwerke mit aufgeständerten Kollektoren (unabhängig davon, ob sie gebäudeintegriert oder im Freiland installiert sind) deutlich ertragsstärker. Die flächenspezifischen Erträge der PV-Anlagen bewegt sich zwischen 67 und 170 $\text{kWh el/m}^2/\text{a}$.
- Die Windkraft-Erträge haben eine noch größere Bandbreite: 10 bis 130 $\text{kWh el/m}^2/\text{a}$. Dabei spielt die hohe Varianz der jährlichen Volllaststunden (zwischen 1.000 und 4.305 h/a) eine Rolle, aber auch die Form der Windparks: Einzel- und Reihenformen erzeugen pro Fläche deutlich mehr Elektrizität als die Cluster. Allerdings erzeugen die Cluster im absoluten Elektrizitätsertrag bei weitem die größten Strommengen, darunter die offshore Cluster nochmals deutlich mehr als die Bauformen der onshore-Cluster. Zugleich haben die offshore-Cluster sehr kleine Werte bei den $\text{kWh el/m}^2/\text{a}$. Aus den Literaturrecherchen konnte dazu keine Begründung gefunden werden, die geringe „Besatzdichte“ mit Windkraftanlagen im Meer könnte möglicherweise damit zusammenhängen, dass es offshore wenig Gründe gibt, horizontal sparsam mit der Fläche umzugehen, oder es könnte auch um Mindest-Abstandsweiten beim Schiffsverkehr gehen.

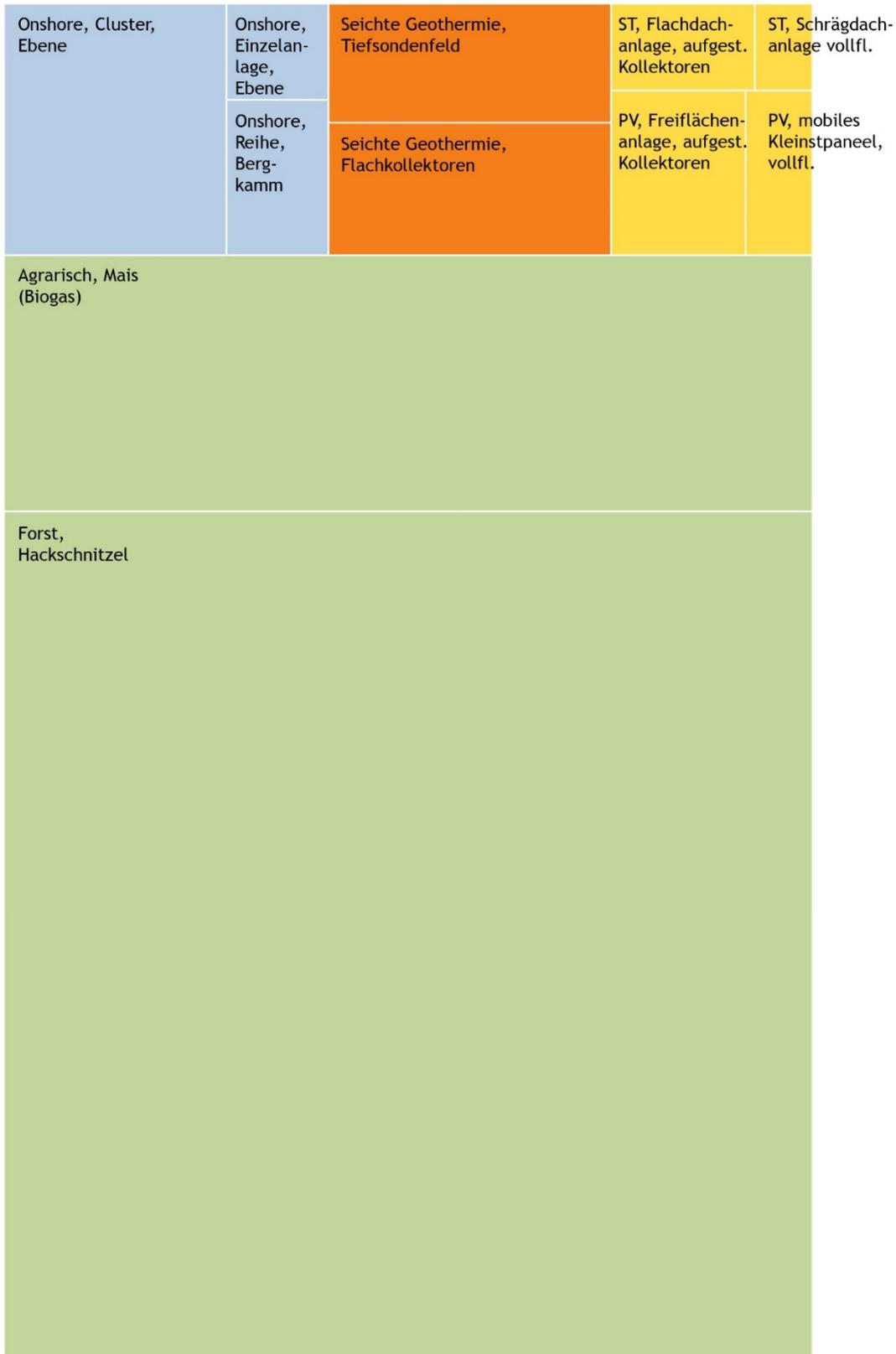
4.2. Vergleich der Katalog-Werte $\text{m}^2/\text{kWh/a}$ erneuerbarer Energieanlagen

Der Umkehrwert zu $\text{kWh/m}^2/\text{a}$ sind $\text{m}^2/\text{kWh/a}$. Dieser Quotient betont die Darstellung des Flächenbedarfes pro Energiemenge. Um dazu eine kompakte „österreichische“ Sicht zu visualisieren, wurden aus den Katalog-Records ausgewählte Beispiele nach den folgenden Kriterien zusammengestellt:

- Sie stammen aus existierenden österreichischen Energieanlagen oder enthalten Muster-Flächenertragswerte der Energie pro m^2 und Jahr;
- Sie enthalten sowohl Wärme als auch Elektrizität als Endenergieform;
- Sie repräsentieren Haupt- und Unter-Typen des jeweiligen erneuerbaren Energieträgers;
- Sie kommen in der österreichischen „Energielandschaft“ vor;
- Ihre Datenqualität im Katalog ist mit „gut“ eingestuft.

Nach diesen Auswahlkriterien sieht eine Treemap für 11 Records (3x Windkraft, 2x Geothermie, „2x Solarthermie, 2x Photovoltaik, 2x Biomassen) folgendermaßen aus:

Abbildung 47: Treemap erneuerbarer Energieanlagen aus Österreich, m²/kWh/a



Laut den in dieser Darstellung verwendeten Records benötigt die Wärmeerzeugung aus forstlicher Biomasse (Hackschnitzel) 116 Mal so viel Fläche pro Energiemenge und Jahr wie die solarthermische Wärmeerzeugung aus einer vollflächig installierten Schrägdach-Anlage. Hier die vollständige „Rangfolge“ der Records:

ERGEBNISSE: ERNEUERBARE ENERGIEPRODUKTION IM FLÄCHENVERGLEICH

Record, Lage	Typ	Unter-Typ	m ² /kWh/a	kWh/m ² /a
AT Musterrechnung, Kleinstanlage EFH	Solarenergie, Wärme	ST, Schrägdach-Anlage vollfl.	0,0043	232
Groß-Windräder Potzneusiedl, Burgenland	Windkraft, Elektrizität	Onshore, Einzelanlage, Ebene	0,0083	120
Wien	Solarenergie, Elektrizität	PV, mobiles Kleinstpaneel, vollflächig	0,0089	112
Wels, Oberösterreich	Solarenergie, Wärme	ST, Flachdach-Anlage, aufgest. Kollektoren	0,0105	96
Tauernwindpark, Steiermark	Windkraft, Elektrizität	Onshore, Reihe, Bergkamm	0,0135	74
Oberzeiring, Steiermark	Solarenergie, Elektrizität	PV, Freiflächenanlage, aufgest. Kollektoren	0,0192	52
AT Musterrechnung (Lehmboden)	Geothermie, Wärme	Seichte Geothermie, Flachkollektoren	0,0278	36
Nordbahnhof-Areal, Wien (Projektplanung)	Geothermie, Wärme	Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld	0,0328	30
Windpark Neusiedl a. See, Burgenland	Windkraft, Elektrizität	Onshore, Cluster, Ebene	0,0472	21
AT Musterrechnung	Biomasse, Wärme	Agrarisch, Mais (Biogas)	0,1695	6
Rankweil, Vorarlberg	Biomasse, Wärme	Forst, Hackschnitzel	0,5680	2

Quelle: Eigene Bearbeitung

4.3. Vergleich der Flächenerträge, Flächenkonkurrenzen und Umweltwirkungen erneuerbarer Energieanlagen

In den Sachkapiteln 3.5. bis 3.8. wurde bereits erörtert, dass erneuerbare Energieträger nicht alleine aufgrund ihrer Ertragseffizienz beurteilt werden sollten. Eine integrierte Sichtweise muss auch versuchen, Umweltwirkungen, Flächenkonkurrenzaspekte und die Größenordnung des künftigen Zusatzpotenzials zu bewerten.

Im folgenden Diagramm wird dazu eine bewusst plakative und vereinfachende Darstellung versucht, weil es vor allem um die Unterschiede der Bewertungsausprägung zwischen den einzelnen erneuerbaren Energieträgern gehen soll. Die genaue Klassifizierung und Quantifizierung aller Bewertungskategorien-Klassen war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, wäre aber als „weiterer Forschungsbedarf“ (s. Kapitel 5.5.) eine künftig wichtige Aufgabenstellung. Zur einfachen Vergleichbarkeit wird die Darstellung auf dieselben Energieanlagen wie im vorigen „Ertragsranking“ beschränkt. Eine hohe Kriteriums-Ausprägung steht generell für einen schlechten, eine geringe für einen guten Wert.

Abbildung 48: Energieertragseffizienz, Lageunabhängigkeit, Konkurrenzaspekte, Umweltwirkungen erneuerbarer Energieproduktionsweisen

Kriterium	Ausprägungs-Bedeutung	Erläuterungen
m ² /kWh/a	hoch=ineffizient	Zeigt den Flächenbedarf der erneuerbaren Energiepotenzialflächen pro Energiemenge und Jahr
Lageabhängigkeit d. Potenziale	hoch=geringe zus. Beiträge zu erwarten	Einschätzung künftiger Zusatz-Potenziale für Österreich
Konkurrenzierung anderer Flächenfunktionen	hoch=problematisch	vgl. Kap. 3.5. bis 3.8.
Landschafts- oder Ortsbildeinfluss	hoch=problematisch	vgl. Kap. 3.5. bis 3.8.
CO ₂	hoch=problematisch	Nur auf Energieumwandlungsphase bezogen, ohne vor- und nachgelagerte Prozesse oder Transportaufwände
SO _x , NO _x , C _x H _y , CO, Staub	hoch=problematisch	Nur auf Energieumwandlungsphase bezogen, ohne vor- und nachgelagerte Prozesse oder Transportaufwände

Energieanlagentyp	m ² /kWh/a	Lage-abhängig-keit d. Potenziale	Konkur-renzierung anderer Flächen-funktionen	Landschafts-oder Ortsbild-einfluss	CO ₂	SO _x , NO _x , C _x H _y , CO, Staub
Geothermie, Wärme, Seichte Geothermie, Flach- oder Tief-kollektoren	mittel	gering	gering	gering	gering	gering
Windkraft, Elektrizität, Onshore, Cluster, Ebene	mittel	hoch	mittel	hoch	gering	gering
Windkraft, Elektrizität, Onshore, Einzelanlage, Ebene	gering	mittel	gering	gering	gering	gering
Windkraft, Elektrizität, Onshore, Reihe, Bergkamm	mittel	hoch	mittel	hoch	gering	gering
Solarenergie, Wärme, ST, Schrägdach-Anlage vollfl.	gering	gering	gering	mittel	gering	gering
Solarenergie, Wärme, ST, Flachdach-Anlage, aufgest. Kollektoren	gering	gering	mittel	gering	gering	gering
Solarenergie, Elektrizität, PV, mobiles Kleinstpaneel, vollflächig	gering	gering	gering	gering	gering	gering
Solarenergie, Elektrizität, PV, Freiflächenanlage, aufgest. Kollektoren	mittel	gering	mittel	hoch	gering	gering
Biomasse, Wärme, Agrarisch, Mais (Biogas)	hoch	mittel	hoch	gering	gering	mittel
Biomasse, Wärme, Forst, Hackschnitzel	hoch	mittel	gering	gering	gering	mittel

Quelle: Eigene Darstellung

4.4. Größenvergleiche zwischen direkten Flächenbedarfen und Energiepotenzialflächen erneuerbarer Energieanlagen

Im Kontext der Raumplanung ist nicht nur der Flächenbedarf der erneuerbaren Energien relevant, sondern auch, ob eine zusätzliche „Flächeninanspruchnahme“ entsteht. Artverwandte Begriffe sind Bodenverbrauch, Bodenversiegelung, Flächenverbrauch. Die Bezeichnungen Boden- und Flächenverbrauch sind nicht korrekt, weil Boden und Flächen nicht verbraucht werden können, sondern bestimmte Nutzungsformen andere lageidante Nutzungsformen kurz- oder langfristig konkurrenzieren oder ganz ausschließen. Deshalb sollen nun ausgewählte Katalog-Records illustrieren, in welchem Größenverhältnis direkte Flächenbedarfe und die Potenzialertragsflächen stehen, und auch ob eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme besteht oder nicht.

Tabelle 32: Energieanlagen-Beispiele zum Verhältnis direkter Flächenbedarfe („Flächeninanspruchnahme“) und der Potenzialertragsfläche

Name der Energieanlage, Art, Lage	F1: Direkte Flächenbedarfe (ha)	F2: Potenzialertragsfläche (ha)	F1:F2; Enthält F2 auch F1? (ja/nein)	Situation im Raum (Satellitenbild)	Kommentare zur Flächeninanspruchnahme
Windpark Neusiedl	Mastfundamente (44 Windkraftanlagen) u. Wartungsflächen, Zufahrtswege 4,4 ha	Windpark-Fläche 785 ha	1:178 ja		In Windparks sind die direkten Flächenbedarfe (=Flächeninanspruchnahme) stets in der Potenzialertragsfläche enthalten, und belegen nur einen kleinen Anteil derselben.
Biomasse-KW Rankweil, Vorarlberg	Kraftwerksgelände inkl. Hackschnitzel-Speicheranlagen 0,74 ha	Waldfläche 568 ha	1:792 nein		Bei Biomasse-Kraftwerken sind die direkten Flächenbedarfe nicht in der Potenzialertragsfläche enthalten. Die Kraftwerksgelände (direkte Flächenbedarfe) sind aufgrund Ihrer Größe selten in bestehenden Ortskernen integriert, sondern meist am Ortsrand situiert. Aus der Potenzialertragsfläche entsteht keine zusätzliche Flächeninanspruchnahme.
Strohkraftwerk Stetteldorf, Niederösterreich	Kraftwerksgelände incl. Stroh-Speicher 0,58 ha	Getreidefläche 600 ha	1:1034 nein		

ERGEBNISSE: ERNEUERBARE ENERGIEPRODUKTION IM FLÄCHENVERGLEICH

Name der Energieanlage, Art, Lage	F1: Direkte Flächenbedarfe (ha)	F2: Potenzialertragsfläche (ha)	F1:F2; Enthält F2 auch F1? (ja/nein)	Situation im Raum (Satellitenbild)	Kommentare zur Flächeninanspruchnahme
Solarthermieanlage Messe Wels, Oberösterreich	Kollektorenflächen 0,8 ha	Gesamtfläche des Flachdaches 1,57 ha	1:1,96 ja		Bei Solarenergieanlagen mit aufgeständerten Kollektoren stehen direkte Flächenbedarfe („Kollektorbelegung“) zur gesamten Potenzialertragsfläche etwa im Verhältnis 1:2. Gebäudeintegrierte Anlagen verursachen im Gegensatz zu Freiland-Anlagen keine zusätzliche Flächeninanspruchnahme.
Solarpark Oberzeiring, Steiermark	Kollektorenflächen 2,1 ha	Gesamte Solarparkfläche 4,8 ha	1:2,3 ja		
Geothermie ATRIO Shoppingcenter Villach, Kärnten, Österreich. Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundamentpfähle	Techn. Anlagenbauteile (Speicher, Steuerung) Fläche: k.A.	Potenzialertragsflächen-größe d. Erdreiches = Fundamentfläche 2,86 ha	k.A. ja		Bei Anlagen seichter Geothermie in Tiefsonden-Bauweise entsteht weder aus den gebäudeintegrierten direkten Flächenbedarfen noch aus den „unterirdischen“ Potenzialertragsflächen zusätzliche Flächeninanspruchnahme.
Geoth. Einfamilienhaus-Anlage, Musterrechnung f. Österreich (trockener Lehmboden)	Techn. Anlagenbauteile (Speicher, Steuerung) Fläche: k.A.	Potenzialertragsflächen-größe d. Erdreiches 0,03 ha	k.A. ja	Kein Bild vorhanden	Bei Anlagen seichter Geothermie in Flachsonden-Bauweise entsteht weder aus den gebäudeintegrierten direkten Flächenbedarfen noch aus den „unterirdischen“ Potenzialertragsflächen zusätzliche Flächeninanspruchnahme.

Quelle: Eigene Darstellung

4.5. Vergleich der flächenspezifischen Energieerträge der Katalog-Records mit Werten aus der Fachliteratur

Zum Abschluss des Ergebnis-Kapitels werden die Katalog-Records mit Werten aus der Fachliteratur verglichen. Die folgende Tabelle zeigt, dass sowohl zwischen den einzelnen Datenquellen, als auch zwischen den Katalog-Records und den Autoren-Werten die Beträge der $m^2/kWh/a$ deutlich auseinanderliegen. Dies spricht nicht gegen die Daten-Qualität der Records, sondern dafür, künftig anhand größerer Samples, aber auch mit einer Literaturrecherche genauer zu vergleichen, unter welchen Annahmen und mit welchem methodischen Ansatz die flächenspezifischen Energieertragswerte berechnet wurden.

Bei den hier referenzierten Literatur-Quellen fiel generell auf, dass nicht nach Lage-Kategorien differenziert wurde. Dazu besteht künftiger Forschungsbedarf, denn die Records im Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energien haben ja trotz relativ kleiner Sample-Zahl bewiesen, wie groß die lageabhängigen Energieertragsunterschiede ausfallen können: etwa nach Windstärke und -dauer, nach Sonnenstunden pro Jahr, nach den Eigenschaften des Erdreichs, nach Unterschieden bei Bodenfruchtbarkeit und der Klimazone von Agrarflächen, nach Feuchtegehalt, Wärmespeicherfähigkeit und Temperatur der seichten und tiefen Erdreichsschichten.

Tabelle 33: Vergleich der flächenspezifischen Energieerträge der Katalog-Records mit Werten aus der Fachliteratur

	$m^2/kWh/a$
(Berchtold-Domig et al. 2015):	
E-Ertrag Holz, normaler Wald netto	0,680
Kurzumtrieb Pappel	0,317
Windkraft (ab 4 WKA, Annahme 8,6 ha je Anlage)	0,014
PV-Freifläche bzw. PV-Dachfläche (Annahme 60% Flächenverlust wegen Schattenwurf)	0,023
Grünland Gülle - Biogas	4,155
Energiemais - Biogas	0,395
(Stanzer, G. et al 2010):	
Kurzumtrieb, Pappeln	0,142
Biogas, Mais	0,169
Forst, Wald-Hackschnitzel	0,568
(Kaltschmitt et al. 2009, S. 182):	
Stroh	0,639
(Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2010, S. 9):	
Biomasse-Anbau	0,490
Biomasse-Reststoffe	0,740
Geothermie	0,020
Windenergie	0,070
Photovoltaik	0,060
Solarthermie	0,030
Umgebungswärme	0,030
Erdwärmesonden	0,110
Abwasserwärme	0,530
Österr. Katalog-Records (Durchschnitte):	
Seichte Geothermie, Tief- oder Flachkollektoren	0,025
Windkraft, Cluster	0,04
Photovoltaik, Freiflächen- oder Dachanlage, aufgest. Kollektoren	0,02
Solarthermie, Freiflächen- oder Dachanlage, aufgest. Kollektoren	0,01

Quellen: s. Tabelle, mit eigenen Umrechnungen der Original-Einheiten nach $m^2/kWh/a$

5. Schlussfolgerungen zur regionalen Energieraumplanung

5.1. Einordnung der empirischen Ergebnisse im Spektrum regionaler Energieraumplanung

Die folgende Übersicht zeigt, wo die empirischen Erkenntnisse des „Kataloges der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen“ zwischen den räumlichen Steuerungsebenen und den thematischen „Hebeln“ einzuordnen sind. Erst das gesamte Ensemble dieser Steuerungsinstrumente und Aktivitäten (s. dazu auch Kap. 2.3.) formt die regionale Energieraumplanung, der „Katalog“ könnte dabei in und zwischen allen Steuerungsebenen bei der Mobilisierung erneuerbarer Energiepotenziale eingesetzt werden.

„Steuerungshebel“ der Stadt- und Raumplanung	Steuerungsebenen		
	Gemeinde	Region	Bundesland
Eigenschaften des „Gebäudeparks“	Instrument: Baugenehmigung Aktivität: Bauberatung	Aktivität: Bewusstseinsbildung	Instrument: Wohnbauförderung, Bauordnung
Siedlungsstruktur, Funktionsmix, Dichte	Instrument: Quartiersent- wicklungskonzept (Dichte, Erdgeschoßnutzungen, zentrale und dezentrale Versorgungs- Infrastrukturen) Instrument: Energie-Layer im örtlichen Entwicklungskonzept	Aktivität: Interkommunale Abstimmungen zu Betriebsstandort-Entscheidungen	Instrument: Betriebsstandorte- Reglements in Raumordnungs- gesetzen
Erneuerbare Energiepotenziale	Empirische Erkenntnisse aus dem „Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen“:		
	<ul style="list-style-type: none"> • m²/kWh/a • Flächenkonkurrenzen & Umweltwirkungen 		
	Instrument: Energie-Layer im örtlichen Entwicklungskonzept Aktivität: IST und SOLL für Quartiere und Landschafts- einheiten definieren	Instrument: Energie-Layer im regionalen Entwicklungskonzept Aktivität: Flächenmanagement und Gemeindetypisierung	Instrument: Vorrang- und Ausschluss Zonen (überörtliches Sachkonzept) Aktivität: Grundlagenforschung, Potenzialkartierungen, open Data
Mobilitätsinfrastruktur	Instrument: Kommunales Mobilitätskonzept (Lokaler ÖV, Mikro ÖV, Rad- und Fussverkehrsangebote incl. Walkability & Bikeability ³⁰), Energie-Layer im örtlichen Entwicklungskonzept	Aktivität: Interkommunale Abstimmungen zum Regional- und Alltags-ÖV, und zu gemeindeübergreifenden Radwegen	
Mobilitätsmanagement	Instrument: Kommunales Mobilitätskonzept	Aktivität: Bewusstseinsbildung	Instrumente: Tarifgestaltung, Stellplatzverordnungen
Energiestrategien	Instrument: E5 (überall), EKKO (Bgld), EGEM (OÖ), 2000 W Gemeinde, ...	Instrument: E5 für Regionen ³¹	Instrument: Energiestrategie des Bundeslandes

³⁰ „Walkability“ und „Bikeability“ beinhalten Gestaltungsplanungsgrundsätze welche die Verwendung der Rad- und Fußgeherinfrastruktur nicht nur möglich, sondern auch sicher, bedienungsfreundlich und komfortabel machen.

³¹ Anm.: Ist im Aufbau/ bisher erst in wenigen Regionen im Testbetrieb

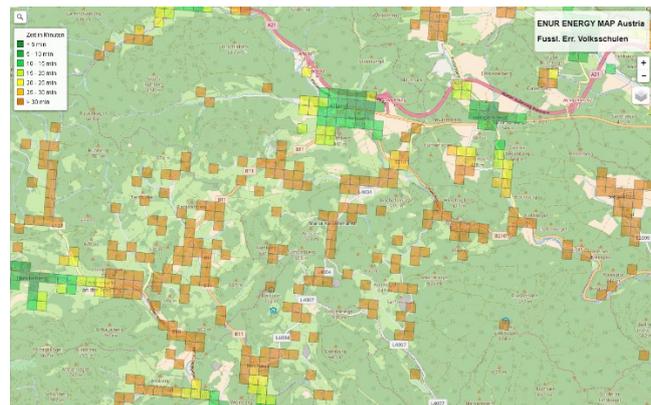
5.2. Räumliche Bezugssysteme für die regionale Energieraumplanung

Je nach Steuerungsebene stellt sich im Forschungsbetrieb stets die Frage nach räumlichen Bezugssystemen, die jeweils zu einer bestimmten „Flughöhe“ passen sollen. Dazu sind auf den Ebenen der Bundesländer, Regionen und Gemeinden unterschiedliche Bezugssystemen im Einsatz, die Vor- und Nachteile im Einsatz für die regionale Energieraumplanung aufweisen.

Für Übersichtskarten auf Bundeslandebene wäre es denkbar, mit den Einheiten entlang der von (Thalhammer und Stöglehner 2011) definierten Systematik von „Kernstädten, urbanen Räumen, Suburbanen Räumen, Kleinstädten und Ländlichem Raum“ bundeslandweite Karten zu erstellen.

In der nächstniedrigeren Flughöhe, für Aufgabenzwecke der bundeslandweiten und der regionalen Energieraumplanung können Rasterkarten, etwa in 250x250 m Auflösung je Rasterzelle, verwendet werden. Als Beispiel dafür Kartenausschnitte aus der Corine Landcover Systematik (Umweltbundesamt Österreich 2017) und aus einem GIS-Modell des Projektes ENUR (Department für Raumplanung 2013). Auch wenn Karten der Corine Landcover Systematik nicht immer mit der realen Flächennutzung übereinstimmen, bieten sie trotzdem eine gute und differenzierte räumliche Übersicht der für erneuerbare Energiepotenziale sehr wichtigen Landnutzungs-kategorien (sowohl im bebauten als auch im unbebauten Raum), außerdem sind sie flächendeckend und gratis verfügbar. Dies gilt häufig nicht für komplexe GIS-Modelle und -Karten, die häufig nur für sehr kleine Projektgebiete, über zeitlich befristete Forschungsförderungen, angefertigt werden³².

LANDBEDECKUNG (Corine Landcover 2012)	
111 Stadt	311 Laubwald
112 lockere Verbauung	312 Nadelwald
121 Industrie u. Gewerbe	313 Mischwald
122 Verkehrsfläche	321 Natürliches Grünland (alpine Matten)
123 Halengebiet	322 Latschen
124 Flughafen	324 Wald-Strauch Übergang
131 Abbaufäche	332 Fels
141 Städtische Grünfläche	333 Fels mit spärlicher Vegetation
142 Freizeitanlage	335 Schnee
211 Ackerland (nicht bewässert)	411 Sumpf
221 Weinbau	412 Torfmoore
231 Wiese und Weide	511 Gewässerverlauf
242 Landwirtschaft komplex	512 Wasserfläche
243 Landwirtschaft, natürliche Vegetation	



Karteninhalte der CLC Systematik
Quelle: (Umweltbundesamt Österreich 2017)

Screen aus einer Rasterkarte zur fußläufigen Erreichbarkeit von Volksschulen
Quelle: (Department für Raumplanung 2013)

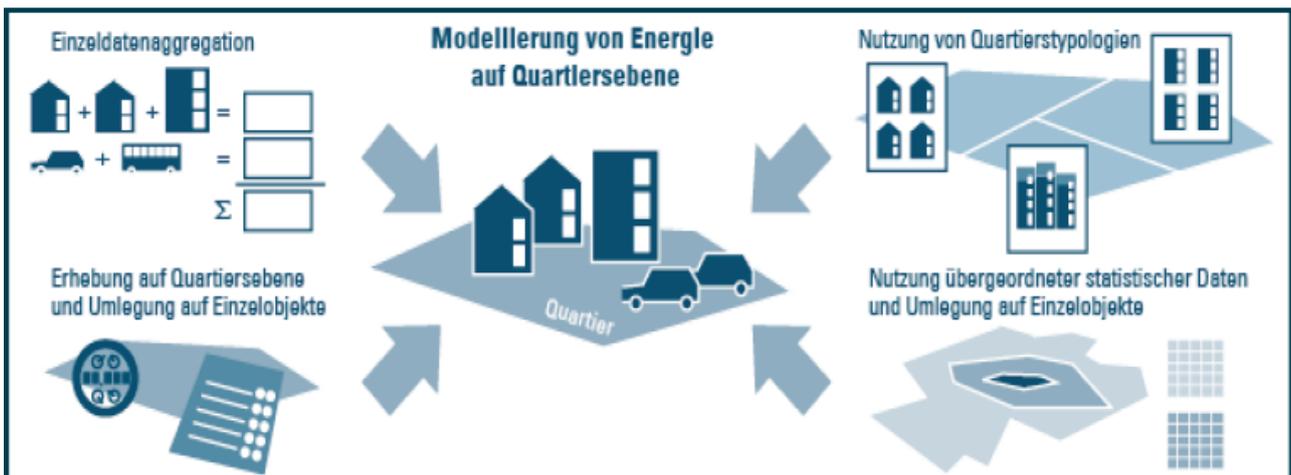
Im Sinne der Energieraumplanung auf teilregionaler und lokaler Ebene erscheinen Siedlungen als geeignete Zugangsgröße. Dabei sind grundsätzlich zwei Arbeitsweisen möglich: Entweder die Siedlungsgrenzen werden pragmatisch nach der Datenverfügbarkeit, oder nach komplexeren, integrativeren Modellen gezogen. Die Abgrenzung rein nach Datenverfügbarkeit formt möglicherweise nicht immer „planbare Quartiere“, weil u. a. Nachbarschaftsbeziehungen und die „Identität“ der Bewohnerinnen und Bewohner eine Rolle spielen. Davon unabhängig gibt es Parameter, die in Summe die Energieperformance einer Siedlung ausmachen: Die Energiebedarfe für die Raumwärme³³, das Warmwasser, die elektrische Energie und die Energiebedarfe der

³² Die Kartenwerke des Projektes ENUR bilden hierbei eine Ausnahme, sie sind österreichweit erstellt worden und gratis im Internet verfügbar.

