

Amt für Umweltschutz Kanton Zug

Erneuerbare Energien im Kanton Zug: Stand heute und Perspektiven 2030

Schlussbericht
21. Januar 2011

Begleitgruppe

Die Arbeiten wurden von einer Arbeitsgruppe fachlich begleitet.

Rainer Kistler, Amt für Umweltschutz Kanton Zug (Leitung Arbeitsgruppe)

Beatrice Bochsler, Amt für Umweltschutz Kanton Zug (Projektleitung AfU)

Rainer Bachmann, Wasserwerke Zug AG

Walter Fassbind, Fachstelle Energie Stadt Zug / Vertretung der Einwohnergemeinden

Max Gisler, Energiefachstelle Kanton Zug

René Hutter, Amt für Raumplanung

Judith Kneubühl, Energienetz Zug

Martin Winkler, Kantonsforstamt

Die AutorInnen danken den Mitgliedern der Begleitgruppe für Ihre Auskünfte sowie für die wertvollen Anregungen und Inputs zum vorliegenden Bericht.

Erarbeitet durch

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich

www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

AutorInnen

Reto Dettli, dipl. Ing. ETH, dipl. NDS ETH in Betriebswissenschaften

Noemi Rom, M.Sc. Management, Technology and Economics, ETH

Mirjam Kosch, Bsc. Umweltnaturwissenschaften ETH

Inhalt

	Zusammenfassung	iii
1	Ausgangslage und Inhalte der Arbeiten	1
1.1	Methodik	2
1.2	Definition Potenzialbegriff	3
2	Energieverbrauch heute in der Schweiz und im Kanton Zug	5
2.1	Gesamtüberblick Energieverbrauch in der Schweiz	5
2.2	Gesamtüberblick Energieverbrauch im Kanton Zug	6
3	Erneuerbare Energien für Wärmezwecke	9
3.1	Zusammenfassende Übersicht	9
3.2	Holz	10
3.3	Biomasse Landwirtschaft	11
3.4	Übrige Biomasse	13
3.5	Umweltwärme	15
3.6	Tiefe Geothermie	22
3.7	Sonne	23
3.8	Umgebungsluft	25
4	Abwärme zu Wärmezwecken	26
4.1	Zusammenfassende Übersicht	26
4.2	Abwärme aus gereinigtem Abwasser von Abwasserreinigungsanlagen	27
4.3	Abwärme Abwasserkanäle/ungereinigtes Abwasser	28
4.4	Abwärme Industriebetriebe	30
5	Erneuerbare Energien für die Elektrizitätsproduktion	32
5.1	Zusammenfassende Übersicht	32
5.2	Wasser	33
5.3	Sonne	34
5.4	Biomasse	35
5.5	Wind	37
5.6	Tiefe Geothermie	37
6	Prognose Energiebedarf und Energieangebot 2030	38
6.1	Energiebedarf 2030 gemäss drei Szenarien	38
6.2	Entwicklungsprognose der Potenziale bis 2030	41

7	Gegenüberstellung von Energiebedarf und Potenzial	43
7.1	Energiebedarf und Potenzial 2010	43
7.2	Energiebedarf und Potenzial 2030	44
7.3	Schlussfolgerungen	46
	Anhang	49
A-1	Berechnungsgrundlagen Potenzial Umweltwärme	50
A-2	Übersicht über die Potenziale	51
A-3	Vom kantonalen Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellte Grundlagen	53
	Literatur	55

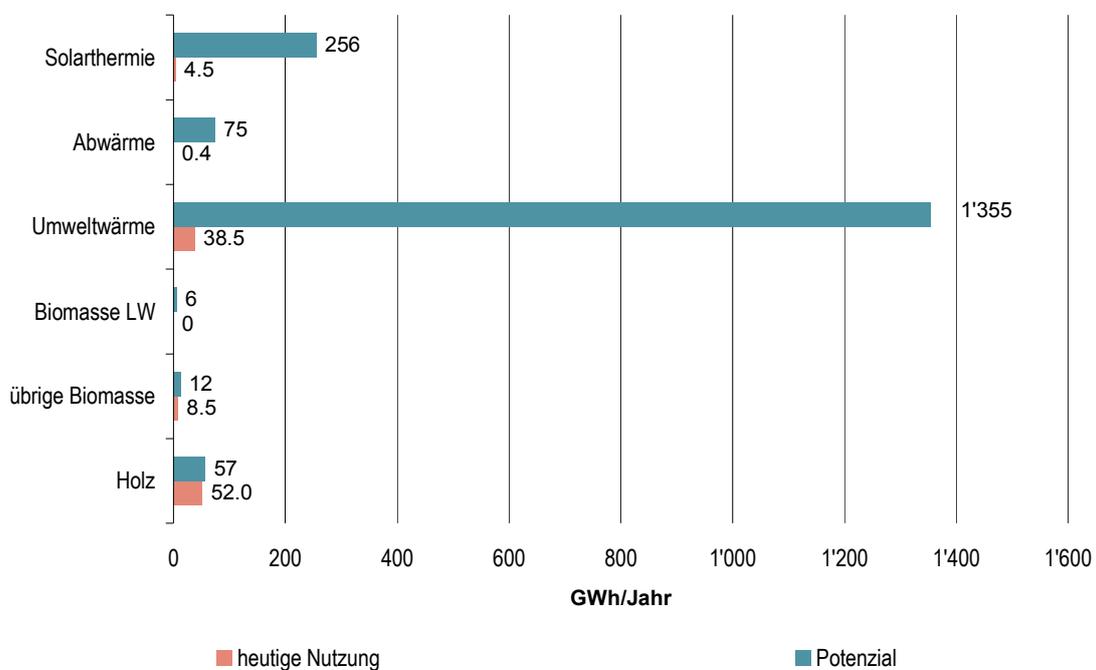
Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Analyse der Potenziale erneuerbarer Energien im Kanton Zug besteht eine Übersicht über die heutige und zukünftig mögliche Nutzung der lokalen Ressourcen für die Wärme- und Stromproduktion. Der Vergleich mit dem Energiebedarf und dessen Entwicklung liefert wichtige Hinweise für die zukünftige Ausgestaltung der kantonalen Energiepolitik. Der Bericht dient als Entscheidungsgrundlage für die Ausrichtung energiepolitischer Massnahmen hinsichtlich einer verbesserten Ausschöpfung der vorhandenen Potenziale.

Die Analyse der Potenziale berücksichtigt einschränkende Faktoren für deren Nutzung. Beispielsweise ist bei der Biomasse und beim Energieholz das nutzbare Angebot für die Berechnung des Potenzials massgebend. Bei der Umweltwärmen, insbesondere aus oberflächennahen Erdschichten, See oder Grundwasser, übersteigt das nutzbare Angebot die lokal mögliche Nachfrage. In diesen Fällen ist der Wärmebedarf der heutigen und zukünftig möglichen zusätzlichen Bauten für das nutzbare Potenzial in einem Gebiet massgebend. Die Analyse beruht auf dem Stand von Mitte 2010.

Bei den erneuerbaren Energien für die Wärmenutzung zeigt sich folgendes Bild:

«Heutige Nutzung und ökologisches Potenzial an erneuerbaren Energien für Wärmezwecke»



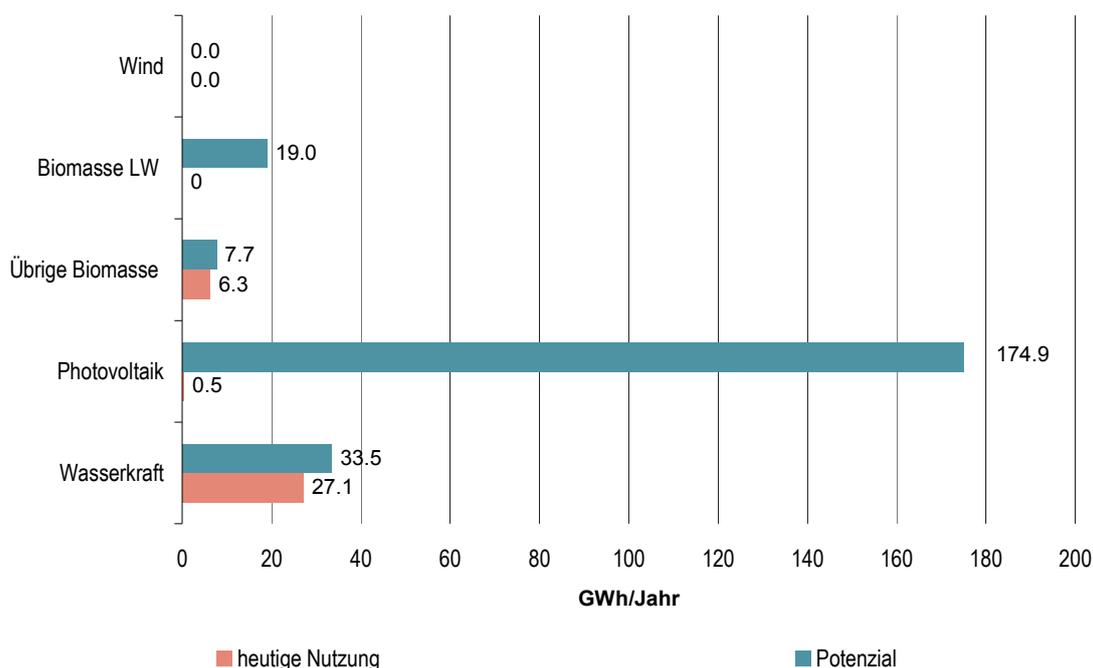
econcept

Figur 1: Gegenüberstellung der heutigen Nutzung und des verbleibenden ökologischen Potenzials von erneuerbaren Energien für Wärmezwecke im Kanton Zug.

Unter Berücksichtigung der heute bereits geplanten oder in Bau befindlichen grösseren Anlagen ist das in obenstehender Figur dargestellte Potenzial an landwirtschaftlicher Biomasse, übriger Biomasse und Holz grossmehrheitlich ausgeschöpft. Erhebliche Potenziale bestehen deshalb nur noch bei der Sonnenenergie, der Abwärme aus Industrie, Abwasserreinigungsanlagen und Abwasserkanälen sowie der Umweltwärme aus oberflächennahen Erdschichten, Grundwasser und Oberflächengewässern.

