

Materialien der Wiener Stadtwerke zur nachhaltigen Entwicklung

Nummer 5

**Erneuerbare Energien in Städten:
Internationale Beispiele und Szenarien -
Potenziale für Wien**

Materialien der Wiener Stadtwerke zur nachhaltigen Entwicklung

In Vorbereitung des ersten Nachhaltigkeitsberichts der Wiener Stadtwerke und als Informationsgrundlage für das Nachhaltigkeitsmanagement wurden 2007 und 2008 mehrere Hintergrundpapiere zu ausgewählten Aspekten der Nachhaltigkeit erstellt. Diese Texte waren aber zumeist zu ausführlich und zum Teil auch zu speziell, um sie vollständig im Nachhaltigkeitsbericht abzdrukken. Man ging aber davon aus, dass insbesondere WissenschaftlerInnen und StudentInnen, aber auch JournalistInnen und interessierte BürgerInnen diese Informationen gerne nutzen würden. Daher hat die Konzern-Nachhaltigkeitsbeauftragte der Wiener Stadtwerke beschlossen, diese Texte in einer Reihe als „Materialien der Wiener Stadtwerke zur nachhaltigen Entwicklung“ zu veröffentlichen.

Mit der vorliegenden Nr. 5 wird diese Reihe fortgesetzt.

Bislang liegen folgende Materialien der Wiener Stadtwerke zur nachhaltigen Entwicklung vor:

- Nr. 1 Klimaschutz: Einführung, politische Meilensteine und die Ansatzpunkte der Wiener Stadtwerke (2008)
- Nr. 2 Daseinsvorsorge: Politisches Konzept und Leistungen der Wiener Stadtwerke (2008)
- Nr. 3 Politische Vorgaben: Globaler Rahmen, kommunale Ziele und Programme der Politik zur Nachhaltigkeit (2008)
- Nr. 4 Energieeffizienz: Begriffe, Berechnung und Bezug zum Klimaschutz (2008)
- Nr. 5 Erneuerbare Energien in Städten: Internationale Beispiele und Szenarien - Potenziale für Wien (2010)
- Nr. 6 Energieeffizienz von Städten: Szenarien für eine sichere und klimaverträgliche Energieversorgung von Großstädten (2010)

Die Materialien werden bis auf weiteres nur als PDF-Publikationen veröffentlicht. Download unter www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/downloads.

Impressum

Herausgeberin: Wiener Stadtwerke Holding AG, Schottenring 30, A-1011 Wien

Verantwortlich: DI Isabella Kossina, MBA, Geschäftsführerin der Beteiligungsmanagementgesellschaft (BMG) der Wiener Stadtwerke und Konzern-Nachhaltigkeitsbeauftragte der WSTW.

Autor: Thomas Loew, Institute 4 Sustainability, Berlin (D)

Wien 2010

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Potenzialanalysen zur Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von erneuerbaren Energien	9
2.1	Theoretische Grundlagen	9
2.2	Beispiele für Potenzialanalysen erneuerbarer Energien.....	12
3	Beispiele für den Einsatz erneuerbarer Energien in Großstädten	15
3.1	London	15
3.2	München	17
3.3	Stockholm	20
3.4	Hamburg	22
3.5	Zusammenfassung	24
4	Erneuerbare Energien in Wien	27
4.1	Zielsetzungen zu erneuerbaren Energien im Klimaschutzprogramm der Stadt Wien	27
4.2	Biomasse	27
4.3	Energetische Abfallnutzung	29
4.4	Wasserkraft.....	32
4.5	Windenergie.....	35
4.6	Fotovoltaik.....	36
4.7	Solarthermie.....	39
4.8	Solares Kühlen.....	40
4.9	Tiefe Geothermie	41
5	Zusammenfassung	43
5.1	Allgemeine Ergebnisse	43
5.2	Erkenntnisse für Wien.....	44
	Quellen	46
	Anhang: Erneuerbare Energien – vorhandene Technologien	50
	Wasserkraft.....	50
	Bioenergie.....	51
	Windenergie.....	53
	Sonnenenergie	55
	Erdwärme	60

Abkürzungen

BHKW	Blockheizkraftwerk
CHP	Combined Heat and Power (Kraft-Wärme-Kopplung)
CO ₂	Kohlendioxid
EU	Europäische Union
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
PJ	Petajoule
t	Tonne (in der Fachsprache der Physik bzw. nach ISO: Megagramm (Mg))
th	thermisch
TJ	Terajoule

Einheiten

Kilo	Tausend, z.B. Kilowatt (kW) = Tausend Watt (10^3 W)
Mega	Million, z.B. Megawatt (MW) = 1 Mio. W (10^6 W) = 1.000 kW
Giga	Milliarde, z.B. Gigawatt (GW) = 1 Mrd. W (10^9 W)
Tera	Billion (10^{12}), z.B. Terawatt = 1 Billion Watt
Peta	Billiarde (10^{15}), z.B. Petajoule = 1 Billiarde Joule = 1 Milliarde Megajoule

Umrechnungsfaktoren

1 kWh	entspricht 3,6 Megajoule (MJ)
1 PJ	entspricht 277,8 Gigawattstunden (GWh)

Abbildungen

Abbildung 1: Theoretisches und technisches Potenzial erneuerbarer Energien.....	9
Abbildung 2: Verfahren der Potenzialanalyse für alternative Energiequellen	11
Abbildung 3: Solare Gütezahlen und Schemaschnitt der Solareinstrahlung für die Planung neuer Einfamilienhäuser in flächensparender Bauweise	13
Abbildung 4: Dezentrales Szenario - Anteil erneuerbarer Energien in Gebäuden	16
Abbildung 5: Energieerzeugungsanlagen der SWM	18
Abbildung 6: Wärmeenergiebereitstellung in München.....	19
Abbildung 7: Strombereitstellung in München.....	19
Abbildung 8: Anteil erneuerbarer Energiequellen im Betrieb der Fernwärmenetze von Stockholm	20
Abbildung 9: Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien	23
Abbildung 10: Marktentwicklung erneuerbare Energien in Hamburg	23
Abbildung 11: Biomasse Forst – Bestand (Stand 2008)	28
Abbildung 12: Gegenüberstellung des Bedarfs an Verbrennungskapazitäten mit den vorhandenen Kapazitäten für das Jahr 2012	30
Abbildung 13: Gegenüberstellung des Bedarfs an Verbrennungskapazitäten mit den vorhandenen Kapazitäten für das Jahr 2017	31
Abbildung 14: Altarm der Donau und Biber im Nationalpark Donauauen	32
Abbildung 15: Die Donau – gestaute und ungestaute Abschnitte	33
Abbildung 16: Wirtschaftliches Potenzial zum Ausbau der Wasserkraft in Österreich.....	33
Abbildung 17: Stromboje vor dem Einbringen.....	34
Abbildung 18: Reduziertes technisches Potenzial Windkraft	35
Abbildung 19: Kumulierte PV-Leistung in KW_{peak} von 1992 bis 2009.....	36
Abbildung 20: FV-Anlage am Naturhistorischen Museum.....	37
Abbildung 21: FV-Anlage an der Fassade des neuen Kraftwerks Simmering 1	37
Abbildung 22: Reduziertes technisches Potenzial der Fotovoltaik in Ö.	38
Abbildung 23: Reduziertes technische Potenzial der Solarthermie in Österreich	40
Abbildung 24: Reduziertes technisches geothermisches Potenzial	41
Abbildung 25: Die Stromversorgung in Österreich 2000 bis 2006	51
Abbildung 26: Technische Potenziale der Biomassebereitstellung für energetische Nutzung nach Stoffgruppen in der EU.	52
Abbildung 27: Globale Verteilung des Wandlungspotenzials der Windenergie auf Landflächen und Offshore bis zu einer Tiefenlinie von 40 m.	55

Tabellen

Tabelle 1: Marktpotenzial für urbane Windturbinen (UWT) in den Niederlanden.....	14
Tabelle 2: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in London.....	17
Tabelle 3: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in München.....	19
Tabelle 4: Energieverbrauch in der Metropolregion Stockholm	21
Tabelle 5: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Stockholm.....	21
Tabelle 6: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Hamburg.....	24
Tabelle 7: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Städten	26
Tabelle 8: Energetische Leistung der Müllverbrennungsanlagen in Wien	30
Tabelle 9: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Wien	42

1 Einleitung

Derzeit leben mehr als 50 % der Weltbevölkerung in Städten, mit steigender Tendenz, bis 2025 sollen es über 60 % sein. Der Energieverbrauch der Städte ist immens, sie nutzen ca. 75 % der weltweit eingesetzten Energie und verursachen etwa 80 % der globalen Treibhausgasemissionen. Städte spielen daher eine entscheidende Rolle bei der Sicherung und Gestaltung der Energieversorgung sowie der nationalen und internationalen Anstrengungen zum Schutz des Klimas (Siemens 2009).

Immer mehr Städte haben dies erkannt und setzen sich ambitionierte Ziele, entwickeln Strategien sowie Maßnahmen zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen. Diese Strategien haben gemeinsam, dass sie langfristig auf eine massive Reduzierung des Energiebedarfs sowie einen starken Ausbau erneuerbarer Energiequellen setzen. Auch die Politik, national wie auf europäischer und internationaler Ebene, sieht eine Steigerung der Energieeffizienz und den *Ausbau der erneuerbaren Energien* für unerlässlich an, um die Stabilität des Klimas und die Versorgung langfristig sicher zu stellen (vgl. dazu Sozialpartner (2009) oder auch die Materialien der Wiener Stadtwerke Nr. 4: Energieeffizienz¹).

Besondere Rahmenbedingungen in Städten

Während die meisten Strategien zur Reduzierung des Energiebedarfs die energetische Sanierung der Gebäudebestände in den Mittelpunkt stellen, unterscheiden sie sich hinsichtlich der Auswahl auszubauender alternativer Energiequellen teilweise erheblich. Zwischen Städten existieren diverse Unterschiede hinsichtlich der natürlichen Umgebung, der Rohstoffvorkommen und der rechtlichen Rahmenbedingungen. Daraus resultieren Unterschiede bei den historisch gewachsenen Energieversorgungsstrukturen. So ist es kaum verwunderlich, dass in Städten der Alpenstaaten Schweiz und Österreich die Wasserkraft einen sehr hohen Anteil an der Stromversorgung aufweist und in Spanien die Nutzung der Solarenergie massiv ausgebaut wird. In Großbritannien ist Kohle nach wie vor der meistgenutzte Brennstoff und in den skandinavischen Staaten spielt bereits seit Mitte des 20. Jahrhunderts der Ausbau der Fernwärmenetze eine bedeutende Rolle.

Die Rahmenbedingungen der Nutzung erneuerbarer Energien in Städten unterscheiden sich im Vergleich zu ländlichen Regionen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Freiflächen und Dachflächen. Daher sind bestimmte flächenintensive Technologien, wie z.B. große Windräder, nur eingeschränkt nutzbar. Auch bei der Eigentümerstruktur von Wohnhäusern gibt es Unterschiede. Während in ländlichen Gebieten die meisten Wohnhäuser von ihren Eigentümern bewohnt werden, gibt es in Städten einen hohen Anteil an Mieteinheiten, was sich auf die Investitionsbereitschaft in erneuerbare Energiequellen und Energieeffizienzmaßnahmen auswirkt.

Städte können auf absehbare Zeit nicht energieautark sein

Weiterhin ist für Städte charakteristisch, dass sie einen nennenswerten Teil ihrer Energie analog zu Lebensmitteln und Rohstoffen von außen aus ländlichen Gebieten beziehen. Dies dürfte – soviel sei an dieser Stelle vorweg genommen – auch in Zukunft so sein. Selbst

¹ Download unter <http://www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/wiener-stadtwerke/download-bereich.html>.

ambitionierte Szenarien für Städte mit vorteilhaften Rahmenbedingungen (z.B. München, wo viel Wasserkraft genutzt werden kann) gehen davon aus, dass auch bei umfangreicher Erschließung der Potenziale für erneuerbare Energien und Energieeffizienz es weiterhin erforderlich sein wird, Energie auch von außen zu beziehen. Von energieautarken Städten geht keines der bekannten Szenarien europäischer Städte aus. Es gibt jedoch Versuche Stadtteile energieautark oder zumindest klimaneutral zu gestalten (z.B. Bahnstadt Heidelberg).

Die in dieser Hinsicht visionären Projekte für Ökostädte, wie Masdar City oder Dongtan wollen den Nachweis bringen, dass es möglich ist Städte energieautark zu gestalten. Eine Übertragbarkeit auf die Rahmenbedingungen europäischer Städte ist jedoch nicht gegeben.

Entwicklung von Szenarien und Strategien für Klimaschutz und Energieversorgung

Zahlreiche Städte haben bereits Strategien zu Klimaschutz und Energieversorgung entwickelt. Oftmals werden dafür Szenarien erstellt, die unterschiedliche Bedarfsentwicklungen, Effizienzsteigerungen und die Nutzung von erneuerbaren Energien zugrunde legen.

Meist werden diese Szenarien erstellt, indem:

- die Ausgangssituation erhoben,
- ein business as usual-Szenario erstellt und
- verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Einsatz von erneuerbaren Energien entwickelt werden.

Business as usual würde bedeuten, dass die Versorgungssicherheit mittelfristig gefährdet ist und die nationalen wie internationalen Klimaschutzziele nicht erreicht werden können. Die anderen Szenarien gehen daher von Verbesserungen bei den zwei grundsätzlichen Ansatzpunkten aus:

- Substanzielle Steigerung der Energieeffizienz,
- Steigerung der Nutzung von erneuerbarer Energien.

In dem vorliegenden Bericht werden die Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie von Abfällen vertiefend betrachtet.

In einem weiteren Bericht mit dem Titel „Energieeffizienz von Städten: Szenarien für eine sichere und klimaverträgliche Energieversorgung von Großstädten“ werden Szenarien für europäische Großstädte als auch die Projekte Masdar City und Dongtan vorgestellt.

Aufbau des Berichts, Einbezug der Abfallverbrennung

Im Folgenden wird zunächst anhand von Beispielen skizziert, wie bei der Erstellung von Potenzialanalysen für erneuerbare Energien vorgegangen wird. Dann wird betrachtet, wie die Ausgangssituation einzelner Städten ist und welche erneuerbaren Energien in Szenarien vorgesehen sind.

Schließlich wird speziell für Wien dargestellt, welche alternativen Energien dort bereits genutzt werden und welche technischen Potenziale noch bestehen.

In dem vorliegenden Bericht wird neben den erneuerbaren Energien (Geothermie, Biomasse, Solarenergie, Wasserkraft und Windenergie) auch die energetische Verwertung von Hausmüll mit betrachtet. Zwar stammen etwa 45 % des Kohlenstoffgehalts im Abfall aus fossilen Quellen, 55 % jedoch sind regenerativen Ursprungs (Bioabfall, Papier, Holz etc.) und führen damit bei ihrer Verbrennung nicht zur Freisetzung von klimarelevantem CO₂. (ÖWAV 2004). Grundsätzlich ersetzt die Abfallverbrennung fossile Brennstoffe, die ansonsten für die Bereitstellung von Strom, Dampf und/oder Wärme eingesetzt worden wären.

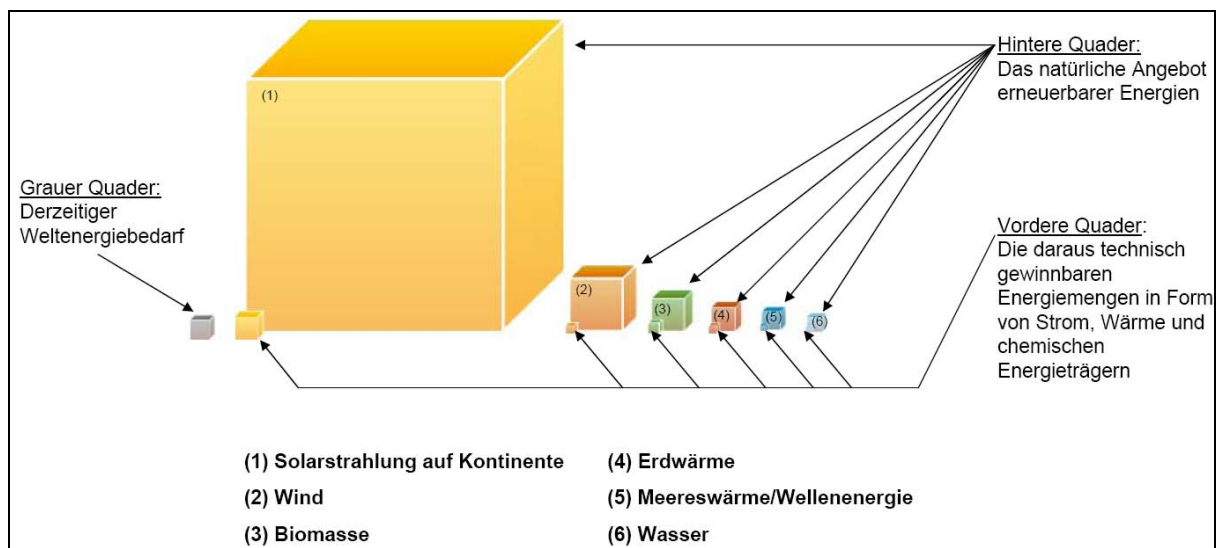
2 Potenzialanalysen zur Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von erneuerbaren Energien

2.1 Theoretische Grundlagen

Überblick

Erneuerbare Energien haben theoretisch das Potenzial, den gesamten Energiebedarf der Menschheit zu decken. Allein die Sonne strahlt in einer halben Stunde den gesamten Weltenergiebedarf eines Jahres auf die Erde ein. Dabei handelt es sich jedoch um das theoretische Potenzial, das durch technische und wirtschaftliche Einflussfaktoren beschränkt wird (BMU 2006).

Abbildung 1: Theoretisches und technisches Potenzial erneuerbarer Energien



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Saena (2007)

Im Rahmen von Potenzialstudien wird daher untersucht, welche erneuerbaren Energien im Untersuchungsgebiet technisch und wirtschaftlich genutzt werden können. Bei diesen Potenzialanalysen wird in der Regel ein mehrstufiges Analyseverfahren durchgeführt. Es wird zunächst das theoretische Potenzial ermittelt, danach die technischen Umsetzungseinschränkungen, bevor wirtschaftliche Kriterien mit einbezogen werden und

letztendlich auch auf gesellschaftliche Einschränkungen eingegangen wird.²

Theoretisches Potenzial

Das theoretische Potenzial einer erneuerbaren Energiequelle beschreibt das innerhalb einer gegebenen Region (Untersuchungsgebiet), innerhalb eines bestimmten Zeitraums, theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot (z.B. die von der Sonne auf die Erde eingestrahlte Energie oder die kinetische Energie des Windes im Jahresverlauf). Seine Bandbreite resultiert allein aus den Schwankungen des primären Energieangebotes bzw. der gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen. Es markiert damit die Grenze des theoretisch realisierbaren Beitrages einer alternativen Energie zur Energiebereitstellung (Blank/Schoepe 2003).

Technisches Potenzial

Das technische Potenzial erneuerbarer Energien beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist (Blank/Schoepe 2003).

Wirtschaftliches Potenzial

Unter dem wirtschaftlichen Potenzial einer erneuerbaren Energiequelle wird der Anteil des technischen Potenzials verstanden, der wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden kann. Seine Bandbreite wird stark von den konventionellen Vergleichssystemen und den Energieträgerpreisen beeinflusst. Das wirtschaftliche Potenzial ist daher vom technischen Potenzial, den konventionellen Vergleichssystemen, den Preisen und vom betrachteten Zeitpunkt abhängig. Außerdem ist die Wirtschaftlichkeit selbst eine relative Größe, da sie von einer Reihe unterschiedlicher Parameter abhängig ist (u.a. Zinssatz, Abschreibungsdauer, Eigenkapitalanteil, vor allem Kostensituation bei konventionellen Energieträgern).

Der Umfang des wirtschaftlichen Potenzials hängt zudem auch von der Perspektive ab, aus der die Wirtschaftlichkeit bestimmt wird. Hier ist zwischen einer einzelwirtschaftlichen, also individuellen, Perspektive und einem volkswirtschaftlichen Blickwinkel zu unterscheiden (Blank/Schoepe 2003). Bei einer einzelwirtschaftlichen Perspektive sind volkswirtschaftliche Schäden (z.B. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung oder Überschwemmungen) und Aufwendungen (z.B. Deichbau an Flüssen, Sicherung von Berghängen) externe Kosten und werden nicht eingerechnet. Diese Kosten sind hingegen bei einer volkswirtschaftlichen Perspektive integriert.³

² Die folgenden Potenzialdefinitionen sind in verkürzter Form aus Blank/Schoepe (2003) übernommen worden.

³ Die volkswirtschaftliche Perspektive wird u.a. in dem sogenannten Stern-Report deutlich: Im Jahr 2006 untersuchte der ehemalige Weltbank-Chefökonom (2000 bis 2003) und bis Juni 2007 Leiter des volkswirtschaftlichen Dienstes der britischen Regierung (Government Economic Service), Sir Nicholas Stern, die ökonomischen Folgen. Der sogenannte Stern-Report geht davon aus, dass die Gesamtkosten des Klimawandels im Falle eines Nicht-Handelns – gleichbedeutend mit dem Verlust von wenigstens 5 % des globalen Bruttoinlandsprodukts pro Jahr sein werden. Wenn man eine breitere Palette von Risiken und Einflüssen berücksichtigt, dann könnten die Schadensschätzungen auf 20 % oder mehr des Bruttoinlandsprodukts ansteigen. Im Gegensatz dazu können die Kosten des Handelns – also für das Reduzieren der Treibhausgasemissionen, um die schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden – auf etwa 1 % des globalen Bruttoinlandsprodukts pro Jahr begrenzt werden. Die Vorteile eines

Realisierbares Potenzial

Das realisierbare Potenzial erneuerbarer Energien beschreibt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer erneuerbaren Energie zur Energieversorgung. Dieses Potenzial ist in der Regel zumindest zeitweise geringer als das wirtschaftliche Potenzial. Letzteres ist nämlich im Allgemeinen nicht sofort, sondern erst innerhalb eines längeren Zeitraums infolge einer Vielzahl unterschiedlichster Restriktionen vollständig erschließbar. Dies liegt u.a. an den begrenzten Herstellerkapazitäten, der Funktionsfähigkeit der vorhandenen, noch nicht abgeschriebenen Konkurrenzsysteme sowie einer Vielzahl weiterer Hemmnisse (z.B. mangelnde Information, rechtliche und administrative Begrenzungen).

Das realisierbare Potenzial kann aber auch größer sein als das wirtschaftliche Potenzial, beispielsweise wenn die betreffende erneuerbare Energie aufgrund administrativer oder sonstiger Maßnahmen subventioniert wird oder wenn Bürger sich aus Idealismus für regenerative Energien entscheiden (Blank/Schoepe 2003) (gestrichelt umrandetes Kästchen in Abbildung 2).