³³ Durch den Klimawandel und auch durch geänderte Komfortvorstellungen spielt mittlerweile auch der Kühlbedarf eine wachsende Rolle – aber der Kühlenergiebedarf ist als Strombedarf oft ununterscheidbar im gesamten Strombedarf „versteckt“ und daher nicht getrennt darstellbar. Auch beim Heizen mit Strom ist die Situation ähnlich, aus den Verbrauchsdaten ist nicht zwischen Haushalts- und Heizstrom zu unterscheiden.

Mobilität. Die folgende Abbildung zeigt dazu zwei unterschiedliche Arbeitsweisen und -richtungen der Quartiersbildung: Per Datenverarbeitung top-down aus übergeordneten Statistiken *in* die Quartiersebene oder bottom up *aus* der Aggregation von einzelnen Gebäudedaten.

Abbildung 49: Beispielstrukturen innerer und äußerer Siedlungsstrukturen



Quelle: (Schlump und Malottki 2013, S. 17)

Energieraumplanung sollte auf der Quartiersebene (oder, wenn möglich bis auf die Gebäudeebene) und auch für Landschaftseinheiten Unterschiede zwischen der IST- und SOLL-Performance einer Siedlung enthalten, denn ohne künftigen „Veränderungsvektor“ wäre es keine Planung, sondern „nur“ eine Status-quo Analyse. Unter IST und SOLL können Zieldimensionen verstanden werden, die in dieser Dissertation als essentiell für die Energieraumplanung genannt werden: Der Energiebedarf von Gebäuden, der Versorgungsanteil aus erneuerbaren Energien, die aus Mobilität induzierten Energiebedarfe einer Siedlung.

Als Beispiele dafür zwei Modelle, die in Richtung Energieraumplanung weisen, da die verwendeten Quartierseigenschaften auch für *künftige* Entwicklungszustände verortet werden. (Walchofer 1999), s. nächste Abbildung, nennt dazu 4 Siedlungstypen, die sich nach Bebauungsdichte, ökologischem Reproduktionspotenzial und energetischer Ressourceneffizienz unterscheiden, während die Schweizer Energierichtplanung in Ihren Plänen auch die künftig durch bestimmte erneuerbare Energieträger zusätzliche Versorgungsbarkeit und auch „Rückzugsgebiete“ nicht erneuerbarer Energieträger verortet darstellt.

- Dichtbebaute Wohn- und Mischgebiete mit geringem Reproduktionspotential und hoher energetischer Ressourceneffizienz (Typ 1)
- Dichtbebaute Wohn- und Mischgebiete mit vorhandenem bzw. ausbaufähigem Reproduktionspotential und mittlerer energetischer Ressourceneffizienz (Typ 2)
- Einzelhausbebauung und verdichtete Einfamilienhausbebauung mit geringer Ressourceneffizienz (Fläche) (Typ 3)
- Standorte für Industrie, Gewerbe und Infrastruktur (Verkehr, Ver- und Entsorgung, etc.) mit geringer Ressourceneffizienz (hinsichtlich Energie und Fläche) (Typ 4)

Die weitere Typisierung des städtischen Landschaftsraumes kann in Parkanlagen und Großerholungsgebiete, Brachen, Agrarräume, walddominierte Gebiete erfolgen, sie ist aber für die vorliegende Arbeit nicht unmittelbar von Bedeutung.

4 energieräumliche Siedlungstypen. Quelle: (Walchofer 1999)

Wärmequellen



Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)

- KVA von kantonaler Bedeutung
- KVA Wärmeleitung bestehend
- KVA Wärmeleitung geplant
- versorgbar mit gesamter KVA-Abwärme
- versorgt mit genutzter KVA-Abwärme

Abwasserreinigungsanlage (ARA)

- ARA von kantonaler Bedeutung
- ARA von regionaler Bedeutung
- ARA von kommunaler Bedeutung
- ARA Wärmeleitung bestehend
- ARA Wärmeleitung geplant
- versorgbar mit gesamter ARA-Abwärme
- versorgt mit genutzter ARA-Abwärme

Oberflächengewässer

- versorgbar mit gesamter Wärme aus Oberflächengewässer
- versorgt mit genutzter Wärme aus Oberflächengewässer

Holz

- Heizzentrale ab 1 MW
- Holz Wärmenetz bestehend
- Holz Wärmenetz geplant

Weitere Anlagen

- Vergärungsanlage ohne Einspeisung ins Gasnetz
- Vergärungsanlage mit Einspeisung ins Gasnetz
- Abfallholz- oder Klärschlamm-WKK

Wärmeversorgungsgebiete



Rohrleitungsgebundene Wärmeversorgung

- Gebiete, in denen sich Teilbereiche mit hoher Wärmedichte zur Versorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern (Erdgas/Wärmeverbunde) eignen

Oberflächengewässer

- Gebiete, in denen sich Teilbereiche mit hoher Wärmedichte zur Versorgung mit Wärme aus Oberflächengewässern eignen

Legende des Energieplanes Zürich. Quelle: (Kanton Zürich 2013)

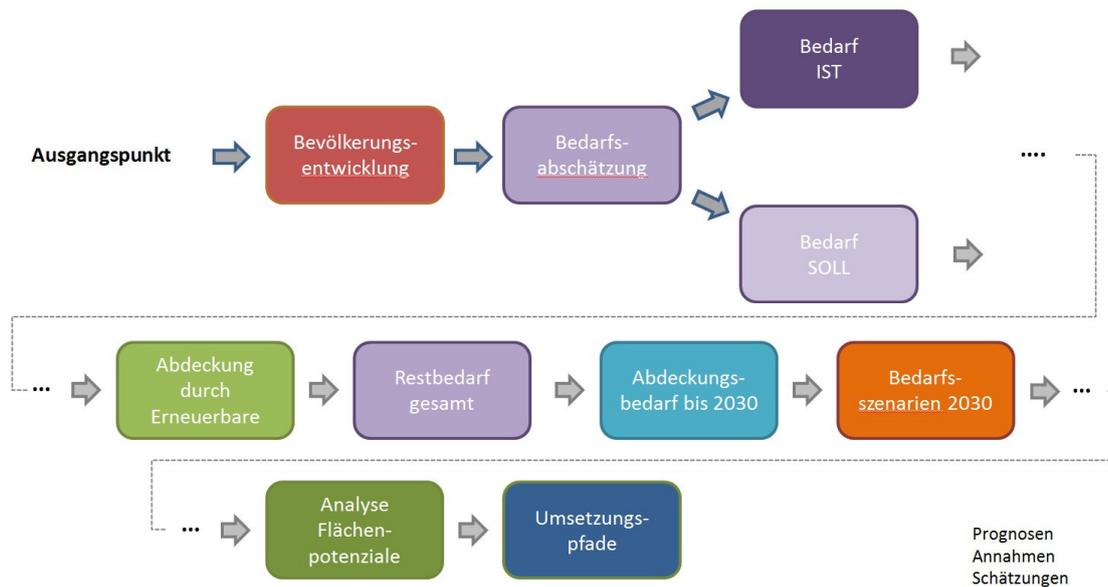
5.3. Der „Katalog“ im Praxischeck: Case Study Vorderland-Feldkirch

Das Forschungsprojekt ERP_hoch3 (Dumke et al. 2017) hat im Modul „Interkommunale Potenziale erneuerbarer Energien“ viele für diese Dissertation relevante Fragestellungen behandelt. Untersuchungsregion der Case Study war die Vorarlberger Region Vorderland-Feldkirch mit etwa 64.000 Einwohnerinnen und Einwohnern. Die Aufgabenstellungen, um die es im Projektmodul „interkommunale Potenziale erneuerbarer Energien“ ging (Dumke et al. 2017, S. 256), haben eine hohe Übertragbarkeit auf andere Regionen:

- Was kann getan werden, wenn quantitative Vorbereitungsmethoden (etwa: GIS-Modellierungen und Szenarien, Befragungen, Daten-Recherchen) aufgrund fehlender, intransparenter, unvollständiger, inkonsistenter Daten scheitern, oder gar nicht erst begonnen werden konnten?
- Wie ist ein Flächenmanagement auf regionaler Ebene visualisierbar und haptisch begreifbar, das räumlich zwischen Energienachfragedichten und dem Flächenangebot von erneuerbaren Energiepotenzialen vermittelt?
- Welche Partizipationsformate helfen lokalen Politikerinnen und Politikern, aber auch interessierten Bürgerinnen und Bürgern dabei, sich überhaupt regional als „Management-Einheit“ über die Gemeindegrenze hinweg zu begreifen?

In dieser Arbeitssituation wurde vom Projektteam entschieden, anstatt des ursprünglichen Forschungsdesigns, das GIS-Modelle, Befragungen, Datenrecherchen vorgesehen hatte, ein Planspiel zu entwickeln, das in einer Fokusgruppen-Situation „Bewusstseinschübe“ entwickeln kann. Zunächst wurde ein einfaches IST-SOLL-Szenario entwickelt, das für die Entwicklung zwischen 2015 und 2030 von folgenden Einflussgrößen ausging (s. nächste Abbildung):

Abbildung 50: Ablaufdiagramm zur Szenarien-Bildung für das IST 2015 und SOLL 2030 im Modul „interkommunale erneuerbare Energiepotenziale“ des Projektes ERP_hoch3



Quelle: (Dumke et al. 2017, S. 257)

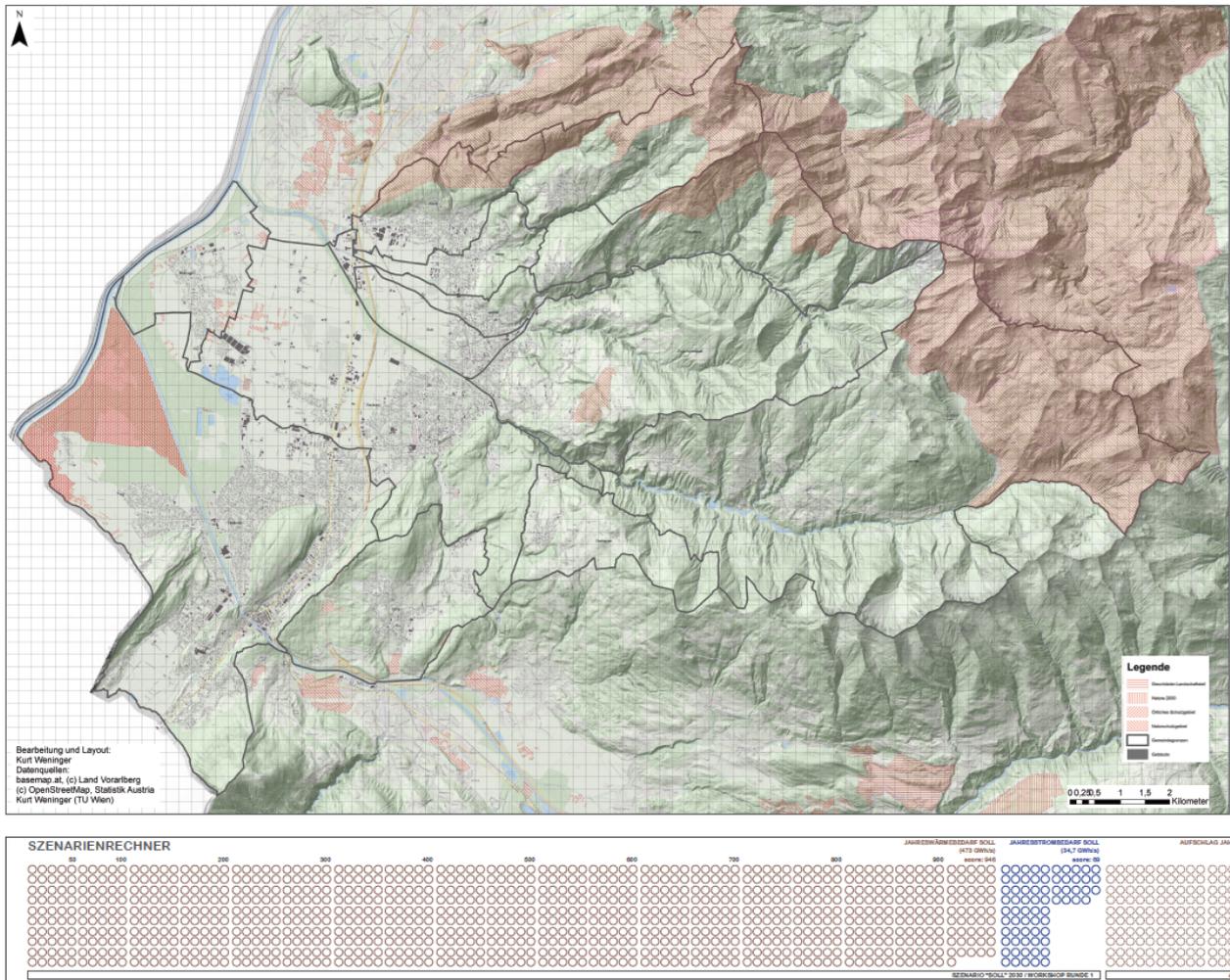
Konkret wurden pro-Kopf-Werte für Raumwärme, Warmwasser und Elektrizität (die Energiebedarfe der Mobilität wurden ausgeklammert) aufsummiert, und bereits bestehende aktive erneuerbare Energiepotenziale vom gesamten Energiebedarf abgezogen.

Die verbleibende, bis jetzt nicht erneuerbar bereitete Energiemenge war die „Spielmasse“ für ein Planspiel und durch Verortung von Potenzialflächen- und Kraftwerksstandorten zu erreichen. In einem Fokusgruppen-Workshop, der am 25.02.2016 in Rankweil, Vorarlberg stattfand, wurde in mehreren Tischgruppen zu ca. 8 Personen in 60 Minuten dieses regionale Energieszenario 2015-2030 „bedient“. Dazu stand ein Spielbrett mit aufsteckbaren, maßstäblichen Energiepotenzial-Einheiten und Kraftwerken zur Verfügung.

Aufgabenstellung an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer war es zusätzlich, „live“ den erreichten „Füllstand“ an erneuerbarer Energie zu notieren. Dafür gab es auf dem Spielbrett ein „scoreboard“. Die folgenden Abbildungen zeigt die Arbeitskarte und das „Steckset“ der erneuerbaren Energieanlagen, und auch ein Foto des Workshops. In diesem Planspiel kam eine „Urform“ des in dieser Dissertation weiterentwickelten Kataloges der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen zum Einsatz.

Abbildung 51: Eindrücke vom Fachkongress „interkommunale erneuerbare Energiepotenziale“ in Rankweil, 25.02.2016

Das A0-Spielbrett mit „Energieszenarienrechner“:



Das zur Arbeitskarte maßstäbliche „Steckset“ der erneuerbaren Energieanlagen:



Fotos vom Workshopeinsatz des Planspiels:



Quelle: (Dumke et al. 2017 S. 260ff)

Methodisch gehört das hier vorgestellte Spiel- und Workshopset zu den qualitativen Methoden der entwurfsbezogenen Forschung (siehe (Albrechts 2010) und (Shiple 2002)) die zur „Erfüllung“ eines Zieles viele unterschiedliche Lösungsansätze zulässt, welche von einem Team partizipativ und konsensual, anstatt in einer „von außen verordneten Optimalvariante“ erarbeitet werden müssen. Zusammenfassend sind aus der hier beschriebenen Case Study folgende Reflexionen zu Chancen und Limits des „Katalogs der Flächenbedarfe erneuerbarer Energien“ im Praxiseinsatz möglich:

- + Es finden Bewusstseinswirkungen für den „wahren“ Flächenbedarf der erneuerbaren Energiepotenziale statt. Größenverhältnisse zwischen den Siedlungsteilen und den Flächenbedarfen erneuerbarer Energiepotenziale werden unmittelbar sichtbar;
- + Teilnehmerinnen und Teilnehmer begreifen, dass es die regionale Kooperation braucht, wenn Ziele wie „100 % erneuerbare Energie“ räumlich ernst genommen werden, und dass solche Ziele nur im Ausnahmefall innerhalb der Systemgrenze einer einzelnen Gemeinde erfüllbar sind;
- + Diese Aha-Erlebnisse sind auch mit sehr wenigen verfügbaren Status quo Daten vorbereitbar und wiederholbar;
- + Lokales Spezialwissen kann unmittelbar visualisiert werden (etwa die „beste“ Stelle für ein Kleinwasserkraftwerk);
- Die Katalog-Methode vermittelt eine Einfachheit, die es so nicht gibt. Sämtliche Aspekte der Speicherung und Verteilung der erneuerbaren Energien in der Siedlungsstruktur werden ausgeblendet;
- Die Erkenntnisse ersetzen keine methodisch komplexeren Szenarien-, GIS-, oder Potenzialmodelle, die es als 2. Stufe braucht (Anmerkung: Im Projekt ERP_hoch3 wurde eine Post-GIS Analyse der Workshop-Ergebnisse durchgeführt).

5.4. Reflexion und Ausbaumöglichkeiten zum „Katalog erneuerbarer Energieanlagen“

Die zentrale Forschungsfrage dieser Dissertation ist:

Wie hoch ist der Flächenbedarf ($m^2/kWh/Jahr$) ausgewählter erneuerbarer Energien (Windkraft, Biomassen, Solarenergie, Geothermie), und was macht die standörtlichen Energieertragsvarianzen aus? Wie sind Flächenkonkurrenzen zu nicht-energetischen Landnutzungsarten, und im Überblick die Umweltwirkungen der Energieproduktion einzustufen?

Die in dieser Dissertation vorgestellte „Katalogmethode“, die reale Flächenbedarfe, Leistungen, Jahresarbeiten und die Lage im Raum für Anlagen der erneuerbaren Energien zeigt und verglichen hat, ergab verschiedene „Beantwortungsqualitäten“ je nach erneuerbarem Energieträger. Für die erneuerbaren Energieträger Windkraft und Solarenergie war die Beantwortungsqualität zufriedenstellend, für die Geothermie und die Biomassen blieben trotz sehr bemühter Empirie zu viele Fragenbestandteile offen. Bei den Biomassen lag dies eher an der Nicht-Feststellbarkeit realer Flächenbedarfe der standort- und anlagenspezifischen biogenen Rohstoffmengen, weniger an fehlenden „Ertrags-Benchmarks“ derselben. Bei der Geothermie gibt es nur sehr wenige praxiserprobte „benchmarks“ und Ertragsklassen des Wärmeentzuges aus dem seichten und tiefen Erdreich. Auch hierbei besteht Forschungsbedarf.

Die Katalog-Methode bräuchte künftig zwecks Validierung der Records ein noch wesentlich höheres sample und mehr Überprüfung zwischen gemessenen Flächenbedarfen und Benchmark-Werten zum flächenspezifischen Energieertrag erneuerbarer Energien aus der Fachliteratur. Sollte dies gelingen, könnte aus dem dann erweiterten Katalog (ev. in Kombination mit Teilen dieser Dissertation) ein für Regionen wertvolles decision-support-tool entstehen. Ansatzweise ist dies Funktionalität bereits jetzt gegeben, weil die Katalog-Datenbank als google fusion table den standortunabhängigen und bedienungsfreundlichen „Internetbesuch“ des Katalogs erlaubt.

Die Ausbaumöglichkeiten des Katalogs könnten außerdem in der simultanen Verwendung durch mehrere Forscherinnen und Forscher, aber auch durch eine Kategorie-Erweiterung auf weitere erneuerbare Energieträger wie Wasserkraft und Umgebungswärme-Arten bestehen.

5.5. Weiterer Forschungsbedarf

Abschließend sei zusammengefasst, welche Forschungsbedarfe sich aus den offen gebliebenen Punkten des empirischen Teils dieser Dissertation künftig ergeben.

5.5.1. Erforschen von Zusatzpotenzialen der in Österreich noch nicht hoch ausgebauten erneuerbaren Energien

Aus den in dieser Dissertation referenzierten Grundlagenstudien hat sich gezeigt, dass Geothermie und Solarenergie aktuell erst sehr geringe Beiträge³⁴ an den gesamten erneuerbaren Energien leisten. In der integrativen Betrachtung von Umweltwirkungen, Flächenkonkurrenzen und flächenspezifischen Energieerträgen hat der Katalog einen überwiegend positiven Gesamteindruck der Referenzanlagen und auch eine überzeugend hohe Wiederholbarkeit dieser standörtlichen Energieertragsfaktoren gezeigt. Zu erforschen wäre daher, wo Großanlagen³⁵ der seichten Geothermie im Freiland, Photovoltaik (gebäudeintegriert und im Freiland) und Solarthermie mit Wärmenetz-Kopplung ein großes zusätzliches Potenzial haben, und wie die „serielle“ energieraumplanerische Arbeitsweise zur Umsetzung solcher Anlagen aussieht.

³⁴ In Summe etwa 3,5 % vom Gesamtanteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch Österreichs (Biermayr 2016, S. 16)

³⁵ Hiermit sind jedenfalls keine „privaten Kleinstanlagen“ gemeint, sondern Anlagen mit mehreren MW Leistung, die in der jeweiligen Bezugssystemgrenze deutliche Zuwächse beim Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergiekonsum bewegen können.

5.5.2. Erforschen der Zusatzpotenziale von in Österreich bereits hoch ausgebauten erneuerbaren Energien

Aus den in dieser Dissertation referenzierten Grundlagenstudien hat sich gezeigt, dass Windkraft und Biomassen bereits die größten Anteile unter den erneuerbaren Energien beitragen. In der integrativen Betrachtung zwischen Umweltwirkungen, Flächenkonkurrenzen und flächen-spezifischen Energieerträgen hat der Katalog verschiedene Forschungsbedarfe aufgezeigt:

- Für große Windparks ebenso wie für Einzel- und Reihenanlagen wären „Nachverdichtungs-Überlegungen“ interessant. Aus den Katalog-Beispielen ist klar ersichtlich, dass dies ohne zusätzlichen Flächenbedarf deutlich höhere Energiebeiträge je Standort ermöglichen würde. Die Windkraftanlagen sind in Österreich räumlich teilweise „zersiedelt“. Zu erforschen wäre daher, wie dieser „energy sprawl“ sowohl durch vertikale als auch horizontale Nachverdichtung von Windkraftanlagen erfolgen kann und was das in der erneuerbaren Energiebilanz bewegen könnte. Angesichts der sehr unterschiedlichen rechtlichen Windkraft-Reglements je Bundesland stellt sich dabei die Sub-Forschungsfrage, ob ein einheitliches, nationales, verbindliches Österreich-Windkraftkonzept im Sinne einer Rahmenplanung hilfreich wäre.
- Welche Zuwachspotenziale welche Biomassen künftig in Österreich haben, ist ebenfalls eine ungeklärte Forschungsfrage. Weder die Katalog-Records noch die Analyse der Grundlagenstudien konnten dazu ein klares Bild vermitteln. Um künftig zu integrativeren Potenzialeinschätzungen zu kommen, braucht es genauere Systemgrenzen- und Nachhaltigkeitskriterien zu den Biomassen, die auch ethische Aspekte enthalten könnten, etwa das klare „Nein“ zur Verbrennung von Nahrungsmitteln, die aber auch die gerade bei den biogenen Rohstoffen nicht unerheblichen Vorleistungsaufwände (Aufbereitung der Stoffe und Transport) stärker betonen.

5.5.3. Erforschen von „Etagenwirtschaften“ erneuerbarer Energien

Sowohl die in dieser Dissertation referenzierten Grundlagenstudien als auch die Katalog-Records haben gezeigt, dass „Etagenwirtschaften“ erneuerbarer Energien ein möglicherweise sehr großes Zusatz-Potenzial haben. Dazu ein (fiktives) Kombinations-Beispiel aus den Katalog-Ertragswerten:

„Vorher“:

Windpark auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche (Nahrungsmittelproduktion): 30 kWh/m²/a

„Nachher“:

Seichte Geothermie, Flachkollektoren + PV, Freiflächenanlage mit aufgeständerten Kollektoren + Windkraft =

40 + 50 + 30 = 120 kWh/m²/a. Nahrungsmittelproduktion nur mehr sehr eingeschränkt oder gar nicht mehr möglich.

Ertragsverhältnis Vorher : Nachher³⁶ 1:4.

³⁶ Falls der Windpark auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche steht, wäre diese Nahrungsmittelproduktion im „Nachher“-Zustand möglicherweise nur mehr stark eingeschränkt oder gar nicht mehr möglich.

Zu den Etagenwirtschafts-Kombinationen erneuerbarer Energien stellen sich folgende Forschungsfragen:

- Welches Potenzial haben großflächige Kombinationen aus Windkraft, Biomasse, Geothermie und Solarenergie, und wie gelingt die Netzintegration, Verteilung und Speicherung der verschiedenen Endenergieformen Wärme und Elektrizität?
- Welches Potenzial hat die Windkraft in wenig attraktiven Siedlungsstrukturen, etwa in Industriegebieten und entlang von Autobahnen, und wie ist das Know how aus Ländern, die dies schon praktizieren (z.B. in den Niederlanden) auf Österreich übertragbar?
- Welches Potenzial haben große Kombinationskraftwerke der Solarenergie und Geothermie im dicht bebauten, bestehenden Siedlungsstrukturen?

5.5.4. Neue Energiebündnisse zwischen „Stadt“ und „Land“ definieren

Die bisher genannten Forschungsbedarfe zum Ausbaugrad der erneuerbaren Energien, aber auch die Katalog-Beispiele zu neuen „erneuerbaren Etagenwirtschaften“ zeigen, dass das gewohnte einfache Quellen-Senken-Modell zwischen Land und Stadt nicht ausreichen wird, um den Systembeitrag der erneuerbaren Energien künftig deutlich auszubauen. „Energiequelle“ wäre in diesem einfachen Modell eher das Land – „Energiesenke“ eher die Stadt. Deshalb sollte erforscht werden, wie neue Kooperationsformen aussehen, die organisatorisch, logistisch und energietechnisch sicherstellen, dass Stadt und Land Ihre vielfältigen räumlichen Mischformen zwischen klarer energetischer Senken- oder Quellencharakteristik erkennen, verorten und nutzen können. In einer weiterentwickelten Form könnte dabei der Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen in Fokusgruppen-Workshops eingesetzt werden.

5.5.5. Erforschen der Kombinationen aus sozialwissenschaftlichen und energietechnischen Methoden für regionale Entscheidungsprozesse

In dieser Dissertation werden Studien-Referenzen genannt, die sowohl sozialwissenschaftliche Methoden (Leitfaden-Interviews, Mapping von Akteurinnen und Akteuren, Governance-Analysen) als auch nicht-sozialwissenschaftliche Methoden (GIS Analysen, Ist- und Soll-Modelle der Energienachfrage) eingesetzt haben³⁷. Wesentlich häufiger findet man Studien, die entweder rein sozialwissenschaftlich oder rein physisch-technisch mit Gebäude- oder Infrastrukturdaten gearbeitet haben. Daher besteht Forschungsbedarf zur Frage, ob diese Methodenkombination neue Erkenntnisse dazu produzieren könnten, wie Entscheidungsprozesse in regionalen Energiekonzepten künftig einfacher, schneller und häufiger gelingen und wie ein dazu passendes Forschungsdesign beschaffen wäre. Dazu könnten etwa sozialräumliche und energietechnische Erfolgskriterien in einer größeren Anzahl von langjährig aktiven Energieregionen analysiert werden. Produkt solcher Meta-Forschung wäre ein Erfolgsfaktorenkatalog, der etwas zur Wirkungsstärke sozialräumlicher und nicht sozialräumlicher „Trigger“ in regionalen Entscheidungsprozessen bei Energieszenarien aussagt.