Bei den Potenzialen für die Elektrizitätsproduktion zeigt sich ein anderes Bild:

«Erneuerbare Energien zur Elektrizitätsproduktion»



econcept

Figur 2: Übersicht über die heutige Nutzung und die Potenziale von Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energien im Kanton Zug. Die Werte basieren auf den Abschätzungen in folgenden Kapiteln in diesem Bericht.

Unter Berücksichtigung der geplanten oder mittlerweile bereits erfolgten Sanierungen von Wasserkraftwerken und Anlagen zur Nutzung der übrigen Biomasse, ist das in der Figur 2 aufgeführte Potenzial ebenfalls ausgeschöpft. Noch ungenutzte Potenziale bestehen deshalb vor allem bei der Photovoltaik und bei der landwirtschaftlichen Biomasse. Letztere kann jedoch nur unter Zugabe von Co-Substrat wirtschaftlich genutzt werden. Da im Kanton Zug kaum ungenutztes Grüngut oder Speisereste vorhanden sind, kann dieses Potenzial unter heutigen Rahmenbedingungen nicht ausgeschöpft werden. Windenergie wird heute im Kanton Zug nicht zur Erzeugung von Elektrizität genutzt und es besteht auch kein Potenzial, dies künftig zu tun.

Vergleicht man die Potenziale, die heutige Nutzung und den zukünftigen Energiebedarf (im Jahr 2030) für Wärme und Elektrizität wird sichtbar, dass mit den bestehenden Potenzialen der heutige und zukünftige Wärmebedarf von Gebäuden vollständig abgedeckt

werden kann. Heute werden rund 6% der Wärme (Raumwärme und Warmwasser) aus erneuerbaren Energien erzeugt. Für die Erzeugung von Prozessenergie werden auch in Zukunft vorwiegend fossile Energien zum Einsatz kommen. Bei der Elektrizität übersteigt der Bedarf die lokalen Produktionspotenziale auch unter Berücksichtigung eines Entwicklungsszenarios mit einer gegenüber heute erheblich verstärkten nationalen und kantonalen Effizienzpolitik deutlich. Die Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Energien könnte von heute 4% auf rund 30% des Elektrizitätsbedarfes gesteigert werden.

Allfällige Massnahmen für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmebereich sollten sich auf die Sanierung des Gebäudeparks, die zusätzliche Nutzung von Sonnenenergie sowie auf einen effizienten Elektrizitätseinsatz und eine ökologische Elektrizitätserzeugung konzentrieren. Mit der Sanierung des Gebäudeparks werden günstige Voraussetzungen für die Nutzung der Umweltwärme mittels Wärmepumpen geschaffen und mit einem effizienten Elektrizitätseinsatz kann der Strommehrverbrauch durch die Wärmepumpen kompensiert werden.

Allfällige Massnahmen für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie im Elektrizitätsbereich sollten sich auf die Photovoltaik fokussieren, allenfalls ergänzt mit Beteiligungen der massgebenden Versorgungsunternehmen an Anlagen für erneuerbare Energien ausserhalb des Kantonsgebiets. Die Massnahmen für die Förderung von Photovoltaik stehen ebenfalls im Zusammenhang mit der Förderung von Gebäudesanierungen, da zum Sanierungszeitpunkt eine Photovoltaikanlage optimal in das Dach oder die Fassade integriert werden kann. Ebenso können bei Neubauten Photovoltaikanlagen kostengünstig eingebunden werden.

1 Ausgangslage und Inhalte der Arbeiten

Der Kanton Zug hat sich in seinem Energieleitbild vom 14. Januar 2008 für die Förderung von erneuerbaren Energien ausgesprochen. Seit Anfang 2009 gilt beispielsweise die neue kantonale Energieverordnung, welche die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) übernimmt. Der Höchstanteil der nichterneuerbaren Energie bei Neubauten wurde auf 80% limitiert und Förderprogramme für Solaranlagen und Wärmepumpen eingeführt. Das Energieleitbild sieht vor, dass bei der nächsten Gesamtrevision des kantonalen Richtplans die Energieversorgung als eigenes Thema aufgenommen wird.

Auch der Regierungsrat erklärt in seiner Strategie 2010-2018 den haushälterischen Umgang mit natürlichen Ressourcen als eines der strategischen Ziele.

Im Parlament gab es Vorstösse, die eine Verstärkung der bisherigen Energiepolitik verlangen. Gefordert wurden ein Verzicht auf fossile Brennstoffe bei Neubauten bis 2030 (Motion Burch, Vorlage Nr. 1777.1, für erheblich erklärt) sowie die vermehrte Förderung von erneuerbaren Energien zur Reduktion des CO₂-Ausstosses im Kanton (Postulat der CVP-Fraktion, Vorlage Nr. 1843.1, bereits beantwortet).

Auch die Stadt Zug ist in einem Brief an den Regierungsrat (vom 11. Mai 2010) auf den Kanton zugegangen und möchte eine aktive, koordinierte regionale Energiepolitik anstossen und regt dazu an, eine Aufarbeitung der regionalen Potenziale und Ressourcen zu starten. Der Brief wurde am 25. Mai vom Regierungsrat beantwortet.

Das Interesse und die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigt aufgrund der kantonalen aber auch eidgenössischen und kommunalen Politik auch im Kanton Zug. Es stellt sich die Frage, wie gross das Potenzial an erneuerbaren Energien im Kanton Zug ist.

Mit der vorliegenden Potenzialabschätzung sollen in erster Linie eine Bestandsaufnahme sowie Entscheidungsgrundlagen zu Handen der Baudirektion aufgearbeitet werden. Sie dient ausserdem als Grundlage für die in einem weiteren Schritt zu erarbeitende Energiestrategie.

Der vorliegende Bericht beinhaltet folgende Punkte:

- *Energiebedarf im Kanton Zug heute und im Jahr 2030*: Eine grobe Energiebilanz für den heutigen Energiebedarf aufgeteilt nach Energieträger wird erstellt. Für den Bedarf im Jahr 2030 werden Szenarien entwickelt. Dabei wird insbesondere die Nachfrage nach erneuerbaren Energien in den drei Szenarien untersucht.
- *Stand der Nutzung der einzelnen erneuerbaren Energieträger und Abwärmequellen im Kanton Zug*: Dokumentation der aktuellen Nutzung der verschiedenen Energiequellen (erneuerbar und Abwärme).

- *Potenziale heute und 2030 im Kanton Zug*: Die Potenziale der erneuerbaren Energieträger und Abwärme werden ermittelt.
- *Vergleich Bedarfsprognosen und Potenzial*: Der heutige und zukünftige Energiebedarf wird dem Potenzial an erneuerbaren Energien und Abwärme gegenübergestellt. Zusätzlich wird hier das Effizienzpotenzial zur Senkung des Verbrauches aufgezeigt.

1.1 Methodik

Der untersuchte Perimeter beinhaltet das ganze Kantonsgebiet. Es werden alle elf Gemeinden in die Abschätzungen einbezogen. Abweichungen gibt es bei einzelnen Energieträgern (z.B. Restholz), deren grenzüberschreitende Flüsse nicht im Detail bekannt sind. Allfällige Abweichungen zum Territorialprinzip sind bei den betreffenden Energiepotenzialen aufgeführt.

Der heutige Energiebedarf wird – wo keine Messwerte bestehen – basierend auf gesamtschweizerischen Kennziffern unter Berücksichtigung von kantonalen Spezifizierungen ermittelt. Die Abschätzung des zukünftigen Energiebedarfs des Kantons stützt sich auf die Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie (BFE 2007).

Die Ermittlung der Potenziale erneuerbarer Energien, aufgeteilt nach Verwendungszweck Wärme und Strom, stützt sich auf vorhandene Grundlagen, Erhebungen bei den betreffenden Anlagenbetreibern und Abschätzungen der Autoren. Die Erhebungen beziehen sich auf den Stand vom Oktober 2010 (sofern nicht anders vermerkt). Bei der Bestimmung der Potenziale wird der jeweils limitierende Faktor des Potenzials wie folgt berücksichtigt:

- *Angebot als limitierender Faktor*
Bei den meisten Potenzialen, namentlich bei der Biomasse, Abwärme, Sonnenenergie, Wasser- und Windkraft, bestimmen die vorhandenen natürlichen Ressourcen das nutzbare Potenzial. Bei der Sonnenenergienutzung ist der limitierende Faktor des Potenzials das Angebot an nutzbaren überbauten Flächen (Dachflächen).
- *Nachfrage als limitierenden Faktor*
Bei den Potenzialen der Umweltwärme übersteigt das nutzbare Angebot die Nachfrage. Deshalb werden bei der oberflächennahen Erdwärme, Wärme aus Grundwasser sowie Oberflächengewässern die Wärmenachfrage als Grundlage für das nutzbare Potenzial verwendet. Das ermittelte nutzbare Potenzial in einem überbauten Gebiet entspricht dem Energiebedarf für Heizung und Warmwasser der Bauten.

Die Details und allfällige Annahmen sind bei den einzelnen untersuchten Energiepotenzialen aufgeführt.

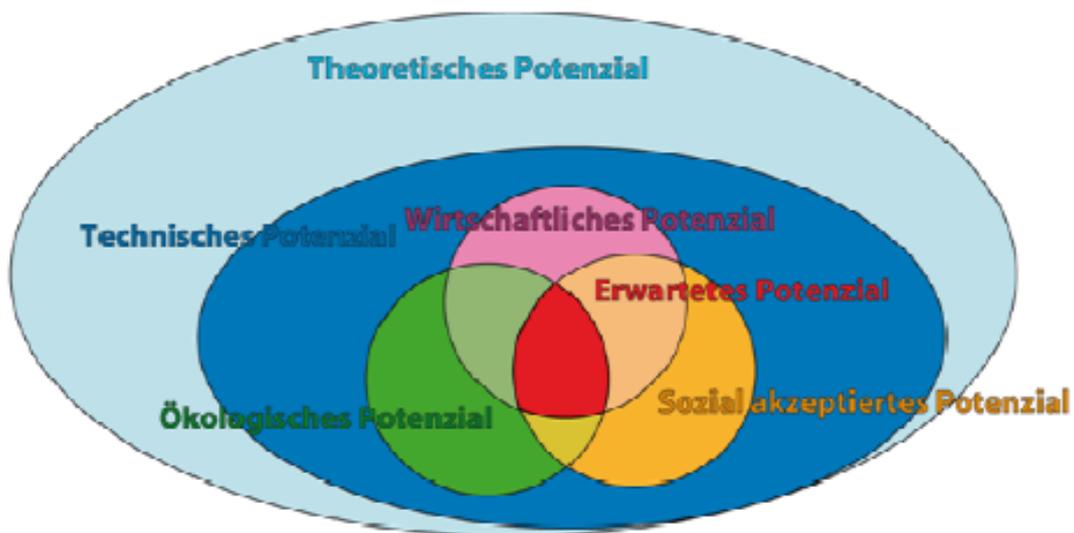
Für die einzelnen Energieträger wird zusätzlich eine qualitative Abschätzung der Entwicklung des Potenzials bis 2030 vorgenommen. Diese Ermittlung erfolgt anhand von ausgewählten Indikatoren. Es wird zusätzlich von einer technischen Entwicklung mit steigenden

Wirkungsgraden von Anlagen und Heizungen ausgegangen. Die Veränderungen sind aber zum heutigen Zeitpunkt schwierig quantifizierbar und werden allenfalls qualitativ berücksichtigt. Bei den Potenzialen der Umweltwärme ist die Wärmenachfrage der limitierende Faktor der Nutzung. Die Potenziale hängen vom zukünftigen Wärmebedarf ab, welcher durch Gebäudesanierungen sinkt. Dadurch ist das zukünftig nutzbare Potenzial geringer als heute.