Abbildung 2: Verfahren der Potenzialanalyse für erneuerbare Energiequellen



Quelle: Pröbstle 2004

entschiedenen und frühen Handelns überwiegen die wirtschaftlichen Kosten des Nichthandelns bei weitem, stellt der Stern-Report fest.

2.2 Beispiele für Potenzialanalysen erneuerbarer Energien

Im Folgenden wird exemplarisch jeweils eine Potenzialanalyse für

- die Nutzung von Solarenergie am Beispiel des Landes Berlin,
- die Nutzung von Geothermie am Beispiel der Metropole Ruhr,
- die Nutzung von Windenergie in Städten am Beispiel der Niederlande

beschrieben.

2.2.1 Potenzial zur Nutzung der Solarenergie in Berlin

Für Berlin wurde in einem sogenannten „Solaren Rahmenplan“ untersucht, wie hoch der Beitrag der Solarenergie zur Wärme- und Stromversorgung und damit zu den Klimaschutzanstrengungen der Stadt sein kann (Everding/Lindner 2007).

Der Rahmenplan stellt für das gesamte Stadtgebiet die langfristigen Potenziale der Solarenergienutzung dar. Für ausgewählte Stadträume mit Entwicklungs-, Erneuerungs- bzw. Umbaubebedarf wurden kurz- und mittelfristige Planungsempfehlungen und Projektvorschläge entwickelt. Die Ergebnisse des solaren Rahmenplans sollen als Grundlage dienen, um bei sich abzeichnenden Maßnahmen im Gebäudebereich frühzeitig Solarenergienutzung fördern zu können. Ähnlich wie beim städtebaulichen Rahmenplan sollen die Aussagen in planungsrechtlichen Verfahren der Bauleitplanung sowie in vorbereitenden Untersuchungen und städtebaulichen Verträgen berücksichtigt werden.

Leider ist der solare Rahmenplan der Stadt Berlin nicht öffentlich zugänglich. Einige Einblicke in die zugrunde liegende Methodik geben die Ergebnisse des Forschungsprojekts zu „Leitbildern und Potenzialen eines solaren Städtebaus“ (Ecofys, RWTH Aachen, FH 2004). Dieses Projekt legt den Ansatz zugrunde, dass Energieeffizienz und Solarenergienutzung in die städtebauliche Planung integriert werden, und prägt dafür den Begriff des „solaren Städtebaus“. Der solare Rahmenplan soll diesen Städtebau ermöglichen.

„In die Erstellung eines solaren Rahmenplans fließen ein:

- die topografischen, meteorologischen und baukulturellen Besonderheiten einer Stadt,
- die Typologie von 20 Stadtraumtypen mit unterschiedlichen solarurbanen Potenzialen,
- solare Gütezahlen, die als Planungskennziffern und zur Potenzialermittlung nutzbar sind,
- energetische Lösungsmodelle (optimierte Kombinationen von Wärmebedarfsreduzierung und umweltfreundlicher Wärmeversorgung) für die genannten Stadtraumtypen.“ (Everding und Lindner 2007).

Bei der Erstellung eines Rahmenplans wird für jeden in der Stadt relevant vertretenen Stadtraumtyp abgeschätzt, wie die dort anzutreffenden Dächer und Fassaden für die Installation aktiver Solartechnik geeignet sind. Dabei werden städtebaulich und baukulturell begründete Einschränkungen berücksichtigt. So ergeben sich solare Gütezahlen. Aus diesen Gütezahlen wird ein solarurbanes Flächenpotenzial errechnet.

„Der Solare Rahmenplan ist allerdings mehr als die Ermittlung der Flächen für Solaranlagen.

Auf der Basis von energetischen Lösungsmodellen definiert der Rahmenplan auch die für solare Wärmeversorgung relevanten Gebiete in der Stadt. Für die Wärmeversorgung kommen dabei die Gebiete nicht in Frage, die bereits von der Fernwärme (in KWK) erschlossen sind bzw. von einer Fernwärmenachverdichtung tangiert sein könnten. Solche vorhandenen und potenziellen Fernwärmegebiete sind gleichzeitig prädestiniert für die Installation solarer Stromgewinnungsanlagen.“ (Everding und Lindner 2007).

Abbildung 3: Solare Gütezahlen und Schemaschnitt der Solareinstrahlung für die Planung neuer Einfamilienhäuser in flächensparender Bauweise



Quelle: Everding und Lindner 2007

Der mit der dargestellten Methodik entwickelte Solare Rahmenplan Berlin kommt zu dem Ergebnis, dass der Beitrag der Solarthermie an der städtischen Wärmeversorgung langfristig 12 % erreichen kann. Dies ergibt ein Szenario für das Jahr 2050, bei dem insbesondere die Reduzierung des Wärmebedarfs von Gebäuden berücksichtigt wird. Da ein Großteil Berlins an das Fernwärmenetz angebunden ist und dieses weiter ausgebaut wird, stehen viele Dach- und Fassadenflächen für die solare Stromgewinnung zur Verfügung. Als potenzieller Beitrag der Fotovoltaik zur Stromgewinnung in Berlin wurde ein Anteil von 9 % ermittelt (Everding und Lindner 2007).

2.2.2 Potenziale der Geothermie in der Metropole Ruhr

Für Nordrhein-Westfalen (NRW) wurde 2005 flächendeckend das Potenzial für die Nutzung von Erdwärme zur Gebäudeheizung mittels Erdwärmesonden und Wärmepumpen bis zu einer Tiefe von 100 Metern ermittelt. In der „Geothermie-Studie Ruhrgebiet“ (Geologischer Dienst NRW 2005) wurden zudem für große Teile der Metropole Ruhr und des angrenzenden Niederrheingebiets Potenziale für tiefergeothermische Großanlagen ermittelt (Geologischer Dienst NRW 2009).

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie ist laut dieser Studie in Neubauten technisch problemlos möglich. Wenn auch noch auf niedrigem Niveau, so verzeichnet die Branche insgesamt derzeit einen Umsatzzuwachs von über 50 Prozent jährlich. Experten rechnen mit einer weiteren Intensivierung der Nachfrage und daher mit einem deutlichen Bedeutungszuwachs der Geothermie (Wirtschaftsförderung Metropolruhr 2009).

Die Abkühlung der betreffenden Bodenschichten ist insbesondere bei dichter Bebauung ein wichtiger Aspekt und in Städten auch ein Ausschlusskriterium für die Anwendung dieser Technologie. Hier kann eine solarthermische Ertüchtigung des geothermischen Potenzials eine Lösung sein. In Berlin gibt es dazu ein Modellprojekt (Wallstraße) (von der Heydt, 2009).

2.2.3 Potenzial zur Nutzung von Windenergie in Städten

Bisher wurden Windräder hauptsächlich für Freiflächen außerhalb von Städten konzipiert und es gilt, dass hohe Nabenhöhe und eine große Rotorblattlänge für mehr Energie sorgen. In Städten gibt es jedoch keine oder allenfalls nur wenige geeignete Standorte für die üblichen Großanlagen.

Seit einigen Jahren wird die Idee verfolgt, in Städten kleine Windräder auf den Gebäuden zu installieren. Es gibt auch Überlegungen Rotoren in Gebäude zu integrieren. Diese Anlagen werden als „Urban Wind Turbines“ (UWT) bezeichnet, die speziell für den städtischen Raum konzipiert sind. Die Entwicklung ist noch nicht weit fortgeschritten, denn diese UWT sind mit zwei Problemen konfrontiert: Zum einen bestehen schwer berechenbare Windverhältnisse, da diese in den Häuserschluchten oftmals verwirbeln. Zum anderen verursachen die Anlagen einen beachtlichen Lärmpegel sowie Vibrationen, die sich auf das Mauerwerk übertragen können. Da sie dabei relativ wenig Strom produzieren, ist das Interesse wohl weiterhin eher gering. Es gibt bereits verschiedene wissenschaftliche Studien zu UWTs.

Für die Niederlande kommt eine Studie zu dem Ergebnis, dass dort ein durchaus interessantes Potenzial für UWT besteht, insbesondere in Küstennähe: *The study [Wineur] resulted in an expected market potential between 116 and 1.161 MW in 2040. [...] To realise this potential the government must support research and development as well as pilot projects and market development for a period of approximately 12 years.*“ (Cace et al. 2007).

Tabelle 1: Marktpotenzial für urbane Windturbinen (UWT) in den Niederlanden

Market potential for UWT in the Netherlands	Coastal region		Inland		Total	
	low	high	low	high	low	high
Rotor area (m ²)	231.929	1.990.936	231.446	2.653.023	463.375	4.643.959
Amount of UWTs	23.193	199.094	23.145	265.302	46.338	464.396
Electric power (MW)**	58	498	58	663	116	1.161
Electricity generation* (GWh/year)	93	796	35	398	128	1.194
Share in the total energy demand in the Netherlands*** (%)	0,013	0,115	0,005	0,057	0,018	0,172

*1 GWh=1 million kWh; **based on 2.5 kW per UWT; ***total energy demand estimated as 2500 PJ/year

Quelle: Wineur zitiert nach Cace et al. (2007)



Ein aktuelles Beispiel für urbane Windturbinen findet sich auf der Hauptverwaltung des Familienunternehmens Werner & Mertz in Mainz, das durch seine Marken Frosch und Erdal bekannt ist. Auf dem Dach des Neubaus wurden 16 Windkraftanlagen installiert, die aufgrund der günstigen Windsituation in Rheinnähe pro Jahr voraussichtlich rund 132 Megawattstunden Strom erzeugen werden. Zusammen mit der 350 Quadratmeter großen Fotovoltaikanlage auf dem Dach kann somit mehr Strom erzeugt werden als im Jahr verbraucht wird. Beheizt wird das Gebäude über geothermische Grundwassernutzung. Insgesamt soll das Gebäude so CO₂ neutral betrieben werden (Werner & Merz 2010).

Quelle: Werner & Merz (2010)

3 Beispiele für den Einsatz erneuerbarer Energien in Großstädten

3.1 London

London ist mit ca. 7,5 Mio. Einwohnern die bevölkerungsreichste Stadt der Europäischen Union. Die Stadt hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2025 die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 60 % zu reduzieren. Zur Erreichung des Ziels ist insbesondere ein massiver Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung vorgesehen. Auch soll der Anteil an erneuerbaren Energien erhöht werden (Mayor of London, 2006).

Die Stadt London hat zusammen mit Greenpeace in der Studie „Powering London into the 21st Century“ verschiedene Szenarien entwickeln lassen, die unter Berücksichtigung des prognostizierten Energiebedarfs eine zukünftige emissionsarme Energieversorgung skizzieren, um so einen Pfad aufzuzeigen, wie das Emissionsziel erreicht werden kann (PBPower 2006). Ein guter Teil der Ergebnisse findet sich auch in ähnlicher Form in der Siemens-Studie „Sustainable Urban Infrastructure – London Edition – a view to 2025“.

In einem der für London erstellten Szenarien – dem sogenannten dezentralen Szenario – ist ein breiter Einsatz von folgenden alternativen Energietechnologien vorgesehen:

- Biomasse-KWK-Anlagen
- Biomasse-Kessel
- Brennstoffzellen
- Solarthermische Anlagen
- Windkraftanlagen
- Mikro-Windkraftanlagen
- Fotovoltaikanlagen (FV)

Einige dieser alternativen Energiequellen und -technologien werden bereits eingesetzt. So existieren beispielsweise zwei Windräder in Dagenham sowie FV- und Solarthermieanlagen auf diversen Gebäuden (Siemens 2008).

Für den Einsatz der genannten alternativen Energiequellen im Londoner Gebäudesektor, gemäß des „High Decentralised Scenario“, wurden Potenzialanalysen erstellt, um den Beitrag der unterschiedlichen Energiequellen quantifizieren zu können (siehe im Einzelnen hierzu PBPower (2006) Appendix C, S. 41 ff).

Abbildung 4: Dezentrales Szenario - Anteil erneuerbarer Energien in Gebäuden
(Zahlen in englischer Schreibweise, d.h. Komma entspricht Tausender-Punkt)

Table 3.2: High DE projections by energy contribution to building type, 2025																
DE TYPE	EXISTING DOMESTIC				NEW DOMESTIC				EXISTING NON-DOMESTIC				NEW NON-DOMESTIC			
	Electrical output		Thermal output		Electrical output		Thermal output		Electrical output		Thermal output		Electrical output		Thermal output	
	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr	MW	GWh/yr
CCGT CHP - Barking	n/a	n/a	300	710	n/a	n/a	100	237	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
CCGT CHP - (Eg Tilfen Land)	n/a	n/a	60	142	n/a	n/a	60	142	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Gas-engine CHP	2,500	12,500	2,794	12,853	100	500	112	514	750	1,875	838	1,928	100	250	112	257
Building-based CHP	0	0	0	0	0	0	0	0	150	300	255	510	15	30	26	51
Domestic CHP	135	270	630	1,260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Large-scale biomass CHP	60	420	90	319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waste to energy CHP (existing)	n/a	n/a	40	184	n/a	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waste to energy CHP (new)	n/a	n/a	155	563	n/a	n/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar thermal	n/a	n/a	210	120	n/a	n/a	210	120	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomass boilers	n/a	n/a	0	0	n/a	n/a	150	329	n/a	n/a	0	0	n/a	n/a	100	175
Micro-wind turbines	40	80	n/a	n/a	66	132	n/a	n/a	0	0	n/a	n/a	90	180	n/a	n/a
Photovoltaics	40	40	n/a	n/a	66	66	n/a	n/a	0	0	n/a	n/a	180	180	n/a	n/a
TOTAL	2,775	13,310	4,069	16,151	232	698	422	1,341	900	2,175	1,093	2,438	385	640	237	483

Domestic = Wohngebäude

Non Domestic = gewerblich genutzte Immobilien

CCGT = Combined Cycle Gas Turbines (GuD = Gas- und Dampfturbinen)

CHP = Combined Heat and Power (Kraft-Wärme-Kopplung)

Waste to energy = energetische Verwertung von Abfall

Quelle: PBPower (2006).

Als besonders interessant gilt es hierbei festzustellen, dass sogar in dem nördlich gelegenen London neben der Installation von Kleinstwindanlagen auch die Fotovoltaik einen beachtlichen Anteil der alternativen Energiequellen darstellen soll (Tabelle 2).

Tabelle 2: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in London

	Heute	Zukunfts- szenario		Heute	Zukunfts- szenario
Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
Windkraft	+	+	Solarthermie	+	+
Fotovoltaik	+	+	Geothermie	-	-
Wasserkraft	+	+	Biomasse	-	+
Biomasse	+	+	Müllverbrennung ⁴	-	+
Müllverbrennung	+	+			
Solarthermische KW	-	-	Sonstiges		
Geothermie	-	-	Solares Kühlen ⁵	-	+
Brennstoffzellen	-	+			

Quelle: Eigene Zusammenstellung

3.2 München

Die Stadt München hat ca. 1,35 Mio. Einwohner und ist damit hinter Hamburg und Berlin Deutschlands drittgrößte Stadt. München hat sich das Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Zur Erreichung dieses Ziels sollen verschiedene Hebel genutzt werden, wie z.B. die Wärmedämmung von Gebäuden, der vermehrte Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung, die Förderung sparsamer Elektrogeräte und Beleuchtungssysteme sowie der verstärkte Einsatz alternativer Energiequellen. Im Hinblick auf letzteres hat die Stadt München potenziell große Gestaltungsspielräume, da sie alleinige Eigentümerin der Stadtwerke München (SWM) ist, die mit den Geschäftsfeldern Strom, Gas und Fernwärme den kompletten Energiesektor abdecken.

Neben Heizkraftwerken betreiben die SWM zehn Wasserkraftwerke. Hinzu kommen diverse Solaranlagen, die Fröttmaninger Windkraftanlage, die Nutzung von Erdwärme in Riem und die Biogasanlage im Tierpark Hellabrunn, als neuestes Innovationsprojekt (Abbildung 5) (SWM 2009b). Weiterhin bestehen in München auch privat installierte Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien.

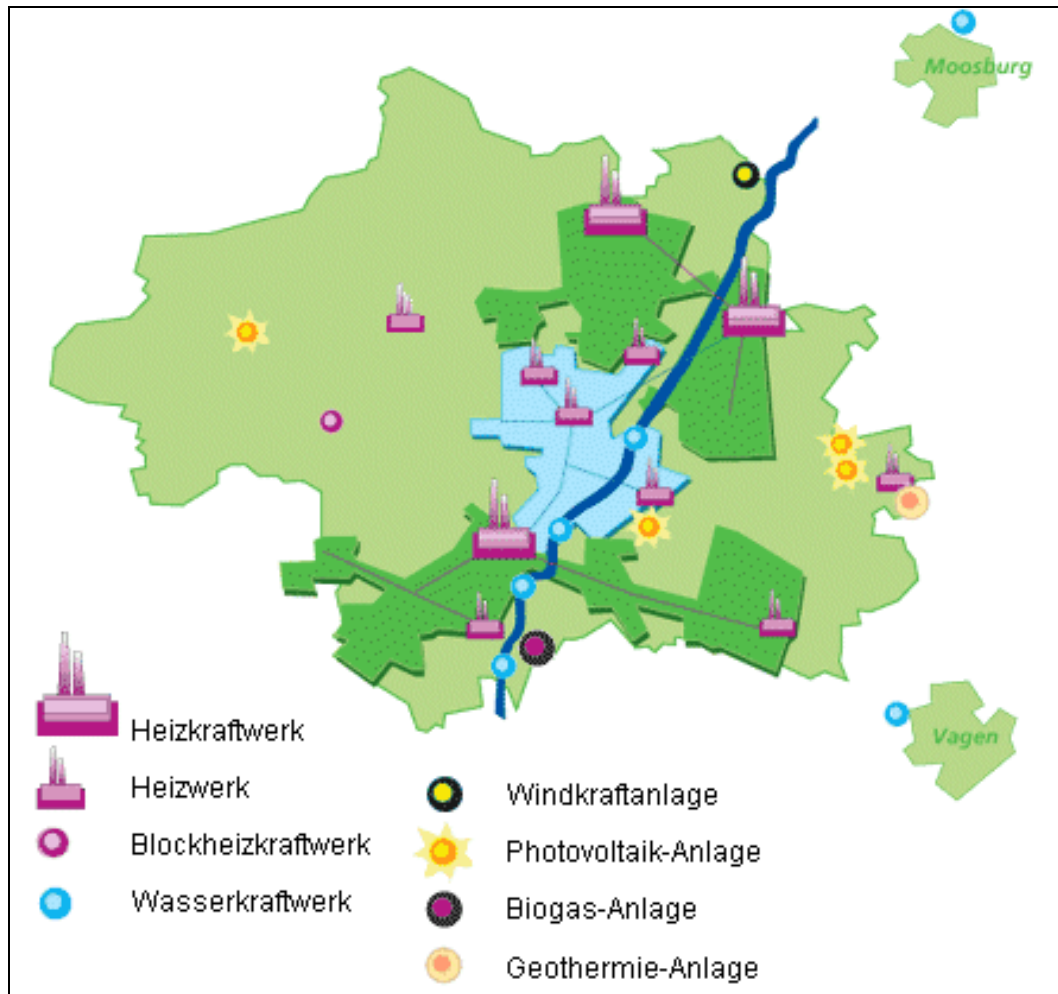
Auch für München hat Siemens eine Infrastrukturstudie erstellen lassen. In den dort enthaltenen Szenarien ist für die Energiebereitstellung ein Zusammenspiel verschiedenster Technologien vorgesehen. „Zum einen könnten sich die Haushalte und kleinere Mehrfamilienhäuser sehr effizient mit Mikro-KWK oder Brennstoffzellen mit Strom und Wärme versorgen. Hinzu kämen weitere dezentrale Erzeugungstechnologien wie etwa

⁴ Zum Einbezug der Abfallverbrennung in die Betrachtung siehe Seite 8.

⁵ Es gibt Stimmen, die die Potenziale für solares Kühlen grundsätzlich kritisch sehen. Siehe unter 4.8 Solares Kühlen (Seite 41).

Fotovoltaik, Windkraft oder große Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die mit Erdgas, Geothermie, Biogas oder fester Biomasse betrieben werden. Für die Abstimmung dieser vielen dezentralen Erzeugungseinheiten wird ein sogenanntes Smart Grid oder virtuelles Kraftwerk erforderlich sein.“ (Siemens 2009: 43).

Abbildung 5: Energieerzeugungsanlagen der SWM



Quelle: SWM (2009b)

Abbildung 6: Wärmeenergiebereitstellung in München

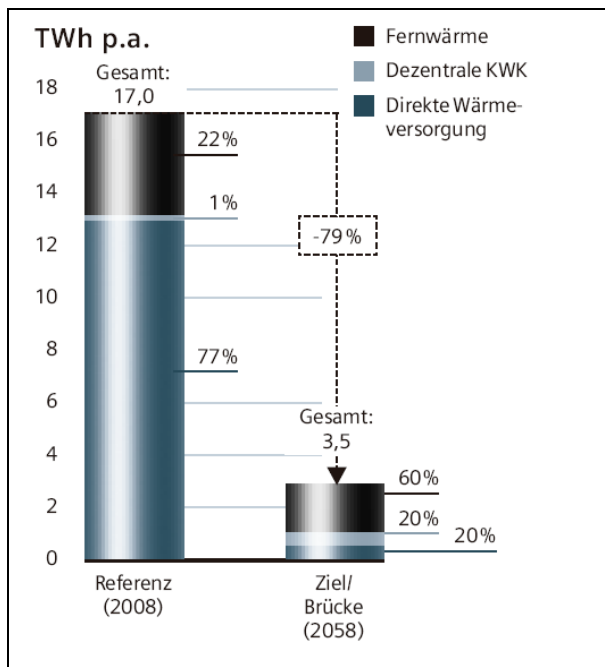
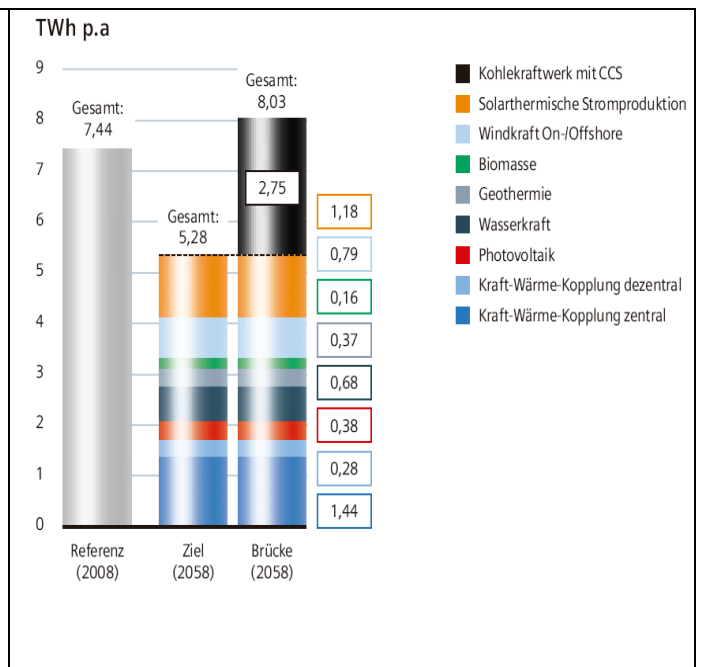


Abbildung 7: Strombereitstellung in München



Quelle: Siemens (2009)

Tabelle 3: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in München

	Heute	Szenario		Heute	Szenario
Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
Windkraft	+	+	Solarthermie	+	+
Fotovoltaik	+	+	Geothermie	+	+
Wasserkraft	+	+	Biomasse	+	+
Biomasse	+	+	Müllverbrennung	+	+
Müllverbrennung	+	+			
Solarthermische Kraftwerke	-	- ⁶	Sonstiges		
Geothermie	+	+	Fernkälte (Grundwasser)	+	+

Quelle: eigene Zusammenstellung

⁶ In dem Szenario wird auch der Bezug von Strom aus solarthermischen Kraftwerken berücksichtigt. Diese würden sich jedoch in Südeuropa oder Nordafrika befinden und sind also keine Nutzung in der Stadt.