5.5.6. Erneuerbare Energien als Kernelement in regionalen Energieraumplänen

Ein regionaler Energieraumplan sollte Inhalte zum IST und SOLL der Energienachfrage und der Energieerzeugungspotenziale, aber auch zu Mobilitätsaspekten enthalten. Aufgrund der sehr unterschiedlichen räumlichen und sozialräumlichen Rahmenbedingungen in Österreichs Regionen besteht Forschungsbedarf dazu, wie solche regionalen Energieraumpläne, differenziert nach verschiedenen Regionstypen, künftig funktionieren könnten. Das beinhaltet folgende Aufgabenstellungen:

- Welche Planungsebene (Bund, Land, Regionen, Gemeinden) übernimmt in welcher Region die Lenkungsverantwortung für den „Weg zum regionalen Energieraumplan“?

³⁷ Dumke et al. 2017, Department für Raumplanung 2013

- Welche Inhalte sollte ein Energieraumplan haben, und welche Planungsebene hat für welche Grundlagendaten die Verantwortung?
- Wie können die Inhalte in einem IST- und SOLL-Zustand im Energieraumplan verortet werden, und wie ist ihre Verbindlichkeit mit den „klassischen“ örtlichen Raumplanungsinstrumenten (Flächenwidmungsplan, Bebauungsplan, örtliches Entwicklungskonzept), aber auch über regionale Vorrang- oder Ausschlusszonen der erneuerbaren Energiepotenziale abzusichern?

Abschließend zum weiteren Forschungsbedarf ein Basisentwurf, der vorschlägt, welche Produkte der Weg zum regionalen Energieraumplan haben könnte, und wer bei diesen Produkten die Hauptverantwortung und auch die Mitarbeitsverantwortung haben könnte.

Tabelle 34: Entwurf zu einem regionalen Energieraumplan: Produkte und Verantwortungen zwischen Bundesland, Regionen und Gemeinden

Räumliche Ebenen und Ebenen der Akteurinnen und Akteure:

Land, Region, Gemeinden

Rollen in der Kooperation zu Produkten des regionalen Energieraumplanes:

X Federführung und Hauptverantwortung

(X) Kontrolle, Mitarbeit

Kooperationsprodukt	Inhalte der Kooperationsprodukte	Land	Region	Gemeinden
Potenzialkarten: Biomassen und Biogas, Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik, Wasserkraft, Abwärme, Geothermie	Flächen im bebauten und unbebauten Raum, die ein zusätzlich (zum bereits aktiven Potenzial) mögliches erneuerbares Energiepotenzial enthalten.	<u>X</u>	(X)	(X)
Status quo des Energiesystems: Kraftwerke (Leistungen und Energiemengen pro Jahr), Lage und Zustand von Elektrizitäts- und Wärmenetzen, Speicherkraftwerken, des Gas- und Stromnetzes	Übersicht systemrelevanter, interkommunal bedeutsamer Anlagen. Bei der Leitungsinfrastruktur braucht es die Kooperation mit den Energieversorgungsunternehmen.	<u>X</u>	(X)	
Potenzialstudie „virtuelles regionales Kraftwerk“	Auf Basis der zeitlich vorgelagerten Potenzialkarten: Ausschluss- und Eignungskriterien für erneuerbare Energiepotenziale auf regionaler Ebene, inkl. einfacher Abschätzung des „Selbstversorgungsgrades“.	<u>X</u>	(X)	
Regionaler Energieraumplan, mit IST- und SOLL -Inhalten zu Energiebedarfen, Anteil der erneuerbaren Energieversorgung und Mobilitätsaspekten	Grenzen energieräumlicher Typologien auf regionaler Ebene (Siedlungs- und Landschaftsteile), Vorschläge für quartiersgenaue „Untertypen“.		<u>X</u>	(X)
Detail-Potenzialkarten: Geothermie, Solarenergie, HWB-Einsparungen, Thermische Sanierungen, Nachverdichtungen	Räumliche und zeitliche Entwicklungsprioritäten, Fokus Bestandskonversion		(X)	<u>X</u>
Kooperationsvertrag zur Priorisierung der Umsetzungs- und Maßnahmenschritte inkl. „Wartungsdesign“ des regionalen Energieraumplanes	Agreement über Finanzierung, Ziele und Monitoring der energieraumplanerischen Kooperation	(X)	<u>X</u>	(X)
Bewertung der Auswirkungen des regionalen Energieraumplans auf die Energiestrategie des Bundeslandes und auf Ziele internationaler Klimaschutzvereinbarungen	Kriterienset (etwa CO ₂ Emissionen) zur Überprüfung der Policy-Wirksamkeit	<u>X</u>		

Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt haben die „weiteren Forschungsbedarfe“ gezeigt, dass die Hürden am Weg zum regionalen Energieraumplan als Instrument für die Umsetzung der Energiewende vor allem im sozialen Raum zu verorten sind. Diese Hürden können nicht (nur) energietechnisch überwunden werden, sondern brauchen integrative Planungs- und Beteiligungsprozesse. Der Kooperationsraum Region bietet dafür besondere Potenziale. In diesem Sinne hat Henry Ford das Schlusswort:

*“Zusammenkommen ist ein Beginn,
Zusammenbleiben ein Fortschritt,
Zusammenarbeiten ein Erfolg.”*

Henry Ford

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Weltbild der ökologischen Ökonomie	11
Abbildung 2: Aufbau der Dissertation	13
Abbildung 3: "Angebotsbaum" der erneuerbaren Energien.....	14
Abbildung 4: Vierstufige Wandlungskette zwischen Primärenergie und Nutzenergie	14
Abbildung 5: Beispiele der Flächenbedarfsermittlung erneuerbarer Energieanlagen	16
Abbildung 6: Anteile erneuerbarer Energieträger in Österreich 2015.....	19
Abbildung 7: Anteil an erneuerbaren Energien und Bevölkerungsdichte in den EU-Mitgliedstaaten, 2013.....	20
Abbildung 8: Anteile an erneuerbaren Energien, 2004 bis 2013	21
Abbildung 9: Das Energieraumplanungs-Triangel.....	22
Abbildung 10: Bruttoinlandsverbrauch erneuerbarer Energien pro Kopf in österreichischen Bundesländern, 2014.....	25
Abbildung 11: Exemplarische Raum- und Wirkungsmatrix der österreichischen Steuerungsinstrumente mit Energie-Relevanz	26
Abbildung 12: Schema „Nachhaltige Raumordnung mit integrierter Energieleitplanung“	28
Abbildung 13: Das System der deutschen Raumplanung.....	29
Abbildung 14: EROI values for various fuel sources and regions	32
Abbildung 15: Energierücklaufzeit, Anlagenlebensdauer und Erntefaktor verschiedener Stromerzeugungsanlagen	33
Abbildung 16: Flächenbestandteile des Sustainable Process Index.....	34
Abbildung 17: Dateneingabemaske und Lage-Karte zum „Katalog der Flächenbedarfe der Anlagen erneuerbarer Energieproduktion“.....	35
Abbildung 18: Schicht-Modell zur Abgrenzung zwischen seichter und tiefer Geothermie	38
Abbildung 19: Exemplarische Temperaturschwankungen seichter Geothermie nach Tiefen und Monaten	38
Abbildung 20: Schaltschema einer Anlage zur geothermischen Stromerzeugung	40
Abbildung 21: Anlagenarten seichter Geothermie	41
Abbildung 22: Varianten der Erschließung der Energie des flachen Untergrunds	42
Abbildung 23: Anlagenarten tiefer Geothermie	43
Abbildung 24: Spezifische Entzugsleistungen (Watt pro Sondenmeter) der Erdwärme, nach Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt	48
Abbildung 25: Lage-Varianten des geothermischen Temperaturgradienten	49
Abbildung 26: Bohrpfad und Wasserdurchlässigkeits-Klassen beim Geothermiewerk Unterhaching	50
Abbildung 27: Horizontale und vertikale Kubatur-Lage bei verschiedenen Bauweisen seichter Geothermie.....	56
Abbildung 28: Wärmepuffer-Speicher und PV-Anlage in der Siedlung „Rosa Zukunft“ Salzburg..	57
Abbildung 29: Energie-Ertragseffizienz div. PV-Technologien im zeitlichen Verlauf	74
Abbildung 30: Wirkungsgradunterschiede und Temperaturniveaus verschiedener Solarthermie-Kollektorarten.....	75
Abbildung 31: Umwandlungskette von Windkraftkonvertern	88
Abbildung 32: Windkraftkonverter in Vertikal- und Horizontalachsenbauweise.....	89
Abbildung 33: Höhen- und Leistungsklassen von Windenergieanlagen, 1980 bis heute	90
Abbildung 34: Abstandsregeln für Windparks mit und ohne Hauptwindrichtung	95
Abbildung 35: Leistungsszenarien der österreichischen Windkraft (2020 und 2030)	99
Abbildung 36: Detail- und Übersichtskarte der beiden leistungsstärksten Windkraftanlagen Österreichs in Potzneusiedl, Burgenland	101
Abbildung 37: Stromverbrauch und -erzeugung im Burgenland (30 Tage, 08-09 2017).....	104
Abbildung 38: Zusammenfassende UVE-Beurteilung für Bau- und Betriebsphase des Windparks Andau/Halbthurn	112

Abbildung 39: Wandlungsketten für Bioenergieträger	114
Abbildung 40: Energiebereitstellungsmöglichkeiten aus Biomasse	115
Abbildung 41: Leistungsentwicklung von Biomasse-Feuerungen, 1980-2015	116
Abbildung 42: Bundesländerverteilung von Biomasse-Kesseln bis 100 kW, 2014	117
Abbildung 43: Anteile erneuerbarer Energieträger in Österreich, 2015	124
Abbildung 44: Gesamter Bruttoinlandsverbrauch Energie und erneuerbarer Bruttoinlandsverbrauch pro Kopf in österreichischen Bundesländern, 2014	125
Abbildung 45: Luftaufnahmen und Fotos von Biomasse-Kraftwerken: Hackschnitzel, Stroh, Bioethanol	130
Abbildung 46: Effizienz-Aspekte nach Reichweiten netzgebundener Energieträger	142
Abbildung 47: Treemap erneuerbarer Energieanlagen aus Österreich, m ² /kWh/a	154
Abbildung 48: Energieertragseffizienz, Lageunabhängigkeit, Konkurrenzaspekte, Umweltwirkungen erneuerbarer Energieproduktionsweisen.....	156
Abbildung 49: Beispielstrukturen innerer und äußerer Siedlungsstrukturen	162
Abbildung 50: Ablaufdiagramm zur Szenarien-Bildung für das IST 2015 und SOLL 2030 im Modul „interkommunale erneuerbare Energiepotenziale“ des Projektes ERP_hoch3	164
Abbildung 51: Eindrücke vom Fachkongress „interkommunale erneuerbare Energiepotenziale“ in Rankweil, 25.02.2016	165

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erneuerbare Energien im österreichischen UVP Gesetz	30
Tabelle 2: 5 Arten geothermischer Energievorkommen nach Bodentiefe und Potenzialstärke ...	39
Tabelle 3: Geothermieanlagen nach Lage, Typ und Größe	44
Tabelle 4: Die 10 leistungsstärksten Anlagen tiefer hydrothermalen geothermischer Wärmeproduktion in Fernwärmenetzen, Deutschland, 2017	51
Tabelle 5: Anlagen der tiefen hydrothermalen Geothermie in Österreich, 2006	54
Tabelle 6: Künftige Potenziale hydrothermalen Geothermie in Österreich nach unterschiedlichen Studien	54
Tabelle 7: Geothermie-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	58
Tabelle 8: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Geothermie und anderen lageidenten Flächenfunktionen	62
Tabelle 9: Solarenergieanlagen nach Lage, Typ und Größe	66
Tabelle 10: Nach Kollektoren-Ausrichtung unterschiedliche Ertragsvarianzen einer PV-Anlage, Leistung 5 kW, Standort Wien	72
Tabelle 11: Standortabhängige Ertragsvarianzen einer PV-Anlage, Leistung 5 kWp.....	77
Tabelle 12: Anlagenbeispiele Photovoltaik nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	80
Tabelle 13: Anlagenbeispiele Solarthermie nach dem Flächenertrag der Energieproduktion.....	81
Tabelle 14: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Solarenergie (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen	85
Tabelle 15: Windkraftanlagen nach Lage, Typ und Größe	91
Tabelle 16: Rechtsgrundlagen, Widmungsarten und Abstandsregelungen zu Windkraftanlagen in den österreichischen Bundesländern	96
Tabelle 17: Windkraft-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	103
Tabelle 18: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Windkraft (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen	110
Tabelle 19: Biomasse-Anlagen nach Lage, Typ und Größe	118
Tabelle 20: Jährlicher Flächenbedarf unterschiedlicher Biomassen-Anlagen.....	131
Tabelle 21: Biobrennstoff-Einzugsgebiete für unterschiedliche Anlagengrößen	132
Tabelle 22: Biomasse-Anlagenbeispiele nach dem Flächenertrag der Energieproduktion	133
Tabelle 23: Fernwärme-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen nach Leistungsklassen und Brennstoffen, 2013.....	136
Tabelle 24: Qualitative Bewertung der Flächenkonkurrenzen zwischen der Energieerzeugung aus Biomassen (Betriebsphase) und anderen lageidenten Flächenfunktionen.....	139

Tabelle 25: Transport-Parameter von biogenen und fossilen Brennstoffen (2008)	141
Tabelle 26: Netzeigenschaften netzgebundener Energieträger	143
Tabelle 27: Musterrechnung CO ₂ Gehalte des Stroh-Transportes vs. dem gegenüber einer fossilen Wärmeerzeugung eingesparten CO ₂	144
Tabelle 28: Durchschnittliche und Anlagenspezifische Emissionsfaktoren	145
Tabelle 29: Qualitative Bewertung der Umweltwirkungen durch Energieproduktion (Betriebsphase) aus Biomassen	146
Tabelle 30: Flächenertragswerte aus dem Katalog erneuerbarer Energieanlagen (Wärme)	148
Tabelle 31: Flächenertragswerte aus dem Katalog erneuerbarer Energieanlagen (Elektrizität)	151
Tabelle 32: Energieanlagen-Beispiele zum Verhältnis direkter Flächenbedarfe („Flächeninanspruchnahme“) und der Potenzialertragsfläche	157
Tabelle 33: Vergleich der flächenspezifischen Energieerträge der Katalog-Records mit Werten aus der Fachliteratur	159
Tabelle 34: Entwurf zu einem regionalen Energieraumplan: Produkte und Verantwortungen zwischen Bundesland, Regionen und Gemeinden.....	170

6.3. Kartenverzeichnis

Karte 1: Lageübersicht der „Records“ aus dem Katalog	36
Karte 2: Geothermischer Wärmefluss in Europa (mW/m ² , 2002)	52
Karte 3: Bestand und Potenziale hydrothormaler Geothermie in Österreich (2006)	53
Karte 4: Verteilung der Bodentemperatur (2 m Tiefe), nach besiedelten Rasterzellen Österreichs (2010).....	55
Karte 5: Unterschiede der solaren Globalstrahlungsstärke weltweit und in Europa.....	76
Karte 6: Siedlungsräume, besiedelbare und nicht besiedelbare Räume in Österreich	78
Karte 7: Solarthermiefpotenziale im Szenario „Maxi 2020“, Projekt RegioEnergy.....	79
Karte 8: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in 100 m über Grund (m/s), Österreich 2011	97
Karte 9: Windkraftanlagen in Österreich 2017.....	97
Karte 10: Windkraftszenario "2020 maxi" nach Bezirken Österreichs, Projekt RegioEnergy.....	99
Karte 11: Alters- und Leistungsklassen österreichischer Windkraftanlagen (1993-2016) und deren Lagen	106
Karte 12: Szenarienergebnisse „maxi 2020“ des Projektes RegioEnergy, 2010.....	121
Karte 13: Anteile verschiedener erneuerbarer Energiepotenziale zur Wärmenachfrage auf Bezirksebene, 2020.....	123
Karte 14: Projekt Austrian Heat Map, Potenziale österreichische Fernwärme-Hauptregionen ..	126
Karte 15: Projekt Austrian Heatmap, Zoom Wärmebedarfsdichten (2012-2025).....	127
Karte 16: Biogaseinspeiseanlagen und ihre Lage zum Erdgasnetz, 2008.....	128
Karte 17: Bioenergie in Österreich, 2016	135
Karte 18: Kraftwerks-Leistungsklassen und Standorte, Biomasse und Abfall (2013).....	137
Karte 19: Kraftwerks-Leistungsklassen und Standorte, Erdgas, Öl und Kohle (2013).....	137

6.4. Literaturverzeichnis

Agemar, T.; Alten, J.; Ganz, B.; Kuder, J.; Kühne, K.; Schumacher, S.; Schulz, R. (2017): GeotIS, Geothermisches Informationssystem für Deutschland. Geothermische Standorte und geothermische Potenziale. Hg. v. Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik. Online verfügbar unter <https://www.geotis.de/homepage/project.php>, zuletzt geprüft am 01.06.2017.

Agentur für erneuerbare Energien (2016): Wie funktioniert oberflächennahe Geothermie? Online verfügbar unter <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/wie-funktioniert-oberflaechennahe-geothermie>, zuletzt geprüft am 01.07.2016.

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2005): Handwörterbuch der Raumordnung. Online verfügbar unter https://www.arl-net.de/system/files/r_s0831-0996.pdf, zuletzt geprüft am 11.04.2017.

Albrechts, Louis (2010): How to Enhance Creativity, Diversity and Sustainability in Spatial Planning: Strategic Planning Revisited. In: Maria Cerreta, Grazia Concilio und Valeria Monno (Hg.): Making strategies in spatial planning. Knowledge and values. Dordrecht, New York: Springer (Urban and landscape perspectives, v. 9), S. 3-25.

Amme, Jonathan (2013): Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum - Ein Leitfaden. Online verfügbar unter http://www.aee-now.at/cms/fileadmin/downloads/allgemein/Kleinwind/Kleinwind_Handlungsempfehlungen_HTW-Berlin.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2016.

Amt der NÖ Landesregierung (RU3) (2013): NÖ Energiefahrplan 2030. Kurzfassung. Online verfügbar unter http://www.noe.gv.at/noe/Energie/NOE_Energiefahrplan_2030.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2017.

Amt der NÖ Landesregierung (RU3) (2016): Kleinregionale Rahmenkonzepte (KRRK). Online verfügbar unter <http://www.raumordnung-noe.at/index.php?id=116>, zuletzt geprüft am 04.02.2016.

Amt der steiermärkischen Landesregierung (o. J.): Energiestrategie Steiermark 2025. Online verfügbar unter http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/pdf_2011_2_HJ/Energiestrategie_Stmk_2025_Text.pdf, zuletzt geprüft am 06.05.2017.

Austrian Wind Power GmbH; RaumUmwelt Planungs-GmbH (2010): Umweltverträglichkeitserklärung Windpark Andau/Halbthurn. Online verfügbar unter http://www.energieburgenland.at/fileadmin/EB_pdf_NEU/Windkraft/Umweltvertr%C3%A4glichkeitserkl%C3%A4rung_Windpark%20Andau_Halbturn.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2017.

Bartelmus, Peter (2014): Nachhaltigkeitsökonomik. Eine Einführung. Wiesbaden: Springer Gabler (Lehrbuch).

Berchtold-Domig, Markus; Geitner, Clemens; Hastik, Richard; Meusbürger, Phillip; Steurer, Peter (2015): Musterhektar. Online verfügbar unter http://www.recharge-green.eu/wp-content/uploads/2012/12/15-03-11_recharge-green_Musterhektare-booklet150.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2017.

Biermayr, Peter (2016): Erneuerbare Energie in Zahlen 2016. Entwicklung in Österreich Datenbasis 2015. Hg. v. BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. TU Wien; e-think. Online verfügbar unter https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjO05_EhuTYAhXMh7QKHVfLAlOQFggoMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.klimaaktiv.at%2Fdam%2Fjcr%3A36c97be8-f705-483b-be86-e71e89e109c3%2FERneuerbare%2520Energie%2520in%2520Zahlen%25202016%2520auf%2520Datenbasis%25202015.pdf&usq=AOvVaw1wEWNQAey2HyFnQTkSMhrF, zuletzt geprüft am 04.10.2017.

- Blatter, Max (2014): Atlas der erneuerbaren Energien. Norderstedt: Books on Demand. Online verfügbar unter <http://www.energie-atlas.ch/downloads/free/978-3-7347-3750-3-gratiskarten.pdf>.
- BM für Wirtschaft, Familie und Jugend & BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): EnergieStrategie Österreich. Online verfügbar unter http://www.bmwf.w.gv.at/Ministerium/Staatspreise/Documents/energiestrategie_oesterreich.pdf, zuletzt geprüft am 23.08.2016.
- Boos, Markus (o. J.): Wärmepumpe Kennzahlen - Leistungszahl, Jahresarbeitszahl, Primärenergiefaktor. mb-netzwerk. Online verfügbar unter http://www.waermepumpen-portal.de/waermepumpe_kennzahlen.html, zuletzt geprüft am 09.10.2017.
- Bronin, Sara C. (2012): Building-Related Renewable Energy and the Case of 360 State Street. Online verfügbar unter https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2181635, zuletzt geprüft am 01.07.2017.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2010): Genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien? Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BerichteKompakt/2010/DL_13_2010.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt aktualisiert am 12.07.2013, zuletzt geprüft am 10.06.2016.
- Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften e.V. (2008): Biomasse Heizanlagen. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/biomassev/BiomasseV.pdf>, zuletzt geprüft am 12.04.2017.
- Bundesverband WindEnergie (o.J.): Größen- und Leistungsklassen von Windenergieanlagen. Online verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/themen/technik-anlagen>, zuletzt geprüft am 01.09.2017.
- Bundeverband Geothermie (2005): Direkte Nutzungsformen der Erdwärme. Online verfügbar unter <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/anlagentypen-in-der-praxis.html>, zuletzt geprüft am 22.06.2017.
- Dell, Gerhard (2017): Energie Leitregion OÖ 2050. Die Energiestrategie Oberösterreichs. Online verfügbar unter http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/esv_Energiestrategie_Leitregion.pdf, zuletzt geprüft am 05.04.2016.
- Department für Raumplanung (2013): ENUR - Energie im urbanen Raum. TU Wien. Online verfügbar unter <http://enur.project.tuwien.ac.at/>, zuletzt geprüft am 25.01.2014.
- derStandard (2012): Wiener Geothermie-Plan in Aspern muss begraben werden. Online verfügbar unter <http://derstandard.at/1353209116668/Wiener-Geothermie-Plan-in-Aspern-muss-begraben-werden>, zuletzt geprüft am 04.05.2016.
- derStandard (2016): Wie die Sanierungsquote steigen könnte. Online verfügbar unter <http://derstandard.at/2000032756971/Wie-die-Sanierungsquote-steigen-koennte>, zuletzt geprüft am 05.05.2016.
- Deutscher Rat für Landespflege (2006): Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. In: *Schriftenreihe des deutschen Rates für Landschaftspflege* (79). Online verfügbar unter http://www.landespflege.de/aktuelles/tagung%20EE/DRL-Stellnahme-79_ErnEng.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2016.
- Dumke, Hartmut; Eder, Michael; Fischbäck, Johannes; Hirschler, Petra; Kronberger-Nabielek, Pia; Maier, Stephan et al. (2017): ERP_hoch3, Abschlussbericht. Energieraumplanung für smarte Stadtquartiere und Regionen. Online verfügbar unter <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/energieraumplanung-fuer-smart-city-quartiere-und-smart-city-regionen-erp-scq-scr.php>, zuletzt geprüft am 01.06.2017.

- Energie Burgenland (o.J.): Windlexikon. Online verfügbar unter http://www.energieburgenland.at/oekoenergie/windkraft/windlexikon/windlexikon.html?tx_sgglossary_pi1%5Bsearchmode%5D=1&tx_sgglossary_pi1%5Bsearch%5D%5Babc%5D=A, zuletzt geprüft am 08.09.2017.
- Energie Burgenland Gruppe (2017): Online Messwerte, Erzeugung und Verbrauch im Burgenland. Online verfügbar unter <http://www.netzburgenland.at/kundenservice.html>, zuletzt geprüft am 11.09.2017.
- Energiewerkstatt; RSA - Studio iSPACE; Meteotest; Wegener Center (2011): Windatlas Österreich. Online verfügbar unter <http://www.windatlas.at/index.html>, zuletzt aktualisiert am 22.01.2015, zuletzt geprüft am 06.09.2017.
- e-think; Energy Economics Group (EEG) (2013): Austrian Heat Map. Fernwärme- und Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich. Online verfügbar unter <http://www.austrian-heatmap.gv.at/kontakt/>, zuletzt geprüft am 24.03.2017.
- Eurostat (2013): Anteil an erneuerbaren Energien in den EU-Mitgliedstaaten, 2013. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6734517/8-10032015-AP-DE.pdf/18a48a8b-84cd-4960-9d25-e97c94b4a4b5>, zuletzt geprüft am 02.01.2014.
- Faninger, Gerhard (2013): Energiestrategie für Kärnten 2050. IKN, Alpen-Adria Universität Klagenfurt. Online verfügbar unter <http://www.uni-klu.ac.at/iff/ogi/downloads/Energie-Knt-2050.pdf>, zuletzt geprüft am 07.09.2017.
- Geier, Stefan (2009): Möglichkeiten für eine nachhaltige Energiewirtschaft durch die Raumordnung in Niederösterreich. Diplomarbeit, Raumplanung, zuletzt geprüft am 16.09.2016.
- Goldbrunner, Johann; Novak, Horst (1991): Energetische Nutzung der Geothermie. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE006.pdf>.
- Götzl, Gregor (2008): Geothermie in Österreich. Publikation zur Karte „Geothermie Wärmestrom“. Geologische Bundesanstalt.
- Gowdy, J. (2005): The approach of ecological economics. In: *Cambridge Journal of Economics* 29 (2), S. 207-222. DOI: 10.1093/cje/bei033.
- Gwehenberger, Gernot; Narodoslawsky, Michael (2008): Sustainable processes—The challenge of the 21st century for chemical engineering. In: *Process Safety and Environmental Protection* 86 (5), S. 321-327. DOI: 10.1016/j.psep.2008.03.004.
- Hall, Charles A.S.; Lambert, Jessica G.; Balogh, Stephen B. (2014): EROI of different fuels and the implications for society. In: *Energy Policy* 64, S. 141-152. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.05.049.
- Hegger, Manfred (2003): Von der passiven Nutzung zu einer smarten Solararchitektur. In: Christian Schittich (Hg.): *Im Detail: Solares Bauen. Strategien, Visionen, Konzepte*. Basel [u.a.], München: Birkhäuser [u.a.]; Inst. für Internat. Architektur-Dokumentation (Im Detail).
- IG Kleinwasserkraft Österreich (2017): Kleinwasserkraft Österreich. Online verfügbar unter <http://www.kleinwasserkraft.at/>, zuletzt geprüft am 06.09.2017.
- Institut für Philosophie und Wissenschaftstheorie (2017): Ökologische Ökonomie. IWP WIKI. Linz. Online verfügbar unter http://www.iwp.jku.at/wiki/index.php/%C3%96kologische_%C3%96konomie, zuletzt aktualisiert am 31.01.2017, zuletzt geprüft am 27.03.2017.
- Interessengemeinschaft Windkraft Österreich (2016): Abstandsregelungen für österreichische Windkraftanlagen. Online verfügbar unter [https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1240](https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1240), zuletzt geprüft am 01.09.2016.
- Interessengemeinschaft Windkraft Österreich (2017a): Downloads der IG Windkraft. Online verfügbar unter https://www.igwindkraft.at/?mdoc_id=1007668, zuletzt geprüft am 15.09.2017.
- Interessengemeinschaft Windkraft Österreich (2017b): Windkraft-Landkarte. Online verfügbar unter [https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1055](https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1055), zuletzt geprüft am 01.06.2017.