1.2 Definition Potenzialbegriff

Das Potenzial der erneuerbaren Energien ist abhängig von der Definition des Potenzialbegriffs. Als limitierende Grössen können naturwissenschaftliche, technische oder wirtschaftliche Grössen berücksichtigt werden.

Bei der Analyse von Potenzialen für die Steigerung der Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energieträger für die zukünftige Energieversorgung, sind die Potenzialbegriffe gemäss Figur 1 zu unterscheiden.



Quelle: Energie Trialog Schweiz (ETS 2009)

Figur 3: Illustration der Potenzialbegriffe.

Das *theoretische Potenzial* basiert auf den physikalischen Möglichkeiten zur Steigerung von Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Ressourcen, beispielsweise die auf dem Kantonsgebiet einfallende Sonnenenergie. Welcher Anteil davon effektiv genutzt werden kann, wird mit dem *technischen Potenzial* umschrieben, beispielsweise abhängig vom Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen oder Sonnenkollektoren. Bei vielen Potenzialen ist es nötig, ihren Nutzungsgrad aus *ökologischen Gründen* weiter zu begrenzen, beispielsweise aufgrund von Landschaftsschutzanliegen oder Restwassermengen bei der Wasserkraft oder aus Gründen einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Waldes. Beim *wirtschaftlichen Potenzial* müssen die Gesamtkosten vergleichbar ausfallen, wie die von

konkurrierenden Systemen oder Ressourcen. Je nach Entwicklung von energiepolitischen Rahmenbedingungen und Technologien, mit denen die verschiedenen Energieträger genutzt werden, ändern sich die Grössen der Potenziale und somit der Umfang, mit dem die Energieträger sinnvoll genutzt werden können. Es ist eine Aufgabe der Energiepolitik, die Schnittmenge aus ökologischem, wirtschaftlichem und sozial akzeptiertem Potenzial (also dem *erwarteten Potenzial*) zu erweitern, um den Marktakteuren die nachhaltige Nutzung von erneuerbaren Energieträgern und Energieeffizienzmassnahmen zu erleichtern.

In den nachstehenden Potenzialabschätzungen für erneuerbare Energien im Kanton Zug wird in der Regel das *ökologische Potenzial* ausgewiesen, also jenes Potenzial, das ausgeschöpft werden kann, ohne die Umwelt irreversibel zu beeinträchtigen.

Ein Teil des ökologischen Potenzials wird i.d.R. bereits heute genutzt (*genutztes Potenzial*). Das *ungenutzte Potenzial* weist aus, wie viel zusätzlich zur heutigen Nutzung genutzt werden kann. Wo nötig, wird auf Einschränkung aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oder der sozialen Akzeptanz hingewiesen.

Für die mögliche Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme wird in diesem Bericht von heutigen Technologien ausgegangen. Wenn sich die Technologien künftig verbessern, können sich auch die Potenziale vergrössern.

2 Energieverbrauch heute in der Schweiz und im Kanton Zug

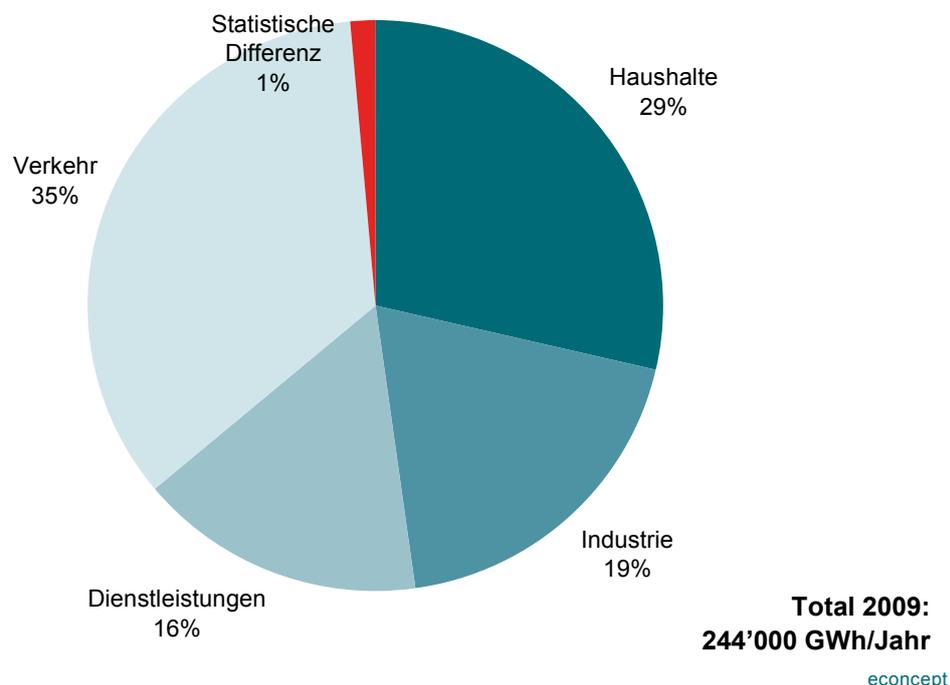
2.1 Gesamtüberblick Energieverbrauch in der Schweiz

Der Endenergieverbrauch in der Schweiz betrug im Jahr 2009 insgesamt 244'000 GWh. (BFE 2010a). Umgerechnet auf die in der Schweiz wohnhaften Bevölkerung ergibt sich für 2009 ein Endenergieverbrauch von 31.5 MWh pro EinwohnerIn. Bildlich dargestellt entspricht der Pro-Kopf-Verbrauch in der Schweiz einem Konsum von rund 2.7 t Erdöl jährlich.

Figur 4 zeigt die Anteile der wichtigsten Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch der Schweiz im Jahr 2009.

Eine Analyse der Daten zeigt, dass im schweizerischen Durchschnitt Verkehr, Haushalte und Wirtschaft (bestehend aus Industrie und Dienstleistungen) je ungefähr einen Drittel der gesamten Endenergie benötigen.

«Aufteilung des Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen in der Schweiz»



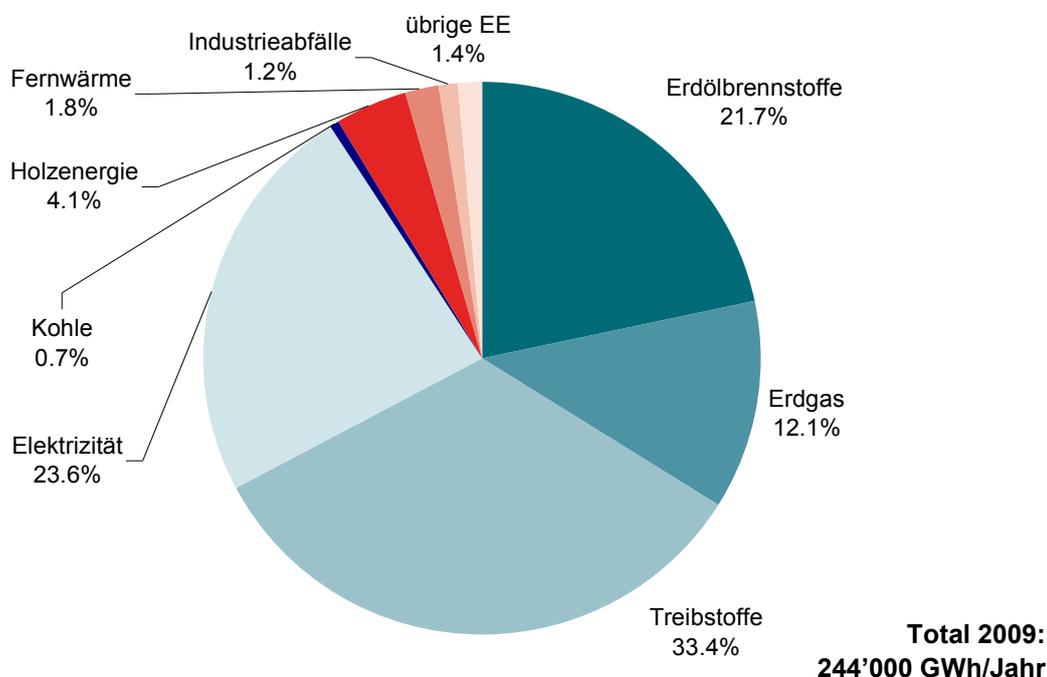
Figur 4: Endverbrauch an Energieträgern nach Verbrauchergruppen für die gesamte Schweiz im Jahr 2009. Quelle: BFE 2010a

Figur 5 zeigt die Anteile der wichtigsten Energieträger am Endenergieverbrauch der Schweiz im Jahr 2009.

Treibstoffe, Elektrizität und Erdölbrennstoffe sind die wichtigsten Energieträger in der Schweiz. Die erneuerbaren Energien decken rund 18.9% des Gesamtendenergie-

verbrauch der Schweiz (inkl. Elektrizitätsproduktion) (BFE 2010b). Der Endenergieverbrauch der Schweiz ist in folgender Grafik nach Energieträger aufgeteilt dargestellt.