3.3 Stockholm

In der schwedischen Hauptstadt Stockholm leben ca. 1,2 Mio. Menschen (ca. 750.000 davon in der Gemeinde Stockholm). Die Jahresmitteltemperatur beträgt gerade einmal 6,6 °C (zum Vergleich: München 8 °C, Wien 9,9 °C).

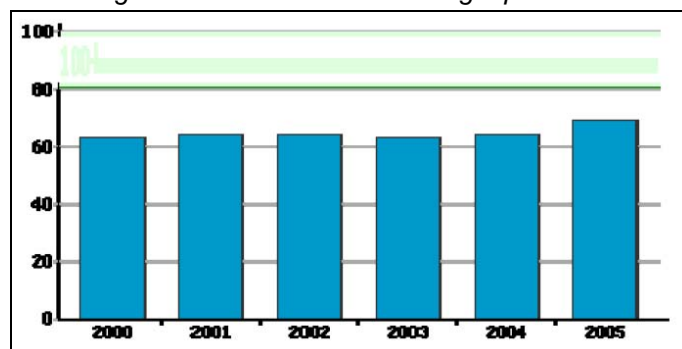
In ihrem „Action Programme on Climate Change“ hat sich die Stadt Stockholm im Jahr 2002 das Ziel gesetzt, den CO₂-Ausstoß seiner Einwohner bis 2015 auf 3 t CO_{2eq} zu reduzieren und bis 2050 „fossil free“ zu sein (City of Stockholm 2002, 2008).

Ausgangssituation

Die Stromversorgung Stockholms wird von verschiedenen Energieversorgungsunternehmen gewährleistet. Es existieren innerhalb der Stadtgrenzen zwei Wasserkraftwerke, drei Windkraftanlagen sowie elf konventionelle KWK-Anlagen. Zur Stromproduktion tragen die konventionellen Kraftwerke 1.610 GWh Bruttostromproduktion bei, Wasserkraft und Windkraft jeweils lediglich 1 GWh.

In dem o.g. „Action Programme on Climate Change“ war 2002 unter anderem auch vorgesehen, ein Heizwerk auf die Befuerung mit Abfall umzurüsten und dort auch Strom zu produzieren. Des weiteren war eine Umrüstung des Kohlekraftwerks Varda angekündigt, die eine Zufeuerung mit Biomasse ermöglichen soll. Mittlerweile sind etwa 70 % der Stockholmer Bevölkerung an das städtische Fernwärmenetz angeschlossen, der Anteil erneuerbarer Energiequellen zur Wärmeenergiebereitstellung im Fernwärmenetz wird ständig erhöht und beträgt mittlerweile ebenfalls ca. 70 % (City Of Stockholm 2008).

Abbildung 8: Anteil erneuerbarer Energiequellen im Betrieb der Fernwärmenetze von Stockholm



Quelle: City of Stockholm (2008)

Große Anstrengungen unternimmt Stockholm auch im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs. Bereits jetzt werden 30 Busse mit Biogas und 380 mit Ethanol betrieben. Ziel ist es, den Anteil an den insgesamt 1.800 Bussen bis zum Jahr 2020 auf 100 % auszubauen (City of Stockholm 2008).

Betrachtet man den gesamten Energieverbrauch von Stockholm, zeigt sich, dass mehr als die Hälfte der benötigten Energie importiert wird und dass die heimische Energie zu knapp 30 % von regenerativen Energieträgern gestellt wird. Dabei wird über Biomasse-basierte

Kraftstoffe (Bio fuels) mehr Energie in die Energieversorgung eingebracht als über die Abfallverbrennung (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Energieverbrauch in der Metropolregion Stockholm

Category	1980	1990	2000	2004
Inhabitants (million)	1,53	1,64	1,82	1,87
Working places (million)	0,85	0,93	0,94	0,94
Cars per 1000 inhabitants	301	366	392	403
Energy supply (TWh) - total				
Waste (TWh)	0,3	0,6	2,1	2,6
Bio fuels (TWh)	0	0,9	4,5	5,1
Electricity (import)	12,1	20,7	20,3	22,2
Oil based products (TWh)	35,5	18,4	19,1	18
whereof for traffic purposes in %	30	57	63	76

Quelle: Viehhauser (2008).

Auch Fernkälte wird in Stockholm regenerativ erzeugt. Kürzlich wurde ein Kühlwerk in Betrieb genommen, das das kühle Meerwasser nutzt, um Kälte in das Netz einzuspeisen.

Zusammenfassend lässt sich die derzeitige Energieträgernutzung folgendermaßen beschreiben: Es dominiert ein hoher Anteil an Biokraftstoffen für den Verkehrsbereich. Im Bereich der stationären Energieversorgung nimmt der Anteil an Holzpellettheizungen und Wärmepumpen in Einfamilienhäusern zu. Auch ein zunehmender Anteil an Biogasnutzung ist zu verzeichnen. Solar- und Windenergie werden nur zu einem sehr geringen Anteil genutzt (Viehhauser 2008).

Tabelle 5: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Stockholm

	Heute	Zukunfts-szenario		Heute	Zukunfts-szenario
Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
Windkraft	+	+	Solarthermie	+	+
Fotovoltaik	+	+	Geothermie	-	-
Wasserkraft	+	+	Biomasse	+	+
Biomasse	+	+	Müllverbrennung	+	+
Müllverbrennung	+	+			
Solarthermische Kraftwerke	-	-	Sonstiges		
Geothermie	-	-	Fernkälte (Meerwasser)	+	+

Quelle: eigene Zusammenstellung

3.4 Hamburg

Hamburg, mit ca. 1,8 Mio. Einwohnern die zweitgrößte Stadt Deutschlands, hat sich in ihrem neuen Klimaschutzkonzept von 2007 das Ziel gesetzt, die Klimaschutzmaßnahmen zu intensivieren und die eigenen CO₂-Emissionen bis 2020 um 40 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren. Hierfür werden vor allem Energieeffizienzmaßnahmen und ein Wechsel von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen in allen Energieverbrauchssektoren als erforderlich angesehen.

Erneuerbare Energien in Hamburg

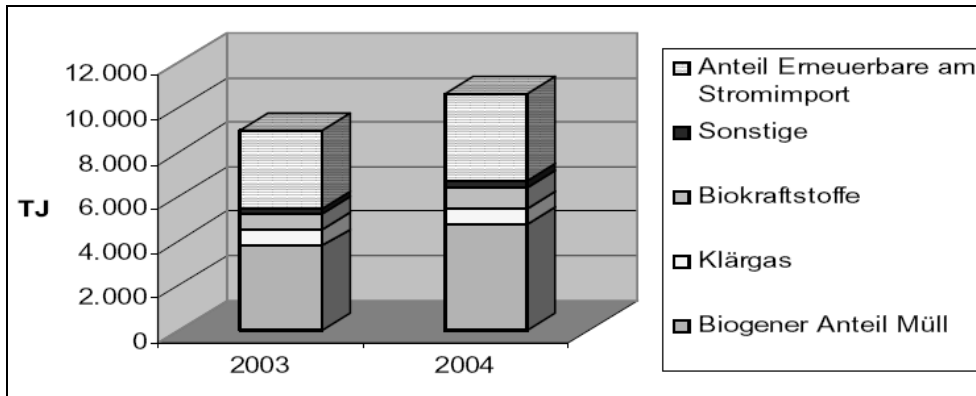
Hamburgs Anstrengungen zum Klimaschutz gehen bis in die Mitte der 1990er Jahre zurück. So subventioniert Hamburg seit 1997 die Errichtung solarthermischer Anlagen im Zuge seines Arbeits- und Klimaschutzprogramms. Seither wurden ca. 7 Mio. € investiert und dadurch eine Fläche von 36.000 m² Solarkollektoren installiert.⁷ Seit 2005 werden aus Mitteln des Programms auch Bioenergie-Anlagen (inkl. Holzpellets und BHKWs) subventioniert. Diese Anlagen haben mittlerweile eine Gesamtleistung von 14,5 MW. Seit Ende 2007 werden in Hamburg Hauseigentümer bezuschusst, die ihre Dachflächen für FV-Anlagen zur Verfügung stellen. Dadurch konnten seither ca. 1 MW elektrische Leistung installiert werden (Hamburg 2008: 3).

Die Angaben zum Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien geben Aufschluss über die Nutzung der verschiedenen erneuerbaren Energiequellen Hamburgs. Es dominiert die energetische Abfallverwertung, bei der Hamburg eine Vorreiterrolle eingenommen und die inzwischen einen sehr hohen Stand erreicht hat. Auch Biokraftstoffe, für die es inzwischen eine gesetzliche Beimischungspflicht⁸ gibt, haben einen deutlichen Anteil. Flächenintensive Erzeugungsformen erneuerbarer Energien spielen eine untergeordnete Rolle. Windkraft und überraschenderweise auch Solarenergie laufen bislang noch unter „Sonstige“.

⁷ Ein Quadratmeter Kollektorenfläche produziert eine Wärmeleistung von 400-500 kW.

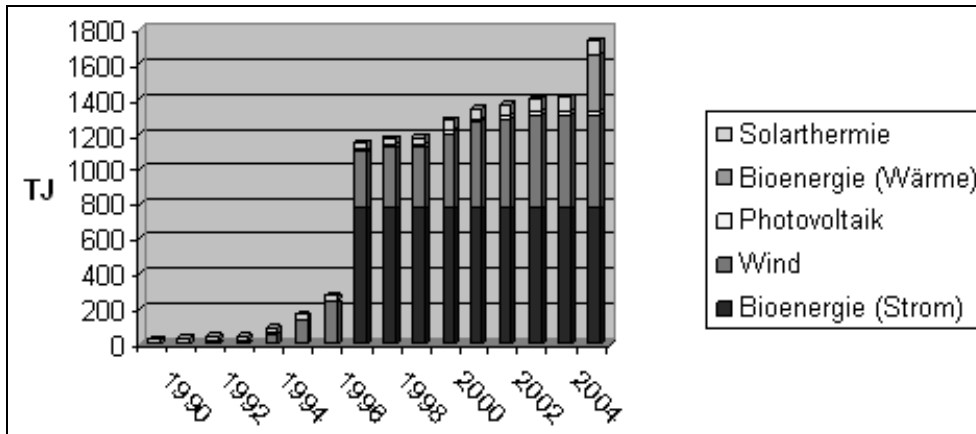
⁸ Seit 2007 gilt in Deutschland eine Beimischungspflicht von 4,4 % Biodiesel zu herkömmlichem Diesel. In Österreich sieht die Novelle der Kraftstoffverordnung (KVO) seit 1.1.2009 ein Substitutionsziel von 5,75 % (energetisch) bei den in Verkehr gebrachten Treibstoffmengen vor.

Abbildung 9: Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien



Quelle: Senat Hansestadt Hamburg (2007)

Abbildung 10: Marktentwicklung erneuerbare Energien in Hamburg



Quelle: Senat Hansestadt Hamburg (2007)

Es ist geplant, die Windparks im Eigentum des stadteigenen Unternehmens „Hamburg Wasser“ von derzeit etwa 33 MW auf über 100 MW auszubauen.

Tabelle 6: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Hamburg

	Heute	Zukunfts- szenario		Heute	Zukunfts- szenario
Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
Windkraft	+	+	Solarthermie	+	+
Fotovoltaik	+	+	Geothermie	-	+
Wasserkraft	-	-	Biomasse	+	+
Biomasse	+	+	Müllverbrennung	+	+
Müllverbrennung	+	+			
Solarthermische Kraftwerke	-	-	Sonstiges		
Geothermie	-	-	Fernkälte (Solar, Geothermie)	-	+

Quelle: eigene Zusammenstellung

In 2006 wurde ein Biogasheizkraftwerk mit einer Leistung von 1 MW_{el} und 1,1 MW_{th} errichtet (Biowerk Hamburg 2009). Die Nutzung biogener Abfälle zur Energieerzeugung wird weiter gefördert. Weiterhin soll verstärkt Holz aus den Hamburger Forsten energetisch genutzt werden. Die stadteneigene Wohnungsbaugesellschaft SAGA/GWG hat inzwischen das Holzheizkraftwerk Hamburg-Lohbrügge errichtet, das seit August 2008 etwa 58.000 MWh Wärme und 13.000 MWh Strom pro Jahr produziert⁹. Darüber hinaus sollen solarthermische und FV-Anlagen weiter ausgebaut werden.

3.5 Zusammenfassung

Die Städte London, München, Stockholm und Hamburg haben gemeinsam, dass sie sich jeweils ambitionierte Ziele zur Reduktion ihrer CO₂-Emissionen gesetzt haben.

Um diese Ziele zu erreichen, sind

- eine substanzielle Senkung des Wärmeverbrauchs,
- einer Steigerung der Effizienz in der Erzeugung und
- der Ausbau der Nutzung regenerativer Energien

vorgesehen. Die dazu erstellten Energieszenarien sind in dem Arbeitspapier „Energieeffizienz von Städten“ ausführlicher dargestellt. Die Angaben in den Szenarien und Planungen lassen gut erkennen, welche Formen erneuerbarer Energien genutzt werden sollen, jedoch werden nicht ausreichend Aussagen getroffen, aus denen sich quantitative Vergleiche aufstellen lassen. In folgender Tabelle 7 wird dargestellt, welche Technologien in den betrachteten Städten bereits heute eingesetzt werden (Symbol ●) und wo Technologien noch neu eingeführt werden sollen (Symbol +). Nicht dargestellt ist der geplante Ausbau

⁹ http://www.kwa-ag.de/dokumente/Lohbruegge_Broschuere.pdf

bestehender Technologien, der in den meisten Städten vorgesehen ist.

In dieser Zusammenschau lassen sich zum einen die Auswirkungen der Standortgegebenheiten erkennen. Während überall Biomasse, Solarthermie und Windkraft genutzt wird, stehen Wasserkraft und Geothermie nicht an allen Orten zur Verfügung.

Bemerkenswert ist, dass auch in den nördlich gelegenen Städten London und Stockholm Solarthermie und Fotovoltaik bereits jetzt vorhanden sind und weiter ausgebaut werden sollen, obwohl die klimatischen Verhältnisse die Erträge aus diesen Technologien beeinträchtigen.

Insgesamt ist festzustellen, dass gemäß der betrachteten Szenarien und Planungen fast alle derzeit verfügbaren alternativen Energiequellen ausgebaut werden sollen. Jedoch auch bei Ausschöpfung der vorhandenen Potenziale können erneuerbare Energien den Strombedarf einer Großstadt jedoch nicht vollständig abdecken. Die betrachteten Städte – und dies gilt sicherlich mehrheitlich auch für andere Städte auch – werden weiterhin von der Versorgung mit Energieträgern (fossil, Biomasse oder Strom) aus dem Umland abhängig sein. Perspektivisch können Städte dennoch klimaneutral werden, wenn die vorhandenen großen Energieeffizienzpotentiale erschlossen werden und die von außen bezogene Energie, also insbesondere der Strom aus regenerativen Quellen stammt.

Tabelle 7: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Städten

	London	München	Stockholm	Hamburg
Stromerzeugung				
Windkraft	●	●	●	●
Fotovoltaik	●	●	●	●
Wasserkraft	●	●	●	
Biomasse	●	●	●	●
Müllverbrennung	●	●	●	●
Solarthermische Kraftwerke				
Geothermie		●		
Wärmeerzeugung				
Solarthermie	●	●	●	●
Geothermie		●		+
Biomasse	+	●	●	●
Müllverbrennung	+	●	●	●
Kälteerzeugung				
Fernkälte auf Basis Solarthermie /Geothermie / Meer- oder Grundwasser	+	●	●	+

● = bereits eingesetzt

⊕ = in Szenarien oder Planungen vorgesehen

4 Erneuerbare Energien in Wien

4.1 Zielsetzungen zu erneuerbaren Energien im Klimaschutzprogramm der Stadt Wien

In Wien wurden zwischen 1996 und 1999 unter Beteiligung von über 300 Fachleuten aus Stadtverwaltung, Stadtwerken und anderen Institutionen mehrere Ansätze zum kommunalen Klimaschutz entwickelt. Eines der Ergebnisse dieses Prozesses war das „Klimaschutzprogramm Wien“ (KliP), in dem die Stadt Wien ihre Ziele und die Stoßrichtung der Klimaschutzpolitik bis 2010 festlegte. Mit mehreren Maßnahmebündeln soll bis 2010 eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 14 % gegenüber 1990 erreicht werden. Im Bereich Stromversorgung und Fernwärme ist vorgesehen, dass die Reduktionen durch Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, der Nutzung von Abwärme aus der Industrie sowie den Ausbau erneuerbarer Energieträger erreicht werden soll. Dabei sollen mindestens 3 % der an Endverbraucher abgegebenen Elektrizität aus Anlagen auf Basis fester oder flüssiger Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, Wind, Geothermie und Sonne stammen. KliP berücksichtigt in dem 3 %-Ziel für erneuerbare Energien also weder Wasserkraft noch die Erzeugung aus Abfallverbrennung.

Mittlerweile beträgt die jährliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) 155 GWh. Das sind 2,3 % der Wiener Gesamtproduktion (bzw. 12,7 % der Stromproduktion) von 2008.

Im Folgenden wird ein Überblick über den Stand des Einsatzes verschiedener alternativer Energiequellen gegeben und auf noch vorhandene Potenziale eingegangen.

4.2 Biomasse

Stand

Die energetische Nutzung von Biomasse trägt derzeit zu rund 1,5 % zur Deckung des jährlichen Strombedarfs in Wien bei. Den höchsten Anteil daran hat das Wald-Biomasseheizkraftwerk Simmering. Die im Jahr 2008 in Betrieb genommene Anlage – Europas größtes Biomassekraftwerk überhaupt – ist ein Gemeinschaftsprojekt von Wien Energie und den österreichischen Bundesforsten. Wien Energie ist für den Betrieb zuständig, während die Bundesforste das Brenngut liefern.

Befeuert wird das Kraftwerk mit jährlich 600.000 Schüttraummeter Waldhackgut, welche zu 80 % aus einem Umkreis von 100 Kilometern angeliefert werden. In der Heizperiode wird bei einer kombinierten Erzeugung von Strom und Fernwärme (KWK) ein Anlagenwirkungsgrad von 84 % erreicht. Damit können rund 12.000 Haushalte mit Wärme und rund 48.000 Haushalte mit Strom versorgt werden. Im Sommer können bei ausschließlicher Verstromung rund 57.000 Haushalte mit grünem Strom versorgt werden (Wien Energie 2009a).

Im Stadtteil Wien-Donaustadt wurde 2009 die bislang leistungsstärkste geförderte Biomasseheizung Wiens errichtet. Das Biomasse-Blockheizwerk mit einer jährlichen Leistung von 660 MWh versorgt eine mit Unterstützung aus Mitteln der Wiener Wohnbauförderung neu errichtete Siedlung mit insgesamt 89 Wohnungen mit Heizwärme

(Stadt Wien 2009a). Die Anlage wurde von der Stadt Wien mit 184.000 Euro gefördert. Der Jahresbedarf an Holzpellets für den Betrieb dieser Anlage liegt bei 200 Tonnen (Ökonews 2009a).

Potenzial

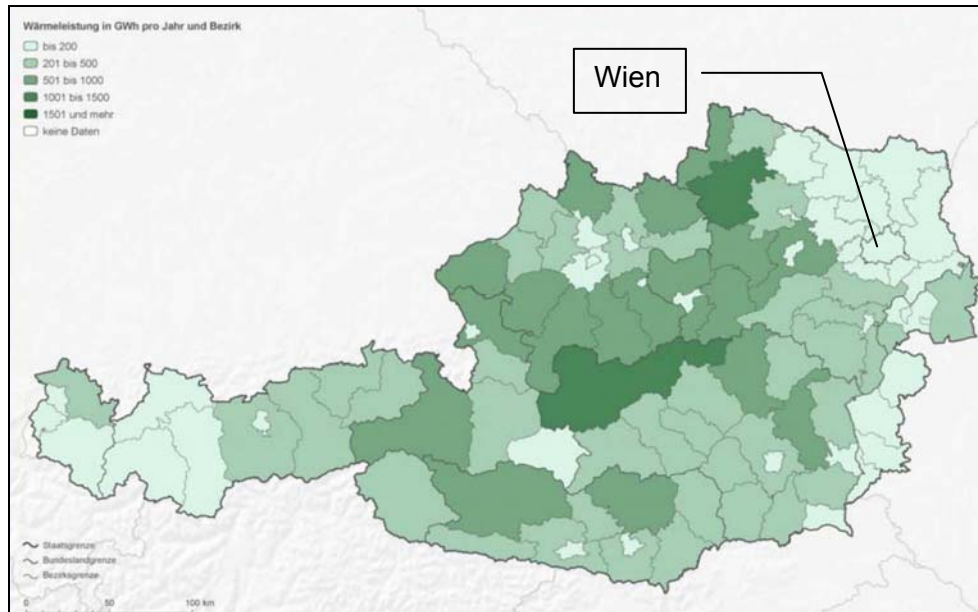
Die Diskussion um das Potenzial von Biomasse zur Energiegewinnung in Österreich wird kontrovers geführt. Walter Boltz, Geschäftsführer von E-Control, äußerte sich bereits 2007 äußerst skeptisch bezüglich des verbleibenden Potenzials von Biomasse als Energieträger zur Stromgewinnung (Endl 2007). Auch eine Studie, die das Wiener Beratungsunternehmen Brainbows mit Unterstützung der Landwirtschaftskammer Niederösterreich im Zeitraum Jänner bis Mai 2007 durchgeführt hat, kommt zu dem Ergebnis, dass unter optimistischen Schätzungen (Biomassescenario) die Ressourcen zur Erreichung des Bedarfs an Biomasse laut des österreichischen Biomasseaktionsplans nicht allein in Österreich aufgebracht werden können (Brainbows 2007).