- Jilek, Wolfgang (2001): Energiebericht 2001, Land Steiermark. Online verfügbar unter <http://www.lev.at/download/EB2001g.pdf>, zuletzt geprüft am 16.01.2017.
- Joanneum Research; Geoteam; Energie AG oberösterreichische Wärme (2014): GeoEnergie2050. Online verfügbar unter https://www.joanneum.at/fileadmin/_migrated/content_uploads/834451_Endbericht_GeoEnergie2050_24092014_final1.pdf, zuletzt geprüft am 01.10.2017.
- Joint research centre, Institute for Energy and Transport (IET) (2017): PV potential estimation utility. Online verfügbar unter <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe>, zuletzt geprüft am 02.08.2017.
- Jüttemann, Patrick (o.J.): Bauformen und Konstruktionstypen kleiner Windkraftanlagen. Online verfügbar unter <https://www.klein-windkraftanlagen.com/technik/bauformen/>, zuletzt geprüft am 14.05.2017.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren: Springer. Online verfügbar unter <https://books.google.at/books?id=QpMM93jkficC>.
- Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang; Wiese, Andreas (2006): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, zuletzt geprüft am 15.02.2017.
- Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang; Wiese, Andreas (2014): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5. Aufl., erw. und korr. Nachdruck. Berlin: Springer.
- Kanton Zürich (Hg.) (2013): Energieplan des Kantons Zürich. Online verfügbar unter <http://maps.zh.ch/>, zuletzt geprüft am 18.10.2016.
- KBB Underground Technologies GmbH (o. J.): Geothermie - Zuverlässige Energie aus den Tiefen unserer Erde. Online verfügbar unter <http://www.kbbnet.de/fachbereiche/geothermie/>, zuletzt geprüft am 02.10.2017.
- Klima- und Energiefonds (Österreich) (2017): Klima- und Energiemodellregionen. Online verfügbar unter Klima- und Energiefonds, zuletzt geprüft am 01.03.2017.
- Krenn, Andreas; Winkelmeier, Hans; Wölfler, Thomas; Tiefenbacher, Katharina; Hantsch, Stefan (2013): IEA Windenergie Task 19: Windenergie in kalten Klimazonen. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/endbericht_201327_iea_windenergie_task_19.pdf, zuletzt geprüft am 15.04.2017.
- Lafferty, William M.; Narodoslowsky, Michael (2003): Regional sustainable development in Europe. The challenge of multi-level co-operative governance. Oslo, Praha: ProSus; Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře.
- Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Abteilung Betriebswirtschaft und Technik (2015): Biomasse - Heizungserhebung 2015. Online verfügbar unter http://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/Heizwerkserhebung/Biomasseheizungserhebung_2015.pdf, zuletzt geprüft am 08.11.2017.
- Lane, Jim (2015): Why Tim Searchinger Is Dead Wrong About Biofuels and Land Use. Online verfügbar unter <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2015/02/18/why-tim-searchinger-is-dead-wrong-about-biofuels-and-land-use/>, zuletzt geprüft am 02.12.2017.
- Latzer, Daniel (2013): Potentialabschätzung von Kleinwindenergie im urbanen Raum. Strategische Standortsuche mit GIS Modellen. Diplomarbeit. TU Wien. Online verfügbar unter <http://www.ub.tuwien.ac.at/dipl/2013/AC10774871.pdf>, zuletzt geprüft am 16.09.2015.
- Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH (Hg.) (2013): Seismische Messungen an potenziellen Geothermiestandorten. Online verfügbar unter

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/tiefe-geothermie-dauerhaft-nutzen/messungen-mit-vibrationsfahrzeugen/>.

Magistrat der Stadt Wien, MA 18 (2014): Smart City Wien. Rahmenstrategie. Online verfügbar unter https://smartcity.wien.gv.at/site/wp-content/blogs.dir/3/files/2014/08/Langversion_SmartCityWienRahmenstrategie_deutsch_doppelseitig.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2017.

Mertens, K. (2015): Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. Online verfügbar unter <https://books.google.at/books?id=EDZHCgAAQBAJ>.

Michaud-Larivière, Jérôme (2015): Newwind R&D. Online verfügbar unter <http://www.newwind.fr/en/press-room/>, zuletzt geprüft am 15.05.2015.

Ministerium für ein lebenswertes Österreich (2017): LEADER, 86 Lokale Aktionsgruppen, BMLFUW. Online verfügbar unter https://www.bmlfuw.gv.at/land/laendl_entwicklung/le-07-13/leader/LAG.html, zuletzt geprüft am 20.04.2017.

Moroni, Stefano; Antonucci, Valentina; Bisello, Adriano (2016): Energy sprawl, land taking and distributed generation. Towards a multi-layered density. In: *Energy Policy* 98, S. 266-273. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.08.040.

Narodoslawsky, M. (1993): SPI - der Sustainable Process Index. Graz: ÖGBPT.

Narodoslawsky, Michael (2016): Towards a sustainable balance of bio-resources use between energy, food and chemical feed-stocks. [Place of publication not identified]: NOW Publishers INC.

Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian (2013): The Sustainable Process Index. Online verfügbar unter <http://spionweb.tugraz.at/en/spi>, zuletzt geprüft am 25.06.2015.

NREL (2014): Concentrating Solar Power Research - Concentrating Photovoltaic Technology. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Online verfügbar unter http://www.nrel.gov/csp/concentrating_pv.html.

ORC Fachverband e.V. (2017): Was ist ORC-Technologie. Online verfügbar unter http://www.orc-fachverband.de/was_ist_die_orc_technologie_.html, zuletzt geprüft am 17.09.2017.

Ostermann, Viktoria; Götzl, Gregor; Steckler, Paul; Zottl, Andreas; Heimrath, Richard; Novak, Andreas; Kalasek, Robert (2010): GEO-Pot. Seichtes Geothermie Potenzial Österreichs. Überregionale, interdisziplinäre Potenzialstudie zur Erhebung und Darstellung des oberflächennahen geothermischen Anwendungspotenziales auf Grundlage eines regelmäßigen Bearbeitungsrasters. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00506-010-0185-2.pdf>, zuletzt geprüft am 04.10.2017.

Österreichische Energieagentur (2017): Klima- und Energiewissen kompakt. Online verfügbar unter <https://www.klimaundenergiemodellregionen.at/assets/Uploads/Downloads/Member-Bereich/Klima-und-Energie-Wissen-kompakt-2017.pdf>, zuletzt geprüft am 28.10.2017.

Österreichischer Biomasse-Verband (2017): Basisdaten 2017 Bioenergie. Wien. Online verfügbar unter http://www.biomasseverband.at/publikationen/broschueren/?eID=dam_frontend_push&docID=5414, zuletzt geprüft am 21.09.2017.

Paschotta, Rüdiger (2014): RP-Energie-Lexikon - Grundbegriffe, Fakten und Zusammenhänge im Fachbereich Energie, sachlich neutral, verständlich und praxisnah erklärt, Fachartikel. RP Photonics Consulting GmbH. Online verfügbar unter <http://www.energie-lexikon.info/>, zuletzt aktualisiert am 25.08.2014, zuletzt geprüft am 28.08.2014.

- Pfemeter, Christoph; Kahr, Stefanie; Liptay, Peter (Hg.) (2016): Bioenergie Atlas Österreich. Österreichischer Biomasse-Verband; Österreich. Wien: Österreichischer Biomasse-Verband (Klimaaktiv), zuletzt geprüft am 17.03.2017.
- Pötsch, Erich M. (2008): Potentiale der energetischen Nutzung im Alpinen Grünland. Online verfügbar unter https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/?option=com_r_fodok&Itemid=200881&task=detail&publnr=5137, zuletzt geprüft am 06.11.2017.
- Projekt Bio Energy Train (2016): Bio Energy Train. Logistic properties of bio-resources and logistic technologies. module 2. Online verfügbar unter project EU Horizon 2020.
- Quaschnig, Volker (2015): Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung - Simulation. 9., aktualisierte und erw. Aufl. München: Hanser (Hanser eLibrary).
- Republik Österreich (2017): Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 - UVP-G 2000), vom BGBl. I Nr. 111/2017. Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010767>, zuletzt geprüft am 30.09.2017.
- Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG (2017): Ratgeber: Wie unterscheidet man Solarthermie-Anlagen? Online verfügbar unter [https://blog.paradigma.de/welche-solarthermieanlagen-unterschieden-nach-der-nutzung-der-erzeugten-solarwaerme](https://blog.paradigma.de/welche-solarthermieanlagen-unterscheidet-man/#solarthermieanlagen-unterschieden-nach-der-nutzung-der-erzeugten-solarwaerme), zuletzt aktualisiert am 02.08.2017, zuletzt geprüft am 02.08.2017.
- Schlaich, J. (1995): The Solar Chimney: Electricity from the Sun. u.a. Manzanares-Pilotanlage!: National Book Network. Online verfügbar unter <https://books.google.at/books?id=CVy6Nh57MmC>.
- Schlump, Christian; Malotki, Christian von (Hg.) (2013): Anforderungen an energieeffiziente und klimaneutrale Quartiere (EQ). Stand: Juni 2013. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Werkstatt: Praxis, 81). Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/WP/2013/heft81_DL.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Schönwandt, Walter L. (2002): Planung in der Krise? Theoretische Orientierungen für Architektur, Stadt- und Raumplanung. Stuttgart: Kohlhammer.
- Schwärzler, Erich (2011): Schritt für Schritt zur Energieautonomie in Vorarlberg. Maßnahmenplan bis 2020, Schlussbericht. Land Vorarlberg. Online verfügbar unter <https://www.vorarlberg.at/pdf/schlussberichtenkeltaugli.pdf>, zuletzt geprüft am 10.09.2017.
- Schweizerischer Erdbebendienst (SED) (2017): Induzierte Erdbeben im Nachgang des eingestellten Geothermieprojekts in Basel. ETH Zürich. Online verfügbar unter http://www.seismo.ethz.ch/export/sites/sedsite/home/.galleries/pdf_home/Induzierte-Erdbeben-im-Nachgang-des-eingestellten-Geothermieprojekts-in-Basel.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2017.
- Searchinger, Timothy; Edwards, R.; Mulligan, D.; Heimlich, R.; Plevin, R (2015): Do biofuel policies seek to cut emissions by cutting food? (American Association for the Advancement of Science, Science magazine, 347). Online verfügbar unter <http://science.sciencemag.org/content/sci/347/6229/1420.full.pdf>, zuletzt geprüft am 02.06.2017.
- Shiple, Robert (2002): Visioning in Planning. Is the Practice Based on Sound Theory? In: *Environ Plan A* 34 (1), S. 7-22. DOI: 10.1068/a3461.
- Siemens Österreich (2017): Rosa und energieeffizient. Online verfügbar unter <http://www.hitech.at/rosa-und-energieeffizient/>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

- Stanzer, G. et al (2010): RegioEnergy. Online verfügbar unter http://regioenergy.oir.at/sites/regioenergy.oir.at/files/uploads/pdf/REGIO-Energy_Endbericht_201013_korr_Strom_Waerme.pdf, zuletzt geprüft am 25.09.2013.
- Stöglehner, G.; Narodoslawsky, M.; Steinmüller, H.; Steininger, K.; Weiss, M.; Mitter, H. et al. (2011): PlanVision - Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. Projektendbericht. Wien. Online verfügbar unter http://www.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H85000/H85500/materialien/planvision/Endbericht_PlanVision.pdf, zuletzt aktualisiert am 2011, zuletzt geprüft am 23.08.2016.
- Stöglehner, Gernot (2014): ÖREK-Partnerschaft Energieraumplanung. Ergebnispapier der ExpertInnen. Unter Mitarbeit von Gernot Stöglehner, Susanna Erkner und Georg Neugebauer. Online verfügbar unter http://www.oerok.gv.at/fileadmin/Bilder/2.Reiter-Raum_u._Region/1.OEREK/OEREK_2011/PS_Energieraumplanung/Ergebnispapier_Energieraumplanung_2014-06.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2014.
- Thalhammer, Werner; Stöglehner, Gernot (2011): ÖREK-Partnerschaft "Energieraumplanung". Zusammenfassung. Wien. Online verfügbar unter http://www.oerok.gv.at/fileadmin/Bilder/5.Reiter-Publikationen/Schriftenreihe_Kurzfassung/Schriftenreihe_192_Zusammenfassung_DE.pdf, zuletzt aktualisiert am 27.01.2015, zuletzt geprüft am 06.09.2016.
- TOB - Technologieoffensive Burgenland (2013): Energiestrategie Burgenland 2020. Online verfügbar unter http://www.tobgld.at/uploads/tx_mddownloadbox/Energiestrategie_Burgenland_2020__01.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2017.
- Umweltbundesamt Österreich (2004): Emissionen aus Verbrennungsvorgängen zur Raumwärmeerzeugung. Umweltbundesamt Österreich. Online verfügbar unter http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/pdf_2013_1_HJ/EmissionenRaumwaermeEndfassung060904.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2017.
- Umweltbundesamt Österreich (2017): CORINE Landcover Nomenklatur. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1_flaechennutzung/corine/CORINE_Nomenklatur.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2014.
- VDE ETG Energietechnische Gesellschaft (o. J.): Biomassekraftwerke. Online verfügbar unter <https://www.vde.com/de/etg/arbeitsgebiete/informationen/biomassekraftwerke>, zuletzt geprüft am 04.04.2016.
- Vogl, Bernd (2017): Energierahmenstrategie Wien. Online verfügbar unter https://www.wko.at/service/w/umwelt-energie/Vogl_Energie-Rahmenstrategie_Wien.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2017.
- Voigt, A.; Walchhofer, H.P.; Mayerhofer, M.; Spruck, M.; Linzer, H.; Kalasek, R. et al. (2015): Die energieautarke und klimaneutrale Stadt - Regionale Smart Grids (Wärme, Kälte und elektrischer Strom) aus erneuerbaren Energien. In: Jens S. Dangschat, Michael Getzner, Markus Haslinger und Sibylla Zech (Hg.): Raumplanung. Jahrbuch des Departments für Raumplanung der TU Wien 2015. 1. Aufl., neue Ausg. Wien: NWV Verlag (Jahrbücher des Departments für Raumplanung der TU Wien, 3).
- Vortex bladeless company (2017): Vortex Bladeless. Wind generation development. Online verfügbar unter <http://www.vortexbladeless.com/>, zuletzt geprüft am 20.09.2017.
- Walchhofer, Hans-Peter (1999): Ressourceneffiziente Bebauungsstrukturen. Dissertation. 1 Band. Wien. Online verfügbar unter <http://raumplanung.scix.net/cgi-bin/works/Show?diss9902>.
- Wang, Hai-Qiao; Batentschuk, Miroslaw; Osvet, Andres; Pinna, Luigi; Brabec, Christoph J. (2011): Rare-Earth Ion Doped Up-Conversion Materials for Photovoltaic Applications. In: *Adv. Mater.* 23 (22-23), S. 2675-2680. DOI: 10.1002/adma.201100511.

Wien Energie; AIT; Geologische Bundesanstalt; Geo5; Heinemann Oil (HOL); Montanuniversität Leoben et al. (2017): GeoTief Wien. Online verfügbar unter <http://www.geotiefwien.at/eportal3/>.

Wikipedia (Hg.) (2017): Erntefaktor (Energy Returned on Energy Invested). Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=161415219>, zuletzt aktualisiert am 01.05.2017, zuletzt geprüft am 16.05.2017.

Windstill (2017): Schutz vor Mensch, Wald & Tier. Online verfügbar unter <http://www.windstill.at/kontakt/>.

Winkelmeier, Hans; Krenn, Andreas; Zimmer, Florian (2014): Das realisierbare Windpotenzial Österreichs für 2020 und 2030. Follow-up Studie zum Projekt "Windatlas und Windpotenzialstudie Österreich". Online verfügbar unter <http://www.energiwerkstatt.org/wp/wp-content/uploads/2015/02/Pr%C3%A4sentationWinkelmeier-AWES-2014.pdf>, zuletzt geprüft am 01.05.2016.

Wonka, Erich (2008): Neuabgrenzung des Dauersiedlungsraumes. In: *Statistische Nachrichten* (5). Online verfügbar unter http://www.oerok-atlas.at/documents/neuabgrenzung_des_dauersiedlungsraums.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2017.

Zech, Sibylla; Giffinger, Rudolf (2013): Vorwort. In: Rudolf Giffinger und Sibylla Zech (Hg.): *Energie und Raum*. Wien, Berlin, Münster: LIT (Forum Raumplanung, Bd. 20).

7. Anhang

7.1. Katalog der Flächenbedarfe erneuerbarer Energieanlagen

Die folgende Datenbank enthält sämtliche in dieser Dissertation als „Katalog-Records“ genannten Energieanlagen, und darüber hinaus auch weitere, bei denen einzelne oder mehrere Detail-Daten nicht auffindbar oder unvollständig waren.

Software-Basis waren die Google fusion tables, eine Kombination aus einer webbasierten Datenbank mit einfachen Geoinformations-Funktionen. Dieser Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, könnte aber Cloudbasiert als Beitrag zur Energieraumplanung und allgemein als Nachschlagewerk vielversprechende Ausbaupotenziale entfalten.

Letztes Kontroll-Datum aller Bilder- und Datenquellen ist der 30.10.2017. Die Records der Datenbank verwenden aus technischen Gründen den Punkt als Dezimalzeichen.

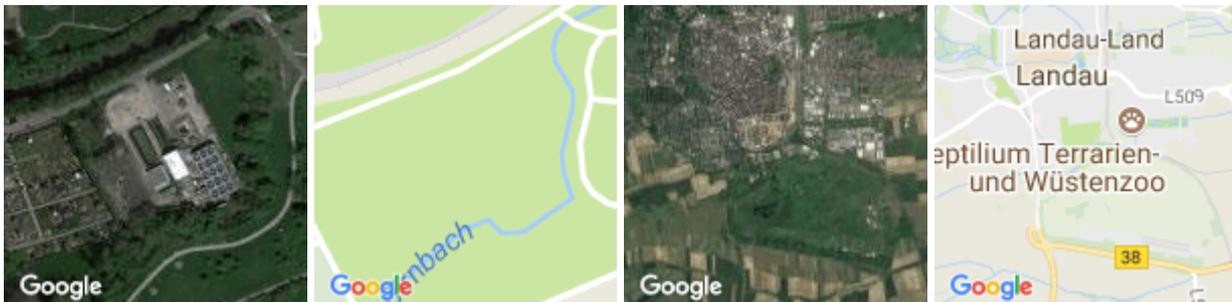
7.1.1. Geothermieranlagen

Name, Lage: Geothermie Landau, oberrheinischer Tiefgraben (Rheinland-Pfalz), Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal

Koordinaten: 49.1863890, 8.1227780



Standort- und Energie-Details: Wärme (aus Tiefenwasser-Wärmetausch) und Elektrizität (ORC-Turbine). Betriebsstart 2007. Bohrteufe 3000 m. Wassertemperatur 159°, Schüttung 70 Liter/s. Dzt. ungewisse Zukunft, auch wegen Beben-Problemen (2,4-2,7 Richter) mit "wahrscheinlichem" kausalem Zusammenhang zum KW- eine Bürgerinitiative ist in Gegnerschaft aktiv.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 2890

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	3	7000	0	4.12857	2333
th.	2.01	15300	0.52941	1.88889	7612

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/F%C3%B6derbohrung_und_Reinjektionsboherung_Geothermiekraftwerk_Landau.JPG/1280px-](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/F%C3%B6derbohrung_und_Reinjektionsboherung_Geothermiekraftwerk_Landau.JPG/1280px-F%C3%B6derbohrung_und_Reinjektionsboherung_Geothermiekraftwerk_Landau.JPG)

[F%C3%B6derbohrung_und_Reinjektionsboherung_Geothermiekraftwerk_Landau.JPG,](https://www.geothermie-nachrichten.de/wp-content/uploads/2010/06/Geothermiekraftwerk_7.jpg)

http://www.geothermie-nachrichten.de/wp-content/uploads/2010/06/Geothermiekraftwerk_7.jpg

Daten-Quellen: [https://de.wikipedia.org/wiki/Geothermiekraftwerk_Landau,](https://de.wikipedia.org/wiki/Geothermiekraftwerk_Landau)

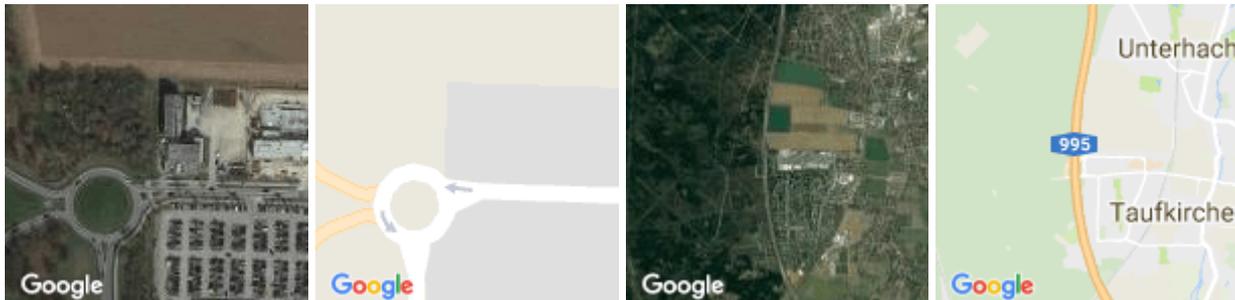
<http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/geothermie-1/hydrothermale-geothermie/>

Name, Lage: Geothermie Unterhaching, Bayern, Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal

Koordinaten: 48.0567539, 11.5971254



Standort- und Energie-Details: Fernwärme (aus Tiefenwasser-Wärmetausch) und Elektrizität (Kalina-Verfahren-Turbine). Betriebsstart 2009. Bohrtiefe 3350 m, Wassertemperatur 122 °C, Schüttung 150 L/s. 3000 versorgte Wohneinheiten, dazu 4 Schulen, 1 Sporthalle, 1 Sportpark, 1 Freibad, weitere öff. Gebäude. Langfristige Planung: Versorgung von Unterhaching mit 80 Prozent. Fernwärme mit einer Anschlussleistung von ca. 90 MW, 44,5 km Netzlänge.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 2809

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	3.36	7331	0	3.83167	2182
th.	70	85947	3.0597	0.32683	1228

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Unterhaching_-_Geothermieanlage_-_geo.hlipp.de_-_9888.jpg

Daten-Quellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Geothermiekraftwerk_Unterhaching,

<http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/geothermie-1/hydrothermale-geothermie/> und [https://www.geothermie-](https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/EAD248405DF5B567C125766200357527/$file/Datenblatt%20Geothermie%20Unterhaching_2016.pdf)

[unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/EAD248405DF5B567C125766200357527/\\$file/Datenblatt%](https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/EAD248405DF5B567C125766200357527/$file/Datenblatt%20Geothermie%20Unterhaching_2016.pdf)

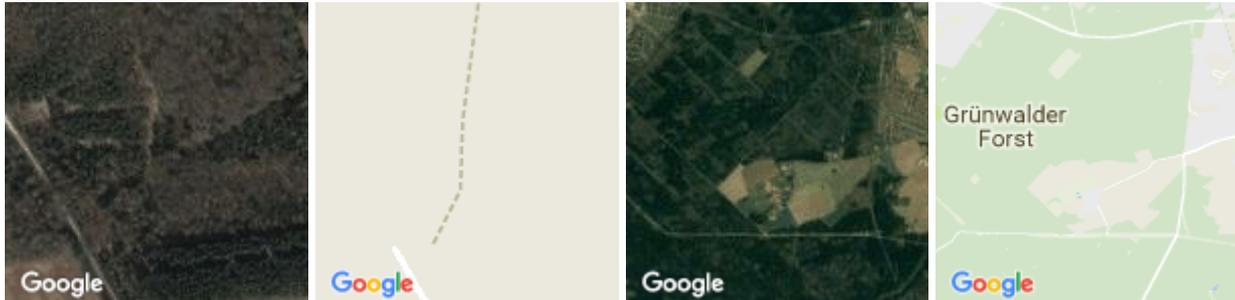
[20Geothermie%20Unterhaching_2016.pdf](https://www.geothermie-unterhaching.de/cms/geothermie/web.nsf/gfx/EAD248405DF5B567C125766200357527/$file/Datenblatt%20Geothermie%20Unterhaching_2016.pdf)

Name, Lage: Geothermie Grünwald (Laufzorn), Bayern, Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal

Koordinaten: 48.0202178, 11.5529125



Standort- und Energie-Details: Wärme (aus Tiefenwasser-Wärmetausch) und Elektrizität (ORC-Turbine), Betriebsstart 2011, Schüttung 132 Liter/s, Wassertemperatur 135°C. Fernwärme-Verbund mit Unterhaching.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 2809

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	4.3	10650	0	2.63756	2477
th.	40	59580	2.12104	0.47147	1490

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://media-cdn.sueddeutsche.de/image/sz.1.3026936/680x382?v=1465407938000>

Daten-Quellen: <http://www.geotis.de/vgs/templates/locationone.php?loc=de-de&ID=70>

Name, Lage: Geothermie ATRIO Shopping center Villach, Kärnten, Österreich

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundament-Pfähle

Koordinaten: 46.5953606, 13.8359572



Standort- und Energie-Details: Wärme und Kälte, Aktivierte Fundament-Energiepfähle. Winter: Heizen mit Wärmepumpen; Sommer: Kühlen mit Kältemaschinen (Ableitung der Kälteproduktions-Kondensatoren in das Erdreich) oder im free cooling Betrieb (Direktnutzung der Erdkälte über das Medium Wasser/ Umwälzpumpen). Baustart 2005, Energy-Globe Preis Kärnten 2007. Thermo-aktive Fundamente/ Erdpendelspeicher in 652 von 800 Betonpfählen, die 33 bis 70 m tief sind.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 2.86

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	375	13	0.07627		
th. 14	1220	42.65734	0.02344	87	

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

<https://media.holidaycheck.com/data/urlaubsbilder/images/146/1168607393.jpg>

Daten-Quellen: http://www.zement.at/service/literatur/fileupl/02_08atrio.pdf

Name, Lage: Geothermie The Geysers, Kalifornien, USA

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, Elektrizität

Koordinaten: 38.7905560, -122.7558330



Standort- und Energie-Details: Weltgrößtes Geothermiefeld, mehr als 350 Bohrungen. Seit 1921 (!) in Betrieb. p_{el} 1517 M Wp, bei 63% durchschn. Auslastung., daher $P_{el,dauer}$ =955 MW. Fragwürdige Daten (Größe, Ertrag)



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 11650

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	955	6002660	52	0.01941	6286
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6b/Sonoma_Plant_at_The_Geysers_4778.png/1200px-Sonoma_Plant_at_The_Geysers_4778.png

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/The_Geysers, <http://www.geysers.com/geothermal.aspx> und <http://www.geysers.com/numbers.aspx> (Strom-Produktion in 2013)

Name, Lage: Geothermie Braunau-Simbach, Deutschland/Österreich

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal

Koordinaten: 48.2602330, 13.0434450



Standort- und Energie-Details: Wärme mit Fernwärmenetz-Anbindung. Fördertemperatur 80 °C; Schüttung 90 Liter pro Sekunde; Sonstige Wärmeerzeugung: Biogas BHKW (1 GWh/Jahr); Erdgas Spitzenkessel (17 GWh/Jahr), Fernwärmenetz Wärmeverkauf 55 GWh/Jahr; Anschlussleistung 43 MW, Netzlänge 38 km, Kundenanschlüsse 760. Potenzialflächenermittlung fragwürdig.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 8611

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	9.4	46500	0.54001	1.85183	4947

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://www.geothermie-braunau-simbach.com/Zentrale-llo.jpg?w=1024&h=0&bf=true&s=LERmE5ts&hp=101;1216;de>

Daten-Quellen: <http://www.geotis.de/vgs/templates/listing.php>, http://regioenergy.oir.at/sites/regioenergy.oir.at/files/uploads/pdf/REGIO-Energy_Endbericht_201013_korr_Strom_Waerme.pdf, Seite 36 ff

Name, Lage: Geothermie d. Nordbahnhof-Areals, Wien, Österreich (Projektplanung)

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld

Koordinaten: 48.2248936, 16.3891634



Standort- und Energie-Details: geschlossene Wärmetauscher-Systeme. Projektdaten 2014, im Rahmen der Studie "Vorstudie zum Fachkonzept "Energie-Raum-Planung": Feld mit 2375 Sonden (je 100 m tief) auf einer Fläche von 0,46 km².



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 46.56

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	6.17	14196	30.48969	0.0328	2301

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/nordbahnhof/grundlagen/images/leitbild-2014-gr.jpg>

Daten-Quellen: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energieplanung/pdf/vorstudie-energie-raum-planung.pdf>, Götzl G.: GBA (2014): Vorstudie zum Potenzialmodell seichter Geothermie für Wien, Studie i.a. MA20

Name, Lage: Geoth. Einfamilienhaus-Anlage, Musterrechnung f. Österreich (trockener Lehmboden)

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Flachkollektoren

Standort- und Energie-Details: Trockener, lehmiger Boden=Entzugsleistung 25 W/m² (Anm. weitere Werte bei 1800/2400 Jahresbetriebsstunden: Trockener, nichtbindender Boden 10 W/m² | 8 W/m² Bindiger Boden, feucht 20 - 30 W/m² | 16 - 24 W/m² Wassergesättigter Sand / Kies 40 W/m² | 32 W/m²). Heizlast im Niedrigenergiestandard: 40 W/m²*150 m²=6000 kW, *1800 Betriebsstunden= HWB Untergrenze 10800 kWh/a, ergibt 300m² Flächenbedarf für die Kollektoren mit 5 Rohrkreisen zu 100m.