«Gesamter Endverbrauch nach Energieträger in der Schweiz»



econcept

Figur 5: Endverbrauch an Energieträgern für die gesamte Schweiz im Jahr 2009. Quelle: BFE 2010a

41% der in der Schweiz verbrauchten Menge Elektrizität wurden im Jahr 2007 in Kernkraftwerken produziert, 36% aus Wasserkraft. 19% stammen aus nicht überprüfbaren Quellen, 1.9% aus fossilen Energieträgern, 2% aus Abfällen und rund 0.4% aus Sonnenenergie, Windenergie und Biomasse (BFE 2009b).

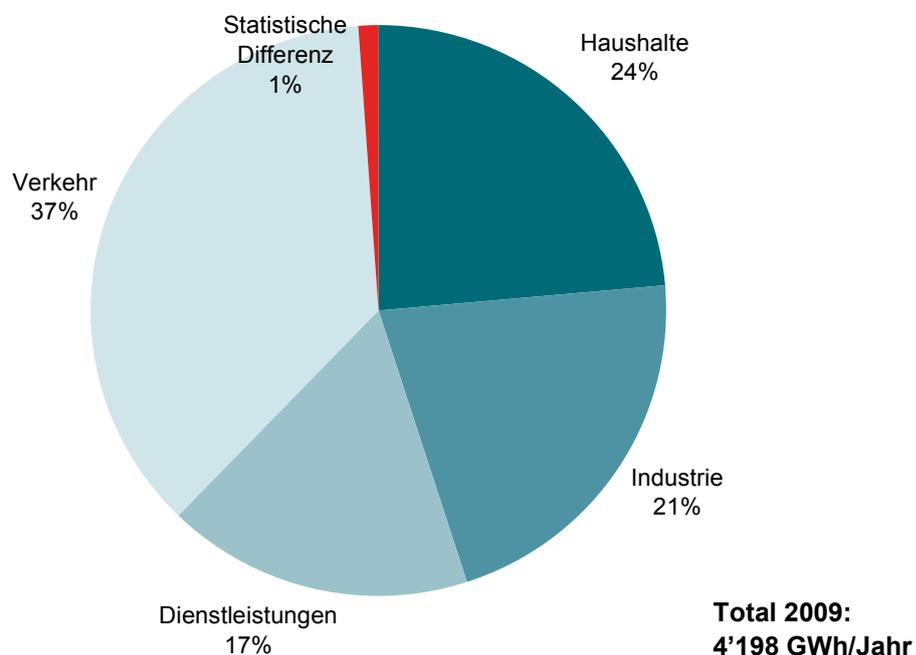
2.2 Gesamtüberblick Energieverbrauch im Kanton Zug

Der Endenergieverbrauch im Kanton Zug betrug im Jahr 2009 insgesamt rund 4'200 GWh. Umgerechnet auf die im Kanton Zug wohnhafte Bevölkerung ergibt sich für 2009 ein Endenergieverbrauch von 38 MWh pro EinwohnerIn. Im Durchschnitt ist der Energieverbrauch pro Kopf im Kanton Zug pro Jahr also etwas höher als in der Schweiz (31.5 MWh im Jahr 2009, BFE 2010a).

Figur 6 zeigt die Anteile der wichtigsten Verbrauchergruppen am Endenergieverbrauch des Kantons Zug im Jahr 2009. Da diese Daten für den Kanton Zug nicht erhoben werden, verwendeten wir die schweizerischen Durchschnittswerte und passen diese wie folgt an:

- *Verkehr*: Die EinwohnerInnen des Kantons Zug haben im Durchschnitt 1.13 mal so viele Autos wie im schweizerischen Durchschnitt (gemäss Auskunft des Amt für Umweltschutz, respektive des Strassenverkehrsamtes Zug). Gleichzeitig ist auch der durchschnittliche Hubraum eines PWs im Kanton Zug 1.13 mal grösser als der Schweizer Durchschnitt. Im Bereich Verkehr ist der Energieverbrauch pro EinwohnerIn des Kantons Zug also 1.28 mal so gross wie der Schweizer Durchschnittswert. Der Anteil des Verkehrs am gesamten Energieverbrauch beträgt im Kanton Zug 36.5% des gesamten Energieverbrauchs während er in der Schweiz lediglich 34.8% ausmacht.
- *Industrie und Dienstleistungen*: Auch im Bereich Industrie und Dienstleistungen wurden als Grundlage die Schweizer Durchschnittswerte verwendet, welche anhand der Arbeitsplätze im zweiten und dritten Sektor an die Verhältnisse im Kanton Zug übertragen wurden. Eine Analyse der Daten zeigt, dass die Aufteilung der Beschäftigten im Kanton Zug dem Schweizer Durchschnitt entspricht, die Anzahl Beschäftigten jedoch leicht höher. (BSF online Abfrage).
- *Haushalte*: Es wird angenommen, dass die Haushalte im Kanton Zug den gleichen Energiebedarf haben wie der Schweizer Durchschnitt.

«Aufteilung des Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen im Kanton Zug»



econcept

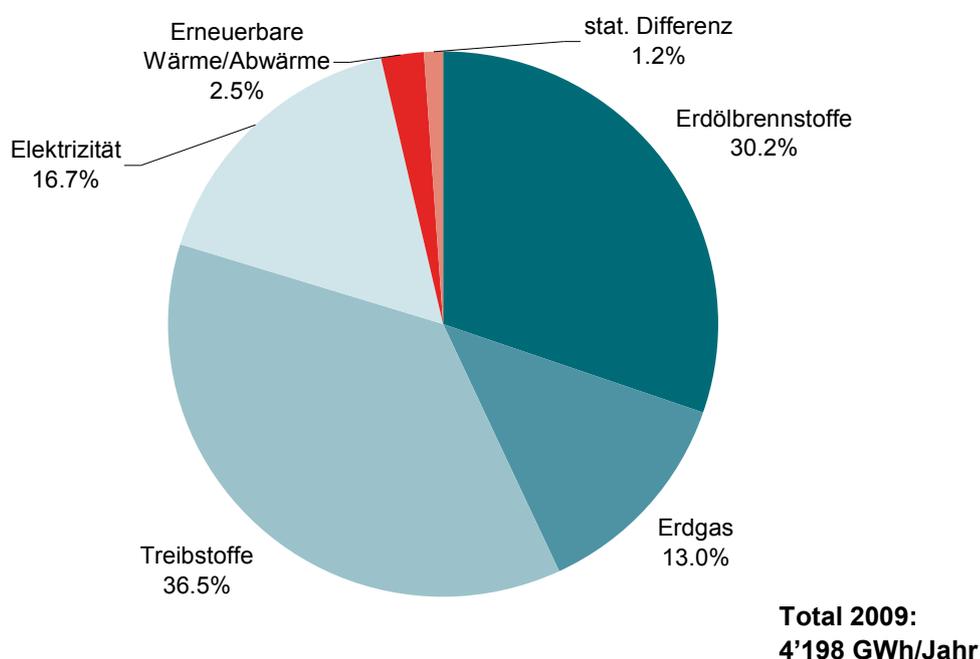
Figur 6 Endverbrauch an Energieträgern nach Verbrauchergruppen für den Kanton Zug im Jahr 2009.
Quelle: eigene Erhebungen und BFE 2010a.

Die folgende Figur 7 zeigt die Anteile der wichtigsten Energieträger am Endenergieverbrauch des Kantons Zug im Jahr 2009. Die Daten wurden wie folgt erhoben:

- *Treibstoffe*: Die Treibstoffe wurden nach derselben Methode erhoben wie oben für den Verkehr beschrieben.
- *Elektrizität*: Bei der Elektrizität stützten wir uns auf die Angaben zum Absatz der Wasserwerke Zug (WWZ) und addieren dazu die Elektrizität von erneuerbaren Energien, welcher bei Erzeugungsanlagen direkt zum Selbstbedarf produziert und verwendet wird¹. Gemäss Stromkennzeichnung WWZ 2009 sind rund 13% der gesamten Elektrizitätsproduktion aus Wasserkraft erzeugt worden und rund 86% aus Kernenergie. Knapp 1% werden aus mit KEV geförderten Anlagen erzeugt (WWZ 2009).
- *Fossile Brennstoffe*: Für das Erdgas verwenden wir Angaben zum Absatz der WWZ. Der Erdölverbrauch wurde als Residualgrösse des gesamten Energiebedarfes berechnet.
- *Erneuerbare Energien*: Der Verbrauch an erneuerbaren Energien wurde erhoben. Details dazu befinden sich in den folgenden Kapiteln.

Wie in der gesamten Schweiz sind auch im Kanton Zug Treibstoffe, Elektrizität und fossile Brennstoffe die wichtigsten Energieträger. Die erneuerbaren Energien im Wärmebereich decken gesamthaft rund 2.5 % des Endenergieverbrauchs im Kanton Zug.

«Gesamter Endverbrauch an Energieträgern im Kanton Zug»



econcept

Figur 7: Endenergieverbrauch für den Kanton Zug im Jahr 2009 aufgeteilt nach Energieträger. Quelle: eigene Erhebungen. Erneuerbare Wärme/Abwärme umfasst Wärme aus Holz, Biomasse, Sonne und Umweltwärme, sowie Abwärme aus Industrie und Abwasserreinigungsanlagen (gemäss eigenen Erhebungen in den folgenden Kapiteln).

¹ Berücksichtigt wurden die Produktion der ARA Schönau, Allmig und der Cham Paper Group.