Zur Versorgung des Biomassekraftwerks in Simmering (und der vielen von der Stadt geförderten Kleinanlagen) ist es schon heute nicht möglich, die benötigte Biomasse vollständig aus dem näheren Umland (100 km Umkreis) zu beziehen. Derzeit müssen 20 % aus anderen Regionen nach Wien transportiert werden. Auch wird zur Zeit untersucht, ob sich das deutlich reduzierte Volumen an Totholz auf die Biodiversität der Forste auswirkt.

Diese Umstände legen die Vermutung nahe, dass das Potenzial an Holzbiomasse im Umkreis von 100 km bereits an seine Grenzen gestoßen ist. Das Projekt „Regio Energy“, das 2008 die technischen Potenziale erneuerbarer Energien in Österreich untersucht hat, liefert weitere Hinweise, dass das Biomassepotenzial (Forst) in der Umgebung von Wien weitgehend ausgeschöpft ist. Aus den Daten geht hervor, dass in der Umgebung von Wien im österreichischen Vergleich ein eher niedriges Biomassepotenzial vorhanden ist (Abbildung 11).

Inwiefern noch nennenswerte Potenziale bezüglich Biomasse aus landwirtschaftlichen Abfällen bestehen, wurde nicht ermittelt.

Abbildung 11: Biomasse Forst – Bestand (Stand 2008)



Quelle: Regio Energy 2009

4.3 Energetische Abfallnutzung

Die Müllverbrennungsanlagen¹⁰ von Wien Energie Fernwärme sind an den Standorten Spittelau und Flötzersteig gelegen. Am Standort Simmering befindet sich die Sonderabfall- und Klärschlammverbrennungsanlage Simmeringer Haide. Die Ende 2008 in Betrieb gegangene Müllverbrennungsanlage Pfaffenau befindet sich nicht im Eigentum von Wien Energie, wird jedoch von Wien Energie Fernwärme betrieben und ist ebenfalls am Standort Simmering gelegen. Durch die Abfallverbrennung können in Wien etwa 225.000 Haushalte mit Fernwärme und rund 60.00 Haushalte mit Strom versorgt werden (Wien Energie 2009b).

¹⁰ Wie bereits in der Einleitung dargestellt wird in dem vorliegenden Bericht neben den erneuerbaren Energien (Geothermie, Biomasse, Solarenergie, Wasserkraft und Windenergie) auch die energetische Verwertung von Hausmüll mit betrachtet. Zwar stammen etwa 45 % des Kohlenstoffgehalts im Abfall auf fossilen Quellen, 55 % jedoch sind regenerativen Ursprungs (Bioabfall, Papier, Holz etc.) und führen damit bei ihrer Verbrennung nicht zur Freisetzung von klimarelevantem CO₂. (ÖWAV 2004). Grundsätzlich ersetzt die Abfallverbrennung fossile Brennstoffe, die ansonsten für die Bereitstellung von Strom, Dampf und/oder Wärme eingesetzt worden wären.

Tabelle 8: Energetische Leistung der Müllverbrennungsanlagen in Wien

Müllverbrennungsanlage	Elektrische Energie		Fernwärme	
	GWh/a	Versorgte Haushalte*	GWh/a	Versorgte Haushalte*
Flötzersteig	-	-	430	55.000
Simmeringer Haide	55	21.000	470	60.000
Spittelau	40	15.000	470	60.000
Pfaffenu	65	25.000	410	50.000
Summe	160		1.710	

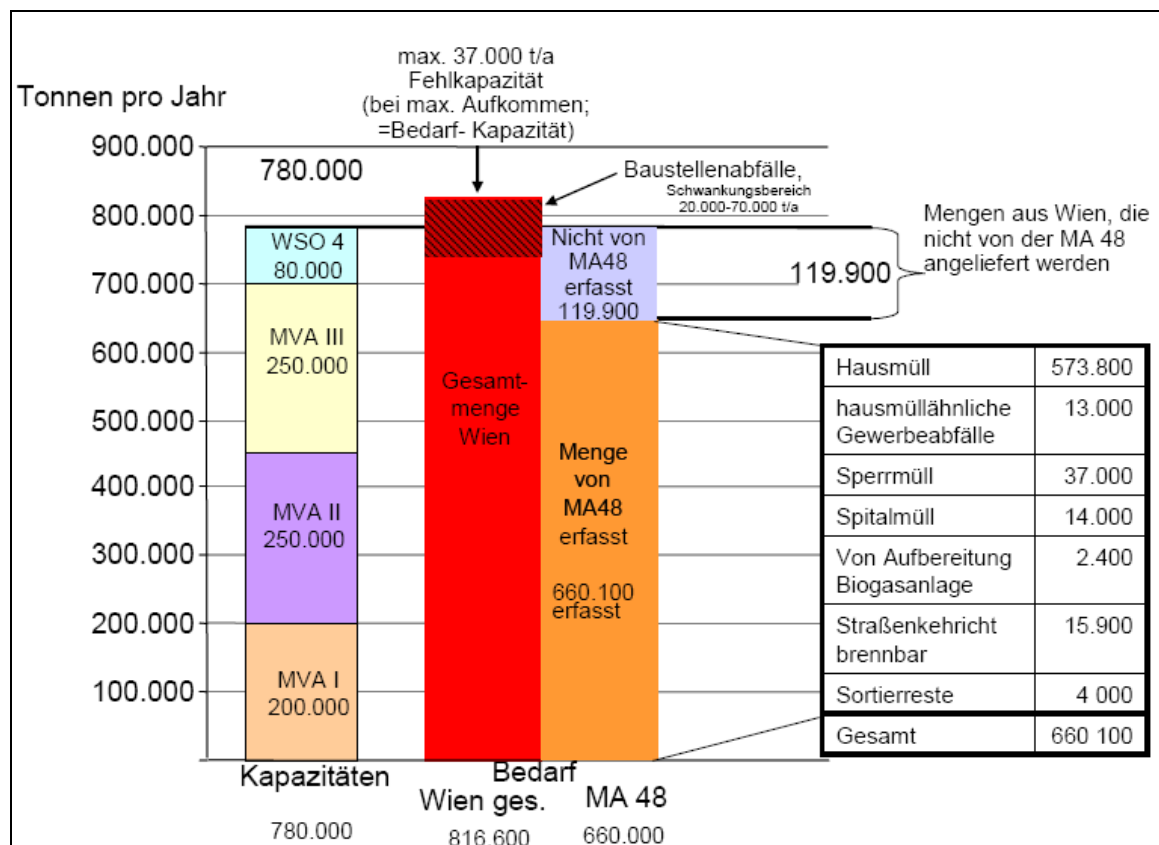
* Zugrunde gelegt wurde der durchschnittliche Energieverbrauch der Wiener Haushalte

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Wien Energie (2008).

Potenzial

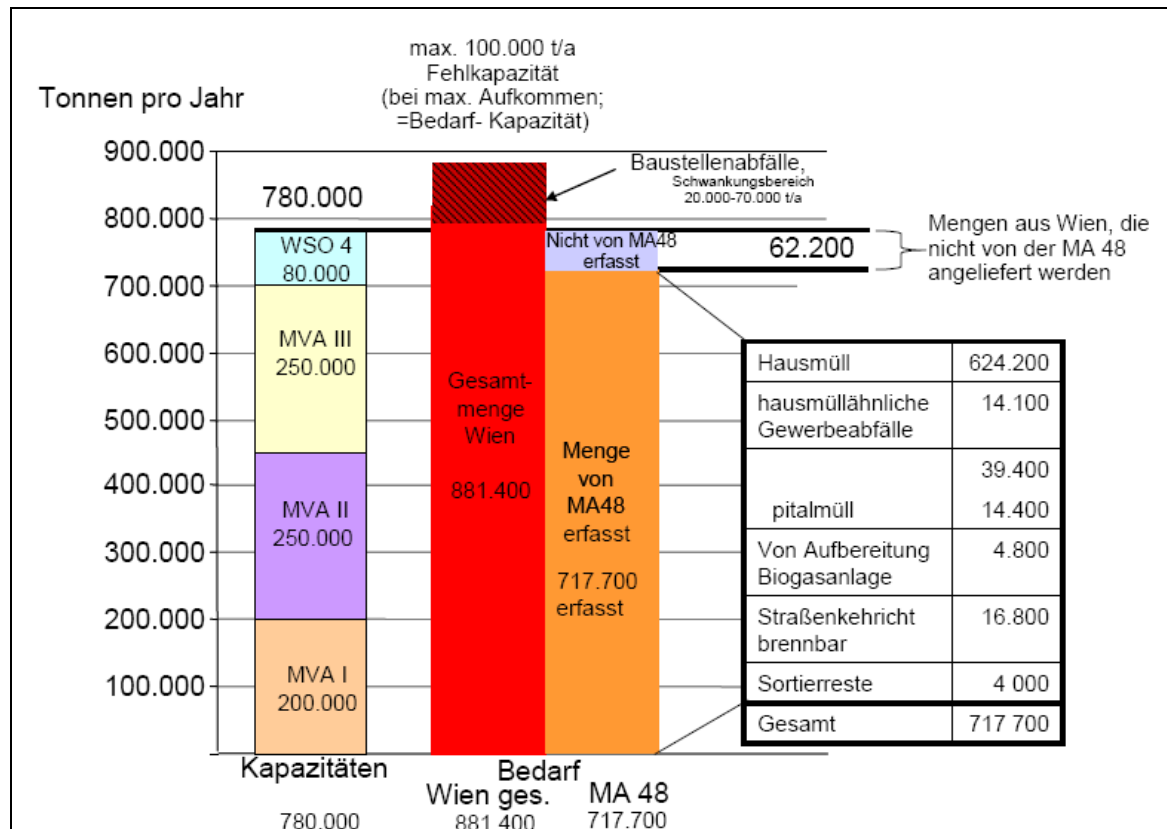
Im Rahmen des Abfallwirtschaftskonzepts 2007 der Stadt Wien wurde eine Prognose des Aufkommens aller brennbaren Abfälle in Wien inklusive brennbarer Baustellenabfälle für die Jahre 2012 und 2017 erstellt (Stadt Wien 2007), vgl. die beiden folgenden Abbildungen.

Abbildung 12: Gegenüberstellung des Bedarfs an Verbrennungskapazitäten mit den vorhandenen Kapazitäten für das Jahr 2012



Quelle: Stadt Wien 2007 (Prognose SUP; unter der Annahme eines mittleren Heizwertes H_u von 9,5 MJ/kg)

Abbildung 13: Gegenüberstellung des Bedarfs an Verbrennungskapazitäten mit den vorhandenen Kapazitäten für das Jahr 2017



Quelle: Stadt Wien 2007 (Abschätzung SUP – hohe Unsicherheiten; unter der Annahme eines mittleren Heizwertes H_u von 9,5 MJ/kg)

„Aus heutiger Sicht kann sowohl für das Jahr 2012 als auch für 2017 kein Bedarf an zusätzlichen Verbrennungskapazitäten in Wien abgeleitet werden.“

Zwar sind die Mengenprognosen für 2017 mit großen Unsicherheiten behaftet, doch wurden zur Sicherheit bei den sehr stark schwankenden Abfallarten die höheren Werte angenommen (z.B. Annahme der oberen Bandbreite bei den Baustellenabfällen). Insgesamt ist daher nicht mit einem weiter zu erschließenden Potenzial an brennbaren Abfällen in Wien zu rechnen.

Es bestehen allerdings noch Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz der Abfallverbrennungsanlagen. So soll die Jahr 1971 erbaute und 1987 nach einem Großbrand neu gestaltete Müllverbrennungsanlage Spittelau bis 2014 modernisiert werden. Vorgesehen ist eine energiewirtschaftliche Optimierung, konkret die Anhebung der Dampfparameter, eine Erneuerung der Dampfturbine und die Optimierung der Kesselgeometrie. Dadurch wird eine deutliche Anhebung der Stromerzeugung von bisher 6 MW auf 14 MW erreicht bei gleich bleibender Wärmeauskoppelung. Der Gesamtwirkungsgrad verbessert sich von bisher 70 % auf 76 %.

4.4 Wasserkraft

Stand

Die Wasserkraft spielt eine historisch bedeutende Rolle der Stromversorgung von Wien. Bereits 1924 wurde im etwa 150 km entfernten Opponitz ein Wasserkraftwerk in Betrieb genommen, das die damalige Erzeugung aus den Wiener Kohlekraftwerken ergänzte. Das Wasserkraftwerk Opponitz wurde Jahr 1995 modernisiert und erbringt ein durchschnittliches jährliches Regelarbeitsvermögen von 66.800 MWh.

In Wien selbst wurde 2004/05 am Beginn des Donaukanals in das Nussdorfer Wehr ein Kleinwasserkraftwerk eingebaut. Da das Wehr ein Jugendstil-Bauwerk ist, wurden dabei keine nach außen sichtbaren Veränderungen vorgenommen. Die Anlage erzeugt jährlich etwa 24,6 Gigawattstunden (GWh) Strom, womit etwa 10.000 Wiener Haushalte mit Strom versorgt werden können. Das Kraftwerk ist ein Gemeinschaftsprojekt von Wien Energie Wienstrom, VERBUND-Austrian Hydro Power AG (AHP) und evn Naturkraft (Stadt Wien 2009b).

Potenzial

Das verbleibende Potenzial für den Ausbau der Wasserkraft in Wien ist nach einer Studie von Pöyry (2008) relativ gering. Zwar kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass vor allem östlich von Wien rein technisch gesehen noch großes Potenzial besteht, dieses kann jedoch aus Naturschutzgründen nicht erschlossen werden (siehe auch Abbildung 15). Es handelt sich hierbei um das in den 1980er Jahren projektierte Wasserkraftwerk Hainburg. Gegen dieses Vorhaben richtete sich ein breiter Bürgerprotest, da dieses einen der letzten und einen besonders wertvollen naturbelassenen Abschnitt der Donau zerstört hätte. Aufgrund des Protestes wurde das Projekt in letzter Minute gestoppt. Mittlerweile wurden die Donauauen als Nationalpark eingerichtet (Nationalpark Donauauen 2009). Es besteht wohl ein breiter Konsens in der Gesellschaft, dass dieser geschützt bleiben soll.

Abbildung 14: Altarm der Donau und Biber im Nationalpark Donauauen

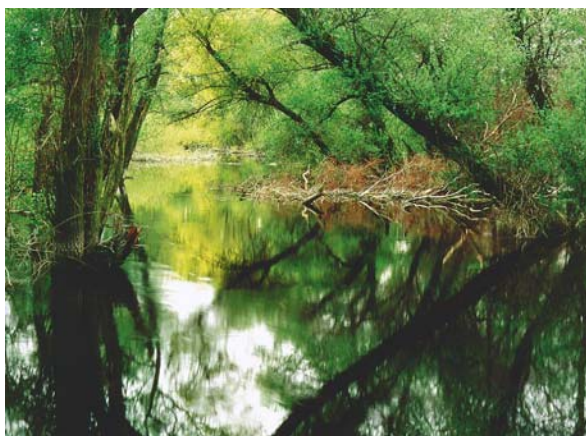


Foto: Popp

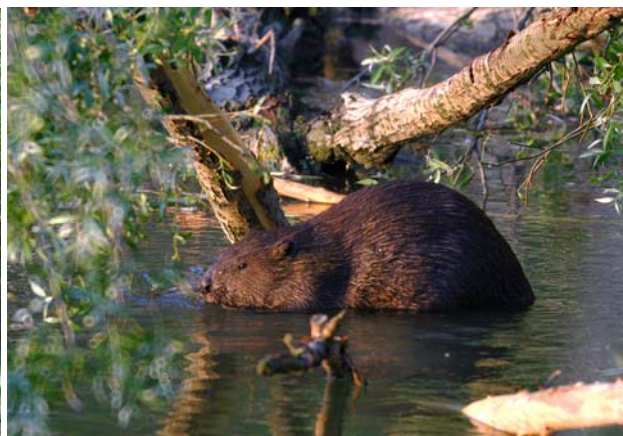
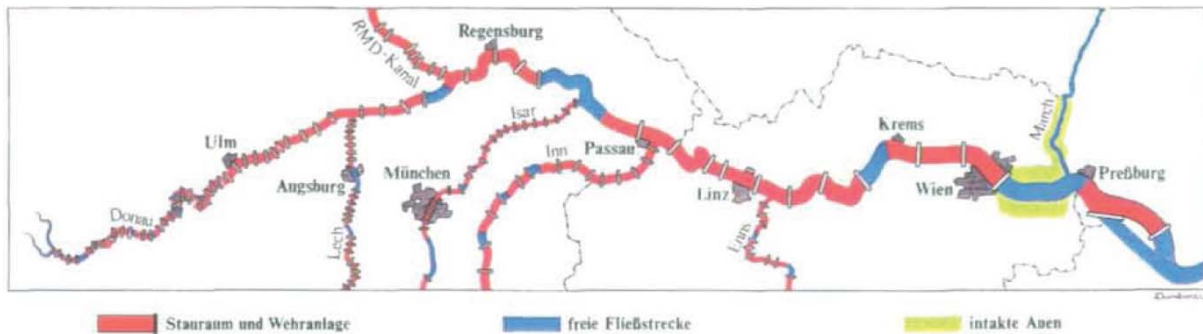


Foto: Kern

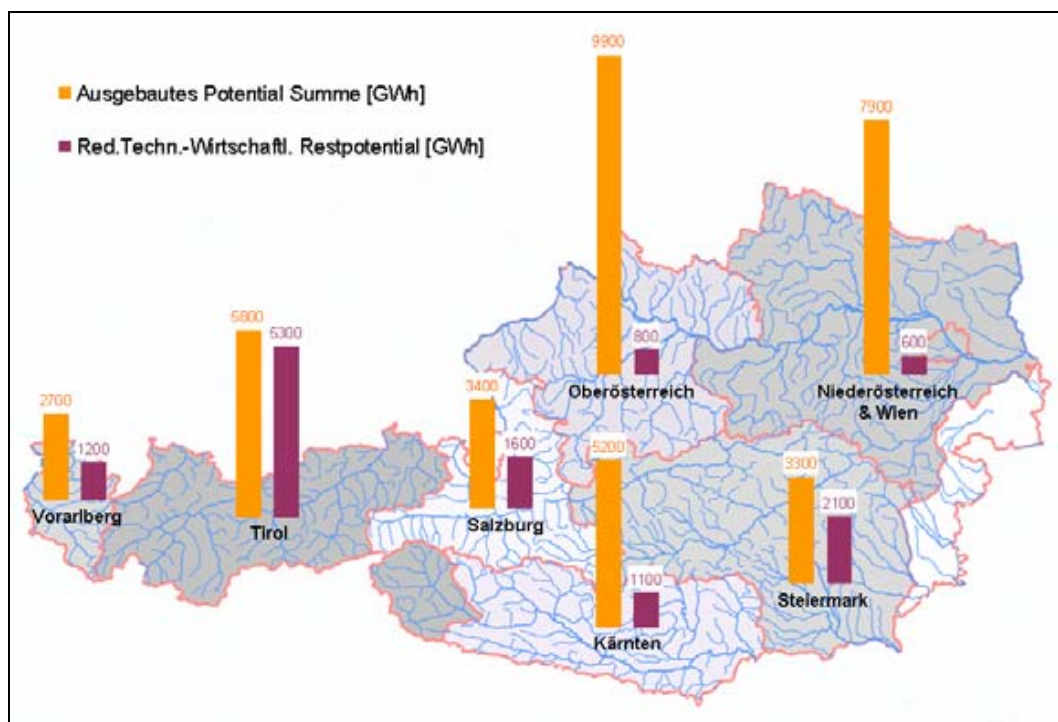
Abbildung 15: Die Donau – gestaute und ungestaute Abschnitte



Quelle: WWF (1995)

Unter Berücksichtigung der Beschränkungen aus Naturschutzgesichtspunkten kommt Pöyry (2008) zu dem Ergebnis, dass in Wien und Niederösterreich dem bereits genutzten Wasserkraftpotenzial von 7.900 GWh noch ein technisch-wirtschaftliches Restpotenzial von 600 GWh gegenüber steht (Abbildung 16).

Abbildung 16: Wirtschaftliches Potenzial zum Ausbau der Wasserkraft in Österreich



Quelle: Pöyry (2008)

Neue Potenziale durch Strombojen

Weitere realisierbare Wasserkraftpotenziale könnten sich aufgrund von Strombojen ergeben (Abbildung 17). Hier handelt es sich um eine Innovation, die derzeit kurz vor der Markteinführung steht. Die Strombojen sollen vor allem in Flussabschnitten zum Einsatz kommen, die bislang aus ökologischen, wasserwirtschaftlichen oder ökonomischen Gründen für die Errichtung von Stauwerken für herkömmliche Kraftwerke nicht geeignet waren.

Nachdem erste Tests 2006 mit einem Prototyp durchgeführt wurden, wurde seit 2009 mit dem Bau eines zweiten, schon seriennahen Prototypen begonnen, der im Februar 2010 am bisherigen Standort des ersten Prototypen in Rossatz/Kienstock eingehängt wurde. (AquaLibre 2010). In weiteren Naturversuchen, die wieder 12 Monate dauern, werden die Praxistauglichkeit überprüft, zahlreiche Messungen vorgenommen, und die ersten Megawattstunden ins Netz geliefert. Dieses Projekt wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG und der Via Donau unterstützt, und soll bis 2011 die Herstellung einer ersten Serie vorbereiten (Ökonews 2009b).

Eine Abschätzung des durch Strombojen realisierbaren Potenzials zur Generierung elektrischer Energie in Österreich hat ergeben, dass aus heutiger Sicht mit Strombojen in Wasserparks eine Stromproduktion von bis zu 1.000 GWh pro Jahr möglich ist und dies, obwohl hier Wasserkraft schon sehr intensiv genutzt wird. 1.000 GWh pro Jahr entsprechen etwa der jährlichen Stromproduktion des Wasserkraftwerks Freudenau oder dem Verbrauch von ungefähr 300.000 Haushalten (Energiewerkstatt 2009).

In Wien kommt der Einsatz von Strombojen an mehreren Stellen in Betracht:

- Ca. 1 km aufwärts der Reichsbrücke (zur Donau City) bis unterhalb des Donaukraftwerks Greifenstein. Dort sind die Wassertiefe und die Strömung auch so groß, dass große Strombojen eingesetzt werden könnten.
- Der Donaukanal hat ausreichend Strömung, ist jedoch an vielen Stellen recht eng.
- Unterhalb der Reichsbrücke fließt die Donau zu langsam, hier wirkt sich der Rückstau des Wehrs des Kraftwerks Freudenau aus.

In 2010 wurde die nächste in der Wachau eingesetzt. Diese bewährte sich dann auch beim unfreiwilligem Stresstest, dem Hochwasser im Juni 2010 (Energiewerkstatt 2010). Aus Budapest wurde Interesse an dem Einsatz von Strombojen bekundet, hier sind die Ausgangsvoraussetzungen denen in Wien sehr ähnlich.