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.03

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

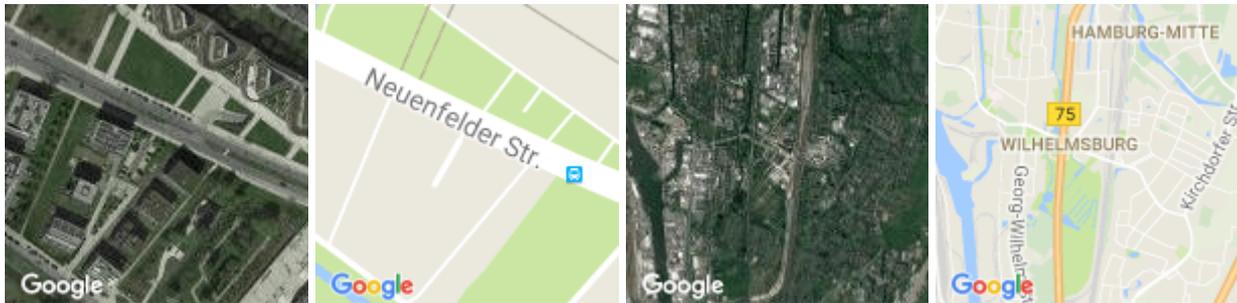
Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	0.006	10.8	36	0.02778	1800

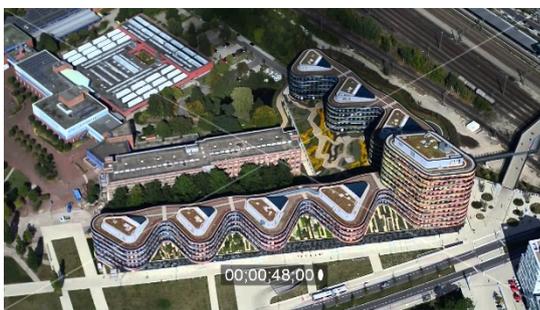
Bild-Quellen: Googlemaps 2017, ,

Daten-Quellen: <https://www.energiesparhaus.at/energie/wp-erdkollektor1.htm>, Huber et al (2006): Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität, Endbericht

Name, Lage: Geothermie BSU Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg-Wilhelmsburg, Deutschland
Typ: Geothermie
Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld, Fundament-Pfähle
Koordinaten: 53.4976310, 10.0019118



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2013, damals Deutschlands größte Energiepfahlanlage (950 Sonden), deren Erdwärme werden die Büros von 1.500 Mitarbeitern beheizt und gekühlt.



Datenqualität: gut
Energiepotenzialfläche (ha): 1.18
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	0.65	858	72.71186	0.01375	1320

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <https://i.ytimg.com/vi/SUHwLahKwhQ/maxresdefault.jpg>, http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Projekte/M13_Neubau_BSU/01_bsu.jpg

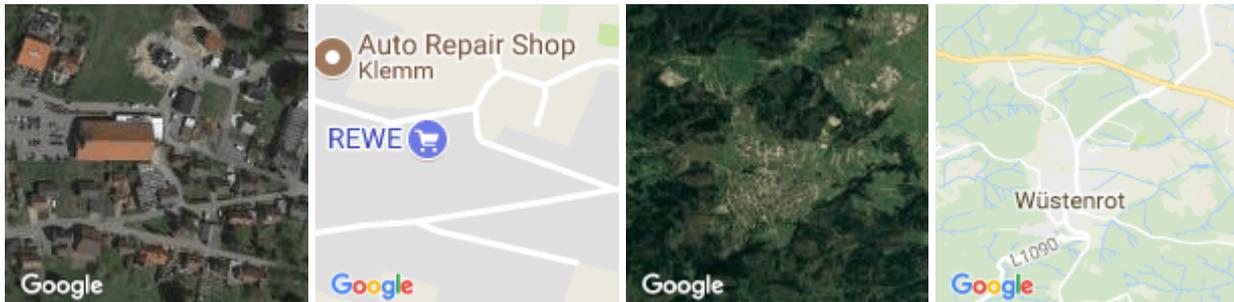
Daten-Quellen: <http://www.geoenergie-konzept.de/erdwaerme-projekte/erdwaerme-bsu-behoerde-fuer-stadtentwicklung-und-umwelt-hamburg.html>, <http://www.repowermap.org/> (#bbi hamburg)

Name, Lage: Geothermie "Agrothermie" Wüstenrot, Baden-Württemberg, Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Flachkollektoren

Koordinaten: 49.0857158, 9.4638479



Standort- und Energie-Details: Agrothermieflächen, Flachkollektor-Ringleitungen in ca. 2 m Tiefe in landwirtschaftlich genutzten Böden verlegt. Wärmeertrag speist in das lokale Kaltwärmernetz (Anm.: ist ein Synonym für Niedrigtemperaturversorgung) ein, das auch Kühlprozesse-Abwärme (geplant: Vom REWE Supermarkt) und Biomasse (Hackschnitzel) nutzt. Die Größe der Agrothermiefläche wurde unter der Annahme der unteren Wärmeentzugsleistung auf den Wärmebedarf der 25 bereits angeschlossenen Wohngebäude incl. der zusätzlichen künftigen Gebäude optimiert.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 1.5

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	0.3	600	40	0.025	2000

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.doppelacker.com/images/Poster_AST_Agrothermie_web_DA%20Kopie-large.jpg,

http://www.doppelacker.com/images/Bauschild-WR_Kaltw%c3%a4rmenetz_KWN_2014_A4-2-large.jpg

Daten-Quellen: <http://www.doppelacker.com/aktuelle-projekte.html>,

[http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/index.php/fk3-](http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/index.php/fk3-dokumentation.html?file=files/Downloads/FK3/downloads/pietruschka_dirk_wuestenrot_25022016.pdf)

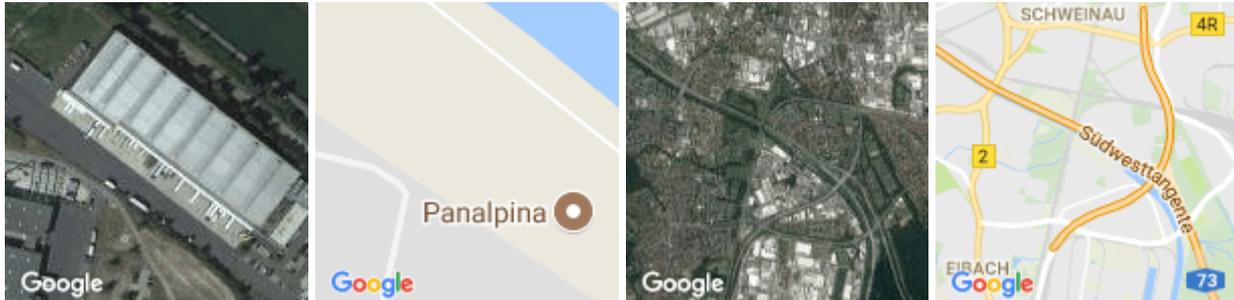
[dokumentation.html?file=files/Downloads/FK3/downloads/pietruschka_dirk_wuestenrot_25022016.pdf](http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/index.php/fk3-dokumentation.html?file=files/Downloads/FK3/downloads/pietruschka_dirk_wuestenrot_25022016.pdf)

Name, Lage: Geothermie Panalpina Logistikhalle, Nürnberg, Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld

Koordinaten: 49.415848, 11.0537723



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2008, im Industriegebiet Nürnbergs, Logistikhalle mit ca. 1 ha Fläche, wegen Grundwasserschutz Sondenfeld max. 75 m tief.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 1.04

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

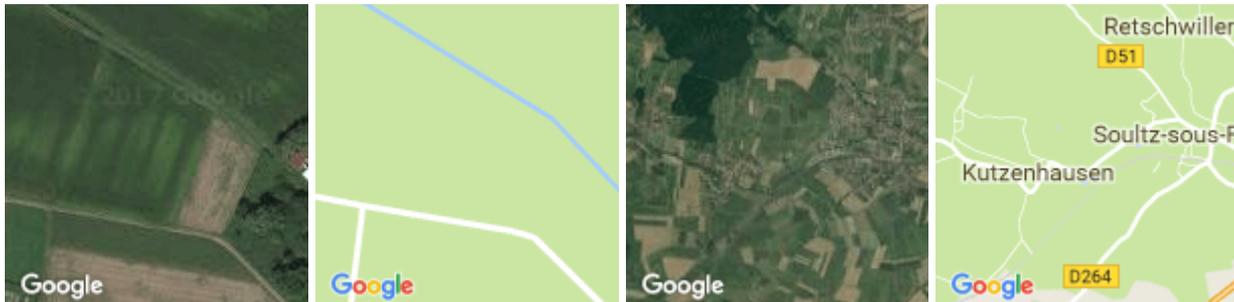
	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	0.56	670	64.42308	0.01552	1196

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

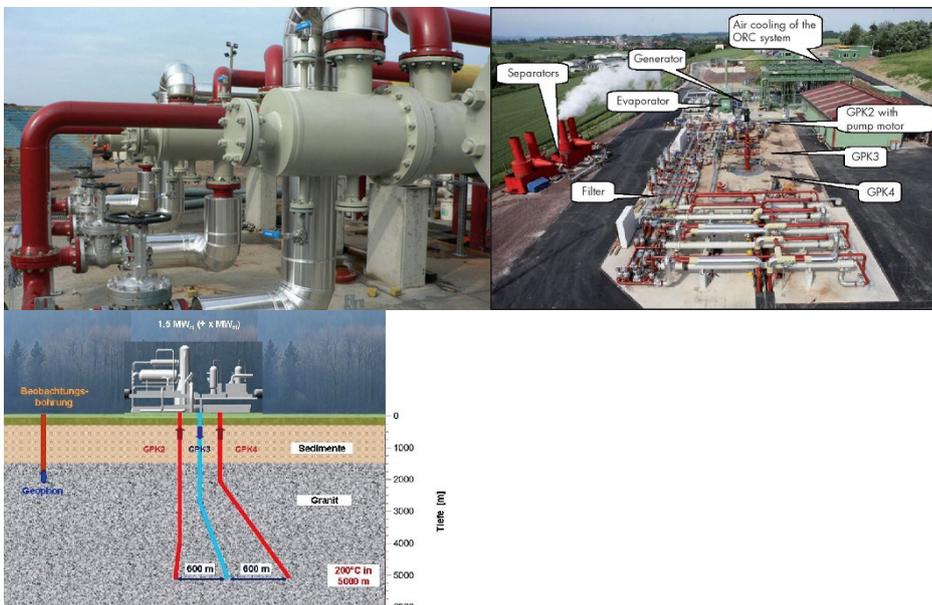
http://www.repowermap.org/bilderortner/b00000000000003__sq5ei60ditkmzck722qbd4k7.jpg

Daten-Quellen: <http://www.erdwaermeliga.de/projekte/lager-buerogebaeude-panalpina-welttransport-deutschland-gmbh.html>, <http://www.repowermap.org/#inhalttab> (#nürnberg)

Name, Lage: Geothermie Sultz-sous-Forêts, Elsaß, Frankreich
Typ: Geothermie
Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hot dry Rock & Elektrizität
Koordinaten: 48.93528920, 7.86295980



Standort- und Energie-Details: Betrieb seit 2010. Hot dry rock Typ (künstliches einbringen von Wasser in große Tiefen, danach Wärmetausch) damals erste Pilotanlage weltweit, 5000 m Bohrteufe. Wassertemperatur 202 °C. Reservoir Volumen 0.3 km³. Wärme (Hot dry rock) und Elektrizität (ORC Turbine). Keine Potenzialflächenangabe recherchierbar.



Datenqualität: fragwürdig
Energiepotenzialfläche (ha):
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1.5	3750			2500
th.	13	97500			7500

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://www.bine.info/typo3temp/pics/14fb07f3d6.jpg>, http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2009/Projektinfo_04-2009/projekt_0409_09_engl.jpg

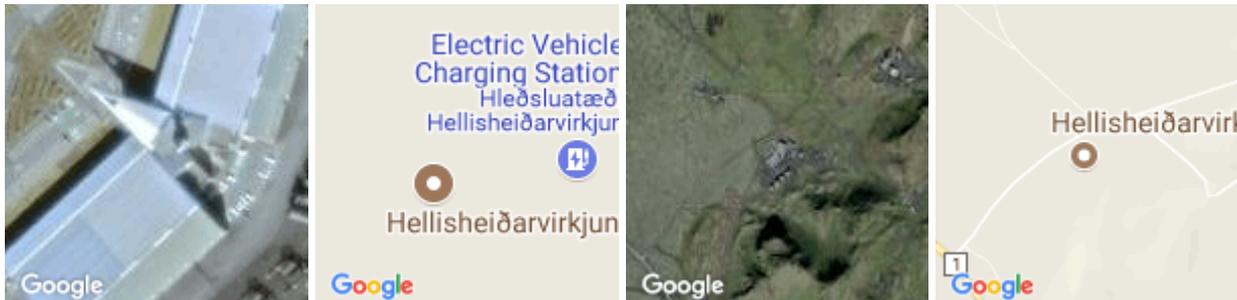
Daten-Quellen: <http://www.brgm.eu/project/deep-geothermal-energy-soultz-sous-forets-site-has-reached-sustainable-production-phase>, http://en.openei.org/wiki/Soultz_Geothermal_Area und <http://www.geothermie.de/soultz-sous-forets-stromerzeugung.html>

Name, Lage: Geothermie Hellisheiði Power Station, Island

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Tiefe Geothermie, hydrothermal

Koordinaten: 64.0372220, -21.4008330



Standort- und Energie-Details: Laut Datenquellen drittgrößtes Geothermiekraftwerk der Welt. Unterstützt Reykjavíks Fernwärme. Betriebsstart 2006. 61 Bohrungen (davon 17 für Rückinjektion) bis max. 2200 m Tiefe. Keine Angaben zur horizontal belegten Fläche recherchierbar.



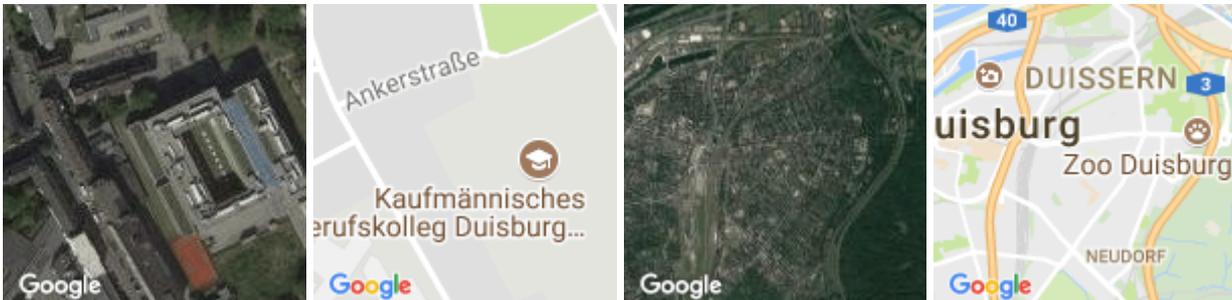
Datenqualität: fragwürdig
Energiepotenzialfläche (ha):
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	303	133			0
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/HellisheidiPowerStation01.jpg>,
https://www.extremeiceland.is/images/about-iceland/hellisheidi/hellisheidi_2-hi.jpg
Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Hellishei%C3%B0i_Power_Station

Name, Lage: Geothermie, Zentrum für berufliche Bildung und Weiterbildung in Duisburg, Deutschland
Typ: Geothermie
Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld
Koordinaten: 51.4312149, 6.7864229



Standort- und Energie-Details: Eröffnung 2011. Gebäude für 3 Berufsschulen u. mehr als 5000 Schülerinnen und Schüler. Sondenfeld mit 180 Bohrungen, größtenteils unter der Bodenplatte.



Datenqualität: fragwürdig
Energiepotenzialfläche (ha): 1.04
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	1.48	1395	134.13462	0.00746	943

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.geoenergie-konzept.de/fileadmin/user_upload/1145_Duisburg_2.jpg

Daten-Quellen: <http://www.repowermap.org/#inhalttab>, <http://www.geoenergie-konzept.de/erdwaerme-projekte/erdwaerme-zentrum-fuer-berufliche-bildung-und-weiterbildung-duisburg.html>

Name, Lage: Geothermie Ganghofer Siedlung Regensburg, Bayern, Deutschland

Typ: Geothermie

Unter-Typ: Seichte Geothermie, Tiefsondenfeld

Koordinaten: 48.9982828, 12.0766486



Standort- und Energie-Details: Traditionsreiche Regensburger Siedlung. Umstellung auf Erdwärme für 130 EFH. Fragwürdig: Kollektorenfläche=Siedlungsfläche?



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 25.4

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	1.4	2590	10.19685	0.09807	1850

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.tewag.de/files/tewag-theme/media/referenzen/geothermie/2011_ganghofersiedlung.jpg, <https://www.swi-gruppe.de/wp-content/uploads/2015/04/Ganghofersiedlung-thumb.jpg>

Daten-Quellen: <http://www.geothermie.de/tewag-technologie-erdwaermeanlagen-umweltschutz-gmbh.html>, http://www.tewag.de/referenzen_geothermie/ganghofersiedlung-regensburg.html

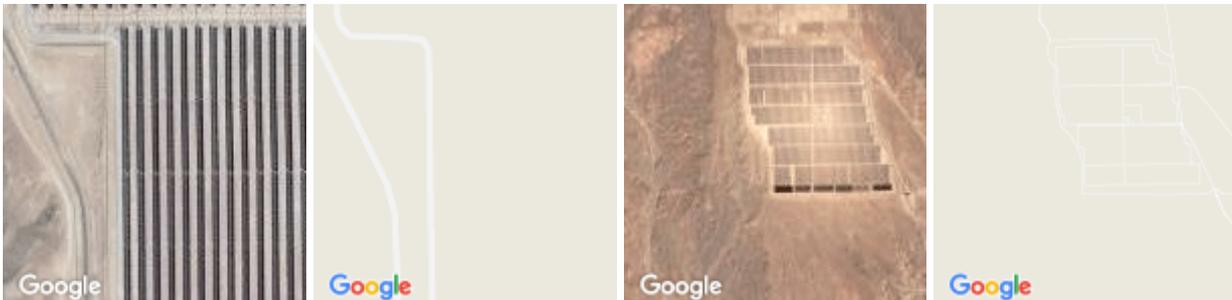
7.1.2. Solarenergieanlagen

Name, Lage: Park Noor I,II,III,IV, Marokko (Wüste Sahara), Afrika

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren

Koordinaten: 31.003541, -6.8701053



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2016, einer der größten Solarparks der Welt eröffnet. Der 3,5 Milliarden Euro teure Park Noor I soll 1,2 Millionen Marokkanern mit Strom versorgen soll.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 3000

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	500	850000	28	0.03529	1700
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, https://www.tagesschau.de/multimedia/bilder/solarpark-marokko-101-_v-videowebl.jpg, https://www.tagesschau.de/multimedia/bilder/solarpark-marokko-103-_v-videowebl.jpg

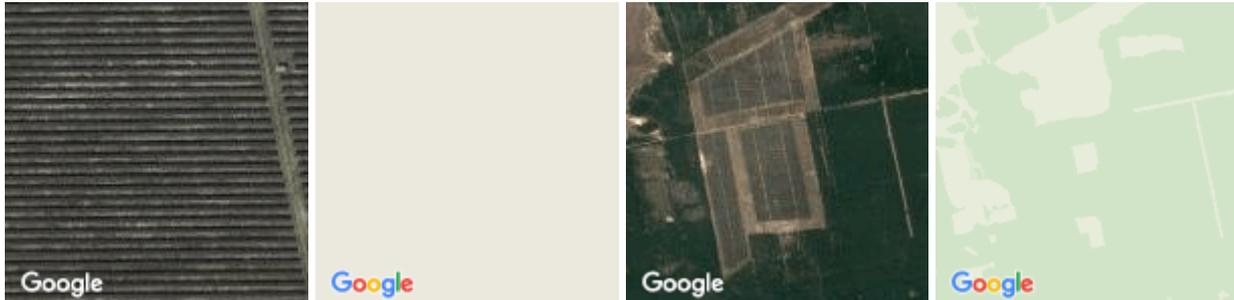
Daten-Quellen: <http://www.welt.de/wirtschaft/article151866887/Hier-entsteht-der-groesste-Solarpark-der-Welt.html>

Name, Lage: Lieberose PV Park, Freiflächenanlage, Brandenburg, Deutschland

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Dünnschichtmodul-Kollektoren

Koordinaten: 51.92469530, 14.40951650



Standort- und Energie-Details: 700.000 Dünnschichtmodule des Typs First Solar FS-272-277 mit einem Wirkungsgrad von etwa 10 % und 38 Wechselrichter der Firma SMA Solar Technology. Die Fläche war ein ehem. Truppenübungsplatz, wurde aber von Munitionsresten dekontaminiert. Fragwürdige Flächen-Ertragsangaben in den Datenquellen.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 162

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	52.79	52000	32	0.03115	985
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/LieberoseSolarpark.jpg/300px-LieberoseSolarpark.jpg>, <https://www.youtube.com/watch?v=MBLvNZQqRk4>

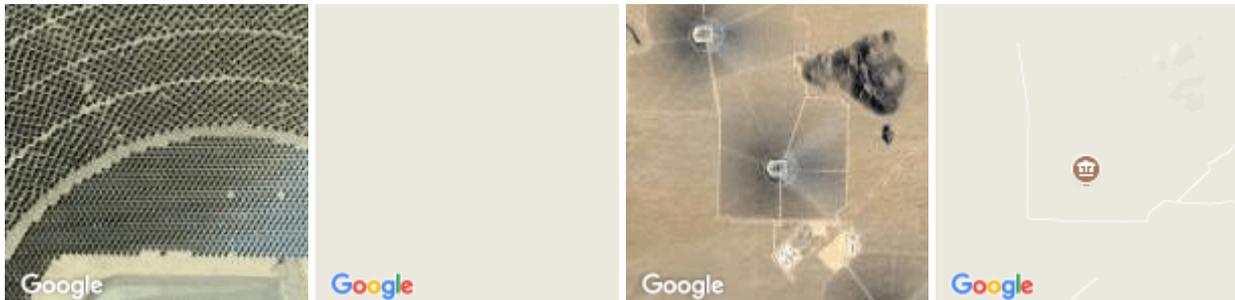
Daten-Quellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Solarpark_Lieberose

Name, Lage: Ivanpah Solar Power Facility, San Bernardino county, Kalifornien, USA

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Elektrizität, Freiflächenanlage, CSP (concentrated solar power, 3d-Achsen-Spiegelfeld mit Fokus-Turm)

Koordinaten: 35.5587502, -115.4709144



Standort- und Energie-Details: 3 Stück Siemens SST-900.

Spiegel>Wärmekonzentration>Dampfturbine>Strom. Benötigt auch Gas zum Betriebsstart. Daten: 2015. Geplanter Vollausbau auf 940 GWh/a (aktuell 652). Ivanpah wird von Wikipedia als weltstärkstes Solarkraftwerk genannt.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 1420

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	392	652380	46	0.02177	1664
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Ivanpah_Solar_Power_Facility_from_the_air_2014.jpg,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c3/Ivanpah_Solar_Power_Facility.jpg/1199px-Ivanpah_Solar_Power_Facility.jpg

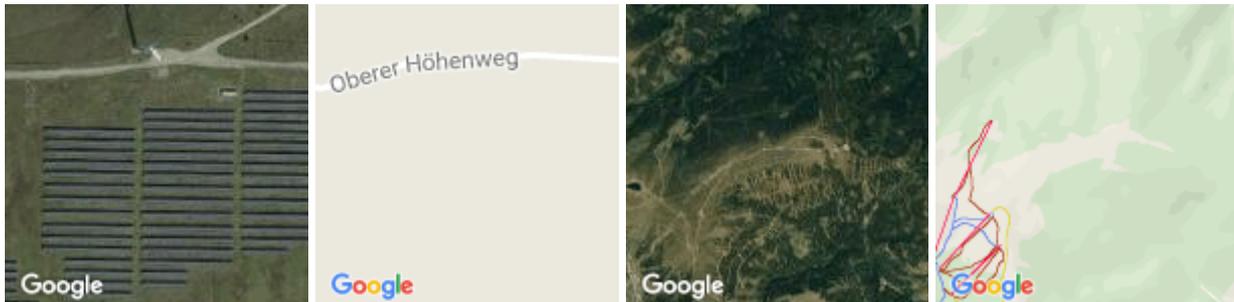
Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Ivanpah_Solar_Power_Facility#cite_note-nrel-62-3

Name, Lage: Solarpark Oberzeiring, Steiermark, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren

Koordinaten: 47.2725150, 14.39178740



Standort- und Energie-Details: Interessante Lage, am Fuße eines Windparks, 1900 m Seehöhe. Bergkamm bei Oberzeiring. Laut den Datenquellen "Österreichs und Europas größtes Gebirgs-PV-Projekt". Hoher Stromertrag zu erwarten, wegen kühler Temperatur bei hohen Globalstrahlungswerten, zus. Ertrag durch Schnee-Reflexionen.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 4.81

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	2	2500	52	0.01924	1250
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.imwind.at/files/2011_10_05_pv_lachtal_1280x800_0001.jpg,

http://www.imwind.at/files/img_3474.jpg

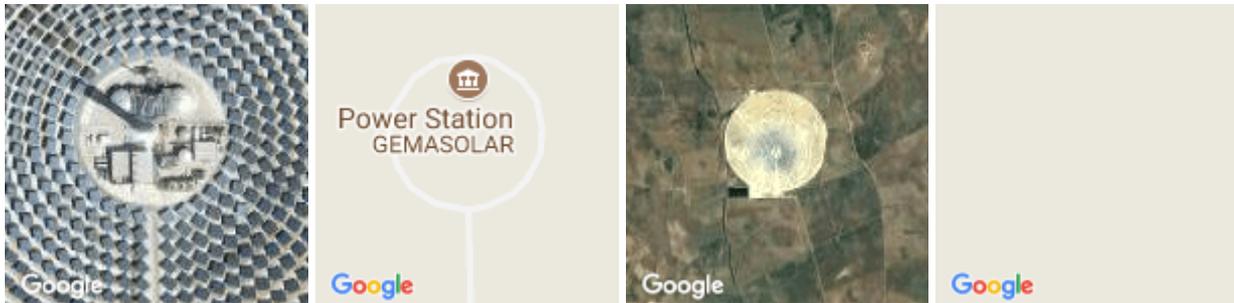
Daten-Quellen: http://www.tauernwind.com/Photovoltaik/photo_oz_beson.htm

Name, Lage: Gemasolar Array, Spanien

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Elektrizität, Freiflächenanlage, CSP (concentrated solar power- 3d-Achsen-Spiegelfeld mit Brennpunkt-Turm)

Koordinaten: 37.5604334, -5.3315344



Standort- und Energie-Details: Besonderheit: Grundlast- und E-Regelfähigkeit durch Wärmespeicherung in einem Sole-Tank, dadurch Stromproduktion bis 15 h ohne Solarbeitrag und zeitversetzt möglich, daher wahrsch. schwer vergleichbare Angaben zum E-Ertrag.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 210

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 14.3

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	20	110000	52	0.01909	5500
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/06/gemasolar-solar-power-plant.jpg>, http://www.esolar.com/wp-content/uploads/2013/10/esolar_How-it-Works-Molten-Salt-Plant_infographic_5-1024x548.png

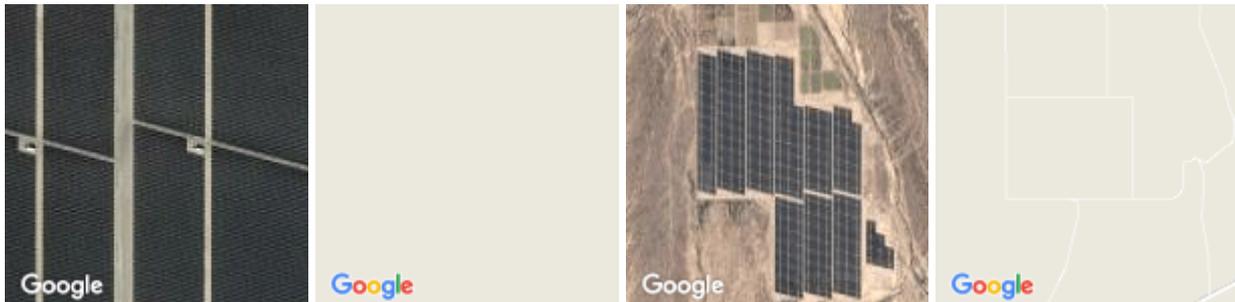
Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Gemasolar_Thermosolar_Plant, <http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/gemasolar-plant/en>

Name, Lage: Solarkraftwerk Agua Caliente, Arizona, USA

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren

Koordinaten: 32.97827950, -113.49675450



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2011, war 2014 die größte PV Anlage der Welt. In der Wüste Arizonas.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 971

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

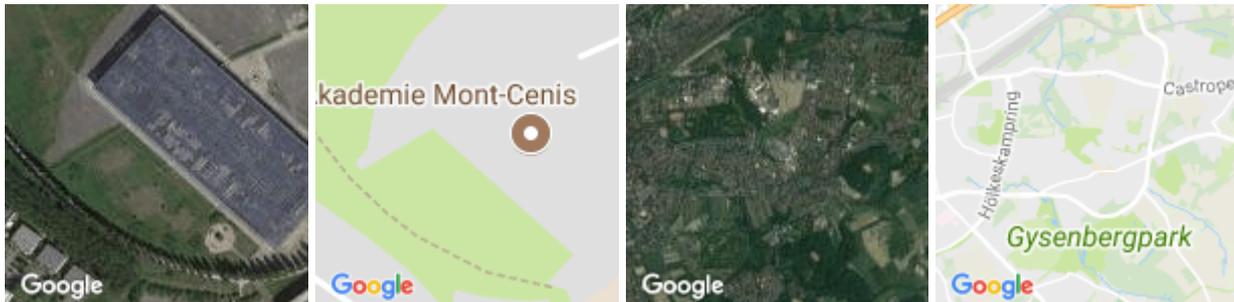
Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	290	626000	64	0.01551	2159
th.					