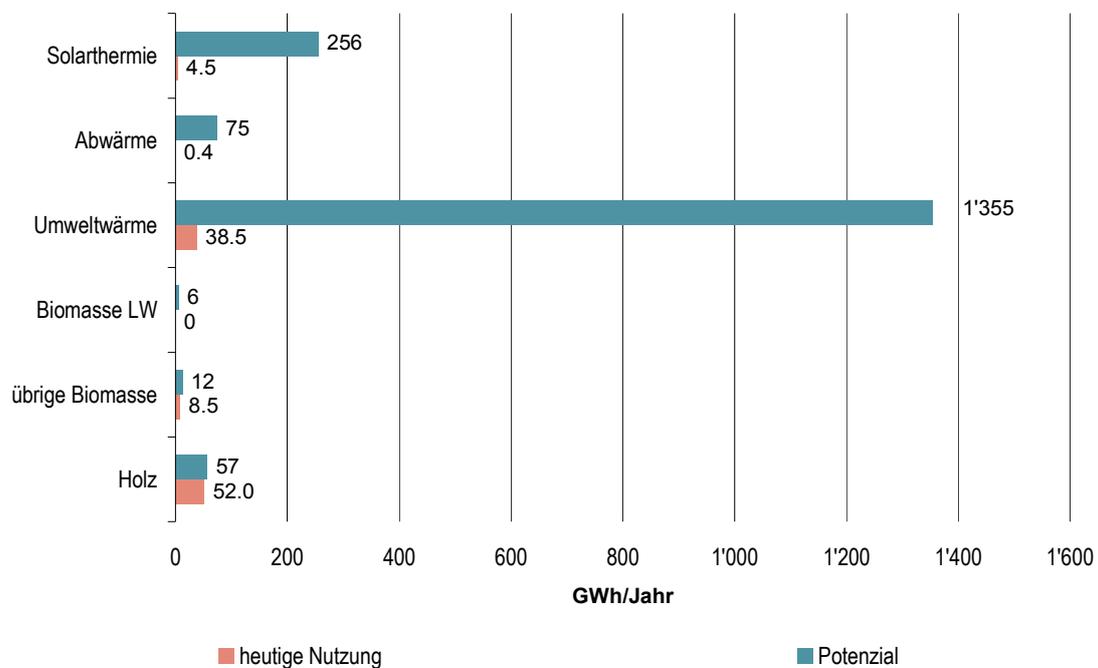
3 Erneuerbare Energien für Wärmezwecke

3.1 Zusammenfassende Übersicht

Erneuerbare Energien für Wärmezwecke sind Holz, Biomasse aus der Landwirtschaft und sonstige Biomasse (Grüngut), Umweltwärme aus der Erde, den Gewässern und aus der Umgebungsluft sowie Sonnenenergie.

Folgende Grafik zeigt die heutige Nutzung von erneuerbaren Energien zu Wärmezwecken und das verbleibende ökologische Potenzial im Kanton Zug. Die Herleitung dieser Abschätzungen wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

«Heutige Nutzung und ökologisches Potenzial an erneuerbaren Energien für Wärmezwecke»



econcept

Figur 8: Gegenüberstellung der heutigen Nutzung und des verbleibenden ökologischen Potenzials von erneuerbaren Energien im Kanton Zug. Die Daten basieren auf Abschätzungen gemäss den nachfolgenden Kapiteln. Beim Potenzial der Umweltwärme wurden Doppelzählungen bereinigt.

Auf den ersten Blick ersichtlich ist, dass vor allem im Bereich Umweltwärme ein sehr grosses Potenzial besteht. Auch bei der Solarthermie und der Abwärmenutzung besteht ein nicht ausgeschöpftes Potenzial. Unter Berücksichtigung der bereits geplanten und in Bau befindenden Anlagen werden die geringen Potenziale im Bereich der Biomasse und Holz bereits ausgeschöpft, die Nutzung des Potenziales der landwirtschaftlichen Biomasse ist aufgrund des fehlenden Co-Substrats kaum möglich.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Potenziale eingegangen und die Herleitung der Abschätzungen erläutert.

3.2 Holz

Holz als Energieträger kann für Wärmewecke oder zur Produktion von Elektrizität eingesetzt werden. Wärme wird aus Stückholz, Pellets oder Schnitzeln in Feuerungen erzeugt, wobei Stückholz und Pellets vorwiegend für kleinere Anlagen und Schnitzel für grosse Anlagen eingesetzt werden. Die Gestehungskosten von Wärme aus Holz liegen bei heutigen Energiepreisen leicht höher als bei fossilen Feuerungen. Die Energieholznutzung kann aber trotzdem als wirtschaftlich konkurrenzfähig bezeichnet werden.

Die kombinierte Erzeugung von Wärme und Elektrizität in Holzheizkraftwerken ist mittels Vergasung und Nutzung des entstehenden Gases in Motoren (Blockheizkraftwerke, BHKW) oder mittels Verfeuerung in Kombination mit Dampfturbinen möglich. Beide Technologien sind nur bei grösseren Anlagen (ab einigen 100 kW Leistung) wirtschaftlich sinnvoll. Durch die kostendeckende Einspeisevergütung des Bundes können Anlagen mit heutigen Energiepreisen wirtschaftlich betrieben werden.

3.2.1 Heutige Nutzung

Die Waldfläche im Kanton Zug beträgt 6'340 Hektaren, davon sind 71% öffentlicher und 29% privater Wald. Der öffentliche Wald ist mehrheitlich im Eigentum von Korporationen².

Im Jahr 2009 wurden 68'000 m³ Holz genutzt und zwar zu 60% Stammholz, 30% Energieholz und 10% Industrielholz. Die genutzte Energieholzmengung betrug demnach 19'200 m³ ³. Unter der Annahme, dass das Energieholz aus dem Zugerwald zu ca. 60% aus Laubholz und zu ca. 40% aus Nadelholz besteht, kann ein mittlerer Brennwert von 2.2 MWh/m³ verwendet werden. Daraus resultiert eine heutige energetische Nutzung von 42'000 MWh.

Zur Plausibilisierung dieser Annahmen wurde der Holzbedarf für die heute bestehenden Holzfeuerungen im Kanton Zug erhoben⁴. Danach werden heute weitaus mehr als 42'000 MWh/a Energieholz genutzt wird.

Die momentan grössten Holzheizwerke befinden sich in den Gemeinden Zug (Heizzentrale Herti, 1800 kW), Baar (Heizzentrale Lättich, 1600 kW) und Inwil (Heizzentrale Inwil 1200 kW).

Momentan in Bau und voraussichtlich ab 2010/2011 in Betrieb sind zwei Holzheizkraftwerke (1600 kW und 2400 kW) in Menzingen. Die erforderliche Holzmenge von mittelfristig 4'600 m³ Holz pro Jahr kommt mehrheitlich aus dem Zuger Wald. Zur Spitzenabdeckung wird eventuell Energieholz aus umliegenden Gebieten ausserhalb des Kantons Zug verwendet.⁵

² Martin Winkler, Leiter Kantonsforstamt

³ Martin Winkler, Leiter Kantonsforstamt

⁴ Datengrundlage Amt für Umweltschutz Kanton Zug

⁵ Martin Winkler, Leiter Kantonsforstamt

3.2.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Die jährlich nutzbare Holzmenge im Kanton Zug beträgt rund 71'000 m³ (6300 ha Waldfläche à 11 m³/ha Holzzuwachs pro Jahr). Die aus den Zuger Wäldern zur Verfügung stehende Energieholzmenge von 21'300 m³ (bei einer Aufteilung des nutzbaren Waldholzes wie heute, also 30% Energieholz) ergibt also ein Potenzial von 47'000 MWh. Dieses wird heute bereits fast vollständig ausgeschöpft und wird, sobald das Holzheizwerke in Menzingen in Betrieb genommen wird, ganz ausgeschöpft sein. Es besteht somit kein ungenutztes Potenzial.

Die Potenzialabschätzung des Restholzes beruht auf der heute im Kanton zu Energiezwecken eingesetzten Restholzmenge, unabhängig davon ob ein Teil davon aus einem Holzverarbeitenden Betrieb ausserhalb des Kantons stammt. Auch beim Restholz gehen wir davon aus, dass das Potenzial auf Kantonsgebiet ausgeschöpft ist.

Altholz muss in speziellen Feuerungen verwertet werden, deren Rauchgasreinigung dem lufthygienischen Standard einer Kehrlichtverbrennungsanlage entspricht. Im Kanton Zug fallen jährlich rund 10'000 Tonnen Altholz an. Innerhalb des Kantons findet keine energetische Nutzung statt. Das Altholz wird zum Teil in der Papierfabrik Perlen energetisch genutzt. Der grösste Teil wird ins Ausland exportiert (Spanplattenproduktion und oder Verbrennung).

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von Holz

Holz	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial ⁶ GWh/a
Waldholz	42	47	0
Restholz	10	10	0
Altholz	Energetische Nutzung ausserhalb Kanton	Kein Potenzial	Kein Potenzial
Total	52	57	0

Tabelle 1: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials an Holz.

3.3 Biomasse Landwirtschaft

Die landwirtschaftliche Biomasse, bestehend aus Hofdünger und Mist, kann vergärt und das entstehende Biogas vor Ort in Elektrizität und Wärme umgewandelt werden. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen, werden zusätzliche biogene Reststoffe, wie beispielsweise Essensreste, Gemüse- oder Getreideabfälle, zugeführt (Co-Vergärung). Grössere Anlagen mit einem hohen Anteil an zugeführten biogenen Reststoffen können mit der kostendeckenden Einspeisevergütung wirtschaftlich betrieben werden. Bei landwirtschaftlichen Anlagen ist oftmals die Nutzung der anfallenden Wärme schwierig, da häufig keine grösseren Wärmebezügler vorhanden sind.

⁶ Unter Berücksichtigung der geplanten Anlagen wird das verbleibende Potenzial wegfallen.

3.3.1 Heutige Nutzung

In der Gemeinde Hünenberg wird ein Biomasse-Heizkraftwerk gebaut und demnächst in Betrieb genommen, welches voraussichtlich ab 2011 1'700 MWh Elektrizität und 2'500 MWh Wärme produzieren wird. Dazu werden 25'000 t Gülle sowie 3'400 t Co-Substrat⁷ benötigt. Vom Co-Substrat stammen voraussichtlich 300 t aus der Gemeinde Hünenberg und 1'700 t aus der Industrie aus dem Kanton, wobei die Lieferverträge noch nicht unterzeichnet sind. Ausserdem wird die Verwertung von Speiseabfällen geprüft⁸.

Das Biomasse-Heizkraftwerk wird zusätzlich mit einer Holzsnitzel- und einer Gasheizung ausgerüstet werden, um naheliegende Wohnsiedlungen in Hünenberg mit Wärme zu versorgen. Die Holzsnitzelheizung wird 2'800 MWh und die Gasheizung 300 MWh Wärme an die Wärmeversorgung beisteuern.

Heute gibt es im Kanton Zug nur vereinzelt Landwirte, die Rossmist verwerten (Allmig oder andere Anlagen). Es handelt sich aber nur um geringe Mengen³.

3.3.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Das Potenzial zur Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse hängt von der Anzahl Nutztiere und der vorhandenen Menge Co-Substrat ab. Um Doppelzählungen mit dem Potenzial des Grüngutes zu vermeiden, wird hier nur das Potenzial von Gülle und Mist aufgeführt, auch wenn zur wirtschaftlichen energetischen Nutzung die Verwendung von Co-Substrat nötig ist⁹.