Abbildung 17: Stromboje vor dem Einbringen



Quelle: Energiewerkstatt (2009)

4.5 Windenergie

Stand

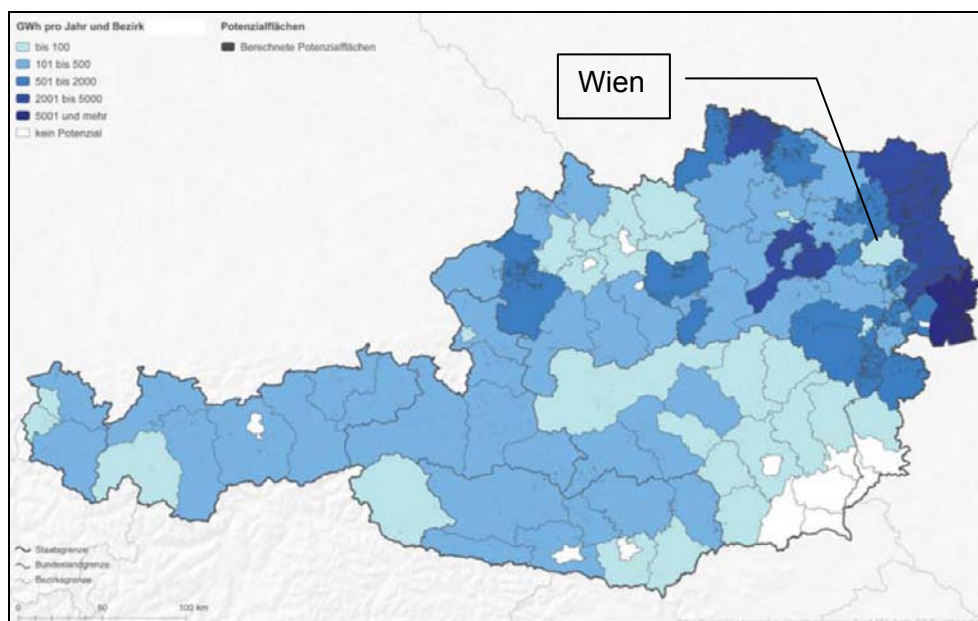
Im Wiener Bezirk Favoriten steht ein kleinerer, zweigeteilter Windpark (Unterlaa Ost und Unterlaa West). Der Windpark erzeugt seit Mitte Dezember 2005 mit vier rund 60 Meter hohen Windrädern jährlich 6.700 Megawattstunden Strom. Damit werden rund 2.700 Wiener Haushalte versorgt. Wien Energie hält 85 Prozent der Anteile. Mit dem Partner ECOWind errichtete und betreibt sie die Anlage direkt neben dem Umspannwerk Süd-Ost. Die Nähe hat den Vorteil, dass keine lange Kabellegung notwendig war. Beste Windbedingungen sind der Grund für den Standort im Südosten Wiens. Eine weitere, kleine Windanlage (350 MWh/a) steht auf der Donauinsel (Wien Energie 2009c). Weitere 4 Windräder anderer Betreiber befinden sich in Breitenlee und Freudenau.

Potenzial

Die Potenziale zur Nutzung der Windkraft innerhalb von Städten sind aufgrund der Bebauung generell relativ gering.

Das reduzierte technische Potenzial konventioneller Anlagen in Wien liegt nach den Analysen¹¹ von Regio Energy (2009) auf sehr geringem Niveau, in der Klasse 0–100 GWh pro Jahr (Abbildung 18). Das Potenzial für „Urban Wind Turbines“ in Wien wurde bislang nicht ermittelt, da diese Technologie noch wenig ausgereift ist (siehe S. 14f unter Potenzial zur Nutzung von Windenergie in Städten).

Abbildung 18: Reduziertes technisches Potenzial Windkraft



Quelle: Regio Energy 2009

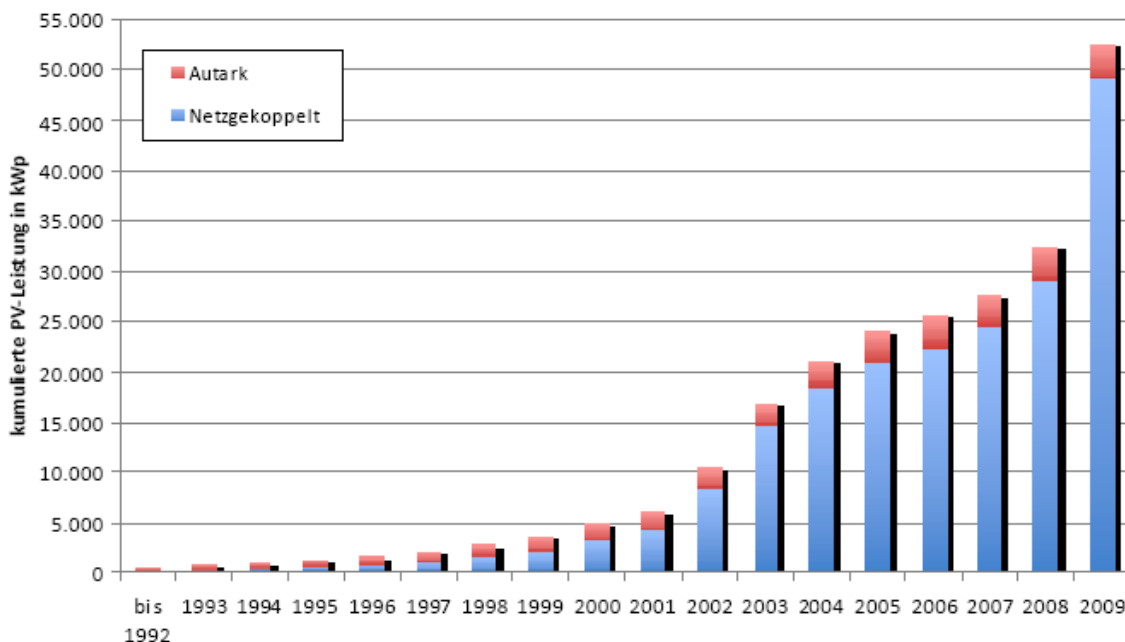
4.6 Fotovoltaik

Sonnenenergie wird derzeit überwiegend in zwei verschiedenen Verfahren nutzbar gemacht. Zum einen werden Wärme aufnehmende Solarkollektoren (Solarthermie) zur Warmwasserversorgung und Unterstützung der Gebäudeheizung verwendet, zum anderen wird mit Fotovoltaikanlagen die Strahlungsenergie direkt in Strom gewandelt.

Stand

Durch einen Anstieg der Investitionszuschüsse konnte in 2009 die kumulierte installierte Leistung der in Betrieb befindlichen Fotovoltaikanlagen in Österreich von 32,4 MW_{peak} auf 52,6 MW_{peak} erhöht werden (Abbildung 19).

Abbildung 19: Kumulierte PV-Leistung in KW_{peak} von 1992 bis 2009



Quelle: BMVIT (2010)

Im Netzgebiet von Wien Energie sind derzeit 150 Fotovoltaikanlagen angeschlossen, insgesamt gibt es in Österreich 512 Anlagen, die Strom an das Netz abgeben können. Die Einspeisemenge in Wien ist Verhältnis der Anzahl der Anlagen überdurchschnittlich. Von den 1.071 MWh die 2009 in Österreich in das Netz eingespeist wurden stammten 417 MWh aus Wien. Insgesamt ist der Beitrag der Fotovoltaik zur österreichischen Stromversorgung gering. Die Einspeisemenge von rund 1 GWh sind rund 0,1 Promille des Netzabsatzes von rund 10.000 GWh.

Wien Energie (2009e) hat sich in den letzten Jahren an einigen Fotovoltaikprojekten beteiligt (z.B. Naturhistorisches Museum und Vienna International Center) und besitzt selbst drei Fotovoltaikanwendungen:

- Fotovoltaikanlage an der Fassade einer Passivhauswohnanlage in der Pantucekgasse, Wien 1100 (Baujahr: 2006, 38 qm, 4,4 kWp¹²),
- Fotovoltaikanlage integriert in die Lärmschutzwand der Wohnhausanlage „Theodor-Körner-Hof“ am Margaretengürtel. In dieser fünf Stockwerke hohen Lärmschutzwand wurden in die oberste Reihe PV-Module installiert. (Baujahr: 2007, 190 qm, 15 kWp),
- Fotovoltaikanlage an der Fassade des neuen Kraftwerks Simmering 1 (Baujahr: 2008, 280 qm, 31 kWp).



Abbildung 20: FV-Anlage am Naturhistorischen Museum



Abbildung 21: FV-Anlage an der Fassade des neuen Kraftwerks Simmering 1

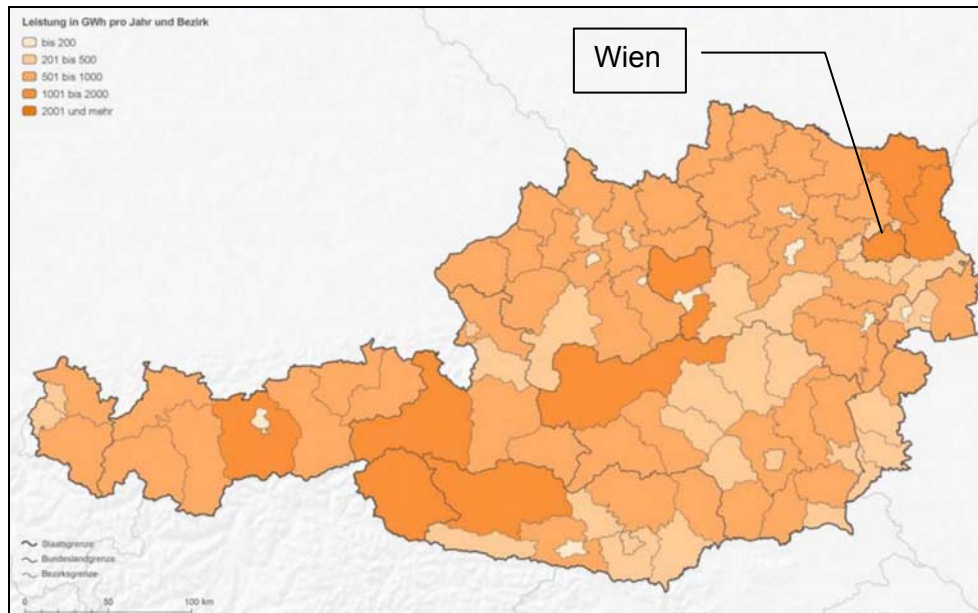
Potenzial

Vergleicht man den Stand in Wien mit den Ergebnissen des „Solaren Rahmenplans“ für Berlin¹³, der von einem potenziellen Beitrag der Fotovoltaik zur Stromgewinnung in Berlin von 9 % (bis 2050) ausgeht, so liegt der Schluss nahe, dass auch in Wien noch erhebliches technisches Potenzial für Fotovoltaik gegeben ist. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse von Regio Energy (2009) bestätigt.

¹² kilo-Watt-peak = Spitzenleistung

¹³ vgl. oben Abschnitt 2.2.1 Seite 12f.

Abbildung 22: Reduziertes technisches Potenzial der Fotovoltaik in Österreich¹⁴



Quelle: Regio Energy 2009

Förderung und Wirtschaftlichkeit

Der wirtschaftliche Betrieb von Fotovoltaikanlagen ist derzeit noch stark von der finanziellen Unterstützung durch Förderungen (Investitions- oder Tarifförderungen) abhängig. In Wien können Förderungen für FV-Anlagen vom Bund (Ökostromgesetz, Energie- und Klimaschutzfonds) oder der Stadt Wien beantragt werden. Die Tarifförderung (Einspeisevergütung) ist im bundesweit gültigen Ökostromgesetz geregelt. Pro Jahr werden für die Tarifförderung 2,1 Mio. Euro bereitgestellt, die für das Jahr 2010 bereits vergriffen sind.

Die Landesförderung ist im Unterschied zur Bundesförderung kontinuierlich verfügbar. Hier wird die Errichtung von Fotovoltaik-Anlagen mit einem Direktzuschuss von 40 % der Investitionskosten bis zu einem Maximalbetrag von 1.500 Euro pro installierter Kilowatt-Spitzenleistung (kW_{peak}) gefördert, sofern innerhalb der ersten 5 Jahre nicht bereits andere Förderungen in Anspruch genommen wurden (Stadt Wien 2010). Wirtschaftlich zu betreiben sind, aufgrund der niedrigen Einspeisevergütung, lediglich Anlagen bis zu 4,9 kWp (Photovoltaic Austria 2010a). Bei Investitionsförderungen beträgt die Amortisationsdauer in der Regel mehr als 25 Jahre, weshalb auch hier keine Wirtschaftlichkeit gegeben ist (Photovoltaic Austria 2010b).

Nach dem derzeitigen Stand ist daher die Situation bei der Förderung ein wesentlicher Hemmschuh. Der Bundesverband Photovoltaic Austria fordert deshalb bereits seit längerem eine Aufstockung der Mittel in der Tarifförderung (Photovoltaic Austria 2010a).

¹⁴ Siehe zur ausführlichen Erläuterung des reduzierten technischen Potenzials:
<http://www.regioenergy.at/Fotovoltaik/reduziertes-technisches-potenzial>.

4.7 Solarthermie

Stand

Laut Solarförderungsstatistik Wien (2008) waren in Wien Ende 2007 insgesamt 32.000 m² Kollektorflächen installiert. Diese Fläche entspricht ca. viereinhalb Fußballfeldern.

Die Wien Energie Tochter Energiecomfort ist in erster Linie Betreiberin von Solarwärmanlagen. Das Unternehmen hat jedoch auch einige Anlagen selbst errichtet. Besonders interessante Projekte sind:

- Tiergarten Schönbrunn: Solaranlage auf dem Dach des Elefantenhauses, mit der Kaltwasser aus der 200 Kubikmeter fassenden Zisterne erwärmt wird. Die Anlage wurde im Rahmen einer Wärmeliefervertrags durch die Wien Energie Tochter Energiecomfort errichtet (Baujahr 1999, 200 qm, Solarertrag: ca. 90 MWh pro Jahr).
- Wohnhausanlage in Hütteldorf: Anlage zur Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung für 200 Dachgeschoßwohnungen. Die Anlage wurde in Kooperation mit Wien Energie Gasnetz geplant und wird von Energiecomfort betreut (Baujahr 2007, Fläche: 280 qm, Solarertrag: ca. 110 MWh pro Jahr).
- Passivhaus-Wohnanlage im 21. Bezirk: Warmwasserbereitung in vier Passivhaus-Blocks. Der solare Deckungsanteil am Energiebedarf beträgt etwa 40 %. Ein spezifischer Mindestertrag von 380 kWh pro m² Kollektorfläche und Jahr wird von Energiecomfort garantiert (Baujahr 2006, Fläche 210 qm, Solarertrag: ca. 80 MWh pro Jahr).

Insgesamt werden von Energiecomfort derzeit etwa 3.500 m² Kollektorfläche in Wien betreut. Energiecomfort errichtet auch laufend neue Solaranlagen, hauptsächlich im optimierten Gesamtpaket inklusive Komplementärenergieversorgung auf Basis anderer Energieträger.

Potenzial

Wie in vielen anderen Städten besteht auch in Wien noch ein großes technisches Potenzial zur solarthermischen Wärmegewinnung. Dies ergibt sich sowohl aus den Analysen von Regio Energy (2009) als auch aus dem Vergleich mit den Ergebnissen des solaren Rahmenplans für Berlin (vgl. oben Abschnitt 2.2.1 Seite 12f).

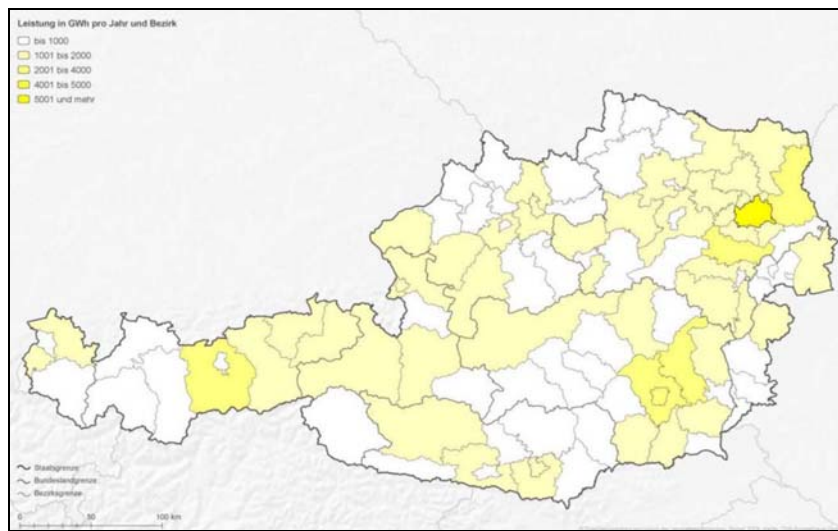
Wirtschaftlichkeit

Solarwärmanlagen lassen sich mit deutlich weniger Förderanteil als Fotovoltaikanlagen wirtschaftlich darstellen und sind in manchen Bereichen wie der Schwimmbaderwärmung bereits ohne Förderung umsetzbar. In Wien gibt es je nach Anwendungsbereich verschieden Möglichkeiten der Förderungen.

Im Einfamilienhausbereich und bei Bestandsobjekten im großvolumigen Wohnbau werden Zuschüsse direkt von der Stadt Wien gewährt. Bei Solaranlagen zur Warmwasserbereitung beträgt dieser Zuschuss 30 % der Investitionskosten. Bei einer Anlage zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung beträgt der Zuschuss bis zu 40 %.

Wird die Anlage im Sommer auch für die Kältegewinnung genutzt stehen ebenfalls weitere Fördermittel zur Verfügung (Magistrat der Stadt Wien 2009). Im Geschosswohnbau ist eine Förderung über das Wohnbauförderprogramm THEWOSAN möglich, wenn neben der Errichtung einer Solaranlage auch energetische Sanierungen an einem Haus vorgenommen werden (Austria Solar 2010). Im Gewerbebereich ist eine Investitionsförderung von 30 % (thermische Solaranlagen bis 100m²) bzw. 20 % (Anlagen über 100m²) durch die Umweltförderung des Bundes möglich (Kommunal Kredit Public Consulting 2010).

Abbildung 23: Reduziertes technische Potenzial der Solarthermie in Österreich¹⁵



Quelle: Regio Energy 2009

Je nach Güte des komplementären Heizungssystems und dessen verwendetem Energieträger können solarthermische Anlagen mit Unterstützung im gegebenen Ausmaß kostendeckend oder deutlich gewinnbringend dargestellt werden.

Diese ökonomischen Vorteile sind jedoch nur bei Gebäuden mit Zentralheizung einfach zu realisieren. Bei Wohngebäuden mit Gasetagenheizungen ist die technische Umsetzung wesentlich aufwändiger. Hier ist aus ökonomischer, technischer und ökologischer Sicht sinnvoll, ein neues Zentralheizungssystem (mit integrierter solarthermischer Anlage) zu implementieren. Die damit verbundenen Bauarbeiten stellen jedoch eine erhebliche Belastung für die Bewohner dar. Zudem wäre zunächst auch eine thermische Sanierung sinnvoll, um das neue Heizungssystem dazu passend zu dimensionieren.

Obwohl sich somit das aktuelle Umsetzungspotenzial gegenüber dem technischen Potenzial durch die in Wien gegebenen Rahmenbedingungen erheblich verringert, liegt dieses noch deutlich über den derzeit jährlich installierten Kapazitäten.

4.8 Solares Kühlen

Dass mit Sonnenwärme auch gekühlt werden kann, klingt zunächst überraschend, die Technologie ist mittlerweile jedoch zur Anwendungsreife entwickelt und es gibt eine Reihe an

¹⁵ Siehe zur ausführlichen Erläuterung des reduzierten technischen Potenzials:
<http://www.regioenergy.at/solarthermie/reduziertes-technisches-potenzial>.

Referenzanlagen. Austria Solar (2009) verweist auf Referenzprojekte in Sattledt, Sachsen und Graz, bei denen solares Kühlen in Firmengebäuden genutzt wird.

Da solares Kühlen die gleichen Kollektoren nutzt wie Solarthermieanlagen, wird solares Kühlen in unseren Breitengraden immer mit Solarthermieanlagen kombiniert. Somit leiten sich die Potenziale für solares Kühlen in Wien von den oben dargestellten Solarthermiepotenzialen ab. Die Investitionskosten für den sogenannten Kälteteil von Solaranlagen werden mit 40 % bezuschusst.

Es gibt allerdings auch Stimmen, die die Potenziale für solares Kühlen eher kritisch sehen. Um etwa bei Verwaltungsgebäuden mit der derzeitig verbreiteten Gebäudeisolierung und Belüftung eine ausreichende Kühlleistung zu erreichen, reiche die eigene Dachfläche nicht aus. Auch seien die Kosten im Vergleich zu konventionellen Anlagen deutlich höher.

4.9 Tiefe Geothermie

Stand und Potenzial

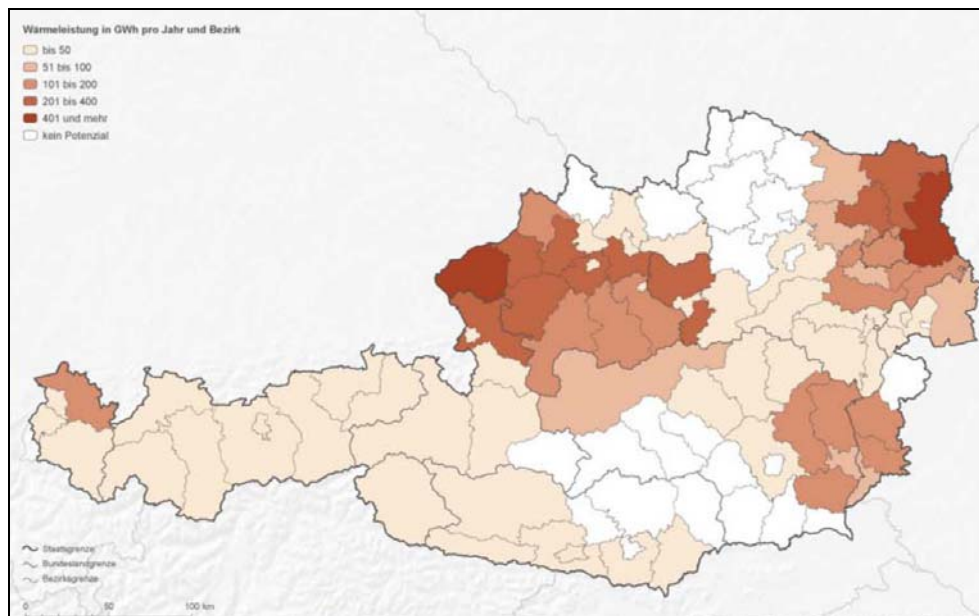
Bereits in den 1970er Jahren stieß man bei Explorationsbohrungen im 22. Bezirk auf Heißwasservorkommen. Eine 2006/2007 unter der Leitung der Universität für Bodenkultur durchgeführte Studie (Schneider, Straka 2007) bestätigte, dass sich im Raum Aspern-Essling in ca. 5.000 Metern Tiefe ein unterirdischer Heißwassersee befindet. Das Wasser ist 155 C° heiß. Die Ergiebigkeit des Vorkommens wird mit rund 320.000 MWh pro Jahr veranschlagt. Bei einem durchschnittlichen Fernwärmebedarf eines Haushaltes von 6,1 MWh pro Jahr kann somit der Bedarf von 52.500 Haushalten gedeckt werden.