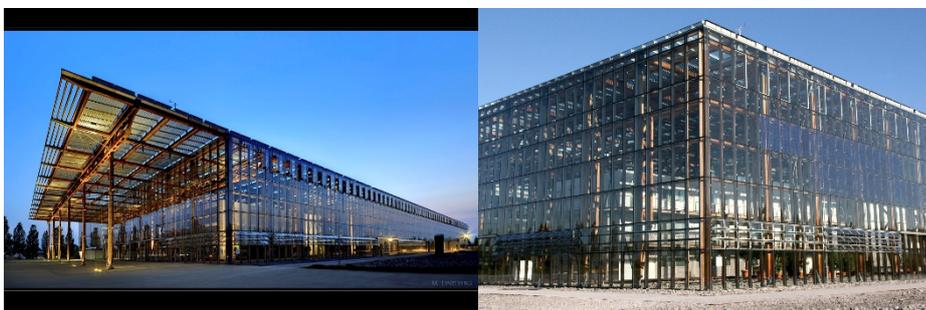
Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://cdn.powermag.com/wp-content/uploads/2014/12/PWR_120114_AguaCaliente_Splash.jpg, http://magazine.art21.org/wp-content/uploads/2014/06/CLUI_11.jpg

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Agua_Caliente_Solar_Project

Name, Lage: Akademie Mont-Cenis, Herne, Deutschland
Typ: Solarenergie
Unter-Typ: Photovoltaik, Gebäudeintegriert (Glasdach und -fassade)
Koordinaten: 51.540942, 7.2542761



Standort- und Energie-Details: Baujahr 1999. In Dach- und Fassadenflächen sind 3200 PV Kollektoren (unterschiedlich dicht) integriert. Die Kollektoren regeln auch Licht und Schatten und ersparen somit die Klimatisierung.



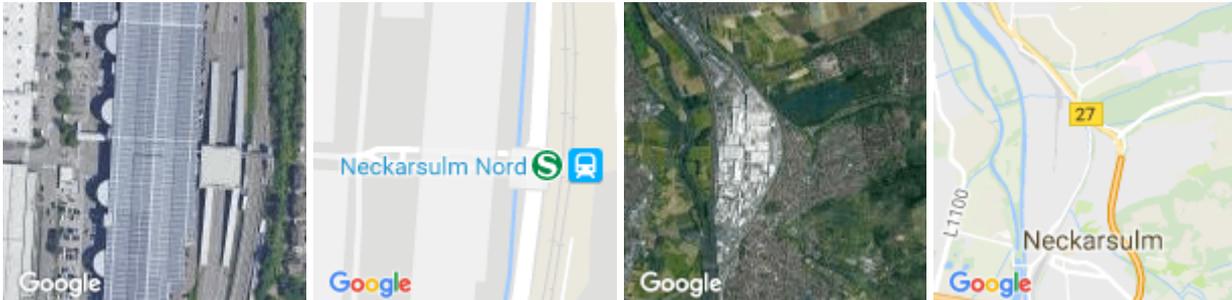
Datenqualität: gut
Energiepotenzialfläche (ha): 1
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1	660	66	0.01515	660
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://img.fotocommunity.com/akademie-mont-cenis-herne-3-405d479e-3ac9-46e6-9894-74a2817bed4e.jpg?width=1000>,
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Herne_-_Mont_Cenis_-_Akademie_10_ies.jpg
Daten-Quellen: http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/de/akademie_mont-cenis.php

Name, Lage: Audi AG Photovoltaik, Neckarsulm, Deutschland
Typ: Solarenergie
Unter-Typ: Photovoltaik, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren
Koordinaten: 49.20219230, 9.22758570



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2009, PV-Großanlage auf einem Industriedach. Besonderheit ist (wie im Bild zu sehen) die ungewöhnliche dichte Belegung des Flachdaches- dies erklärt den sehr effizienten Energieertrag pro Fläche im Vergleich zu anderen Flachdach-PV Parks.



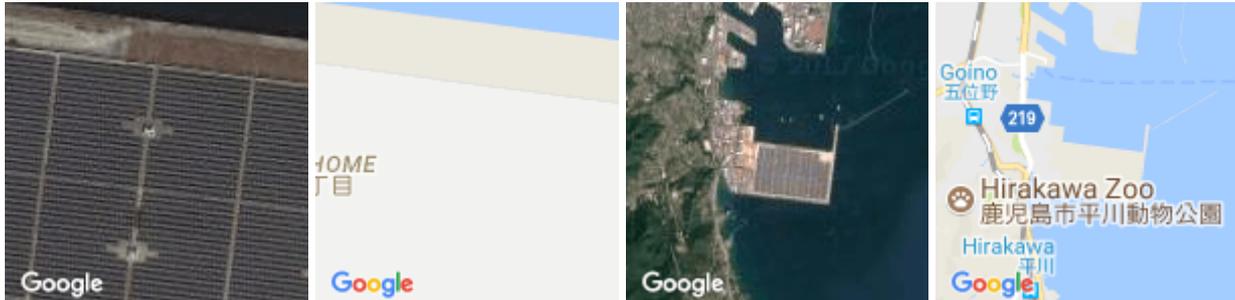
Datenqualität: gut
Energiepotenzialfläche (ha): 2.7
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1.9	1800	67	0.015	947
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.solarserver.de/uploads/pics/gehrlicher_solar_audi.jpg
Daten-Quellen: http://solar-district-heating.eu/tabid/575/Default.aspx?udt_1317_param_detail=315,
<http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2011/2011/kw05/photovoltaik-gehrlicher-solar-verkauft-audi-dachanlage-19-mwp-an-energiefonds-der-pt-erneuerbare-energien.html>

Name, Lage: PV-Kraftwerk, Kagoshima, Japan
Typ: Solarenergie
Unter-Typ: Photovoltaik, schwimmende Kollektoren
Koordinaten: 31.46983790, 130.52340180



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2013. Erbaut von der Kyocera company, an der Küste der Hafenstadt Kagoshima.



Datenqualität: gut
Energiepotenzialfläche (ha): 110
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	70	78800	72	0.01396	1126
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,
http://www.sunwindenergy.com/sites/default/files/field/image/news_market_pv_70_mw_pv-anlage_kyocera.jpg

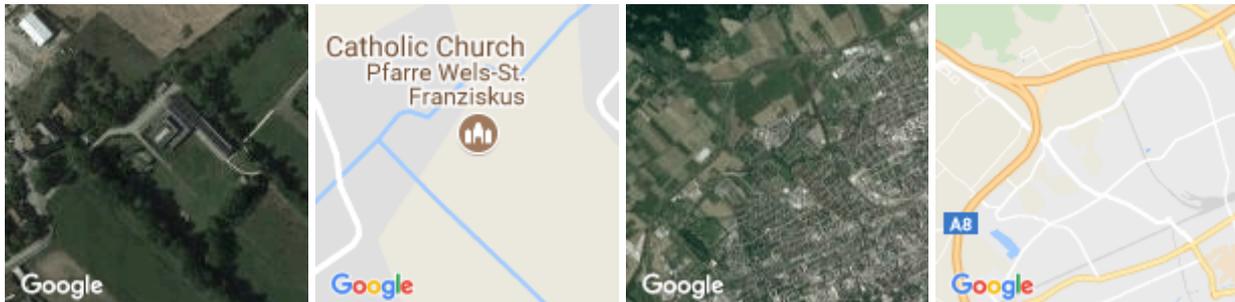
Daten-Quellen: <http://www.sunwindenergy.com/news/kyocera-builds-70-mw-pv-plant-japan>

Name, Lage: Gemeindesaal und "Passivhauskirche" St. Franziskus, Wels, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Gebäudeintegriert (Südfassade)

Koordinaten: 48.170712, 14.000936



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2005. Gemeindesaal und Kirche, Design als schwarze Glasbox, 200 m² in die Fassade integrierte Photovoltaik-Module. Jahresertrag ca.15.300 kWh, höher als der Energie-Eigenbedarf des Gemeindesaals.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.02

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.0226	15.3	76	0.01307	677
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.solarfassade.info/img/projektbeispiele/gemeindesaal_stfranziskus1.jpg,

http://www.solarfassade.info/__we_thumbs__/932_2_St_Franziskus_Wels1a.jpg

Daten-Quellen: http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/at/gemeindesaal_st_franziskus.php,

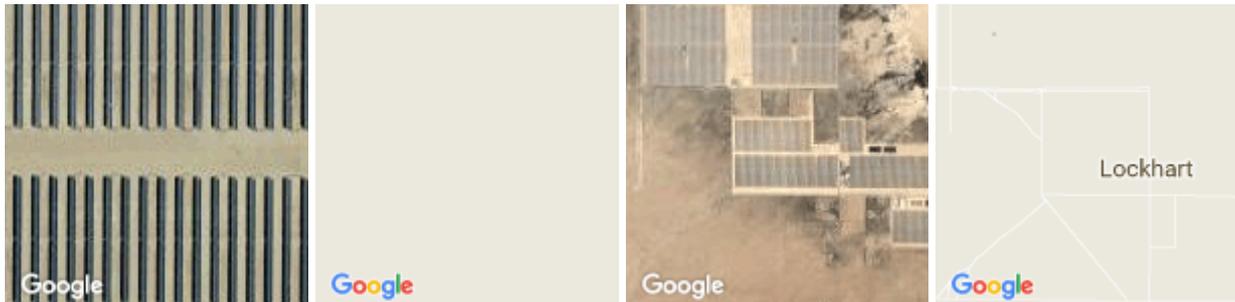
[https://de.wikipedia.org/wiki/Kirche_zum_Heiligen_Franziskus_\(Wels\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kirche_zum_Heiligen_Franziskus_(Wels))

Name, Lage: Solar Energy Generating Systems (SEGS), Mojave Wüste, Kalifornien, USA

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Elektrizität, Freiflächenanlage, Wärme-Parabolspiegel-Sammler

Koordinaten: 35.01658370, -117.34100290



Standort- und Energie-Details: 936.384 Parabolspiegel>Wärme synthetisches Öl>Wärmeübergabe an Wasser>Rankine cycle>Elektrizität. Baujahr 1984, damals "zweitgrößtes thermal-elektrische Solarkraftwerk".



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 647.5

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	361	539000	83	0.01201	1493
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Solar_Plant_kl.jpg

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Energy_Generating_Systems

Name, Lage: Schwimmendes PV-Kraftwerk, Yamakura-Stausee, Japan

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, schwimmende Kollektoren

Koordinaten: 35.4935381, 140.1303335



Standort- und Energie-Details: Bau-Fertigstellung 2018.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 18

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	13.7	16170	90	0.01113	1180
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.kyocera.de/poolcontent/de/de/solar_electric_systems/news/2016/KYOCERA_TCL_Solar_beginnt_mit_Bau_einer_schwimmenden_13_7-MW-Solaranlage.-cps-75196-Image.cpsarticle.jpg

Daten-

Quellen:http://www.kyocera.de/index/news/previous_news/news_archive_detail.L3NvbGFyX2VsZWN0cmVjX3N5c3RlbXMvbmV3cy8yMDE2L0tZT0NFUkFfVENMX1NvbGFyX2JlZ2lubnRfbWl0X0JhdV9laW5lc19zY2h3aW1tZW5kZW5fMTNfNy1NVy1Tb2xhcmFubGFnZQ~~.html

Name, Lage: Tesla Solarpark Ta'u Island, American Samoa

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Akkuspeicher.

Koordinaten: -14.21989, -169.49494



Standort- und Energie-Details: Die Anlage (5.328 PV Freiflächen-Module und 60 Tesla Powerpacks (Speicherkapazität 6 MWh) auf einer Gesamtfläche von 2.22 ha) kann den gesamten Strombedarf (für drei Tage) der Insel abdecken. Eine volle Neu-Ladung benötigt 7h Tageslicht. Die Insel Ta'u hat etwa 600 EinwohnerInnen und war vor der PV-Anlage bei der Stromproduktion ausschließlich von Dieselgeneratoren abhängig (laut den Quellen 110.000 Gallonen Diesel pro Jahr).



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 1.95

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 0.27

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1.4	1801	92	0.01083	1286
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://static6.businessinsider.de/image/58346c29dd0895f77a8b47b0-852/screen%20shot%202016-11-22%20at%20105035%20am.png>, <http://i1.wp.com/blog.solarcity.com/wp-content/uploads/2016/11/gp03972-1.jpg?resize=1024%2C576>

Daten-Quellen: http://www.businessinsider.de/tesla-powers-tau-in-american-samoa-with-solar-powerpack-2016-11?_ga=1.17947066.285716059.1493030398&r=US&IR=T

Name, Lage: PV Kleinanlage, Garching bei München, Bayern, Deutschland

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Schrägdach vollflächig, Kleinanlage

Koordinaten: 48.2477282, 11.652568



Standort- und Energie-Details: Dachanlage (kristalline Module) Installierte Leistung 20 kWp Strommenge (pro Jahr) 20.000 kWh Flächenbedarf 150 m² Investitionskosten 30.000 € (1.500 € / kWp) Betriebskosten (jährlich) 700 € (35 € / kWp) Stromgestehungskosten 0,12 € / kWh Energetische Amortisation 1,3 Jahre

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.02

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.02	20	100	0.01	1000
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017

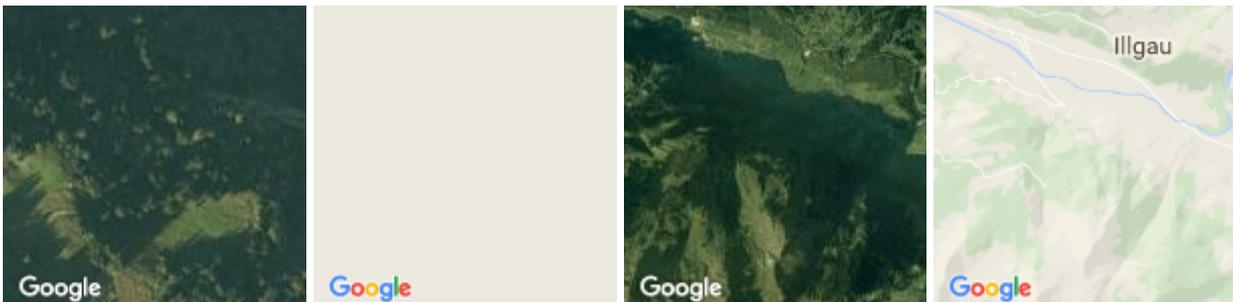
Daten-Quellen: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/daten.html

Name, Lage: PV-ST Kombi-Anlage, Näfels, Schweiz

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie-Photovoltaik-Kombi-Anlage, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren

Koordinaten: 46.97482810, 8.71522960



Standort- und Energie-Details: Kombi-Module der Fa. Meyer Burger AG. Ausrichtung Südost -24° Dachneigung Flachdach 0° / Systemneigung 10°, Anzahl PV-Module 699 Stück Meyer Burger Sky 270. Unklar sind die fragwürdige Energie- und Flächen-Angaben.

Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 0.2

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.236	220	110	0.00909	932
th.	0.16	110	55	0.01818	688

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <https://www.zhaw.ch/storage/lsvm/institute->

zentren/iunr/erneuerbare-energien/_bilder/projektseiten/pvt-solarkraftwerk-linth-arena/3D-modell-lintharena-sgu_1500x830.jpg

Daten-Quellen: PDF-Dokumentation des Herstellers Meyer Burger (im Besitz des Autors)

Name, Lage: "Simon", Ökostrom-PV-Kleinstpaneel, Wien, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, mobiles Kleinstpaneel, vollflächig (Neigung und Ausrichtung variabel, aber fix ohne Nachführung)

Koordinaten: 48.21157980, 16.33154950



Standort- und Energie-Details: Grundgedanke des Kleinstkraftwerkes "Simon" ist, dass der Strom direkt zu den nächsten Haushaltsgeschäften fließt, d.h. stets sofort verlustfrei lokal verbraucht wird, weil alleine der Hausgeräte-Standby-Bedarf meist über 150 Watt liegt. Vorteile des Paneels sind die extrem einfache Montage (eine Steckdose genügt) bzw. Demontage. Dieser Anlagen-Ansatz ist deshalb sehr intelligent, weil er für urban-dichte, mehrgeschossige Gebäudetypologien passt- und in einer "Schwarmlösung" sehr Netzentlastend wirken könnte. Fläche hier: LxB des Einzel-Paneels.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.00012

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.00015	0.133	112	0.00895	887
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://simon.energy/Content/uploads/home/balkonhelden-slide3.jpg> ,

Daten-Quellen: <http://shop.oekostrom.at/simon.html>

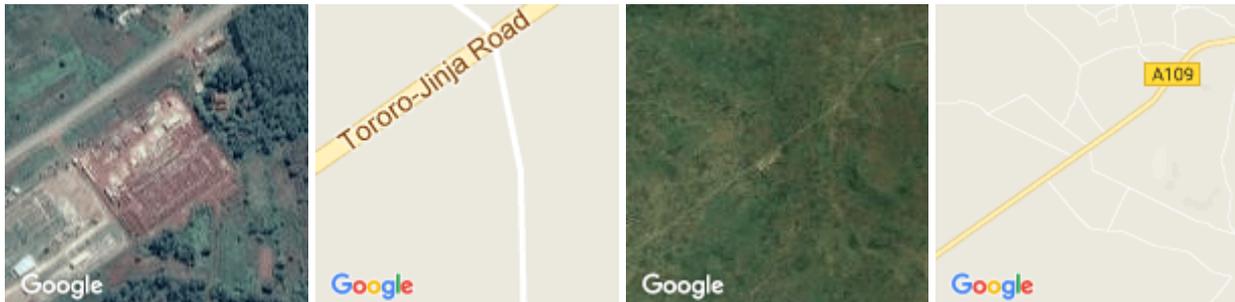
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe>

Name, Lage: Tororo Solar Power Station, Uganda, Afrika

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage

Koordinaten: 0.6388890, 34.1191670



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2017, laut Q1 eine der größten PV Freiflächenanlagen in Ostafrika



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 14

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	10	16000	114	0.00875	1600
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, https://16iwyl195vvfgoqu3136p2ly-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/10/Building_Energy_Solar_Plant-1200x900.jpg

Daten-Quellen: <http://www.sunwindenergy.com/photovoltaics/building-energy-inaugurates-first-pv-power-plant-uganda>

Name, Lage: PV Kraftwerk beim Flüchtlingscamp Zaatari

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren

Koordinaten: 32.2915989, 36.3259173



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2016. Versorgt das Flüchtlingscamp (aktuell >100.000 Refugees) mit Strom. Kosten € 17.5 Millionen, finanziert von der deutschen Regierung. 40000 Paneele.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 18.5

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	12.9	21600	117	0.00856	1674
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://images.derstandard.at/2017/11/22/zataari001.jpg>, <http://www.unhcr.org/thumb1/5a09c9003.jpg>

Daten-Quellen: <http://derstandard.at/2000068294484/Solarenergie-fuer-mehr-Menschenwuerde-im-Fluechtlingscamp>

Name, Lage: Smart flower, Rom, Italien

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, mobile Einzelanlage mit 2-achsiger Nachführung, für Freiflächen

Koordinaten: 41.8388305, 12.4604268



Standort- und Energie-Details: Fertig- Modul, leicht auf- und abbaubar. Funktion auch direkt als Solartankstelle möglich (selbst ohne Netzanschluss). Faltet sich bei Dunkelheit oder bei zu starkem Wind automatisch zusammen. Laut Hersteller-Angaben: Insg. bis +40% im Vergleich zu fix aufgeständerter Anlage, durch die zweiachsige Nachführung, die Software, die Kollektor-Kühlung und die Selbstreinigung der "Blütenblätter" ("smart tracking, -cooling, -cleaning") beim zusammenfallen.

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.003

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.00231	5.1	170	0.00588	2208
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.energiewolf.at/files/Energiewolf/Downloads/SmartFlower_1.jpg

Daten-Quellen: <https://www.smartflower.com/assets/smartflowerpop-def8ea64b07f1957c36614a1c3a5a8850.pdf>

Name, Lage: Almere Solar Island, Niederlande

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Freiflächenanlage, aufgeständerte Kollektoren. Fernwärmeunterstützend

Koordinaten: 52.3839643, 5.1819433



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2010, Fläche der Flachkollektoren 7000 m². Besonderheit: Optisch interessante Oval-Lösung, am Rand einer großen Siedlung gelegen. keine Inf. über Speicher.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 2.36

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	4.9	2472.2	104.75424	0.00955	505

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.crrescendo.net/images/sum_almere_sun.jpg, <http://l7.alamy.com/zooms/4a9e5a6af3234be093843a45a140e5f6/the-netherlands-almere-nuon-solar-island-solar-panels-aerial-ctfhc4.jpg>

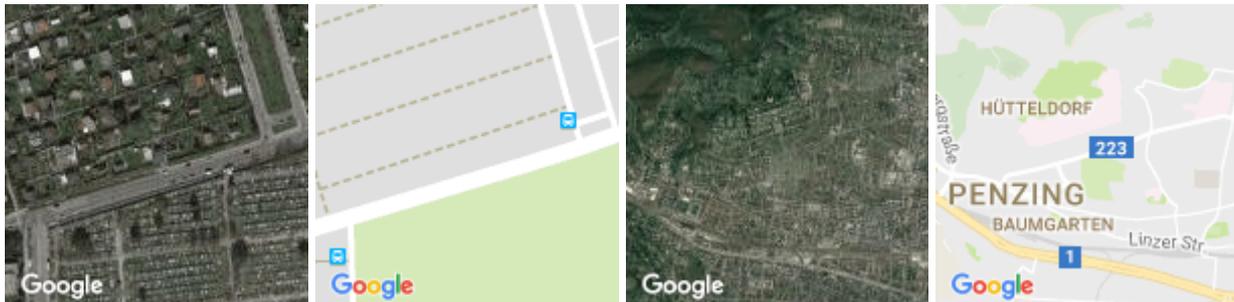
Daten-Quellen: <http://www.crrescendo.net/demonstrations.php?city=Almere&sub=13>, http://solar-district-heating.eu/tabid/575/Default.aspx?udt_1317_param_detail=357

Name, Lage: Solarthermie-Kleinanlage, Wien, Österreich

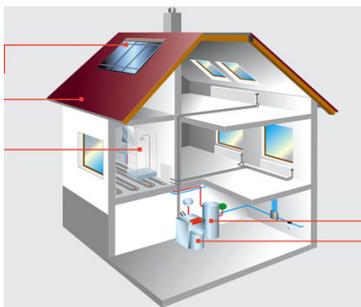
Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Schrägdach-Anlage vollflächig, Kleinanlage auf einem Einfamilienhaus

Koordinaten: 48.20442270, 16.28014520



Standort- und Energie-Details: Modellrechnung mit Baujahr 2006. Mit 500 L Wasser-Speicher. In Österreich sehr typische und weit verbreitete Einzelanlagen-Größe.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.00092

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	2.131	231.63043	0.00432		

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://viessmann.solar-software.de/images/haus_system_ww_klein.jpg

Daten-Quellen: http://viessmann.solar-software.de/viessmann.php?sys=system_ww&lang=de,

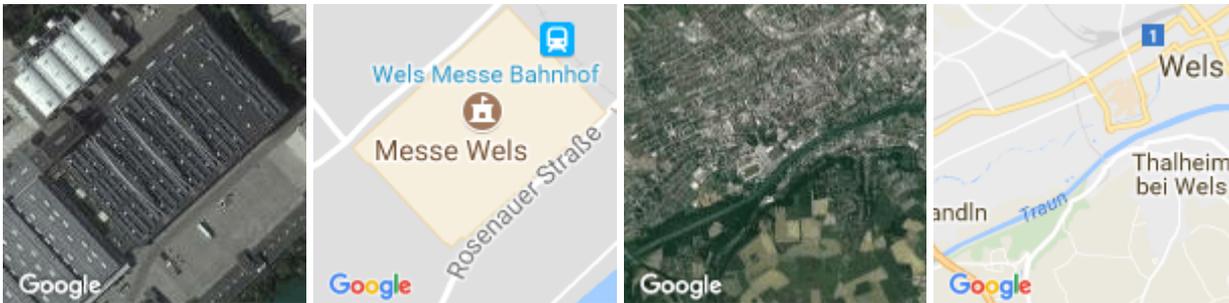
<https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/>

Name, Lage: Vakuumröhren-Druckkollektor-Solaranlage Wels, Oberösterreich, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Flachdach-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützung ohne Speicher

Koordinaten: 48.1516357, 14.0186512



Standort- und Energie-Details: Kollektorfläche: 3400 m²; Dachfläche 1.57 ha; Einspeisung in den Vorlauf des Fernwärmenetzes Wels, Wärme bereitet im Sommer einen großen Teil des Warmwasserbedarfes (der Fernwärmekunden).

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 1.57

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	2	1500	95.5414	0.01047	750

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.tab.de/imgs/46679458_e8ac573a45.jpg,

Daten-Quellen: http://ritter-xl-solar.com/uploads/media/solarunterstuetzung-fernwaerme-wels_01.pdf,

Name, Lage: Solaranlage Fernheizwerk/AEVG Gelände, Graz, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Flachdachanlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend.

Koordinaten: 47.0457801, 15.4360299



Standort- und Energie-Details: Kollektorfläche insg. 3556 m². Baujahr 2008. Kein Pufferspeicher, sondern Direktabnahme im Fernwärmenetz. Flächenertrag fragwürdig hoch.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 0.496

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	1.78	1600	322.58065	0.0031	899

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.aee.at/aee/images/Bilder-fuer-Zeitungen/2008-03/images/02_0.gif

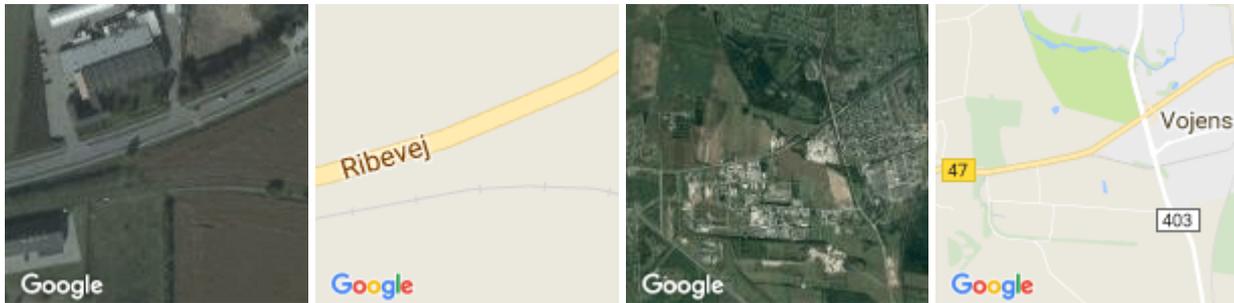
Daten-Quellen: <http://www.solid.at/de/news-archiv/2008-2011/109-eroeffnung-der-groessten-solaranlage-mittleuropas-projekt-fernheizwerk-aevg/>,
http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=231&Itemid=113

Name, Lage: Solaranlage Vojens Fjernvarme, Dänemark

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, mit Saisonspeicher in künstlichem See (200.000m³), Fernwärmeunterstützung für Haushalte, Schulen und Industriegebäude.

Koordinaten: 55.243762, 9.279459



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2015. Damals ertragsstärkste Solarthermieanlage der Welt. incl. Saison-Speicher (in einem künstlichen See mit 200.000 m³ Speichervermögen). Deckt fast 50% des gesamten HWB der Gemeinde (7.579 EW, bzw. 2000 Haushalte, 10 Schulen und Industriegebäude).