Im Kanton Zug gibt es ca. 19'000 Grossvieheinheiten (GVE), welche Hofdünger und Mist mit einem Energiegehalt von insgesamt 130 GWh produzieren. Daraus können mit heutigen Technologien ca. 19 GWh Strom produziert sowie 6 GWh Wärme¹⁰ pro Jahr genutzt werden. Mit Grossanlagen, welche das Biogas zu Erdgasqualität aufbereiten und ins Erdgasnetz einspeisen, liesse sich stattdessen auch Bio-Methan mit einem Energiegehalt von 48 GWh pro Jahr produzieren. Dieses Bio-Methan kann anschliessend als Brenn- oder als Treibstoff verwendet werden.

⁷ Aussage gemäss UVB

⁸ Aussagen gemäss Amt für Umweltschutz Kanton Zug

⁹ Gemäss Angaben von Herrn Theiler von Oekostrom Schweiz ist bei der Energiegewinnung aus landwirtschaftlicher Biomasse das Co-Substrat der limitierende Faktor. Die Erträge dieser Energieproduktion stammen nämlich zum einen aus dem Verkauf von Elektrizität und Wärme, andererseits wird die Produktion erst dann rentabel, wenn zusätzlich der Entsorgungserlös für die Co-Substrate hinzu kommt. Da dieses jedoch zurzeit stark nachgefragt ist, sinken diese Entsorgungserlöse und die Wirtschaftlichkeit der Anlage kann gefährdet werden.

¹⁰ Die produzierte Wärme ist zwar um einiges grösser, da diese Anlagen jedoch meist auf dem Land liegen, gehen wir davon aus, dass nur ca. ein Drittel davon genutzt werden kann.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse

Biomasse Landwirtschaft	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial ¹¹ GWh/a
Wärme	0	6	3.5
Elektrizität	0	19	17.3

Tabelle 2: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials von Biomasse aus der Landwirtschaft.

Der limitierende Faktor zur wirtschaftlichen Nutzung der landwirtschaftlichen Biomasse ist das Co-Substrat. Da im Kanton Zug kaum ungenutzte biogene Reststoffe vorhanden sind, wird dieses Potenzial nur sehr begrenzt ausgeschöpft werden können (siehe Kapitel 3.4).

3.4 Übrige Biomasse

Als übrige Biomasse werden die biogenen Reststoffe aus Haushalten und Gewerbe/Industrie bezeichnet. Diese werden im Kanton Zug bereits weitgehend separat gesammelt und entweder kompostiert (ohne Energienutzung) oder einer industriellen Vergärungsanlage (mit Energienutzung, Wärme und Elektrizität) zugeführt. Industrielle Vergärungsanlagen verfügen meist über eine Kapazität von 5'000 oder 10'000 Jahrestonnen. Unter Berücksichtigung eines heutigen, mit der KVA vergleichbaren Entsorgungspreises, sind die Anlagen wirtschaftlich betreibbar.

Eine wichtiges Potenzial besteht auch aus der Nutzung der biogenen Reststoffe aus der Abwasserreinigung. In Faultürmen wird aus dem Klärschlamm Biogas gewonnen, das für die Wärme- und Elektrizitätsproduktion vor Ort genutzt wird. Die mögliche Energieproduktion aus dem Klärschlamm einer ARA ist i.d.R. geringer als der Wärme- und Elektrizitätsbedarf der Anlage (Beheizung Faulturm, Elektrizität für Belüftung der Klärbecken und Pumpenergie).

3.4.1 Heutige Nutzung

a) Grüngut

Im Jahr 2009 wurden im Kanton Zug rund 23'000 Tonnen Grüngut verwertet. 77% davon stammen aus den gemeindlichen Grüngutsammlungen (Küchenreste und Gartenabfälle). Die restlichen 23% stammen aus dem Gartenbau und der Lebensmittel verarbeitenden Industrie (Compostpect 2010). Rund 20'600 Tonnen oder 90% Teil des Zuger Grünguts gelangte in die Kompostier- und Vergäranlage Allmig, das restliche Grüngut wird in drei landwirtschaftlichen Kompostieranlagen verarbeitet.

In der Kompostier- und Vergäranlage Allmig wird das Grüngut der Vergärung zugeführt und anschliessend kompostiert. Rund 10% des Grünguts werden direkt kompostiert. Mit

¹¹ Unter Berücksichtigung der geplanten Anlage in Hünenberg.

dem Gas aus dem Vergärungsprozess wird ein Blockheizkraftwerk betrieben. Damit werden rund 3'000 MWh Elektrizität erzeugt. Die Abwärme wird zurzeit betriebsintern genutzt. Die Allmig schätzt die Wärmenutzung auf ca. 3'000 MWh, genaue Zahlen werden aber nicht erhoben¹².

b) Biomasse ab ARA

Die ARA Schönau in Friesenham gehört dem Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küsnachtersee-Ägerisee (GVRZ). Sie betreibt zwei BHKW und erzeugt mit dem Biogas rund 3'400 MWh Elektrizität sowie 5'500 MWh Wärme pro Jahr. Die Elektrizitätsproduktion deckt rund zwei Drittel des gesamten elektrischen Eigenenergiebedarfes, die Wärme deckt den gesamten Eigenbedarf und wird zur Beheizung der nahegelegenen Zivilschutzanlage verwendet.

Die beiden kleineren ARAs Finstersee und Neuheim liefern ihren Klärschlamm der ARA Schönau.

Reste von Biomasse fallen bei der ARA der Cham Paper Group sehr gering an. Im Klärschlamm sind rund 1/3 organische Stoffe enthalten. Durch den relativ hohen Anteil an synthetischen (anorganischen) Stoffen ist dieser aber für die energetische Nutzung wenig geeignet. Der Klärschlamm wird heute an Ziegeleien geliefert und dort verwertet.

3.4.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

a) Grüngut

Im Kanton Zug werden rund 208 kg Grüngut pro Kopf und Jahr verwertet. Diese Menge liegt bereits deutlich über der durchschnittlichen Pro-Kopf-Menge in der Schweiz von 118 kg (BAFU 2009). Mit grösseren Mengen ungenutztem Grüngut ist daher nicht zu rechnen.

Das Biomasse-Heizkraftwerk in Hüenberg, das 2011 seinen Betrieb aufnehmen wird, benötigt rund 3'400 Tonnen Biomasse aus Gemeinden, Industrie und Landwirtschaft (z.B. Biomasse Ökoflächen, Herbstgras) als Co-Substrat. Ausserdem will die Kompostier- und Vergäranlage Allmig künftig 25'000 Tonnen Grüngut verwerten. Damit sollen gemäss Schätzungen der Allmig insgesamt 3'500 MWh Elektrizität und 5'000 MWh Wärme produziert werden. Die Wärme wird grösstenteils intern verwendet werden.

Ein Teil dieses zusätzlichen Bedarfs könnte eventuell mit Speiseabfällen aus Gastrobetrieben, welche bisher grösstenteils als Schweinefutter verwertet wurden, gedeckt werden. Diese gelten ab Juli 2011 als Betriebsabfälle. Bei der Verwertung in Vergäranlagen sind spezielle Vorschriften einzuhalten (VTNP, Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten). Es wird mit einer anfallenden Menge von 1'500 bis 2'000 Tonnen pro Jahr gerechnet¹³.

¹² René Bütikofer, Betriebsleiter Allmig

¹³ Gemäss Auskunft Amt für Umweltschutz Kanton Zug

Mit der Kapazitätssteigerung der Allmig und der Inbetriebnahme des Biomasse-Heizkraftwerks dürfte das gesamte Grüngut des Kantons Zug verwertet sein. Es besteht kein weiteres ungenutztes ökologisches Potenzial.

b) Biomasse ab ARA

Momentan wird der Überschuss an Wärme der ARA Schönau nicht genutzt. Die genaue Menge dieser Energie ist nicht bekannt, soll aber in nächster Zeit gemessen werden. Der Gewässerschutzverband Region Zentralschweiz (GVRZ)¹⁴ schätzt diese auf mindestens 5 MWh pro Tag, d.h. jährlich 1'800 MWh.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung der übrigen Biomasse

Übrige Biomasse	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial ¹⁵ GWh/a
Grüngut			
Wärme	3 ¹⁶	5	0
Elektrizität	3	3.5	0
ARA			
Wärme	5.5	7.3	1.8
Elektrizität	3.4	4.2	0.8
Total			
Wärme	8.5	12.3	1.8
Elektrizität	6.3	7.7	0.8

Tabelle 3: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials von Biomasse (ohne Landwirtschaft und ohne Holz)

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der hohen sozialen Akzeptanz der energetischen Nutzung der Biomasse können die Potenziale ausgeschöpft werden.

3.5 Umweltwärme

Als Umweltwärme wird der Wärmeinhalt von Oberflächengewässern, Grundwasser und oberflächennahen Erdschichten bezeichnet. Mit Hilfe von Wärmepumpen kann die Umweltwärme auf ein Temperaturniveau gehoben werden, welches deren Nutzung für Heizung und Warmwassererzeugung ermöglicht.

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt massgeblich vom Temperaturunterschied zwischen Umweltwärme und dem für Heizung oder Warmwassererzeugung nötigen Temperaturniveau ab. Die Wärmepumpen eignen sich vor allem für Neubauten und energetisch sanierte bestehende Bauten mit einem Niedertemperaturheizsystem. Je nach genutzter Umweltwärmequelle resultieren unterschiedliche Wirkungsgrade der Wärmepumpen. Wärmepumpen mit Erdsonden beispielsweise erreichen ein Verhältnis zwischen gewon-

¹⁴ Bernd Kobler, Geschäftsführer GVRZ

¹⁵ Unter Berücksichtigung der geplanten Steigerung der Stromproduktion und Wärmenutzung der Allmig gehen wir davon aus, dass kein Potenzial mehr verbleibt.

¹⁶ Interne Nutzung bei der Allmig.

nener Nutzwärme und eingesetzter Elektrizität von 3.5 – 4, bei der Nutzung von Umgebungsluft resultiert ein Verhältnis von 2.