Diese Geothermie soll nun für die Fernwärme erschlossen werden. Hierfür hat Wien Energie Fernwärme gemeinsam mit dem Wiener Wirtschaftsförderungsfonds die Geothermiezentrum Aspern GmbH gegründet. Seit 2009 laufen die Vorbereitungsarbeiten für die Erschließungsbohrung und den Bau des Geothermiekraftwerkes. Anfang 2011 wird mit den Bauarbeiten begonnen. Ab 2012 soll Anlage in Betrieb genommen und an das Fernwärmenetz angeschlossen werden.

Das Geothermie-Vorkommen ist so umfangreich, dass es zukünftig den Raumenergiebedarf der geplanten Seestadt Aspern abdecken kann. Das Gebiet für die Seestadt Aspern umfasst 240 ha – so viel wie 340 Fußballfelder oder die gemeinsame Fläche des 7. und 8. Wiener Gemeindebezirks. Die Seestadt soll in mehreren Bauphasen und über die Dauer von mindestens zwei Jahrzehnten errichtet werden. Die Bauarbeiten für die Seestadt Aspern wurden bereits 2009 begonnen. Wenn die Seestadt ausgebaut ist, wird sie die gesamte geothermale Wärmeleistung benötigen.

Abbildung 24: Reduziertes technisches geothermisches Potenzial¹⁶

¹⁶ Siehe zur ausführlichen Erläuterung des reduzierten technischen Potenzials:
<http://www.regioenergy.at/geothermie/reduziertes-technisches-potenzial>.



Quelle: Regio Energy 2009

Tabelle 9: Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Wien

	Heute	Perspek- tive		Heute	Perspek- tive
Stromerzeugung			Wärmeerzeugung		
Windkraft	●	→	Solarthermie	●	↗
Fotovoltaik	●	↗	Geothermie	-	↗
Wasserkraft	●	→ (↗?)	Biomasse	●	
Biomasse	●	→	Müllverbrennung	●	→
Müllverbrennung	●	→			
Solarthermische Kraftwerke			Sonstiges		
Geothermie		↗	Fernkälte (Solar, Geothermie)		↗

Quelle: Eigene Zusammenstellung

5 Zusammenfassung

Die im Folgenden aufgeführten Erkenntnisse zur Nutzung von erneuerbaren Energien in Städten sind für die Wiener Stadtwerke von besonderer Bedeutung:

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse ist zu unterscheiden nach allgemeinen Ergebnissen sowie speziellen Erkenntnissen zum Stand und Potenzialen in Wien.

5.1 Allgemeine Ergebnisse

Es gibt relevante Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien in Städten.

In den meisten Städten bestehen relevante Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärme- und Stromversorgung. Diese Potenziale werden von geografischen und klimatischen Gegebenheiten geprägt. Meist sind Potenziale zur Nutzung von Solarenergie (thermisch, Fotovoltaik) interessant, wobei sich in den nördlich gelegenen Städten die geringere Sonneneinstrahlung entsprechend ungünstig auswirkt.

Je weiter südlich die Städte gelegen sind, desto interessanter dürfte das Potenzial für Fernkühlung, evtl. auch solares Kühlen sein. In einigen Städten können auch Gewässer als Quellen für Fernkälte genutzt werden. So wird beispielsweise sogar im nördlich gelegenen Stockholm Meerwasser für Fernkälte eingesetzt.

Die Nutzung von Biomasse in Heizkraftwerken ist in vielen Städten noch nicht erschlossen, allerdings ist die Verfügbarkeit von Biomasse immer begrenzt. Die thermische Verwertung von Abfällen in Heizkraftwerken ist verbreitet, Potenziale bestehen teilweise noch in der Steigerung der Effizienz.

Potenziale für erneuerbare Energien in Städten sind relevant, aber Autarkie kann in bestehenden Städten nicht erreicht werden.

Insgesamt sind die Potenziale für die die Nutzung erneuerbarer Energien in Städten relevant. Doch selbst wenn anspruchsvolle Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden und ein großer Teil der vorhandenen Potenziale alternativer Energien erschlossen würde, können historisch gewachsene Städte hinsichtlich der Abdeckung ihres Wärme- und Strombedarfs in naher Zukunft nicht energieautark werden. Abgesehen von den bislang noch nicht realisierten Stadtprojekten werden Städte auch zukünftig, wie bei Rohstoffen und Lebensmitteln, auf eine energetische Versorgung von außen angewiesen sein. Dies betrifft insbesondere Strom. Um Klimaneutralität zu erreichen, wird ergo eine Versorgung mit grünem Strom erforderlich sein.

Smart Grids sind langfristig erforderlich.

Die Erschließung der Fotovoltaikpotenziale sowie der angestrebte Ausbau der Windenergienutzung in Österreich und Nachbarländern führen zu veränderten Anforderungen an das Netz und die Gestaltung der Stromnachfrage. Daher wird gerade in Städten die Entwicklung und Errichtung von Smart Grids erforderlich sein.

Konflikte zwischen Fernwärme, Energieeffizienz und thermischer Nutzung von Solarenergie müssen berücksichtigt werden.

Eines der wichtigen Effizienzpotenziale in Städten liegt in der energetischen Gebäudesanierung, sodass die Wärmenachfrage der Bestandsbauten rückläufig werden wird, insbesondere dann, wenn mit entsprechenden politischen Maßnahmen energetische Sanierung gefördert wird. Dieser Rückgang wird auch nicht durch Neubauten kompensiert, da diese deutlich besser gedämmt sind, und im Idealfall wird bei Neubauten die erforderliche Wärme ausschließlich über Solarthermie gewonnen.

Diesem langfristigen Rückgang der Wärmenachfrage steht derzeit ein weiterer Ausbau der Fernwärme gegenüber. Bislang stellt diese auch immer noch eine ökonomisch interessante Klimaschutzmaßnahme (bei Fernwärme aus KWK) dar. Jedoch muss offensichtlich berücksichtigt werden, dass Nachfrage nach Fernwärme mittel- und langfristig begrenzt ist.

5.2 Erkenntnisse für Wien

Solarenergie und Geothermie sind die wichtigsten Potenziale der Stadt Wien.

Die wichtigsten Potenziale der Stadt Wien im Bereich alternativer Energien sind Solarenergie – thermisch und Fotovoltaik – und Geothermie.

Seit Anfang des vergangenen Jahrhunderts wird in großem Umfang Wasserkraft genutzt. Diesbezüglich bestehen aufgrund der Entwicklung der Stromboje unter Umständen noch kleinere bisher nicht erschlossene Potenziale.

Seit Errichtung des Biomasseheizkraftwerks Simmering und weiterer kleinerer Anlagen werden die vorhandenen Biomassepotenziale genutzt. Immerhin werden damit etwa 1,5% des Wiener Strombedarfs gewonnen. Darüber hinaus wurden keine relevanten Potenziale für feste Biomasse identifiziert. In landwirtschaftlichen Betrieben im Umland anfallende Biomasse dürfte besser vor Ort genutzt werden. In diesem Zusammenhang sei auf den Unterschied zwischen Biomasse in landwirtschaftlichen Abfällen und den Anbau von Energiepflanzen samt der Diskussion um Landnutzungskonkurrenzen hingewiesen.

Weiters wird in Wien in kleinstem Umfang Windenergie genutzt, allerdings gibt es im Stadtgebiet keine weiteren interessanten Standorte. Die Ansätze für auf städtische Bedingungen angepasste Kleinanlagen erscheinen derzeit noch nicht erfolgversprechend.

Beim Bauen und Renovieren schon an Morgen denken.

Bei Neubauten oder Sanierungen sollten regelmäßig die Optionen für die Nutzung von Solarthermie oder Fotovoltaik geprüft werden. Wird sich gegen die Installation einer Anlage entschieden, dann sollten bei Neubauten (und wo mit wenig Aufwand möglich auch im Rahmen von Sanierungen) bauliche Voraussetzungen für eine spätere Montage entsprechender Anlagen geschaffen werden. Denn es ist zu erwarten, dass sich in den kommenden Jahren die Technologien weiter entwickeln und Marktpreise für Energie wie auch für die Anlagen ändern werden. Wenn bei Bauvorhaben bereits jetzt Platz für die Leitungen eingeplant wird, gar Rohrleitungen gelegt werden verursacht dies nur wenig Zusatzkosten. Dies spart jedoch erheblich an Kosten und Aufwand wenn die Installation

dann zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen wird. Auch gilt es bei der Gestaltung von Dachflächen darauf zu achten, dass keine unnötigen Hindernisse für Solarthermie oder Fotovoltaik geschaffen werden.

Quellen

- AquaLibre (2010): News: Pressefahrt zur Strom-Boje®, 25.2.2010 (online)
http://www.aqualibre.at/index.php?article_id=6&clang=0 (23.4.2010)
- Austria Solar (Hrsg.) (2010): Förderungen (online)
<http://www.solarwaerme.at/Geschosswohnbau/Foerderungen/> (30.09.2010).
- Bauer, H.; Marr, I.; Kasper-Giebl, A.; Limbeck, A.; Caseiro, A.; Handler, M.; Jankowski, N.; Klatzer, B.; Kotianova, P.; Pouresmaeil, P.; Schmidl, Ch.; Sageder, M.; Puxbaum, H. (2006): Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Wien – Bestimmung von Immissionsbeiträgen in Feinstaubproben (Download: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_173988.pdf)
- Biowerk Hamburg (Hrsg.) (2009): Modernste Technik für eine effiziente Verwertung (online)
<http://biowerk-hh.de/content/view/19/33/> (23.04.2010)
- Blank, Curd; Schoepe, Wolfgang (2003): Potenzialstudie erneuerbare Energien in Herzogenaurach (Download: www.herzo-agenda21.de/PDF/LastenheftPotenzialstudie.pdf).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2006): Erneuerbare Energien, Innovationen für die Zukunft. 6. Auflage, Berlin: BMU.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2002): Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Berlin: BMU.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) (Hrsg.) (2010): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2009. Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen, Wien. (Download: http://www.pvaustria.at/upload/2347_2010-06-07-Marktstatistik-2009.pdf)
- Brainbows Informationsmanagement GmbH (2007): Biomasse-Ressourcenpotenzial in Österreich, Wien.
- Bundesverband Windenergie (2001): Von A bis Z - Fakten zur Windenergie.
- Cace, Jadranka; Horst, Emil; Syngellakis, Katerina; Niel, Maite; Clement, Patrick; Heppener, Renate; Peirano, Eric (2007): Wind Energy Integration in the Urban Environment (Download: http://www.urbanwind.net/pdf/SMALL_WIND_TURBINES_GUIDE_final.pdf).
- City of Stockholm (2008): Application for European Green Capital Award (Download: <http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/gc/Application%20European%20Green%20Capital.pdf>).
- City of Stockholm (2002): Stockholm's Action Programme against Greenhouse Gas Emissions, Stockholm.
- Dwinnell, J. H. (1949): Principles of Aerodynamics. New York:McGraw-Hill.
- Endl, Margarete (2007): Biomasse hat Problem, Wind und Wasser haben Potenzial. Economy 45 (2007), S. 1-2.
- Energiewerkstatt (2009): Strom-Boje - das schwimmende Kleinwasserkraftwerk. (Online: http://www.energiewerkstatt.at/stromboje/stromboje_01.htm, 23.06.2009)
- Energiewerkstatt (2010): Die Donau steigt, die Strom-Boje ist weg. (Online: http://www.aqualibre.at/index.php?article_id=6&clang=0, 3.9.2010)
- Everding, Dagmar (2004): Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus – Zusammenfassung (Download: www.ecofys.de/de/veroeffentlichungen/documents/Zusammenfassung_000.pdf)
- Everding, Dagmar; Lindner, Sigrid (2007): Solarer Rahmenplan Berlin. Bundesbaublatt 10 (2007), S. 38-42.
- Freie und Hansestadt Hamburg (2008): European Green Capital Award – Application. (Download: http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/green_cities_submenu/awardwinner_2011.html, 12.05.2009).
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (GD-NRW) (Hrsg.) (2009): Potenzialstudie „Tiefengeothermie im Ruhrgebiet“. (Online: http://www.gd.nrw.de/a_pjgt01.htm, 24.04.2010).
- Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU) (Hrsg.) (2004): CO₂-Minderungskonzept für die Stadt Augsburg, Heidelberg.
- Kleimaier, Martin; Pokojski, Martin (2008): Dezentrale Energieversorgung. Energy 2.0-Kompodium

- 2008, S. 26-28.
- Kommunal Kredit Public Consulting GmbH (2010): Umweltförderung - thermische Solaranlagen. (Online: http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/erneuerbare_energie/thermische_solaranlagen_ab_100m2/, 30.09.2010)
- Luther, J., Preiser, K. und Willeke, G. (2003): Solar modules and Fotovoltaic systems. In: Bubenzer, A. und Luther, J. (Hrsg.): Fotovoltaics Guidebook for Decision Makers. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer, S. 41–106.
- Lux-Steiner, M. C. und Willeke, G. (2001): Strom von der Sonne. Physikalische Blätter 11 (2001), S. 47–53.
- Magistrat Wien (Hrsg.) (2009): Email Auskunft eines Mitarbeiters des Magistrats vom 30. Juni 2009.
- Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.) (2009): Solarenergie zahlt sich aus. Beratung und Förderung 2010. (Download: <http://images.umweltberatung.at/htm/solarenergiewien-folder-energie.pdf>,)
- Mayor of London (Hrsg.) (2006): Climate Change Action Plan. (Download <http://www.london.gov.uk/mayor/environment/climate-change/ccap/index.jsp>).
- Mayor of London (Hrsg.) (2010): Delivering London's energy future. (Download: http://www.london.gov.uk/climatechange/sites/climatechange/staticdocs/Delivering_Londons_Energy_Future.pdf)
- Nationalpark Donau-Auen (Hrsg.) (2009): Der Nationalpark Donau-Auen (Online: <http://www.donauauen.at/?area=nationalpark>, 25.8.2009).
- Öko-Institut (Hrsg.) (2004): Kommunale Strategien zur Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % am Beispiel der Stadt München, Freiburg.
- Ökonews (2009a): Größte geförderte Biomasseheizung Wiens fertiggestellt, 20.4.2009 http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1039334
- Ökonews (2009b): Projekt Strom-Boje 2 startet, 2.3.2009 http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1037813
- Österreichische Energieagentur (Hrsg.) (2008): Evaluierung der Umsetzung des Klimaschutzprogramms (KliP) der Stadt Wien (Download: www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/pdf/klip-endbericht.pdf).
- ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) (2004): Liste aus Betreiberangaben und Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten und biogenen Anteilen von Ersatzbrennstoffen.
- PB Power (Hrsg.) (2006): Powering London into the 21st century. (Download: www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/7474.pdf).
- Pearson, P.J.G.; Rose, D.; Leach, M.A. (2003): Energy, Emissions and Urban Sustainability: The Reference Sustainability System Module for London (Download: www.iges.or.jp/en/ue/pdf/megacity03/HTML/pdf/2.2%20Pearson%20paper.pdf)
- Pehnt, M., Bubenzer, A. und Räuber, A. (2003): Life cycle assessment of Photovoltaic systems 1. Trying to fight deepseated prejudices. In: Bubenzer, A. und Luther, J. (Hrsg.): Photovoltaics Guidebook for Decision Makers. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer, S. 179–214.
- Photovoltaic Austria (Hrsg.) (2009): Berechnung der Wirtschaftlichkeit (Online: <http://www.bv-pv.at/content/page.asp?id=262>, 23.9.2009)
- Photovoltaic Austria (Hrsg.) (2010a): Fördersituation Österreich (Online: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=70> (29.09.2010)
- Photovoltaic Austria (Hrsg.) (2010b): Berechnung der Wirtschaftlichkeit (Online: <http://www.bv-pv.at/content/page.asp?id=262>, 29.09.2010)
- Pröbstle, Peter (2004): Untersuchung der Potenziale an erneuerbaren Energien in der Stadt Herzogenaurach / Mittelfranken (Download: <http://www.herzogenaurach.de/umwelt/Agenda21/Arbeitskreise/Energie/Projekte/Potenzialstudie/Potenzialstudie.pdf>).
- Sächsische Energieagentur GmbH (SAENA) (2007): Erneuerbare Energien – Funktionsweise, Entwicklungsstand, Einsatzpotenziale. (Download:

- http://www.saena.de/media/files/Upload/PDF_Inhalt/ee_a4_web-sz.pdf).
- Schneider, J.F., Straka, W. (2007): Geothermische Heiz- und Warmwasseranlage in Wien, Aspern; Machbarkeitsstudie, Phase II, Kategorie A - Geologie, Geophysik, Geohydrologie. Ergänzende Stellungnahme Asperner Flugfeld Süd Entwicklungs- und Verwertungs-GmbH und WWFF Holding GmbH, 13 + 17 (Anhang).
- Senat der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) (2007): Hamburger Klimaschutzkonzept 2007-2012, Hamburg.
- Siemens (Hrsg.) (2008): Sustainable Urban Infrastructure – London Edition – a view to 2025, München.
- Siemens (Hrsg.) (2009): Sustainable Urban Infrastructure – Ausgabe München – Wege in eine CO₂-freie Zukunft, München.
- Stadt Wien (Hrsg.) (1999): Klimaschutzprogramm Wien (Download: <http://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/klip/download.htm>).
- Stadt Wien (Hrsg.) (2006): Städtisches Energieeffizienz-Programm – Konzept 2006. Wien.
- Stadt Wien (Hrsg.) (2007): Wiener Abfallwirtschaftskonzept 2007 im Rahmen der Strategischen Umweltprüfung 2006/07. November 2007
<http://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/pdf/awk2007.pdf> (23.4.2010)
- Stadt Wien (Hrsg.) (2008): Masterplan Flugfeld Aspern. (Download: <http://www.magwien.gv.at/stadtentwicklung/flugfeldaspern/index.htm>)
- Stadt Wien (Hrsg.) (2009a): Rathauskorrespondenz vom 14.4.2009: AVISO: Ludwig: Größte geförderte Biomasseheizung Wiens errichtet (Online: <http://www.wien.gv.at/vtx/rk?S=020090414015>, 16.06.2009).
- Stadt Wien (Hrsg.) (2009b): Kleinwasser Kraftwerk Nußdorf (Online: <http://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/klip/umsetzung/kwnussdorf.htm>, 16.06.2009).
- Stadt Wien (Hrsg.) (2009c): Fotovoltaikanlagen in Wien (Online: <http://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/oekoanlagen/Fotovoltaik.htm>, 16.06.2009).
- Stadt Wien (Hrsg.) (2010): Ökostromförderung, Photovoltaikförderung – Energieförderungen in Wien. (Online)
- Stadtwerke München (Hrsg.) (2006): Einsatz von Fernkälte aus Grundwasserüberleitungen für ein Rechenzentrum in München – Abschlussbericht. (Download: <http://www.swm.de/dokumente/swm/pdf/dok/abschlussbericht-fernkaelte-dt.pdf>).
- Stadtwerke München (Hrsg.) (2009a): Energiestrategie. (Online: <http://www.swm.de/de/unternehmen/energieerzeugung/energiestrategie.html>, 07.05.2009).
- Stadtwerke München (Hrsg.) (2009b): Energieerzeugungsanlagen. (Online: <http://www.swm.de/de/unternehmen/energieerzeugung/erzeugungsanlagen.html> 07.05.2009).
- UNDP – United Nations Development Programme, UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affairs und WEC – World Energy Council (Hrsg.) (2000): World Energy Assessment. Energy and the Challenge of Sustainability. New York: UNDP.
- Viehhauser, Michael (2008): Regional planning in Stockholm: Energy & Climate, Presentation KTH, 09 April 2008 (Download: www.infra.kth.se/tla/mtsa/tsd/Tr_Sust_Dev_Tut_3_Viehhauser.pdf, 12.05.2009).
- von der Heydt, (2009) e-Mail von Raoul von der Heydt, Phönix SonnenWärme AG, und siehe auch <http://www.wallstrasse35.de/energiekonzept.htm>
- Welt Online (Hrsg.) (2008): Hamburg Energie – welche Folgen hat der Plan? (Online, <http://www.welt.de/hamburg/article2519450/Hamburg-Energie-welche-Folgen-hat-der-Plan.html> 12.05.2009).
- Wien Energie (2009a): Wald Biomasse – Technik (Online: <http://www.wienenergie.at/we/ep/programView.do?contentType=1001&channelId=-26988&programId=17319&pageType=11894>, 16.06.2009).
- Wien Energie (2009b): Abfall – Standorte (Online: <http://www.wienenergie.at/we/ep/channelView.do?channelId=-25569&pageType=11894>, 16.06.2009).

- Wien Energie (2009c): Windkraft – Weitere Windparks (Online: <http://www1.wienenergie.at/we/ep/channelView.do?channelId=-26986&pageTypeld=11894>, 16.06.2009).
- Wien Energie (2009d): Wind – Errichtung des Windparks Steinriegel (Online: <http://www1.wienenergie.at/we/ep/programView.do?contentTypeld=1001&channelId=-22236&programId=12139&pageTypeld=11894>, 16.06.2009).
- Wien Energie (2009e): Solarenergie – Fotovoltaik (Online: <http://www1.wienenergie.at/we/ep/programView.do?contentTypeld=1001&channelId=-28349&programId=19854&pageTypeld=11894>, 16.06.2009).
- Wien Energie (2009f): Solarenergie – Solaranlagen (Online: <http://www1.wienenergie.at/we/ep/programView.do?channelId=-28349&programId=19853&pageTypeld=11894>, 16.06.2009).
- Wien Energie (2009g): Kälte – So funktioniert Fernkälte (Online: <http://www.wienenergie.at/we/ep/programView.do?channelId=-25556&programId=13871>, 16.06.2009).
- Wiener Umweltanwaltschaft (Hrsg.) (2009): Errichtung, Inbetriebnahme und Förderung von netzgekoppelten Fotovoltaik-Anlagen in Wien. (Online: <http://wua-wien.at/home/energie/checkliste-Fotovoltaik>, 26.08.2009).
- Wiener Umweltanwaltschaft (Hrsg.) (2009a): Errichtung, Inbetriebnahme und Förderung von thermischen Solaranlagen in Wien (Online: <http://wua-wien.at/home/energie/checkliste-solarthermie>, 26.08.2009).
- Wikipedia (Hrsg.) (o.J.) Sonnenwärmekraftwerk (Online: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenw%C3%A4rmekraftwerk> 3.12.2009)
- Wirtschaftsförderung Metropolruhr (2009): Geothermie – Unerschöpfliche Energiequelle (Online: <http://business.metropolruhr.de/kompetenzfelder/energie/geothermie.html>, 24.04.2010).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.) (2003): Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit, Heidelberg.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.) (2009a): Factsheet Bioenergie 1/2009 (Download: http://www.wbgu.de/wbgu_factsheet_1.pdf, 10.06.2009).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.) (2009b): Welt im Wandel – Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, Heidelberg.