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 23

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	49	28000	121.73913	0.00821	571

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://arcon-sunmark.com/uploads/Photo-Gallery/Vojens/Damvarmelager-luftfoto-m-solfangere.jpg>, <http://arcon-sunmark.com/uploads/Photo-Gallery/Vojens/varmelager-bassin-og-solfanger.JPG>

Daten-Quellen: <http://arcon-sunmark.com/cases/vojen-district-heating>, <http://www.solarthermalworld.org/content/denmark-52500-m2-additional-collector-area-vojen>

Name, Lage: Solaranlage Wasserwerk Andritz, Graz Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren, Fernwärmeunterstützend, mit 65 m³ Pufferspeicher

Koordinaten: 47.10162030, 15.41227310



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2009. Die Solarwärme wird in das Grazer Fernwärmenetz eingespeist oder (falls die Temperatur nicht ausreicht) belädt den 65 m³ Puffer. Kollektorfläche 3.855 m² (auf dem Rasen des Wasserwerk-Geländes), 800 aufgeständerte Kollektoren. Flächenspez. Ertrag erscheint fragwürdig hoch.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 0.77

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	2.7	2430	315.58442	0.00317	900

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://solar-district-heating.eu/portals/8/%C3%96sterreich%20Fotos/090619_Wasserwerk_mit%20Wiese_klein.jpg, http://www.energiweb.at/epapers/825336/files/assets/seo/page21_images/0001.jpg

Daten-

Quellen: https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjL08iJ8anOAhWCzxQKHeWQD38QFghNMAc&url=http%3A%2F%2Fwww.tp-smartcities.at%2Fdl.php%3Ffile%3Dfileadmin%2Fuser_upload%2FDownloads%2FSOLID_ReferenzWasserwerk_Andritz_.pdf&usg=AFQjCNEq1Avxs8tcBeCgvsKDryujNaA3ug&sig2=AeJJs5lfAEV1qZV7tdB3wQ, <http://www.ecoquent-positions.com/die-5-groessten-thermischen-solaranlagen-oesterreichs/>

Name, Lage: Solarwärme bei Fleischwaren Berger, Niederösterreich, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Solarthermie, für Ind. Prozesswärme, Freiflächen-Anlage, aufgeständerte Kollektoren (Parabolrinnen), 60 m³ Speicher

Koordinaten: 48.24745730, 16.00784950



Standort- und Energie-Details: Kollektorfläche: 1067 m², 60 m³ E-Speicher. Ab 2015 Zubau eines 122 m² großen Parabolrinnen-Kollektorfeldes, Leistung 60 kW, als Temperatur-Booster für die Flachkollektoren. Verwendung des Warmwassers im Produktionsprozess der Wurstprodukte (Brauchwasser, Reinigungszwecke). Kumulierter Ertrag 408 kWh/m² Kollektorfläche/a. Gesamtbeitrag solar durchschn. 11% (im Sommer bis 60 %).



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.214

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	0.65	489	228.50467	0.00438	752

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://www.berger-schinken.at/wp-content/uploads/2015/01/philosophie-nachhaltigkeit.jpg>

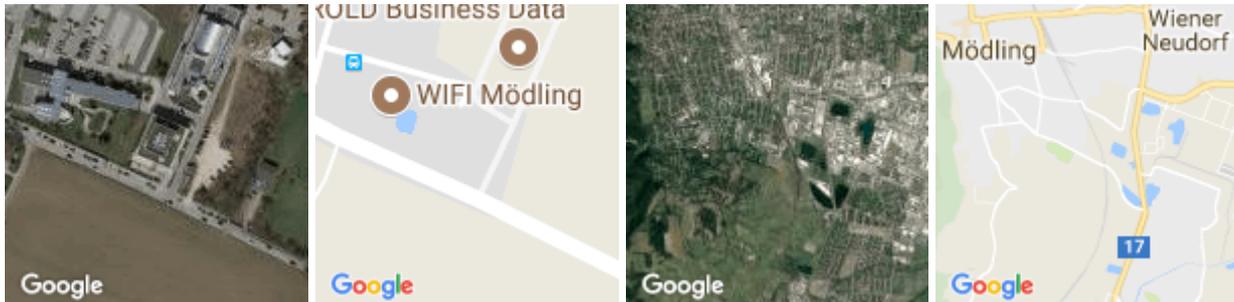
Daten-Quellen: energy innovation austria 1/2016 (bmvit Bericht zu "Zukunftstechnologie Solarthermie - Innovationen aus "Österreich"

Name, Lage: Passiv-Bürohaus SOL 4, Mödling, Österreich

Typ: Solarenergie

Unter-Typ: Photovoltaik, Gebäudeintegriert (Fassaden)

Koordinaten: 48.0704668, 16.303728



Standort- und Energie-Details: Laut Datenquellen "größtes Passiv-Bürohaus Österreichs".

Fassadenintegrierte PV-Anlage in der Bauweise einer hinterlüfteten Kaltfassade. HWB < 15 kWh/m²/a, dadurch fast vollständig via PV & Erdwärme versorgbar. Flächenangabe hier: Vollflächig belegte vertikale Fassadenteile.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 0.0215

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	0.02805	15.67	73	0.01372	559
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.solarfassade.info/img/projektbeispiele/sol4_2.jpg, http://www.solarfassade.info/img/projektbeispiele/sol4_1.jpg

Daten-Quellen: <http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/at/sol4.php>

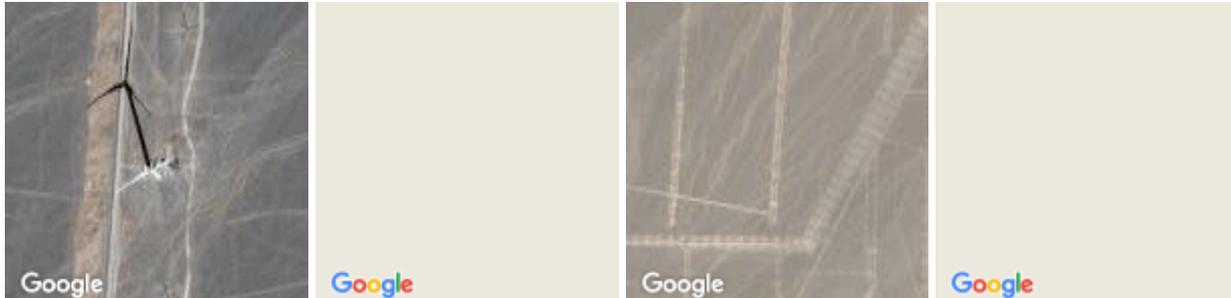
7.1.3. Windkraftanlagen

Name, Lage: Gansu Wind farm, China (Wüste Gobi)

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, cluster, Ebene

Koordinaten: 40.1768399, 96.8504091



Standort- und Energie-Details: Größter und leistungsstärkster Windpark der Welt (Stand 2016), Baustart 2009. Die geplante Leistung für 2020 ist 20.000 MW (2016: 7.965 MW). Lage: In der Wüste Gobi. Trotz fragwürdiger Daten- und Quellenlage (sowohl zu Größe, Leistung, Arbeit als auch zur Fläche) „eine Klasse für sich“.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 106731

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	7965	15930000	15	0.067	2000
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.carbonneutral.com/images/uploads/projects/Gobi_map.JPG,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Gansu.Guazhou.windturbine_farm.sunset.jpg

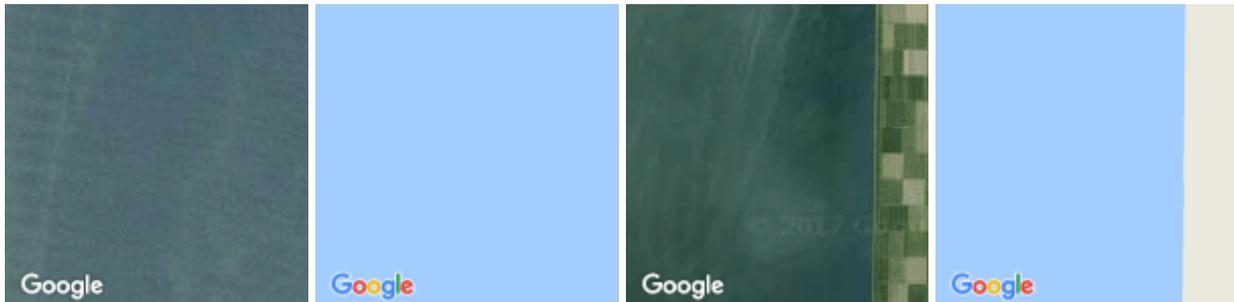
Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Gansu_Wind_Farm

Name, Lage: Windpark Noordoostpolder Binnen- und Buitendijk, Niederlande

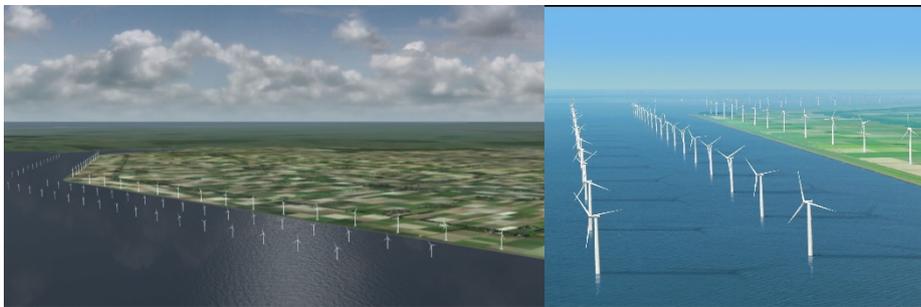
Typ: Windkraft

Unter-Typ: Nearshore und offshore, cluster

Koordinaten: 52.71557270, 5.57761190



Standort- und Energie-Details: 42 WKA zu 3 MW, 29 WKA zu 7.5 MW.- Besonderheit: Situation der WKA-Organisation, Die leistungsstärkeren 7.5 MW offshore-Anlagen stehen vor den leistungsschwächeren Nearshore- Anlagen, dadurch besondere visuelle Prägung der Küstenlinie.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 5700

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	343.5	937800	16	0.06078	2730
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://flevozine.nl/wp-content/uploads/2015/01/Windpark-Noordoostpolder-2.jpg>, <http://www.denoordoostpolder.nl/files/2013/02/westermeer.jpg>

Daten-Quellen: <http://windstats.nl/kaart.php>

Name, Lage: Windparken Weststad III, Niederlande
Typ: Windkraft
Unter-Typ: Onshore, cluster, Ebene, in einem Industriegebiet
Koordinaten: 51.6734636, 4.8274906



Standort- und Energie-Details: 6 WKA zu 2,5 MW



Datenqualität: gut
Energiepotenzialfläche (ha): 163
Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	15	31500	19	0.05175	2100
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,
https://www.oosterhout.nl/fileadmin/_processed_/csm_foto024_DSC1213_11b821daf3.jpg,
<http://www.weststad-wijsterd.nl/images/header.jpg>

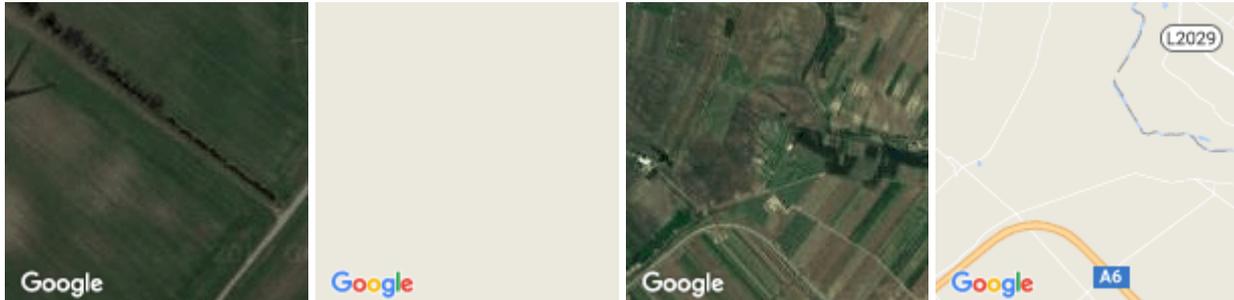
Daten-Quellen: Windkraft-Datensammlung NL, Pia Nabielek

Name, Lage: Groß-Windräder Potzneusiedl, Burgenland, Österreich

Typ: Windkraft

Unter-Typ: onshore, Einzelanlage, Ebene

Koordinaten: 48.0484087, 16.9105382



Standort- und Energie-Details: 2 Stück 7.5 MW Enercon E126 (dzt. stärkstes Einzel-WKA-Serienmodell der Welt), Baujahr 2011. Größte Windräder Österreichs, Nabenhöhe 135 m. Steht an einer der "windkrafteinträglichsten" Stellen in Österreich.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 25

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	15	30000	120	0.00833	2000
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://fm4.orf.at/v2static/storyimages/site/fm4/2013015/windpark%20potzneusiedl_body.JPG

Daten-Quellen: Lage und Typ: IG Windkraft (FT via Thomas Brus),

<https://www.igwindkraft.at/mmedia/download/2016.01.12/1452589532853199.pdf>

Name, Lage: Giessenwind, Südholland, Niederlande

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, Reihe, an einer Autobahn

Koordinaten: 51.835144, 4.8905849



Standort- und Energie-Details: Neben einer Autobahn. 3 Stück WKA zu 3 MW Leistung. Baujahr 2017.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 12.7

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	9	16077	127	0.0079	1786
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/files/Fotos/webpic_temps/giessenburg_3x3Mw_beiautobahn_webres_streetview.jpg,

http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/files/Fotos/webpic_temps/giessenburg_3x3Mw_beiautobahn_webres.jpg

Daten-Quellen: <https://alfen.com/nl/projecten/energieopslag-scholt-en-giessenwind>,

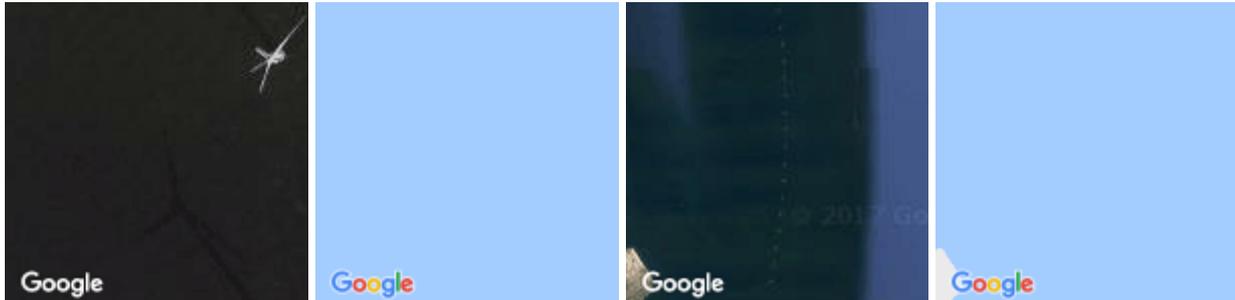
<http://www.windstats.nl/turbine.php?id=1971&park=0>

Name, Lage: Wind farm Middelgrunden, Copenhagen, Dänemark

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Nearshore, Reihe

Koordinaten: 55.68838870, 12.66941880



Standort- und Energie-Details: 20 WKA (zu 2 MW Leistung), Nabenhöhe 64 m, Rotoren Durchmesser 76 m. Baujahr 2000. Besonderheit: "Betonte" Sichtbarkeit vom Stadtzentrum aus.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 69

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	40	89000	129	0.00775	2225
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://media.treehugger.com/assets/images/2011/10/20090407-offshore-wind-farm-copenhagen.jpg>,

https://stateofgreen.com/img/upload/img_i_solution_567537ded295efb26.18887027_orig.jpg

Daten-Quellen: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/satellitenbild-der-woche-giganten-vor-kopenhagen-a-400039.html>

Name, Lage: Tauernwindpark, Steiermark, Österreich

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, Reihe, Bergkamm

Koordinaten: 47.272778, 14.387778



Standort- und Energie-Details: 14 WKA, Seehöhe 1900m, höchstgel. Windpark Österreichs. Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 7 m/s (entspricht in ca. einer Nordsee-Lage). Besonderheit: Große PV-Freiflächen-Anlage am Fuße des Windparks.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 65

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	22.75	48000	74	0.01354	2110
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f6/Tauernwindpark2_am_Sch%C3%B6nberg%2C_Oberzeiring.jpg/450px-Tauernwindpark2_am_Sch%C3%B6nberg%2C_Oberzeiring.jpg,

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/TanzstattSolarenergyWindturbines.JPG>

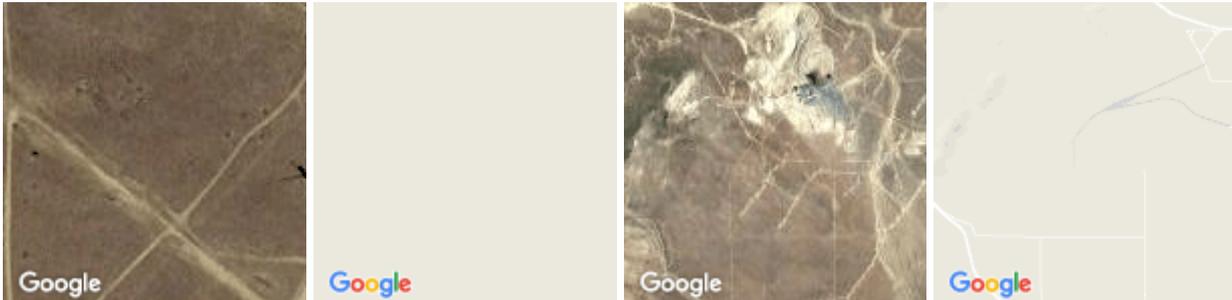
Daten-Quellen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tauernwindpark>

Name, Lage: Alta Wind Energy Center, Kalifornien (Mojave-Wüste), USA

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, cluster, Ebene

Koordinaten: 35.02111540, -118.32050770



Standort- und Energie-Details: 600 Windkraftanlagen, Baujahr 2010. Fragwürdige Daten- und Quellenlage (sowohl zu Größe, Leistung, Arbeit als auch zur Fläche), lt. Datenquellen eventuell zweitstärkster Windpark der Welt.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 44100

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1547	2680600	6	0.16452	1733
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Alta_Wind_Energy_Center_from_Oak_Creek_Road.jpg/330px-Alta_Wind_Energy_Center_from_Oak_Creek_Road.jpg,

http://www.rechargenews.com/incoming/article1275632.ece/alternates/article_main/Palm%20Springs%20wind%20turbines%20-%20flickr.jpg

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Alta_Wind_Energy_Center

Name, Lage: London Array offshore wind farm, Nordsee bei Kent, UK

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Offshore, cluster

Standort- und Energie-Details: Leistungsstärkster Windpark Europas, Baujahr 2011, 11 km vor der Küste von Kent, 175 Windkraftanlagen Siemens SWT-3.6-120.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 24700

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	630	2500000	10	0.0988	3968
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://i1-news.softpedia-static.com/images/news2/World-s-Largest-Offshore-Wind-Farm-Delivers-Record-Output-436507-2.jpg>,
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Thames_Estuary_and_Wind_Farms_from_Space_NASA_with_annotations.jpg

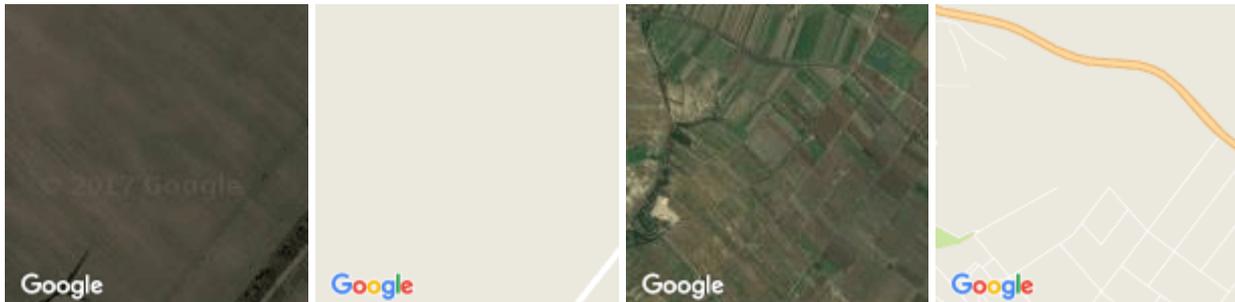
Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/London_Array,
https://web.archive.org/web/20110920071946/http://www.londonarray.com/downloads/london_array_brochure.pdf

Name, Lage: Windpark Neusiedl a. See, Burgenland, Österreich

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, cluster, Ebene

Koordinaten: 47.9546395, 16.8927455



Standort- und Energie-Details: 44 Windkraftanlagen (zu je 1,5 und 2 MW), Nabenhöhe 100 m, Fertigstellung 2003.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 785

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	79	166320	21	0.0472	2105
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.energieburgenland.at/fileadmin/_migrated/pics/oeko_windpark_entwicklung_02.jpg

Daten-Quellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_%C3%B6sterreichischer_Kraftwerke#Windenergie,

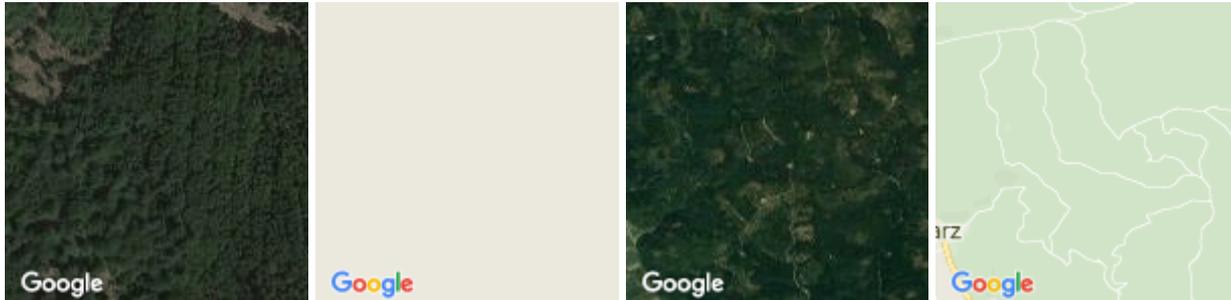
http://www.energyprojects.at/details.php?lang_id=1&proj_id=23

Name, Lage: Windpark Munderfing, Oberösterreich, Österreich

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, Reihe, Bergkamm

Koordinaten: 48.0527767, 13.236147



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2014. 5 WKA, je 3 MW, Type: Vestas, V112. Nabhöhe: 140m, Rotordurchmesser: 112m.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 150

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	15	15000	10	0.1	1000
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <https://www.ews-consulting.com/system/html/03-007ff420.jpg>, http://www.munderfing.at/sites/munderfing.publicipixel.at/files/styles/galerie_detail_800xx/public/img_7406_klein.jpg?itok=k1pbBURx

Daten-Quellen: [https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1055](https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1055), <http://www.munderfing.at/windpark-munderfing-1>

Name, Lage: Anholt Offshore Wind Farm, Dänemark

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Offshore, cluster

Standort- und Energie-Details: 111 Windkraftanlagen SWT-3.6-120, Baujahr 2013, 20 km Entfernung zur dänischen Küste. Besonderheiten: Einer der leistungsstärksten und größten offshore Windparks Europas, über 4300 Vollaststunden.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 14700

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Vollast-h/a
el.	400	1722000	12	0.08537	4305
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <http://www.offshorewind.biz/wp-content/uploads/2012/04/Denmark-Anholt-Offshore-Wind-Farm-Area-Closed-for-Sailing.jpg>, <http://renews.biz/Images/Anholt-offshore-wind-farm-credit-Dong-Energy.jpg>

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/Anholt_Offshore_Wind_Farm, <http://energynumbers.info/capacity-factors-at-danish-offshore-wind-farms>

Name, Lage: Global Tech 1, Nordsee zwischen Deutschland und Großbritannien

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Offshore, cluster

Standort- und Energie-Details: Baujahr 2013, 80 WKA zu 5 MW, 140 km vor der Küste von Emden.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 4100

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	400	1392850	34	0.02944	3482
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Karte_Offshore-Windkraftanlagen_in_der_Deutschen_Bucht.png,

http://www.globaltechone.de/media/thumbs/images/2015/09/20150810_GTI_OSS_00896_Umspannstation.jpg.800x0_q85.jpg

Daten-Quellen: https://en.wikipedia.org/wiki/BARD_Offshore_1,

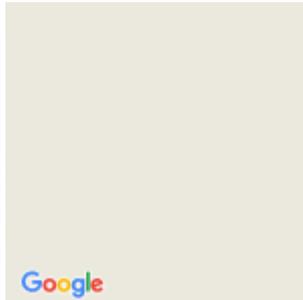
<http://www.globaltechone.de/en/about/>

Name, Lage: Windpark Hagenbrunn, Niederösterreich, Österreich

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, Reihe, Ebene

Koordinaten: 48.33873, 16.445942



Standort- und Energie-Details: Lage zw. dem Ort Hagenbrunn und der Bundesstraße 7. Standortdaten wenig bis mäßig turbulent, flacher Binnenlandstandort mit mittelmäßiger Boden-Rauhigkeit. 3 WKA zu je 0,64 MW Leistung.



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 10.8

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	1.92	3716	34	0.02906	1935
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/files/Fotos/webpic_temps/hagenbrunn_3x0.66Mw_webres.jpg

Daten-Quellen: https://www.windenergie.at/MEDIA/geschaeftsbericht_2003_0.pdf

Name, Lage: Windpark Westereems, Niederlande, (Sample 10 WKA)

Typ: Windkraft

Unter-Typ: Onshore, Reihe, Küste

Koordinaten: 53.4585297, 6.759382



Standort- und Energie-Details:



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 101

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	30	90000	89	0.01122	3000
th.					

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Windpark_versus_molen.jpg

Daten-Quellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Windpark_Westereems

7.1.4. Biomasseanlagen

Name, Lage: Biomasse KWK Leoben, Steiermark, Österreich

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Biomasse, Hackschnitzel, Wärme und Strom (KWK)

Koordinaten: 47.353892, 15.086372



Standort- und Energie-Details: Baustart 2004, Betriebsstart 2005. 1200 m Fernwärmeleitungen, versorgt 2 Industriekunden (Mayer-Melnhof-Leoben Holz GmbH und Holzindustrie Preding GmbH mit Wärme, zus. 36 GWh/a Ökostrom-Erzeugung. War 2005 die weltweit größte Ökostromanlage in Kombination Biomasse-Feuerung mit ORC Prozess. Fragwürdig: Berechnung der E-Fläche aus Schüttraummetern brachte kein plausibles Ergebnis, ebenso wenig die elektrischen- und Wärmeanteile und deren Flächenbedarfe.



Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 8533

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)					
	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	4.5	36000	0	2.37028	8000
th.	24	192000	2.25009	0.44443	8000

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://www.energyprojects.at/images/3/kesselhaus-ostansicht_01.jpg

Daten-Quellen: http://www.energyprojects.at/details.php?lang_id=1&proj_id=3

Name, Lage: Kurzumtrieb (Flächen-default o. Referenzanlage)

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Agrarisch, Pappeln, Wärme

Standort- und Energie-Details: Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 100

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m²/a	m²/kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	3	7040	7.04	0.14205	2347

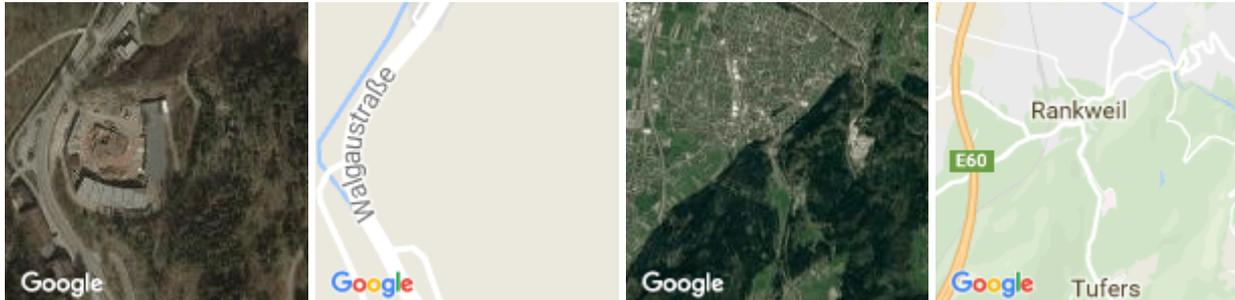
Bild-Quellen: Googlemaps 2017

Name, Lage: Biomasse Heizwerk Rankweil, Vorarlberg, Österreich

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Forst, Hackschnitzel, Wärme

Koordinaten: 47.26573440970, 9.64415240751



Standort- und Energie-Details: Anlagen-Daten: P th gesamt 1700 MW (Winterbetrieb) bzw. 1000 MW (Sommerbetrieb)- variabel durch den Einzel- oder Kombibetrieb der beiden Kessel. Brenngut: Wald-Hackschnitzel. Großabnehmer der Wärme: Krankenhaus Rankweil und öffentl. Gebäude der Marktgemeinde. Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 568

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 0.74

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	1.7	10000	1.76056	0.568	5882

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.wegezumholz.de/fileadmin/_processed_/csm_RankweilNahwaerme__2_a_b8ab5fa5a1.jpg,

http://www.wegezumholz.de/fileadmin/_processed_/csm_RankweilNahwaerme__3_a_22e961c920.jpg

Daten-Quellen: <http://www.agrar-rankweil.at/index.php?module=contents&mid=7&mmid=27&id=12>,

[http://www.agrar-rankweil.at/upload/biomasse/m__395_39540_2005_13572jun05homepage_layout1_\(1\).pdf](http://www.agrar-rankweil.at/upload/biomasse/m__395_39540_2005_13572jun05homepage_layout1_(1).pdf)

[rankweil.at/upload/biomasse/m__395_39540_2005_13572jun05homepage_layout1_\(1\).pdf](http://www.agrar-rankweil.at/upload/biomasse/m__395_39540_2005_13572jun05homepage_layout1_(1).pdf)

Name, Lage: Biogas (Flächen-default o. Referenzanlage)

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Agrarisch, Mais (Biogas), Wärme

Standort- und Energie-Details: Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010

Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 100

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m²/a	m²/kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	3	5900	5.9	0.16949	1967

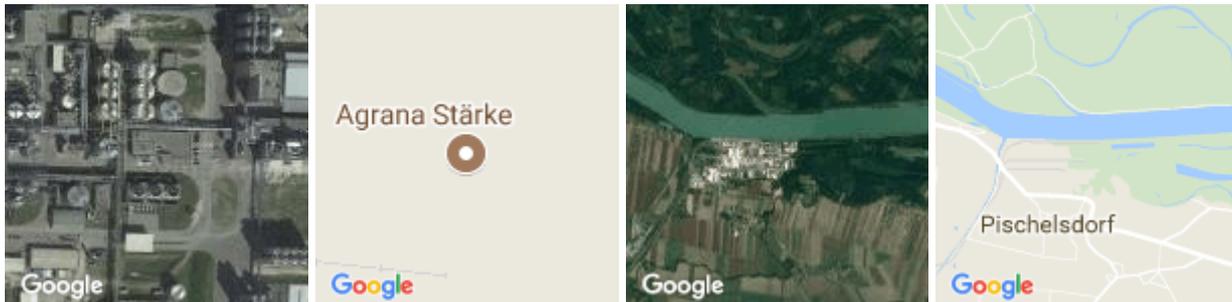
Bild-Quellen: Googlemaps 2017

Name, Lage: Agrana Stärke (Bioethanol), Pischelsdorf, Niederösterreich

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Agrarisch, Bioethanol

Koordinaten: 48.3366326, 15.955292



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2008, Österreichs einzige Bioethanol-Anlage. Jahresdurchsatz etwa 500.000 t Getreide, v.a. Weizen und Mais, Jahresproduktion 240.000 m³ (=240 Mio. Liter) Bioethanol. Über dieses Ethanol-Volumen und dessen Energiegehalt (7,4 kWh/kg) wurde der Flächenbedarf abgeschätzt. Nebenproduktion 180.000 t Eiweißfuttermittel. Gute Verkehrsanbindung (Straße, Schiene, Wasser), Lage im Zentrum der Getreide-Anbaubereiche. Quelle kWh/m²/a: Kaltschmitt et al. 2009, S. 182



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 4291

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 17

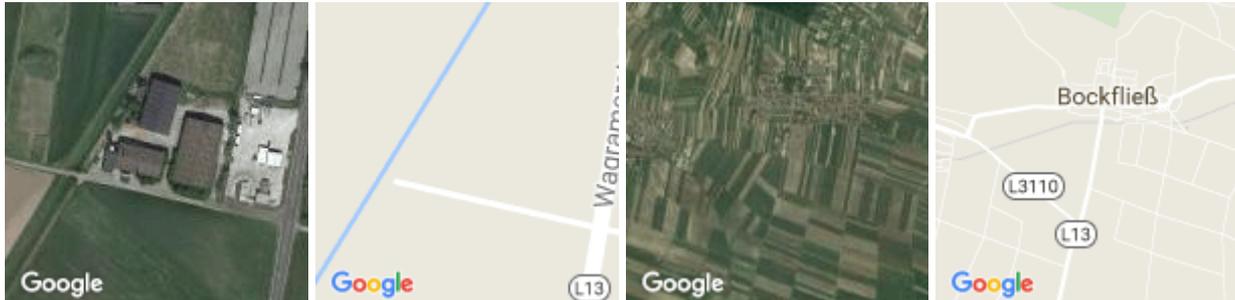
Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	k.A.	177600	4.1389	0.24161	

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.fcp.at/sites/default/files/images/projects/mainimages/06-1094_bioethanolanlage-pischelsdorf_0.jpg, <http://www.energievision.com/files/2017/07/Agrana01a-e1499854276858.jpg>

Daten-Quellen: <http://www.agrana.at/produkte/staerke/bioethanol/erzeugung/>

Name, Lage: Strohkraftwerk & Fernwärme Bockfließ, Niederösterreich**Typ:** Biomasse**Unter-Typ:** Agrarisch, Stroh, Wärme**Koordinaten:** 48.3543464, 16.5982464

Standort- und Energie-Details: Gemischter Feuerungsbetrieb Holz-Hackgut (1.7 MW), Stroh (2.5 MW), Öl (Ausfallsicherung, 1.75 MW). 386 Hausanschlüsse, 10 km Netz, 137 m³ Pufferspeicher. Fernwärme-Genossenschaft (gegr. 1992), Mitglieder sind alle Wärmeabnahme-Kunden. 1993 Baustart und Betrieb. Stroh aus 500 ha Getreideflächen. Mit Bauern aus der Umgebung bestehen Strohlieferverträge.

**Datenqualität:** gut**Energiepotenzialfläche (ha):** 500**Fläche der Anlagen-Bauten (ha):** 0.7564**Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)**

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	2.5	7830	1.566	0.63857	3132

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, http://wordpress.fernwaerme-bockfliess.at/wp-content/uploads/2015/08/cropped-1421152_243800775776430_1420093400_o.jpg

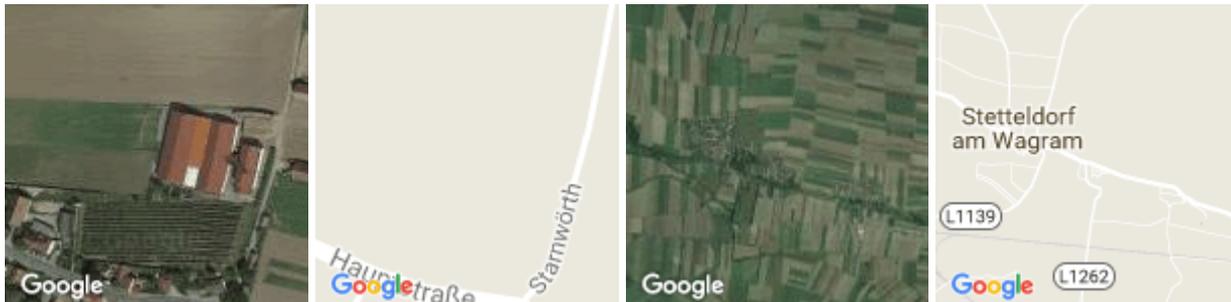
Daten-Quellen: <http://www.fernwaerme-bockfliess.at/>

Name, Lage: Strohkraftwerk & Nahwärme Stetteldorf, Niederösterreich

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Agrarisch, Stroh, Wärme

Koordinaten: 48.407136, 16.0274202



Standort- und Energie-Details: 1993 Gründung der Fernwärmegenossenschaft, Herbst 1994 Start des Heizbetriebes. Feuerung zu 100% aus Stroh von umliegenden, nahen Getreidefeldern; Öl-Ausfallkessel 2 MW. Versorgung von 220 Haushalten und allen öffentlichen Gebäuden der Gemeinde. Durchschn. Strohbedarf ca. 1500 t/a, entspricht 500-600 ha Getreidefläche. Verwertung der Kali-hältigen Stroh-Asche als Dünger. Quelle kWh/m²/a: Kaltschmitt et al. 2009, S. 182



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 600

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 0.58

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	2.5	8333	1.38883	0.72003	3333

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/files/Fotos/webpic_temps/stetteldorf_strohkw.jpg

Daten-Quellen: <http://www.umweltberatung.at/strohfeuer-vom-feld-ins-heizwerk>,

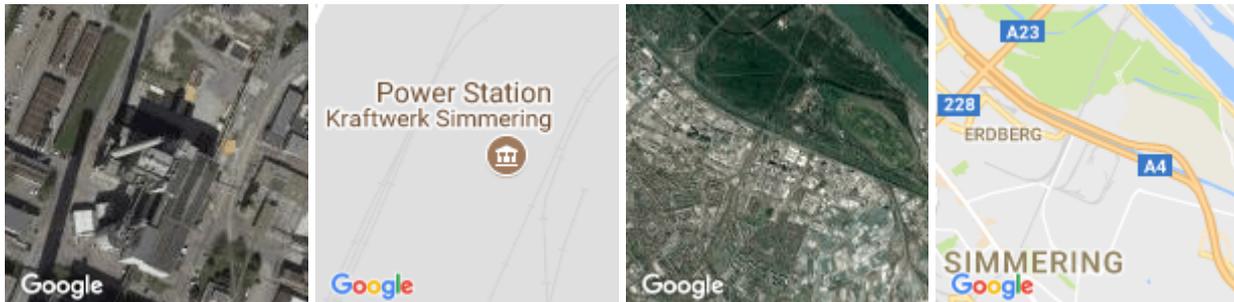
<http://www.stetteldorf-wagram.at/fernwaerme.php?nid=3>

Name, Lage: Biomasse KWK Heizwerk Simmering, Wien

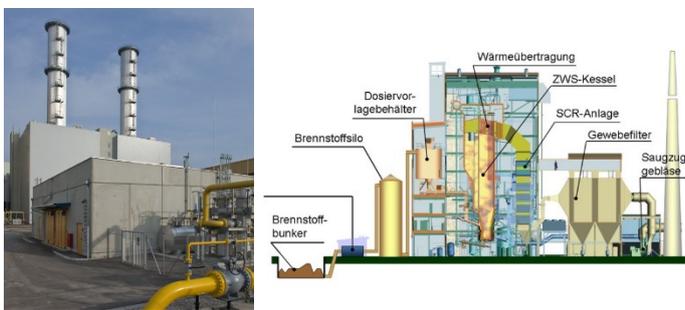
Typ: Biomasse

Unter-Typ: Forst, Hackschnitzel, Wärme

Koordinaten: 48.183333, 16.433333



Standort- und Energie-Details: Baujahr 2006, damals eines der größten Biomasse-Kraftwerke Europas. Mehrere Heizblöcke für Erdgas, Biomasse und Heizöl. Der Biomasse-Anteil versorgt 41000 Wiener Haushalt mit Fernwärme. 7500 Volllaststunden pro Jahr. Quelle kWh/m²/a: Stanzer, G. et al 2010



Datenqualität: gut

Energiepotenzialfläche (ha): 26535

Fläche der Anlagen-Bauten (ha):

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.	16				
th.	37	470000	1.77125	0.56457	

Bild-Quellen: Googlemaps 2017,

http://www.wienenergie.at/media/img/2015/image_12095_c0,341,3334,4050_s800,600.jpg,

https://www.wienenergie.at/media/img/2014/image_7280_c55,38,1622,1105_s800,600.jpg

Daten-Quellen: <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?channelId=-48494>,

<https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?channelId=-48494>

Name, Lage: Fernwärme Obermarkersdorf

Typ: Biomasse

Unter-Typ: Forst, Hackschnitzel, Wärme

Koordinaten: 48.7372676, 15.8982104



Standort- und Energie-Details: Winterbetrieb 840 kW Kessel, bei Spitzenbedarf weiterer 340 kW Kessel und Solaranlage. Sommerbetrieb: Zur Warmwasseraufbereitung durch die Solaranlage mit ihrem 80.000 L Pufferspeicher, Unterstützung durch den 340 kW Kessel. Besonderheiten: Kombi-Bereitstellung von Fernwärme aus Hackgut und Sonnenenergie, Nutzung der Lager-Dachflächen als ST-Kollektor. Die anfallende Asche wird als Dünger in der Landwirtschaft verwendet. Flächen-Berechnung anhand der Datenquellen-Angaben (z.B. via Schüttraummeter) ergab kein plausibles Ergebnis, auch war hierbei die Aufschlüsselung zwischen "Waldfläche" und "Vollertragsfläche" nicht klar erkennbar.

Datenqualität: fragwürdig

Energiepotenzialfläche (ha): 80

Fläche der Anlagen-Bauten (ha): 0.136

Werte zur th. und el. Leistung (P) und Arbeit (E)

	P (MW)	E (MWh/a)	kWh/m ² /a	m ² /kWh/a	Volllast-h/a
el.					
th.	1.18	1911	2.38875	0.41863	1619

Bild-Quellen: Googlemaps 2017, <https://drive.google.com/open?id=0BxHCze6kqldydDh6amZFUy0ybm8>

Daten-Quellen: http://www.energyprojects.at/details.php?lang_id=1&proj_id=44, Frau Bauer (Buchhalterin des KW, 02942-8221): Wärmemenge 1.911.000 kWh/a (ohne weitere Aufschlüsselung wie viel davon solar bereitgestellt wird)

8. Curriculum Vitae



Europass Lebenslauf

Angaben zur Person

Nachname(n) / Vorname(n)	Dipl.Ing. Dr. DUMKE Hartmut
Adresse(n)	Augasse 2-6, A-1090 Wien, Österreich
Telefon	+43-(0)58801-280705, +43-6991 923 0252
E-mail	hartmut.dumke@tuwien.ac.at , hdhartmut@gmail.com
Staatsangehörigkeit(en)	Deutsch
Geburtsdatum	30. 04.1968
Geschlecht	Männlich

Art der Beschäftigung

	Mitarbeiter beim Institut für Regionalplanung, TU Wien (heute Department für Raumplanung, Fachbereich Regionalplanung und Regionalentwicklung)
Datum	Juni 1996 - Juni 1997
Beruf oder Funktion	Projektmitarbeiter im Projekt EREG (EREG - Eigenständige Regionalentwicklung im Grenzraum)
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten (Auswahl)	Netzwerkaufbau von Institutionen aus AT&CZ, Initiieren von Pilotprojekten zu Landwirtschaft, Tourismus und Wirtschaft, Veranstaltungsorganisation, Projektentwicklung und Projektmanagement, Datenanalysen und -berichte.

Art der Beschäftigung

Mitarbeiter bei mecca, einem Unternehmen, das aktiv in der Forschung, Beratung und interdisziplinären Bearbeitung von Regionalentwicklungs-, Bildungs- und Umweltprojekten tätig ist. Der räumliche Schwerpunkt der Projekte ist Österreich, Mittel- und Osteuropa.

Datum Juni 1997-Dez. 2011

Beruf oder Funktion Angestellter

Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten (Auswahl)

Schwerpunkte: Regionalplanung, Grenzüberschreitende Planung, Landesentwicklungs- und strategische Planung, Klima- und Energieregionen, Tourismuskonzepte, Forschung und Mitarbeit in internationalen Projekten der Regionalentwicklung in Mittel- und osteuropäischen Ländern und in Österreich. Projektreferenzauswahl mit Schwerpunkt räumliche Entwicklungsplanung:

- PRO 2013+ - Grenzüberschreitende Netzwerk- und Potenzialanalyse für Niederösterreich, Wien, Südmähren und Vysočina (2011 - 2012)
- Catch_MR - Cooperative Approaches to transport challenges within the Metropolitan Regions (2010 - 2012)
- SRO_peripher - Strategien zur Räumlichen Entwicklung in der Ostregion für "periphere" Räume (2011 - 2012)
- Energie-Vergleichsstudie Burgenland-Trnava - Erstellung einer grenzüberschreitenden Energie-Studie über das Burgenland und die Region Trnava (SK), (2011)
- Landesentwicklungsplan Burgenland 2012; Phase 1: Leitbilderstellung (2006-2008); Phase 2: Strategieplan (2009-2010); Phase 3: Verordnung (2012)
- EFES- Energieeffiziente Entwicklung von Siedlungen - Entwicklung planerischer Steuerungsinstrumente und praxisorientierter Bewertungstools für energieeffiziente Siedlungen (2009 - 2010)
- Raum und Energiepotenziale in der Ostregion - (Klein)räumliche Analyse der regionalen Potenziale aus erneuerbaren Energieträgern, (2007 - 2009)
- REGIO Energy - Ermittlung regionaler Szenarien erneuerbarer Energiepotenziale in den Jahren 2012/2020 (2008-2009)
- Wanderwegenetz Wolkersdorf - Konzept, Streckenführung und Beschilderungsliste für ein ca. 90 km langes Wanderwegenetz für 9 Gemeinden der Kleinregion Wolkersdorf (2008)
- KOBRA: Stadt-Umland-Kooperation Bratislava - Mehrstufiger Prozess zur Abstimmung zwischen den NÖ und Bgld. Gemeinden um Bratislava mit der Stadt Bratislava (2003 - 2007)
- Vorstudie zum ÖROK-Projekt "Energie und Raumentwicklung" - Erhebung, Diskussion und Auswahl relevanter Fragestellungen für die Hauptstudie in den neun österreichischen Bundesländern (2007)

- Citynet - Netzwerk kleinregionaler Zentren (Österreich - Ungarn) (2006 - 2007)
- Universitätslehrgang für Erneuerbare Energie in Mittel- und Osteuropa - Projektmanagement für die Entwicklung des Universitätslehrgangs für Erneuerbare Energie (2003 - 2005)
- Biosphärenregion und Leitbild Grüne Mitte - Entwicklungsleitbild zur Biosphärenregion Grüne Mitte unter besonderer Berücksichtigung der Wirtschaft als Beitrag zur Gesamtstrategie von JORDES+ (2003 - 2004)
- Entwicklungsleitbild EuRegio Burgenland-Westungarn-Entwicklung der EuRegio West/Nyugat Pannonia: Erstellung eines bilateralen Leitbildes für das Burgenland und Westpannonien (2002 - 2004)
- Liechtensteinroute - Entwicklung eines Themenradweges: Wahl der Route, Auswahl der Attraktionen, komplette zweisprachige Beschilderung (2002 - 2003)
- EREG - Eigenständige Regionalentwicklung im Grenzraum - Das Projekt „EREG - Eigenständige Regionalentwicklung im Grenzraum“ versucht in den Grenzregionen Niederösterreichs zu Tschechien, zur Slowakei und zu Ungarn, Kooperationen im Bereich Tourismus/Landwirtschaft/Naturschutz zu fördern (1996 - 2001)

Art der Beschäftigung

Projektassistent des Forschungsprojektes „ENUR - Energie im urbanen Raum“.

Datum

Dezember 2011- Januar 2014

Beruf oder Funktion

Angestellter des Departments für Raumplanung, TU Wien, Fachbereich Soziologie

Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten

Projektmanagement und-leitung, Vollinhaltliche Sachbearbeitung des Moduls „Governance“
 Projektinformationen siehe <http://enur.project.tuwien.ac.at/>

Lehrtätigkeit:

- Bachelorseminar „NÖ Mitte“ WS 2012 (gem. mit Sibylla Zech und Alexander Hamedinger)
- Seminar „Spatial and Environmental Planning in CEE Countries“ (gem. mit Petra Hirschler)
- Raumwerkstatt (WS 2012 und WS 2013)

Art der Beschäftigung **Prädoc-Ass. (25 Wh) & Projektassistent (15 Wh)**

Datum	Februar 2014 - Februar 2018
Beruf oder Funktion	Angestellter des Departments für Raumplanung, TU Wien, Fachbereich Regionalentwicklung und Regionalplanung
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	<p>Lehrtätigkeit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PR Raumwerkstatt 6.0h • VU Regionale Planungspraxis 1.5h • UE Visioneering von Regionen Wahlmodul 4: Kooperation: Region 4h • VU Kooperations- und Identifikationsraum Region Wahlmodul 4: Kooperation: Region 1,5h • UE, VU, EX Wahlmodul 4: Raum for Refugees 5h • EX Exkursion zur Region Wahlmodul 4: Kooperation: Region 2h • SE Seminar zur Bachelorarbeit Raum for Refugees 4h • PR Themen der Raumplanung Einführung in die Energieraumplanung 6.0h • VO Grundlagen der Energieraumplanung • VU Energie- und klimarelevante Analyse und Planung 2h • PR Projekt Fühl die Stadtregion 6h • SE Seminar zur Bachelorarbeit Sharing: Gemeinsames Nutzen und Teilen als Raumentwicklungskonzept 4h • SE Seminar zur Bachelorarbeit Raum for Refugees 4h • SE Planung und Bau in hoch verdichteten Regionen 1.5h • PR Projekt world on the move (Focus: temporary housing solutions) 6h • EX Exkursion „Discovering Japan“ 2h <p>Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorstudie "Fachkonzept integrierte Energieraumplanung" i.A. der Magistratsabteilung 20 (Energieplanung) Wien, http://bit.ly/vs-fk-erpwien • Forschungsprojekt „Energieraumplanung_hoch3“, Förderung durch die Klimafonds-Initiative „Stadt der Zukunft“, http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/ • Forschungsprojekt „Smart City Ebreichsdorf“, Initiative „Smart City Demo“, http://www.ebreichsdorf.gv.at/Stadt/Smart_City_Ebreichsdorf • Inhaltliche Unterstützung für das Fachkonzept integrierte Energieraumplanung Fachkonzept integrierte Energieraumplanung Wien, i.A. der Magistratsabteilung 20 (Energieplanung) Wien

Ausbildung und Zusatzausbildungen	
Datum	1998
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Diplomingenieur der Raumplanung und Raumordnung
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Titel der Diplomarbeit: <i>Die Auswirkungen der Telematik auf die Raumordnung und -Nutzung</i>
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Technische Universität, Wien, Österreich
Datum	1995
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Teilnahme an einem internationalen Studienprojekt (Sommerkurs)
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Thema: <i>Israel/Jordan, Cross-border Urban and Regional Planning</i>
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Technion Haifa, Israel
Datum	2006
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Teilnahme an einem Kurs zu dynamischem Web Content Management
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Content Management Systeme, Anbindung von Datenbanken, CSS f. Fortgeschrittene (Formatierung von websites)
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Persönlicher Trainer (Norbert Frese)
Datum	2008
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Teilnahme an einem Kurs zur Verwendung von GIS Software (manifold)
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Verarbeitung, Modellierung und räumliche Analyse und Darstellung von Geodaten in der Raumplanung
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Persönlicher Trainer (Stefan Plha, mecca)
Datum	2010-2011
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	EUREM-Zertifikat (europäischer Energiemanager), Fortbildungskurs
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Energieberatung für Unternehmen und Betriebe
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Wirtschaftskammer Wien
Datum	2018

Bezeichnung der erworbenen Qualifikation
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten

Doktor der technischen Wissenschaften am Department für Raumplanung

Titel der Dissertation: Erneuerbare Energien für Regionen - Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen

Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung

Technische Universität, Wien, Österreich

Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen

Muttersprache(n)

Deutsch

Sonstige Sprache(n)

Selbstbeurteilung

European level ()*

Englisch

Französisch

Verstehen		Sprechen				Schreiben	
Hören		Lesen		An Gesprächen teilnehmen		Zusammenhängendes Sprechen	
C 1	Kompetente Sprachverwendung	C 1	Kompetente Sprachverwendung	C1	Kompetente Sprachverwendung	C1	Kompetente Sprachverwendung
A 2	Elementare Sprachverwendung	B 1	Elementare Sprachverwendung	A2	Elementare Sprachverwendung	A2	Elementare Sprachverwendung

() Common European Framework of Reference (CEF) level*

Soziale Fähigkeiten und Kompetenzen

Teamwork, in internationaler Atmosphäre arbeiten, Kreative Denkansätze

Organisatorische Fähigkeiten und Kompetenzen

Multidisziplinärer Ansatz, Praxis- und Ergebnisbezug auch unter schwierigen Forschungsbedingungen, Verständliche Aufbereitung und Visualisierung

IKT-Kenntnisse und Kompetenzen

- MS Office, DTP (QuarkXPress, Indesign), Adobe Illustrator, und - Photoshop, Screen Design & Web Publishing (html, css, Usability, Dreamweaver), GIS (Qgis, Esri arc view, manifold), open source tools (Google maps, -docs, -fusion tables).
- Aufbau und Auswertung von Web-Umfragen mit LimeSurvey
- Aufbau von Rating-tools auf Basis MS Excel (z.b. Ecocheck Burgenland)
- Web Content management Systeme, barrierearmes und vollresponsives Code-design: Contao, Drupal; Setup und Betrieb folgender Portale (Auswahl):
<http://info.tuwien.ac.at/urbanistik>,

Kenntnisse in der Energieraumplanung	http://enur.project.tuwien.ac.at , http://info.tuwien.ac.at/erphoch3/
	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt ENUR (Energie im urbanen Raum), Fokus Steuerungsinstrumente mit Energierrelevanz/ Energie-Governance • Projekte RegioEnergy, Fokus erneuerbare Energiepotenziale • EFES (energieeffizientesiedlung.at), Fokus Rating von Energiebedarfen für Heizwärme, Warmwasser, Strom, Mobilität • Modul-Leiter des TU-Master-Wahlfachmodules "Energieraumplanung" (VO, VU, SEM, EX) • 2013 - 2014: Projektleiter der "Vorstudie zum Fachkonzept integrierte Wiener Energieraumplanung" (i.a. MA20) • 2014 - 2016: Projektleiter ERP_hoch3 • 2016: Projektleiter des Projektes „Inhaltliche Unterstützung für das Fachkonzept integrierte Energieraumplanung Fachkonzept integrierte Energieraumplanung" (i.a. MA20)
Künstlerische Fähigkeiten und Kompetenzen	Musiker, Mitglied der Trash country Band Rewolfinger (http://www.rewolfinger.com).
Publikationen (Auswahl)	<ul style="list-style-type: none"> - Dumke, H., Weninger, K., Nabielek, P.: Balanced renewable energy scenarios: A method for making spatial decisions despite insufficient data, shown on the case study of the Vorderland-Feldkirch Region, Vorarlberg, Austria; in: Energy, Sustainability and Society (SpringerOpen, 2017) - Dumke et al: Energieraumplanung für smarte Stadtquartiere und Regionen (ERP_hoch3), Endbericht, Wien 2017 - L. Dörrzapf, M. Berger, F. Dorner, H. Dumke, R. Lisa, G. Watzinger, L. Stefan: "Fühl die Stadt - Methoden zur Erfassung subjektiver Wahrnehmung"; in: "Real Corp 2016", M. Schrenk, V. Popovich, P. Zeile, P. Elisei, C. Beyer (Hrg.); CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning, Wien, 2016 - Dumke, H., Brus, T., und Hemis, H., 2015: Vorstudie zum Fachkonzept "Energie-Raum-Planung", Wien 2015 - Dumke et al: Energieraumplanung für smarte Stadtquartiere und Regionen (ERP_hoch3), Leitfaden 1 (Fokus Stadtquartiere), Leitfaden 2 (ERP An ÖV-Achsen), Leitfaden 3 (interkommunale Potenziale erneuerbarer Energien), Wien 2014-2016 - Hartmut Dumke: Governance approaches to raise the renewable energy sources share (RES) in the Mega transport infrastructure (MTI), in: Territories and Mega Transport Infrastructures. From Conflict to Alliance, Milano 2014 - A. Hamedinger, H. Dumke: Energie im urbanen Raum: Empirische Zwischenergebnisse des Governance-Moduls (Projekt ENUR); in: Jahrbuch Raumplanung 2013, NWV Neuer Wissenschaftlicher Verlag, Graz, 2013

- Dallhammer et al (u. a. H. Dumke): EFES - Energieeffiziente Entwicklung von Siedlungen - planerische Steuerungsinstrumente und praxisorientierte Bewertungstools, Wien 2009
- Hannes Schaffer, Hartmut Dumke, Stefan Plha: Erneuerbare Energie - Zukunftspotential der Ostregion Österreichs; in: RAUMDIALOG - St. Pölten, 2008.
- Andreas Dillinger, Hartmut Dumke, Stefan Plha, Hannes Schaffer: Spatial Potentials for Renewable Energy Production - Biomass, wind and geothermal options for communities in Eastern Austria; TU-Wien, 2008.
- Hannes Schaffer, Andreas Dillinger, Christina Ringler, Stefan Plha, Hartmut Dumke, Beate Schaffer: Quo vadis Ostregion?; Ausstellungspublikation, MA 18/PGO, Wien, 2008.
- Schaffer, Hannes, Hartmut Dumke: Die „grüne Mitte“ in Europa, Wien, 2005
- Schaffer, Hannes, Hartmut Dumke: Entwicklungsleitbild Burgenland-Westungarn- Ein Programm zur Entwicklung der EuRegio West/Nyugat Pannonia, Eisenstadt, Januar 2004
- Schaffer, Hannes, Petra Hirschler, Hartmut Dumke: Der mitteleuropäische Zentralraum: Raumentwicklung und Raumplanung im Bereich Wien-Bratislava in: Praxis Geographie - Themenheft Österreich und die EU-Erweiterung, Heft 9, 32. Jahrgang, Sept. 2002, p 11 - 18, Westermann Verlag
- Schaffer, Hannes, Hartmut Dumke, Stefan Sima: Tourismus im Grenzraum oder das ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. In: Institut für integrative Tourismusforschung (Zeitschriftenreihe), Januar 2002
- Schaffer, Hannes; Dumke, Hartmut: Praktische Erfahrungen aus grenzüberschreitender Zusammenarbeit: EREG - Eigenständige Regionalentwicklung im Grenzraum, CORP 2001 Tagungsband, Wien, 2001.

Führerschein(e)

Klassen B, C1, BE, C1E, CE, M & L

Zusätzliche Angaben

SCUPAD Mitglied (Salzburg Congress on Urban Planning and Development, <http://www.scupad.org>)