Das Potenzial von Umweltwärme hängt sowohl von angebotslimitierenden als auch von nachfragemlimitierenden Faktoren ab. In Grundwasserschutzgebieten ist ein Einsatz von Erdsonden nicht zulässig (angebotslimitierender Faktor für Erdwärmenutzung). In Gebieten, in welchen Erdwärmesonden zulässig sind, wird das nutzbare Potenzial an Umweltwärme einzig durch den Energiebedarf der Bauten limitiert (nachfragemlimitierender Faktor). Bei der Nutzung der Umweltwärme aus einem See beispielsweise ist die Nutzung meist durch technisch-wirtschaftliche Rahmenbedingungen beschränkt, da nur Gebäude in einem Abstand von einigen hundert Metern und eher grössere Gebäude den Energieinhalt des Sees sinnvoll nutzen können.

Wir haben deshalb bei der Abschätzung des Potenzials von Umweltwärme jeweils die Zulässigkeit und das Ausmass der technisch-wirtschaftlichen möglichen Nutzung sowie die in den Gebieten mögliche Wärmenachfrage für Heizung und Warmwasser berücksichtigt. In einem ersten Schritt wird dabei für jede Gemeinde der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser als maximal verwendbare Wärmemenge ermittelt. In einem zweiten Schritt wird abgeschätzt, auf welchem Anteil des Gemeindegebietes die Nutzung der entsprechende Umweltwärme zulässig und technisch-wirtschaftlich möglich ist.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die einzelnen Umweltwärmequellen mit ihren limitierenden Faktoren, die in der Abschätzung der Potenziale der Umweltwärme berücksichtigt wurden. Die Details zu den Abschätzungen der Wärmequellen sind in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

Umweltwärme	Limitierende Faktoren
Erdwärme	<ul style="list-style-type: none"> – Schutzzonen und Grundwasserschutzbereiche A₀ gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG)/Gewässerschutzverordnung (GSchV) – Wärmenachfrage für Raumwärme und Warmwasser
Grundwasser oberflächennah	<ul style="list-style-type: none"> – Schutzzonen gemäss GSchG/GSchV – Maximale Temperaturdifferenz durch Wärmentnahme gemäss GSchG/GSchV
Grundwasser tief	<ul style="list-style-type: none"> – Schutzzonen gemäss GSchG/GSchV – Wärmenachfrage für Raumwärme und Warmwasser (Die maximale Temperaturdifferenz der Wärmentnahme gemäss gesetzlichen GSchG/GSchV ist i.d.R. für das nutzbare Potenzial nicht limitierend)
Seewasser	<ul style="list-style-type: none"> – Geographische Nähe der Wärmebezüger zum See(grobe Schätzung: 500 m Entfernung). – Wärmenachfrage für Raumwärme und Warmwasser (Die maximale Temperaturdifferenz durch Wärmentnahme gemäss GSchG/GSchV ist i.d.R. für das nutzbare Potenzial nicht limitierend)
Flüsse	<ul style="list-style-type: none"> – Maximale Temperaturdifferenz durch Wärmentnahme gemäss GSchG/GSchV

Tabelle 4: Limitierende Faktoren bei der Nutzung der Umweltwärme.

Umweltwärme kann auch für Kühlzwecke genutzt werden. Insbesondere die vorhandenen tiefer gelegenen Grundwasserschichten erlauben eine gleichzeitige Nutzung zu Heiz- und Kühlzwecken, was die gesamthaft mögliche Nutzung erhöht.

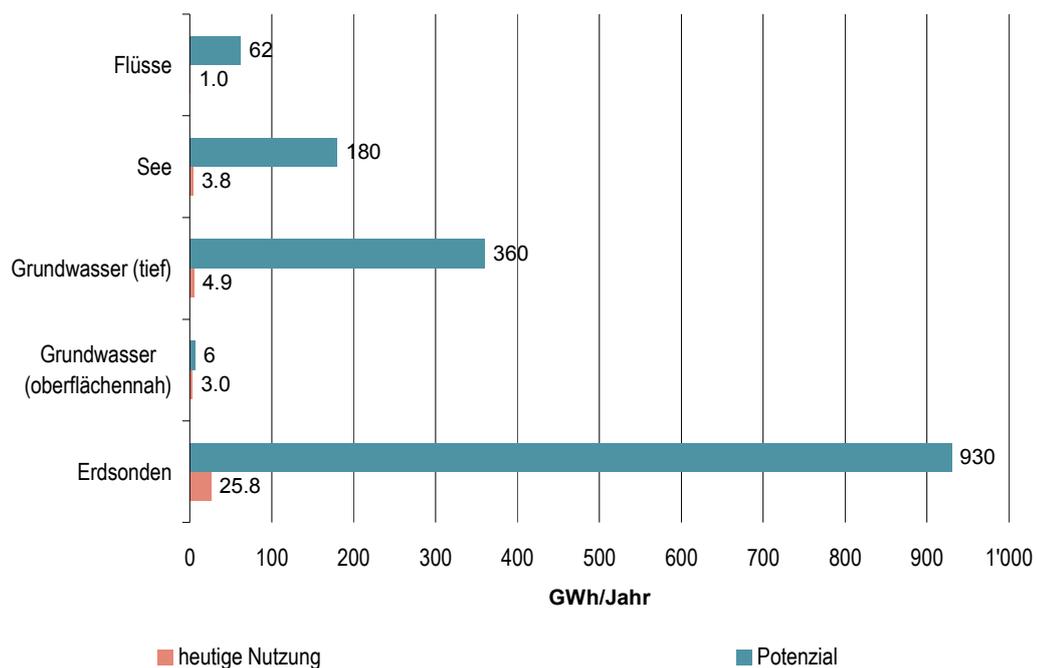
So kann zum Beispiel das tiefe Grundwasservorkommen als saisonaler Speicher betrachtet werden, welcher durch die Nutzung zu Kühlzwecken (vorwiegend im Sommer, teilweise auch im Winter) erwärmt und durch die Nutzung zu Wärmezwecken (ausschliesslich Winter) gekühlt wird. Wie stark sich diese beiden Effekte ergänzen bzw. aufheben ist schwierig zu quantifizieren. Das nutzbare Potenzial dürfte sich dadurch erhöhen. Da bei der Nutzung dieser beiden Umweltwärmen vor allem die Wärmenachfrage der limitierende Faktor für die Nutzung ist, wird dieser Effekt nicht weiter berücksichtigt.

Auf die Quantifizierung der heutigen Nutzung und des Potenzials für die Kälteerzeugung wird aufgrund schwierig prognostizierender Nachfrage verzichtet. Man kann davon ausgehen, dass das Potenzial aus Flüssen bereits ausgeschöpft ist, dass aber beim Zugersee noch ein zusätzliches erhebliches Potenzial besteht¹⁷.

3.5.1 Übersicht

Die Nutzung von Umweltwärme und das ökologische Potenzial im Kanton Zug sind wie folgt:

«Heutige Nutzung von Umweltwärme und ökologisches Potenzial»



econcept

Figur 9: Übersicht über die heutige Nutzung und die Potenziale der Wärmeproduktion aus Umweltwärme im Kanton Zug. Die Werte basieren auf den Abschätzungen in den folgenden Kapiteln.

Die Übersicht zeigt, dass bei der Umweltwärme vor allem die Erdsonden sowie das tiefe Grundwasser ein sehr grosses Potenzial aufweisen. Auch die obere und untere Lorze

¹⁷ Aussagen gemäss Amt für Umweltschutz Kanton Zug

sowie der Zugersee haben ein zusätzliches nutzbares Potenzial. Beim oberflächennahen Grundwasser ist das Potenzial gering.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Potenziale eingegangen und die Herleitung der Abschätzungen erläutert. Weicht der Betrachtungsperimeter vom gesamten Kantonsgebiet ab, wird dies bei den einzelnen Umweltwärmequellen vermerkt.

3.5.2 Heutige Nutzung

Oberflächennahe Erdwärme

Die Erdwärme wird meist mittels Erdwärmesonden, die rund 40 bis 300 Meter tief in den Boden ragen, genutzt. Die Nutzung von Erdwärme in mittleren (300 bis 2'000 m) und grossen Tiefen (4 bis 6 km) wird in Kapitel 3.6 betrachtet.

Die räumliche Zulassung von Erdsonden ist im Kanton festgelegt. Im Kanton Zug bestehen an fast 900 Standorten Erdsonden (welche insgesamt eine Länge von 365'000 m aufweisen. Die maximale Leistung aller Erdsonden beträgt 18'000 kW. Im Durchschnitt hat jede Wärmepumpe mit Erdsonde eine Leistung von rund 20 kW; wobei die Mehrzahl der Wärmepumpen eine Leistung von unter 20 kW und nur vereinzelte eine Leistung von über 100 kW aufweisen (Angaben Amt für Umweltschutz Kanton Zug). Da normalerweise nicht die gesamte konzessionierte Wärmeleistung bezogen wird, gehen wir von einer Nutzung von 80% der konzessionierten Wärmemenge aus, woraus eine tatsächlich bezogene Leistung von 14'000 kW resultiert. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 1'800 Stunden pro Jahr resultiert eine heutige Nutzung im Umfang von 26'000 MWh/a.

Grundwasser

Die energetische Nutzung von Grundwasser ist sinnvoll. Dieser konstante Wärmepool eignet sich mit Wärmepumpen hervorragend für die Beheizung und allenfalls Kühlung von Gebäuden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Grundwasser durch die Anlage nicht verschmutzt wird und sich die natürliche saisonale Grundwassertemperatur unter Einbezug sämtlicher im betrachteten Grundwassergebiet installierten Anlagen nicht mehr als 3°C verändert.

Insgesamt gibt es im Kanton Zug 82 Standorte mit Grundwassernutzung für energetische Zwecke. Sie weisen insgesamt eine maximale konzessionierte Leistung von 5500 kW auf. Analog zu den Erdwärmepumpen gehen wir von einer Nutzung von 80% der konzessionierten Leistung aus, woraus eine tatsächlich bezogene Leistung von 4'400 kW resultiert¹⁸. Bei einer Nutzungsdauer von 1800 Volllaststunden pro Jahr werden dem Grundwasser somit 7'900 MWh entzogen, wobei 3'000 MWh aus oberflächennahen und 4'900 MWh aus tiefen Grundwasserschichten stammen¹⁹.

¹⁸ Amt für Umweltschutz Kanton Zug

¹⁹ Dies unter der Annahme, dass diejenigen Wärmepumpen, die eine Leistung von über 100 kW aufweisen Grundwasser aus tiefen Schichten verwenden, während Wärmepumpen mit einer Leistung von weniger als 100 kW das oberflächennahe Grundwasser verwenden.