Anhang: Erneuerbare Energien – vorhandene Technologien

Die folgenden Ausführungen zu den wichtigsten Quellen und Technologien erneuerbarer Energien sind im wesentlichen Zitate aus dem Gutachten „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ des Wissenschaftlichen Beirats der [Deutschen] Bundesregierung für Umweltfragen (WBGU), aus dem Jahr 2003. Der Beirat setzt sich zusammen aus international anerkannten führenden deutschen Wissenschaftlern. Die technischen Darstellungen sind grundlegender Natur. Bei den angegebenen Werten muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese 2002/2003 ermittelt wurden. Mittlerweile dürften aktuellere Daten vorliegen.

Wasserkraft

Eine traditionell wichtige Quelle erneuerbarer Energie ist die Wasserkraft. Sie wird durch Kraftwerke an Staudämmen oder Fließwasserkraftwerke erschlossen.

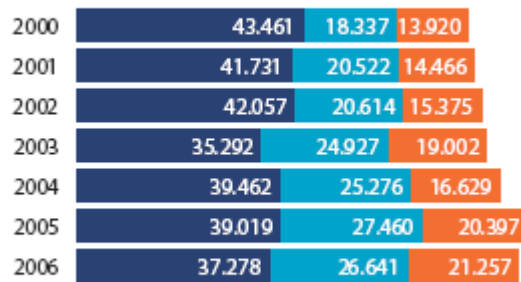
„Die bei Wasserkraftanlagen verwendete Technik ist ausgereift und gilt als äußerst zuverlässig. Entweder wird durch das Aufstauen eines Gewässers die zur Wasserkraftnutzung erforderliche Fallhöhe erreicht, oder es wird bei geringem Gefälle eine hohe Abflussmenge direkt durch Turbinen geleitet (Laufwasserkraftwerke). Wasserkraftanlagen benötigen sehr hohe Investitionen für den Bau, haben jedoch dafür eine hohe Lebensdauer (≥ 100 Jahre), niedrige Betriebskosten, einen geringen Wartungsaufwand und einen sehr hohen Wirkungsgrad. Das Betriebsmittel Wasser ist erneuerbar und kostenlos. Kraftwerke mit Stauseen haben eine schnelle Einsatzbereitschaft (z.B. 1 GW in ca. 5–10 min) und können somit zur Spitzenstromerzeugung und zum Ausgleich extremer Laständerungen in einem elektrischen Versorgungsnetz verwendet werden. Mit Wasserspeicheranlagen (Pumpspeicherwerke) können große Energiemengen bei nur geringen Verlusten gespeichert werden.“ (WBGU 2003: 57)

Das theoretische Potenzial der Wasserkraft wird für Europa mit 11,6 Exajoule¹⁷ pro Jahr angegeben, das technische Potenzial liegt bei 3,7 EJ/a, das wirtschaftliche bei 2,8 EJ/a, genutzt werden derzeit bereits 2,1 EJ/a. Die derzeit installierte Leistung beträgt 157 GW, weitere 10 GW sind in Planung. (WBGU 2003).

Im Jahr 2007 stammten insgesamt 56 % der in Österreich erzeugten elektrischen Energie aus Wasserkraft, 35 % aus fossilen Energiequellen, 5 % aus Windkraft und 4 % aus Biomasse.

¹⁷ Exajoule = EJ = 1 Trillion Joule = 10^{18} Joule = 1 Million Terajoule = 277,778 Milliarden Kilowattstunden (kWh)

Abbildung 25: Die Stromversorgung in Österreich 2000 bis 2006

DIE STROMVERSORGUNG IN ÖSTERREICH
IN MWH

■ WASSERKRAFT
■ ANDERE
■ IMPORTE

Quelle: e-control (2008)

Bioenergie

„Unter energetisch nutzbarer „moderner“ Biomasse versteht man folgendes:

- landwirtschaftliche Reststoffe (z. B. Stroh, Dung, Reisspelzen), soweit ohne Nährstoffverluste der Ackerböden verwertbar;
- Waldrest- und Schwachholz, soweit es nicht aus ökologischen Gründen im Wald verbleiben muss oder aus ökonomischen Gründen anderweitig verwendet wird;
- Industrierestholz und Gebrauchtholz (ebenfalls unter ökonomischen Restriktionen);
- speziell zum Zweck der Energiegewinnung angebaute ein- oder mehrjährige Energiepflanzen.

Die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse hängen vom Spektrum der eingesetzten Bioenergieträger ab. Neben der Verbrennung von Biomasse zur Erzeugung von Wärme und/oder Strom befinden sich verschiedene weitere Technologien im Versuchsstadium bzw. auf dem Weg zur Marktfähigkeit. Erprobt wird auch die Weiterentwicklung der Stromerzeugung durch Vergasung fester Biomasse sowie eine Kopplung mit der Wasserstoffwirtschaft.“ (WBGU 2003: 60).

„Die Unsicherheit bei der Schätzung der technischen Potenziale der Biomassenutzung in der Europäischen Union (EU-15) ist selbst für eine Region mit guter statistischer Dokumentation groß. Die Potenzialabschätzungen reichen von 4.300 bis zu 10.100 PJ¹⁸ pro Jahr, mit einem Median bei 5.700 PJ pro Jahr und einem Mittelwert bei 6.100 ± 1.900 PJ pro Jahr. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf Kaltschmitt et al., 2002 (mit Ergänzungen), dessen Wert mit 5.200 PJ pro Jahr unterhalb des Mittelwerts der Schätzungen aus der Literatur (Hall und House, 1995; EU-Kommission, 1998; AEBIOM, 1999; Grassi, 1999; Ministry of Trade and Industry, 1999; FNR, 2000; fesa, 2002) liegt, dem Medianwert jedoch nahe kommt. Die technischen und wirtschaftlichen Potenziale der Bioenergie sowie der C-

¹⁸ PJ = Petajoule = 10¹⁵ Joule = 1.000 Terajoule = 277,778 Millionen Kilowattstunden (kWh)

Speicherung durch veränderte Bewirtschaftungsmethoden in der EU sind in Tab. 3.2-7 dargestellt. Das technische Bioenergiepotenzial der EU beträgt 5.225 PJ pro Jahr, womit 8,6% des Energieeinsatzes des Jahres 2000 (60.926 PJ; Eurostat, 2002) gedeckt werden könnten.“ (WBGU 2003: 61).

Abbildung 26: Technische Potenziale der Biomassebereitstellung für energetische Nutzung nach Stoffgruppen in der EU.

	Heizwert [MJ/kg]	Menge [Mio. t _{TRG} /a]	Energiepotenzial [PJ/a]	C-Äquivalente [Mio. t C _{eq} /a]	Fläche [Mio. ha]
ENERGIEPOTENZIAL					
<i>Forstwirtschaft</i>		171,6	3.192	63,8	113
Waldrest-/Brennholz	18,6	44,5	828	16,6	
Schwachholz	18,6	25,0	465	9,3	
Industrierestholz	18,6	67,0	1.246	24,9	
Altholz	18,6	26,8	498	10,0	
Landschaftspflegeholz	18,6	8,3	154	3,1	
<i>Landwirtschaft</i>		63,8	1.098	20,3	74
Stroh	17,2	53,2	915	16,9	36
Nebenprodukte/Abfälle	17,0	10,6	183	3,4	38
<i>Energiepflanzen</i>	17,7	52,8	935	17,8	7,4
<i>Summe (technisch)</i>		288	5.225	101,9	
<i>Summe (wirtschaftlich)</i>			3.134	61,1	
SENKENPOTENZIAL					
<i>ARD-Bilanz</i>				1,4	7,4
<i>Management Forst</i>				39,4	108
<i>Management Agrar</i>				16,4–19,1	74
<i>Summe</i>				57,2–59,9	
<i>Gesamtes Einsparpotenzial</i>				119,6	

Quelle: WBGU (2003).

Risiken der Bioenergienutzung

„Im Energiesystem spielen Energiepflanzen eine wichtige Rolle beim Übergang in eine von Wind- und Solarenergie geprägte Zukunft. Bis zu 10% des globalen Energiebedarfs könnten langfristig durch Bioenergie gedeckt werden. Eine besonders hohe Klimaschutzwirkung wird der Bioenergie vor allem dann zugemessen, wenn durch ihre Nutzung fossile Energieträger mit hohen spezifischen CO₂-Emissionen ersetzt werden, also an erster Stelle Kohle bei der Stromerzeugung. Zugleich gilt es Verfahren zu entwickeln mit denen die Umwandlungsverluste bei der Herstellung des Bio-Brennstoffs möglichst gering gehalten werden.“

Das weltweite Potenzial der Bioenergie ist jedoch begrenzt, weil die Landflächen auch für Ernährung und Naturschutz gebraucht werden. Mehr Bioenergie bedeutet zusätzliche oder

intensivere Landnutzung. Daher steht sie in direkter Konkurrenz zur Ernährungssicherheit, dem Naturschutz und dem Klimaschutz.

Die zunehmende Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung wurde daher in der öffentlichen Diskussion der vergangenen Jahre/Monate oftmals kritisch betrachtet. Der WBGU kommt in seinem neuesten Gutachten „Welt im Wandel – Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“ 2009 zu dem Ergebnis, dass es vor allem entscheidend ist, wie Bioenergie produziert und genutzt wird:

- Durch die zunehmende Nutzung von Energiepflanzen wird die weltweit steigende Nachfrage nach Land verstärkt. Gleichzeitig muss laut UN-Welternährungsorganisation bis 2030 die landwirtschaftliche Fläche zur Ernährung der Weltbevölkerung um etwa 13% ausgeweitet werden. Die Konkurrenz mit dem Anbau von Energiepflanzen kann zu steigenden Nahrungsmittelpreisen und Konflikten um Land führen, was für etwa 1 Mrd. der ärmsten Menschen ein existenzielles Risiko ist. Auch die Konkurrenz um Wasser kann sich verschärfen und die intensivierte Landnutzung kann die Böden schädigen.
- Für die Landwirtschaft werden immer mehr naturnahe Flächen in Ackerland umgewandelt. Der Anbau von Energiepflanzen kann den bereits bestehenden Anbau von Nahrungsmitteln verdrängen, so dass dieser auf andere, bisher unberührte Gebiete ausweichen muss. Dies kann wiederum indirekt an anderer Stelle zur Rodung von Wäldern führen, sogar in anderen Ländern. Ein ungesteuerter Anbau von Energiepflanzen würde so den Verlust biologischer Vielfalt zusätzlich verstärken. Daher sollten mindestens 10–20% der globalen Landfläche dem Naturschutz vorbehalten bleiben.
- Die Umwandlung naturnaher Flächen in Ackerflächen setzt Treibhausgase frei. Ob der Anbau von Energiepflanzen Klimaschutz oder Klimaschaden bedeutet, hängt deshalb wesentlich vom genutzten Land ab. In der Klimabilanz müssen diese Emissionen immer berücksichtigt werden. Auf keinen Fall sollten Wälder oder Feuchtgebiete für Bioenergie umgenutzt werden, weil hierdurch in der Regel mehr Treibhausgase produziert als durch die Nutzung der Bioenergie eingespart werden. Die einfache Gleichung, dass Bioenergie in der Gesamtsumme keine CO₂-Emissionen verursacht, weil bei der Verbrennung nur so viel CO₂ abgegeben wird wie vorher durch die Pflanzen aufgenommen wurde, ist also nicht zutreffend.

Höchste Priorität sollte daher die energetische Nutzung von Bioabfall, Ernteabfällen und Reststoffen bekommen, denn hierdurch werden kaum Risiken verursacht. Dagegen kann der Anbau von Energiepflanzen vor allem dann zum Klimaschutz beitragen, wenn keine naturnahen Flächen in Agrarland umgewandelt werden und mehrjährige Anbaukulturen zum Einsatz kommen“ (WBGU 2009b).

Windenergie

„Windkraftanlagen wandeln die kinetische Energie bewegter Luft in mechanische Rotationsenergie und anschließend in Elektrizität um. Dem Wind kann dabei maximal knapp

60% seiner Leistung entzogen werden (Dwinnell, 1949). Der weltweite Markt für Windenergieanlagen gliedert sich derzeit in zwei grundlegend verschiedene Einsatzgebiete: Während in Asien sehr kleine, dezentrale Anlagen als Batterieladestationen zehntausendfach verbreitet sind, kommt der Windenergie unter quantitativen energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten insbesondere auf dem Gebiet der netzgebundenen Großturbinen globale Bedeutung zu. [...] Die Nennleistungen der netzgebundenen Anlagen sind in den letzten 30 Jahren von typischerweise 30 kW auf mittlerweile bis zu 3 MW angestiegen, 5 MW sind für Offshore-Anwendungen projektiert. Aufgrund fluktuierender Windgeschwindigkeit liegt die mittlere jährliche Leistung der Windturbinen nur bei 20–25% der Nennleistung (Offshore über 30%): Allgemein gilt, dass die in Wind enthaltene Leistung der dritten Potenz der Luftgeschwindigkeit proportional ist. Moderne Anlagen beginnen etwa ab 3 m pro Sekunde Windgeschwindigkeit mit der Energieproduktion. Ab etwa 25 m pro Sekunde werden die Anlagen abgeregelt, um Schäden zu vermeiden. Da die mittlere Windgeschwindigkeit in Rotorhöhe eine wichtige Kenngröße für den Ertrag von Windkraftanlagen ist, hat sie wesentlichen Einfluss auf die Stromgestehungskosten. Diese liegen heute unter Berücksichtigung der Betriebs- und Wartungskosten an geeigneten Standorten in Deutschland zwischen 5,5 und 13 €-Cent pro kWh (BMU, 2002).

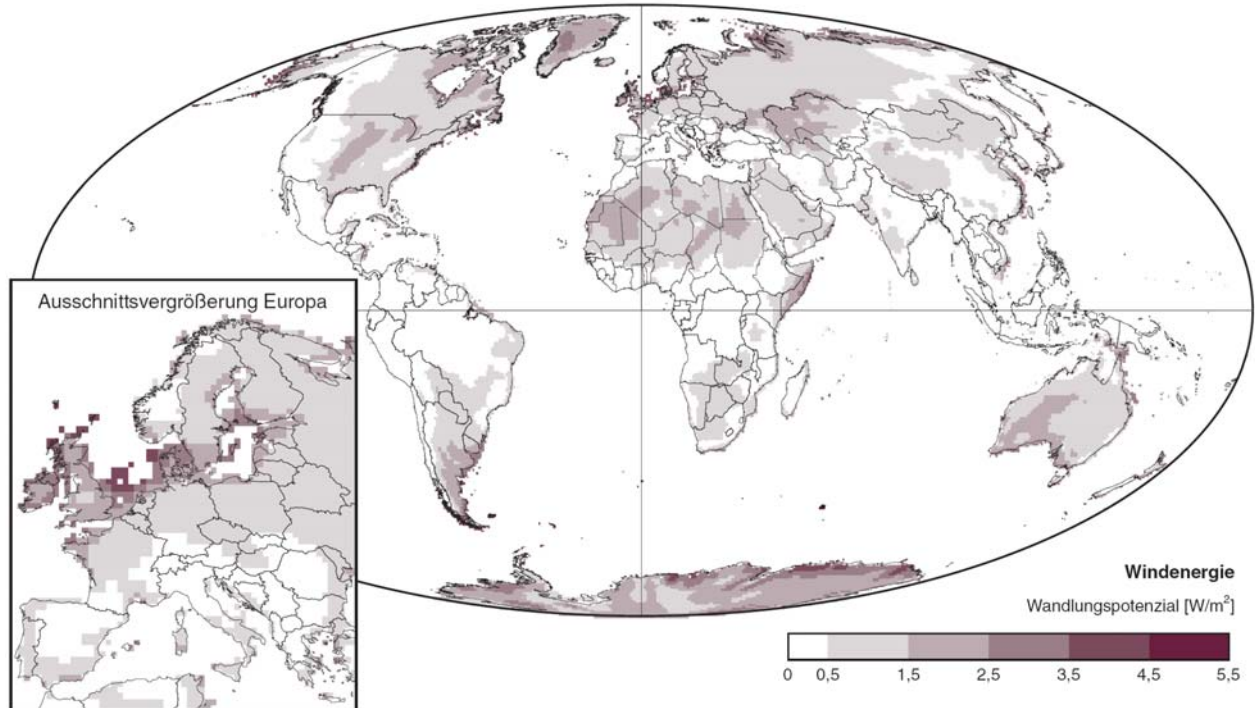
Gute Standorte an Land können bei verstärkter Windenergienutzung knapp werden, so dass bereits erste Windparks auf See in Erprobung sind. Während sich die entsprechende Volllaststundenzahl in der Nordsee auf bis zu 4.000 Stunden pro Jahr erhöhen kann, verdoppeln sich in etwa auch die Installationskosten. In der Summe werden Offshore-Anwendungen also nicht in erster Linie wegen eines möglichen Preisvorteils angestrebt, sondern um geeignete neue Standorte zu erschließen. Die in diesem Zusammenhang für Deutschland weitgehend konfliktarm realisierbare installierte Leistung wird auf bis zu 25 GW geschätzt. Während einer 20-jährigen Nutzungsdauer lässt sich mit einer Windkraftanlage je nach Standort bis zu etwa 80-mal soviel Energie gewinnen, wie für ihre Herstellung, Nutzung und Entsorgung derzeit verbraucht wird (Bundesverband Windenergie, 2001). Folglich können die Anlagen ihren Energieaufwand zur Errichtung der Anlage bereits in etwa drei Monaten wieder einspielen.“ (WBGU 2003: 68).

Potenzial

„Für die Berechnung des Potenzials der Windenergienutzung an Land und auf See wird ein fortschrittlicher Multimegawatt-Windenergiekonverter angenommen. Die bei der Berechnung des Wandlungspotenzials zugrunde gelegten Windgeschwindigkeiten entstammen meteorologischen Daten, aus denen der Wert für die entsprechende Nabenhöhe interpoliert wurde. Hierbei wurde über einen 14-jährigen Zeitraum gemittelt (1979–1992). Zur Berechnung eines globalen technischen Potenzials müssen jedoch neben dem Wandlungspotenzial verschiedene weitere Einschränkungen berücksichtigt werden. So wurden beispielsweise Stadtgebiete, Waldflächen, Feuchtgebiete, Schutzgebiete, Gletscher und Sanddünen bei der Berechnung ausgeschlossen. Landwirtschaft hingegen wurde nicht als mit der Windenergie konkurrierende Landnutzung angesehen. Daneben kann jedoch auch die Geländeform aufgrund der herrschenden Windverhältnisse (z.B. Schlucht, Kessel) oder der Geländesteigung (Problem der Fundamentierung) den Einsatz von Windkraftanlagen verbieten. [...] Unter Zugrundelegung der sich aus diesen Ansätzen ergebenden Flächenrestriktionen ergibt sich das Integral für das globale technische Potenzial zu 1.000 EJ pro Jahr für land- und seegestützte Anwendungen. Der Beirat hält 10–

15% dieses technischen Potenzials für nachhaltig nutzbar und empfiehlt etwa 140 EJ pro Jahr als langfristig erreichbaren Beitrag der Windenergie zu einer nachhaltigen Energieversorgung.“

Abbildung 27: Globale Verteilung des Wandlungspotenzials der Windenergie auf Landflächen und Offshore bis zu einer Tiefenlinie von 40 m.



Quelle: WBGU (2003)

Sonnenenergie

Solarthermie

Stromerzeugung

„In solarthermischen Kraftwerken wird direktes Sonnenlicht mit optischen Elementen auf einen Absorber konzentriert, die absorbierte Strahlungsenergie erhitzt ein Wärmeübertragungsmedium. Diese Wärmeenergie kann anschließend zum Antrieb weitgehend konventioneller Kraftmaschinen, wie Dampfturbinen oder Stirlingmotoren, eingesetzt werden. Solarthermische Kraftwerke sind daher eng mit der klassischen Kraftwerkstechnik verwandt, wobei anstelle fossiler Brennstoffe Sonnenenergie genutzt wird. Alle bisher gebauten solarthermischen Anlagen basieren auf einer starken Konzentration des Sonnenlichts, so dass ihr Einsatz nur in Gegenden mit hohem Anteil direkter Sonnenstrahlung sinnvoll ist. Drei verschiedene Technologien wurden bereits realisiert:

Parabolrinnenkraftwerke: In parabolisch geformten linearen Reflektoren, die der Sonne einachsigt nachgeführt werden, wird die Sonnenstrahlung auf einen rohrförmigen Lichtabsorber fokussiert, der in der Regel ein spezielles Öl als Wärmeübertragungsmedium

enthält. Das auf etwa 350–400 °C erhitzte Öl erzeugt anschließend in einem Wärmetauscher Dampf für eine weitgehend klassische Dampfturbine. Die Systeme sind leicht auf relativ große Leistungen auszulegen und haben derzeit typischerweise Nennleistungen von 30–80 MW. In Kalifornien liefern solche Kraftwerke bereits seit mehr als 10 Jahren Strom bei einer installierten Gesamtleistung von etwa 350 MW. Eine weitere deutliche Kostenreduktion könnte sich durch die Direktverdampfung von Wasser in den Absorberröhren ergeben.

Solarturmkraftwerke: Ein großes Feld beweglicher Spiegel fokussiert das Sonnenlicht auf einen Empfänger, der auf einem Turm montiert ist. Dort wird der Wärmeträger (Wasser, Salz, Luft) auf 500–1.000 °C erhitzt. Aufgrund der hohen Nutzttemperaturen kann die Energie prinzipiell auch direkt in eine Gasturbine bzw. in ein modernes GuD-Kraftwerk eingekoppelt werden. Für Turmkraftwerke sind Nennleistungen um 200 MW geplant, die etwa einen Faktor 10 über derzeitigen Pilotanlagen liegen.

Paraboloidkraftwerke: Bei diesem System werden der Sonne nachgeführte Parabolspiegel eingesetzt, in deren Brennpunkt ein Medium auf 600–1.200 °C erhitzt werden kann. Die Anlagen sind in der Regel eher klein (einige 10 kW Nennleistung). Sie bieten sich daher für dezentrale Anwendungen an. Die Wärmeenergie wird in Kraftmaschinen in mechanische und schließlich in elektrische Energie umgewandelt. Diese Technologie befindet sich in der technischen Erprobung.

Allgemein werden Systeme mit hohen Arbeitstemperaturen angestrebt, da dann die Umwandlung von Wärme in Elektrizität in thermodynamischen Maschinen höhere Wirkungsgrade erlaubt. Eine wesentliche Erweiterung für die solarthermische Kraftwerkstechnik liegt in der mittelfristigen Wärmespeicherung (Stunden, Tage). Mit geschmolzenen Salzen als Speicher hat diese Technologie bereits bewiesen, dass solarthermische Anlagen, die rund um die Uhr Strom produzieren, ohne konventionelle Zufeuerung realisierbar sind.

Die enge Verwandtschaft solarthermischer Anlagen mit konventionellen Kraftwerken erlaubt die Integration von fossiler Feuerung und Solarthermie in so genannten Hybridkraftwerken. Die Erweiterung bestehender fossiler Kraftwerke um eine solarthermische Zusatzeinheit wird in einstrahlungsstarken Regionen als ein wichtiger kurz- und mittelfristiger Markt für erneuerbare Energien angesehen. Ebenso ist die Kombination solarthermischer Kraftwerke mit thermischer Biomasseverwertung denkbar. Dies ermöglicht den kontinuierlichen Betrieb von Kraftwerken im Multi-Megawatt-Bereich ausschließlich auf der Basis erneuerbarer Energien. Solarthermische Kraftwerke können außerdem in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, indem neben elektrischer Energie beispielsweise Trinkwasser aus einer Meerwasserentsalzungsanlage (z.B. über thermische Destillationsprozesse) gewonnen wird. In Kraft-Wärme-Kopplung sind solare Wirkungsgrade von bis zu 85 % denkbar. Langfristig erscheinen die Konzepte der Parabolrinnen oder der Solartürme vielversprechender als die kleineren Paraboloidkraftwerke, da letztere gegenüber der Fotovoltaik die Nachteile zweier verschleißbehafteter mechanischer Systeme (optische Nachführung des Paraboloids, thermodynamische Maschine) aufweisen. Bei großen Kraftwerken in sonnenreichen Gebieten stellen Parabolrinnen und Solartürme die derzeit mit Abstand kostengünstigste Möglichkeit zur Nutzung der Sonnenenergie zur Stromerzeugung dar. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften ist zu erwarten, dass beide Technologieoptionen je nach Rahmenbedingungen (Kraftwerksgröße, Infrastruktur, lokaler Strombedarf, Möglichkeiten des Stromferntransports, Einstrahlungsbedingungen usw.) breiten Einsatz finden werden.“

(WBGU 2003: 74f.)

Der Vollständigkeit halber sei auch auf Aufwindkraftwerk hingewiesen: „Thermikkraftwerke auch Aufwindkraftwerk genannt, machen sich den Kamineffekt zu Nutze, bei dem warme Luft aufgrund ihrer geringeren Dichte nach oben steigt. Sie bestehen aus einem großen flächigen Glasdach (Kollektor), unter dem sich die Luft am Boden wie in einem Treibhaus erwärmt (siehe Treibhauseffekt). Die warme Luft steigt nach oben und strömt unter dem Glasdach zu einem Kamin in der Mitte der Anlage. Der entstehende Aufwind wird mit Hilfe einer oder mehrerer Turbinen, gekoppelt mit einem Generator, in elektrischen Strom umgewandelt. Den geringen technischen Anforderungen an solch eine Anlage steht der sehr niedrige Wirkungsgrad von selbst im besten Fall nur etwa 1 % gegenüber, der den erforderlichen Aufwand und die Baugröße solcher Anlagen unverhältnismäßig groß werden lässt.“ (Wikipedia o.J.)

Solare Wärmeerzeugung

„Solarkollektoren setzen die Strahlung der Sonne in Wärme um. Typische Anwendungen, bei denen in der angegebenen Reihung das Temperaturniveau der benötigten Wärme steigt, sind Schwimmbadheizungen, Brauchwassererwärmung, Raumheizung und Prozesswärmebereitstellung. Je höher das angestrebte Temperaturniveau, desto komplexer der einzusetzende Kollektor, da ein höherer Aufwand zur Vermeidung von Wärmeverlusten betrieben werden muss. Man unterscheidet im Wesentlichen die folgenden Typen thermischer Kollektoren:

Kollektoren mit unabgedecktem Absorber: In dieser einfachsten Ausführung eines Solarkollektors fließt ein Wärmeträger (z.B. Wasser) durch nicht abgedeckte, schwarze Kunststoffmatten. Die Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung sind groß, so dass keine hohen Temperaturen erreicht werden können. Wegen der geringen Kosten sind diese Kollektoren zur Erwärmung von Schwimmbädern etabliert.

Flachkollektoren: Bei diesem Kollektortyp werden Wärmeverluste meist durch zwei Maßnahmen verringert. Zum einen ist der Absorber zur Sonne hin mit einer Glasscheibe und auf der Rückseite mit Dämmmaterial isoliert. Zum anderen werden optisch selektive Absorber eingesetzt, die im sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich stark absorbieren und im Wärmestrahlungsbereich (thermisches Infrarot) nur wenig abstrahlen. Dadurch erhöhen sich die erzielbaren Temperaturen im Vergleich zum unabgedeckten Absorber deutlich. Flachkollektoren werden derzeit in erster Linie bei der Brauchwassererwärmung eingesetzt, wobei in Deutschland typischerweise etwa 60 % des jährlichen Wärmebedarfs [Warmwasser] solar gedeckt werden: Während im Sommer eine vollständige Deckung erzielt wird, wird das solar vorgewärmte Wasser im Winter konventionell nacherhitzt. In zunehmendem Umfang werden thermische Kollektoren in so genannten Kombianlagen auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt.

Vakuümrohrenkollektoren: Bei diesen Kollektoren sorgt eine Vakuümisolierung dafür, dass die Wärmeverluste durch Leitung und Konvektion der in gläsernen Röhren liegenden Absorber fast gänzlich unterbunden werden. So wird auch im Winter ein guter Wirkungsgrad mit hohen Temperaturen erreicht. Derartige Kollektoren eignen sich besonders für höhere geographische Breiten, Winterbedingungen und Prozesswärmeanwendungen. Wegen der hermetischen Kapselung des Absorbers werden sie aber auch in großem Maßstab bei der

Brauchwassererwärmung in Ländern mit geringer entwickelter technischer Infrastruktur angewandt. [Wesentlicher Grund ist der günstige Preis, da zu 98 % in China hergestellt]

Die in einer Solarkollektoranlage gesammelte Wärmeenergie wird in der Regel in einen Speicher überführt, damit die Unterschiede zwischen Wärmenachfrage und -angebot für einige Tage ausgeglichen werden können. Speicher, die Wärme aus den Sommermonaten sogar bis in den Winter hinein bereithalten können, wurden in Pilotanlagen bereits erfolgreich getestet. Da Wärmeverluste mit dem Verhältnis aus Oberfläche zu Volumen ansteigen, müssen saisonale Speicher (soweit sie auf der Nutzung sensibler Wärme basieren) vergleichsweise groß sein, was ihre Einbindung in ein Nahwärmeversorgungsnetz notwendig macht. Die Modularität von Solarkollektoren erlaubt ihren Einsatz prinzipiell in allen erforderlichen Leistungsbereichen. Die Wärmekosten liegen für einen typischen Standort in Deutschland heute bei 3–7 €-Cent pro MJ (BMU, 2002), für sonnenreichere Standorte entsprechend niedriger. [Bei den Werten sollte beachtet werden, dass die Daten von 2002 sind. Mittlerweile dürften veränderte Parameter zu niedrigeren Kosten führen] Die in thermischen Solarkollektoren verwendeten Materialien sind in der Regel umweltverträglich und können zudem nahezu vollständig wiederverwertet werden.

Solares Kühlen

Kühlung und Gebäudeklimatisierung sind ideale Anwendungen von Solarenergie, da der Bedarf zeitlich mit dem Energieangebot weitgehend zusammenfällt. Zwei Methoden können verwendet werden: Zum einen kann Solarstrom für den Betrieb einer konventionellen Kompressionskältemaschine eingesetzt werden. Zum anderen kann Solarwärme über Sorptions- oder Adsorptionsverfahren zum Antrieb thermodynamischer Kühlprozesse eingesetzt werden. Hybridkühlsysteme mit solarer und konventioneller Energieversorgung können über die Hälfte der für den Betrieb einer konventionellen Anlage benötigten Primärenergie einsparen. Für Schwellen- und Entwicklungsländer in niederen geographischen Breiten sind solare Kühltechnologien eine interessante Alternative: Die Raumkühlung ist mit erheblichem Energiebedarf verbunden. Außerdem kommen solare Kühltechnologien den meist dezentralen Energiestrukturen in diesen Ländern entgegen. Kühl- und Klimatisierungstechnologien bei Nutzung der Sonnenwärme können in vielen Einsatzbereichen und Weltregionen zukünftig stark an Bedeutung gewinnen.“ (WBGU 2003: 76). [Es gibt Stimmen, die die Potenziale für solares Kühlen grundsätzlich kritisch sehen. Siehe unter *4.8 Solares Kühlen* (Seite 40).]

Fotovoltaik

Fotovoltaische Zellen („Solarzellen“) wandeln Licht direkt in elektrische Energie um. Solarzellen bestehen derzeit aus mehreren übereinander liegenden Schichten verschiedenartiger halbleitender Materialien. Für die Anwendung werden sie elektrisch in Serie geschaltet und in Modulen verkapselt. Auf diese Weise werden technisch gut handhabbare elektrische Spannungen erreicht. Die Verkapselung schützt die Halbleiterelemente vor Umwelteinflüssen und garantiert somit eine hohe technische Lebensdauer. Fotovoltaische Module werden bei Bedarf elektrisch zu Modulfeldern verschaltet und über eine Anpassungselektronik mit Verbrauchern oder dem elektrischen Netz gekoppelt. Bei nicht netzgekoppelten Anlagen wird in der Regel ein Speicherelement (z. B. Akkumulator) in das System integriert. Seit der Entwicklung der ersten Solarzelle im Jahr

1954 dominiert kristallines Silizium als Ausgangsstoff die Zellenherstellung. Aufgrund der notwendigen hohen Reinheit des Materials sind Solarzellen bei derzeitiger Zellenstärke recht teuer. Zahlreiche alternative Technologien werden entwickelt, um Materialeinsatz und Kosten deutlich zu reduzieren (Luther et al., 2003). Für langfristige globale Strategien ist bei der Bewertung der Zelltechnologien neben Wirkungsgrad und Preis auch die Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe zu bedenken. Dabei ist Silizium als zweithäufigstes Element der Erdkruste unkritisch, während andere Elemente, wie Indium und Tellur, die in einigen Dünnschichttechnologien eingesetzt werden, bei hoher Produktion knapp werden könnten. Weiterhin zu bedenken ist die energetische Amortisationszeit der Anlagen. Moderne netzgekoppelte Systeme produzieren die zu ihrer Herstellung notwendige Energie in Mitteleuropa in etwa drei Jahren. Dieser Zeitraum ist kurz im Vergleich zur gesicherten technischen Lebensdauer der Anlagen von gut 20 Jahren (Pehnt et al., 2003). Dabei ist zu berücksichtigen, dass heutige Anlagen hinsichtlich ihrer energetischen Amortisationszeit nicht optimiert worden sind. Wie bei der Windenergie fallen auch bei der Fotovoltaik die Emissionen von Treibhausgasen nicht beim Betrieb der Anlage sondern bei Herstellung und Entsorgung an. Der mittlere CO₂-Ausstoß pro kWh Solarstrom ist daher vom Strommix des Herstellungslands der Anlage abhängig. Weil Solarzellen in Modulen verschaltet und diese wiederum zu Systemen beliebiger Größe kombiniert werden können, gibt es für die Fotovoltaik ein extrem breites Feld möglicher Anwendungen. Netzferne Kleinstanlagen liefern typischerweise einige zehn Watt, netzgebundene Großkraftwerke können bis in den MW-Bereich hinein ausgelegt sein.

Während Fotovoltaiksysteme in netzfernen ländlichen Gebieten bereits heute in der Regel kostengünstiger als eine Ausweitung des zentralen Netzes sind, ist die Fotovoltaik im Vergleich zu konventionellen Großkraftwerken in ausgedehnten Netzen bei weitem noch nicht wettbewerbsfähig. Im Rahmen des exemplarischen WBGU-Szenarios werden für netzgebundene Anlagen im Jahr 2020 Installationspreise von jeweils etwa 1 € pro Watt für das Modul sowie die restlichen Systemkomponenten für realistisch gehalten [dies ist heute schon absehbar, die günstigsten Module (First Solar Dünnschicht) haben aktuell (Dez. 2009) bereits Produktionskosten von unter 1 USD/W]. Dies entspricht nur etwa einem Drittel der heutigen Investitionskosten. Damit ergäben sich für 2020 im globalen Mittel etwa 12 €-Cent Stromkosten pro kWh. Die Kosten sind abhängig von der geographischen Breite und in tropischen Trockengebieten nur etwa halb so hoch wie in Europa. 2020 wird für kristallines Silizium eine Massenproduktion im 10 GW-Maßstab erwartet. Für verschiedene Dünnschichttechnologien sollte bis dahin die Massenproduktion erreicht sein (Lux-Steiner und Willeke, 2001) [Ist schon erreicht]. Auch zukünftig werden unterschiedliche Solarzellentechnologien parallel Verwendung finden, wobei neben den Kosten der Anwendungsbereich, das regionale Einsatzgebiet und die technologische Verfügbarkeit die spezielle Auswahl bestimmen werden. Mittel- und langfristig können weitere Technologien zur Kostensenkung und Erschließung neuer Einsatzgebiete beitragen, die heute im Labor entwickelt werden:

Fotovoltaische Kraftwerke im Leistungsbereich von einigen 100 kW bis MW mit optischer Konzentration kombinieren kostengünstige Konzentratoren (z.B. Fresnel-Linsen) mit hocheffizienten Solarzellen; *Solarzellen aus u. a. organischen Verbindungen*, Farbstoffsolarzellen.

Die grundlagenorientierte Forschung arbeitet außerdem an visionären Fotovoltaikkonzepten,

deren Potenzial noch nicht abgeschätzt werden kann.

Potenziale

Die Wandlungspotenziale der Solarenergienutzung wurden für vier verschiedene Technologien berechnet:

- zentrale solarthermische Kraftwerke mit optischer Konzentration;
- zentrale Fotovoltaik-Kraftwerke ohne optische Konzentration;
- dezentrale fotovoltaische Module ohne optische Konzentration;
- thermische Solarkollektoren.

Für die Fotovoltaik wird dabei, ohne Festlegung auf eine bestimmte Technologie, im Jahr 2050 ein Jahressystemwirkungsgrad von 25% angenommen. Bei den solarthermischen Anlagen wurde in den Potenzialkarten die Kraft-Wärme-Kopplung nicht berücksichtigt. Für Solarkollektoren zur Wärmeerzeugung wird für 2050 ein Jahreswirkungsgrad von 40% als erreichbar angesehen [Hier wie an anderen Stellen gilt, dass die Werte bereits 2002/2003 ermittelt wurden und mittlerweile andere Daten vorliegen dürften]. Auf Basis dieser Wandlungspotenziale wurden bei Beachtung von Flächenrestriktionen zudem technische Potenziale berechnet. Hierbei ergeben sich für jede der betrachteten Konversionstechnologien Werte, die in dem jeweiligen Sektor einem Vielfachen aller Zukunftsprojektionen des menschlichen Energieeinsatzes entsprechen. Die globalen technischen Potenziale können vor diesem Hintergrund als quasi unbegrenzt bezeichnet werden. Charakteristisch für den jährlichen Solarenergiefluss ist seine weitgehende Gleichverteilung über die stärker bewohnten Gebiete der Erde. Diese vorteilhafte Eigenschaft wird auf den Karten, die Technologien ohne optische Konzentration betreffen, deutlich. In höheren Breiten sind allerdings die jahreszeitlichen Schwankungen beträchtlich, so dass zu deren Ausgleich weitere Technologien eingesetzt werden müssen. (WBGU 2003).

Erdwärme

Entnommen aus WBGU (2003: 77f)

„Tiefes heißes Gestein oder Sedimente

Beim so genannten Hot-Dry-Rock-Verfahren werden Bohrungen niedergebracht, durch die kaltes Wasser in die Tiefe gepresst und das erhitzte Wasser wieder gefördert wird. Voraussetzung sind trockene heiße Gesteinsschichten mit Rissen und Spalten für den Wärmeaustausch mit Wasser. Mit diesem Verfahren können vergleichsweise hohe Temperaturen von etwa 100–180 °C erreicht werden. An anderen Standorten wird Wasser durch die Poren heißen Sedimentgesteins gepresst, wobei sich aber nur Temperaturen um 100 °C erreichen lassen. Die auf beide Arten gewonnene Wärme kann in Nah- und Fernwärmenetze eingespeist werden oder in der Industrie als Prozesswärme dienen. Je höher die Temperatur, umso effizienter wird aber auch die Stromerzeugung. Während bei Temperaturen über 150 °C Wasserdampf direkt in angepassten konventionellen Dampfturbinen zur Stromerzeugung genutzt werden kann, müssen für niedrigere

Temperaturen in der Regel so genannte Binäranlagen verwendet werden. Hierbei wird die Wärmeenergie des Wassers in einem Wärmetauscher auf eine weitere Flüssigkeit übertragen. Die elektrischen Wirkungsgrade solcher Anlagen liegen je nach Temperatur der geothermischen Wärme bei nur 10–16%, bei Temperaturen von ca. 80 °C aber auch darunter (BMU, 2002). Entsprechend viel Abwärme kann lokal genutzt bzw. muss entsorgt werden. Die derzeit prognostizierten Kosten der Stromerzeugung variieren zwischen 7–15 €/Cent pro kWh_{el}. Wegen der Konstanz des geothermischen Wärmeflusses eignen sich geothermische Kraftwerke mit einigen Megawatt Leistung vor allem für den Grundlastbetrieb.

Hydrothermale Systeme

Im Gegensatz zu trockenen und heißen Gesteinen ist an anderen Stellen bereits Dampf oder heißes Wasser im Untergrund vorhanden, das man über Bohrungen fördern und direkt zum Heizen oder für die Stromproduktion einsetzen kann. Über eine zweite Bohrung sollte es wieder in die Tiefe gebracht werden, um den Wasserkreislauf aufrecht zu erhalten und die Belastung der Oberflächengewässer durch den hohen Gehalt an Mineralien zu verhindern. Bei Temperaturen zwischen 40–120 °C wird die Erdwärme aus Thermalwässern bisher nur zur Gebäude und Wasserheizung genutzt.

Oberflächennahe Erdwärme

Die Schlüsseltechnologie zur Nutzung oberflächennaher Erdwärme ist die Wärmepumpe. Sie fördert Wärme unter Einsatz zusätzlicher Energie von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau. In der Regel wird dem Boden durch Wärmetauscher, die in 1–2 m Tiefe verlegt werden, Erdwärme im Temperaturbereich von 5–10 °C entzogen. Alle Wärmepumpen brauchen zum Betrieb hochwertige Energie, deren Berücksichtigung für die energetische Bewertung unerlässlich ist. Dies geschieht mit der so genannten „Arbeitszahl“, die das Verhältnis von eingesetzter Energie (z.B. Strom, Gas) zur Nutzenergie (genutzte Heizwärme) beschreibt. Da im konventionellen Kraftwerk nur etwa ein Drittel der Primärenergie in Strom überführt wird, sollte eine strombetriebene Wärmepumpe beim heutigen Energiemix eine Jahresarbeitszahl deutlich größer 3,6 haben. Bei allen anderen Wärmepumpen, bei denen in der Energiebilanz keine Abwärmeverluste in Kraftwerken auftreten, ist schon eine Arbeitszahl von 1,1 ausreichend. Derzeitige Prototypen und Kleinprodukte thermisch angetriebener Wärmepumpen (Erdgas) erreichen Jahresarbeitszahlen von 1,3. Bei elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen werden Arbeitszahlen von über 3,6 erreicht. In Verbindung mit Wärmepumpen kann das Erdreich als Wärmespeicher genutzt werden, wenn die gleichen Anlagen im Sommer zur Kühlung/Klimatisierung dienen. In diesem Fall wird die beim Kühlprozess anfallende Abwärme im Erdreich gespeichert, wodurch die Temperatur für den winterlichen Heizbetrieb angehoben werden kann. [Dies reicht nicht in Ballungsräumen, aber solarthermische Ertüchtigung kann als Kombination das Problem lösen. Siehe unter 2.2.2 *Potenziale der Geothermie in der Metropole Ruhr* (Seite 13)]

Potenzial

Die Energiequelle für oberflächennahe Anwendungen der Bodenwärme z. B. in Wärmepumpen ist die Sonne. Wenn Anlagen die Wärme tiefer gelegener Schichten nutzen, zapfen sie dagegen Wärmequellen der Erde an: einmal die thermische Energie aus den

Zeiten der Entstehung unseres Planeten, überwiegend aber die Energie aus dem Zerfall radioaktiver Elemente. Die sehr hohen Temperaturen im Erdinneren (wahrscheinlich um 5.000 °C) verursachen einen kontinuierlichen Wärmestrom von ca. 0,1 Watt pro m² in Richtung Oberfläche durch die Erdkruste hindurch. In Gebieten geothermischer Anomalien, z. B. in Vulkangebieten, kommen hohe Temperaturen bis nahe an die Erdoberfläche vor. Unter 100 °C eignet sich diese geothermische Wärme nur zu Heizzwecken, darüber aber auch zur Stromerzeugung. Allgemeine Potenzialangaben sind schwierig: Während die oberflächennahe Nutzung der Erdwärme prinzipiell überall möglich ist, bleibt die so genannte hydrothermale Nutzung an heiße Thermalwässer gebunden. Die Nutzung der Wärme in trockenen, tiefen Gesteinen befindet sich noch in der Entwicklung. Schätzungen zufolge erreichen die innerhalb der nächsten 10–20 Jahre ökonomisch nutzbaren Reserven die Höhe des derzeitigen globalen Primärenergieeinsatzes (UNDP et al., 2000). Um die Nachhaltigkeit der globalen Erdwärmennutzung nicht zu gefährden, sollte allerdings nicht mehr Erdwärme abgeschöpft werden als der natürliche Wärmestrom der Erde nachliefert. Das entsprechende regional verfügbare Potenzial ist oft nicht bekannt. Wegen noch offener Fragen zur technischen Umsetzung sowie zu verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekten bei der Nutzung (z.B. ungeklärte Entsorgung großer Mengen Abwärme infolge geringer Konversionswirkungsgrade bei Niedertemperaturprozessen) setzt der Beirat ein realistisch umsetzbares nachhaltiges Potenzial von 30 EJ pro Jahr bis 2100 an.“