Oberflächengewässer

a) Seen

Die Nutzung von Seewasser zu Heiz- und Kühlzwecken ist eher für grössere Anlagen geeignet. Dies hängt mit dem erheblichen Investitionsaufwand für die Fassungen sowie dem Wartungsaufwand der Anlagen zusammen. Zudem besteht die Bestrebung, den See durch eine Konzentration auf Grossanlagen mit weniger Infrastrukturanlagen zu belasten. Wo die Voraussetzungen für eine Nutzung jedoch gegeben sind, lässt sich eine Anlage zur Nutzung des Seewassers heute wirtschaftlich betreiben.

Auf Kantonsgebiet liegen der Zuger-, der Ägeri- und der Wilersee. Die Wärmenutzung aus dem Wilersee ist aufgrund seiner geringen Grösse nicht möglich. Der Ägerisee ist im Siedlungsgebiet von Unterägeri sehr flach, was für eine Wärmenutzung tendenziell ungeeignet ist. Zusätzlich sind grosse Wärmeabnehmer für die Wärmenutzung aus dem See nötig. In Oberägeri ist der See etwas tiefer, grössere Wärmebezüger sind aber erst in einiger Distanz zum Ufer vorhanden, was wiederum für die Nutzung der Seewärme ungeeignet ist.

In dieser Studie beschränkt sich daher auf den Zugersee.

Im Kanton Zug gibt es heute 10 Standorte, an denen der Zugersee zu Heiz- oder Kühlzwecken genutzt wird. Die konzessionierte maximale Wärmeleistung aller Anlagen beträgt 2'600 kW²⁰. Auch hier gehen wir davon aus, dass nicht die gesamte konzessionierte Leistung bezogen wird, sondern lediglich 80%. Dies ergibt eine tatsächlich bezogene Wärmeleistung von 2'100 kW. Bei einer Nutzungsdauer von 1800 Stunden wurden so 3'800 MWh Wärme genutzt.

Betragsmässig wichtiger als die Energie, die dem See zum Heizen entzogen wird, ist die Energie, die zum Kühlen verwendet wird. Zu Kühlzwecken beträgt die konzessionierte Leistung 7'900 kW, was mit den gleichen Annahmen wie bei der Wärme zu einer tatsächlich bezogenen Leistung von 6'300 kW und bei einer Nutzungsdauer von 1'000 Stunden zu einer Energiemenge von 6'300 MWh führt.

b) Flüsse

Durch das Kantonsgebiet fliessen die Reuss, die Sihl, die obere und die untere Lorze sowie etliche kleinere Flüsse und Bäche. Für die Wärmenutzung kommen aber nur grössere Flüsse in Frage, also die Reuss, die Sihl und die obere und untere Lorze. Entlang der Reuss und der Sihl liegen auf Kantonsgebiet keine geeigneten Siedlungsgebiete mit hoher Dichte oder Gebäude mit hoher Wärmenachfrage. Im Folgenden wird daher auf die obere und die untere Lorze näher eingegangen.

Die Obere Lorze wird heute in Unterägeri und in Baar zur Wärme- und Kältegewinnung genutzt. Aus der Oberen Lorze werden heute das Gemeindehaus und ein Einfamilienhaus in Unterägeri, eine Arealüberbauung in Baar beheizt sowie eine Notkühlanlage in Unterägeri mit Kühlwasser versorgt.

²⁰ Amt für Umweltschutz Kanton Zug

Aus der Unteren Lorze wird in Cham je ein Einfamilien- und ein Gewerbehaus geheizt sowie Heiz- und Kühlwasser für den Nahwärmeverbund im Dorfkern und Produktionswasser für die Papierproduktion bereitgestellt.

Insgesamt besteht eine konzessionierte Wärmeentnahme von 670 kW²¹. Bei einer Nutzung von 80% der konzessionierten Leistung ergibt dies eine bezogene Wärmeleistung von 540 kW, was unter der Annahme einer Nutzungsdauer von 1'800 Stunden 970 MWh ergibt.

Die Standorte, an denen heute das Flusswasser zu Kühlzwecken verwendet wird, weisen eine maximale konzessionierte Leistung von 330 kW auf, was unter der Annahme einer Nutzungsdauer von 1'000 Stunden 260 MWh ergibt (bei einer Nutzung von 80% der konzessionierten Leistung), welche aus dem Flusswasser genutzt werden.

3.5.3 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Für die Berechnung des Potenzials der Umweltwärme verwendeten wir einen Top-Down-Ansatz. Als Näherung kann davon ausgegangen werden, dass 40.6% des Energieverbrauchs zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser verwendet werden (BFE 2008). Diese kann mit Hilfe von Wärmepumpen theoretisch vollständig durch Umweltwärme gedeckt werden. Zu den verwendeten Annahmen pro Gemeinde siehe Anhang A-1.

Oberflächennahe Erdwärme

Anhand der Erdwärmekarte des Kantons Zug²² schätzen wir für jede Gemeinde die Fläche ab, in der die Erdwärmekarte zulässig ist und ermitteln dann anhand der Einwohnerzahl das Potenzial der Erdwärme für jede Gemeinde. Somit ist das Potenzial an den Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser gekoppelt.

Setzt man aktuelle marktübliche Technologien zur Nutzung der Umweltwärme mittels Wärmepumpen voraus, muss bei einer vollständigen Umsetzung des ökologischen Potenzials von 926'000 MWh pro Jahr mit einem zusätzlichen Elektrizitätsbedarf von 264'000 MWh pro Jahr gerechnet werden²³. In Zukunft ist in Folge der technologischen Weiterentwicklung von Wärmepumpen mit Effizienzsteigerungen und somit mit einem geringeren Elektrizitätsbedarf für die Wärmegewinnung zu rechnen.

Grundwasser

a) Oberflächennahes Grundwasser:

Eine Studie des Geologischen Büro Dr. L. Wyssling AG (2010) schätzt das Potenzial des oberflächennahen Grundwassers im Baarbecken auf 4'000 MWh. Ähnliche Grundwasservorkommen, jedoch auf viel kleinerer Fläche, hat es noch in den Gemeinden Hünen-

²¹ Amt für Umweltschutz Kanton Zug

²² Die Erdwärmekarte des Kantons Zug wird momentan überarbeitet.

²³ Dabei wird angenommen, dass sich eine Kilowattstunde Endenergie zu mindestens 2/3 aus der genutzten Umweltwärme und höchstens zu 1/3 aus der elektrischen Energie, mit der die Wärmepumpe betrieben wird, zusammensetzt (entspricht einer Jahresarbeitszahl von 3.5).

berg, Oberägeri, Unterägeri und Zug vereinzelt auch in Neuheim und Menzingen. Insgesamt wird das Potenzial im Kanton Zug somit auf ca. 6'000 MWh pro Jahr geschätzt.

b) Tiefes Grundwasser:

Anhand der Grundwasserkarte schätzen wir für jede Gemeinde die Fläche ab, in der Grundwassernutzung zulässig ist und ermitteln dann anhand der Einwohnerzahl respektive dem Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser das Potenzial des tiefen Grundwassers für jede Gemeinde. Unter den selben Annahmen wie bei der Erdwärme ergibt das ein Potenzial von 360'000 MWh pro Jahr, wobei mit einem zusätzlichen Elektrizitätsbedarf von 102'000 MWh gerechnet werden muss.

Oberflächengewässer

a) See: Zugersee

Gemäss einer eawag-Studie (eawag 2006) hat der Zugersee eine freie Nutzungskapazität von 100 MW. Bei einer Nutzungsdauer von 1'800 Stunden ergibt das ein ökologisches Potenzial von 170'000 MWh pro Jahr. Dieses kann sinnvollerweise vor allem in den Siedlungsgebieten in den Gemeinden Zug und Cham und Walchwil genutzt werden und kann dort je ca. 30% des Wärmebedarfes decken .

b) Flüsse: Obere und Untere Lorze

Ausschlaggebend für die maximal nutzbare Energie aus Flüssen ist jeweils das Abflussminimum im Winter. Dieses beträgt in der oberen Lorze in Unterägeri $1\text{ m}^3/\text{s}$, in der obere Lorze beträgt es bei der Stadt Zug $2.3\text{ m}^3/\text{s}$ und in der unteren Lorze bei Frauenthal $5\text{ m}^3/\text{s}$.²⁴ Insgesamt entspricht dies also einem nutzbaren Winterabfluss von 8300 l/s.²⁵ Die maximal zulässige Temperaturänderung des Gewässers beträgt 1°C . Bei einer Nutzungsdauer von 1800 Stunden ergibt dies (basierend auf der Wärmekapazität von Wasser) eine theoretisch nutzbare Wärmeleistung von 35 MW und eine theoretisch nutzbare Energie von 60'000 MWh pro Jahr, wobei diese Energie in den Gemeinden Unterägeri, Baar, Zug (obere Lorze) und Cham (untere Lorze) genutzt werden kann.

²⁴ Eigentlich etwas mehr, aber da es sich um denselben Fluss handelt, gehen wir davon aus, dass nicht an beiden Stellen das gesamte Potenzial genutzt werden kann.

²⁵ Eine Addition der Mengen ist insofern zulässig, als dass der See als Temperaturpuffer zwischen oberer und unterer Lorze wirkt und ein Temperatenausgleich in der Fließstrecke zwischen einer Nutzung in Unterägeri und Cham angenommen werden kann.

Zusammenfassende Darstellung von Nutzung und Potenzial von Umweltwärme

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Erdwärme	25.8	926	~ 920
Grundwasser (oberflächennah)	3	6.4	3.4
Grundwasser (tief)	4.9	363	~ 360
See			
Wärmezwecke	3.8	174	~ 170
Kühlzwecke	6.3		
Flüsse			
Wärmezwecke	1.0	62	~ 60
Kühlzwecke	0.3		
Total			
Wärmezwecke	38.5	~1'531	~ 1513
Kühlzwecke	6.9	nicht bestimmt	nicht bestimmt

Tabelle 5: Zusammenfassung der heutigen Nutzung von Umweltwärme im Kanton Zug. Perimeter: elf Gemeinden, See: Zugersee, Flüsse: obere und untere Lorze.

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der hohen sozialen Akzeptanz der Nutzung von Umweltwärme kann das verbleibende Potenzial ausgeschöpft werden.

3.6 Tiefe Geothermie

Für die Nutzung der Geothermie in tiefen Schichten (ab ca. 2000 m) stehen je nach geologischen Voraussetzungen zwei verschiedene Möglichkeiten offen. In Bereich von 2'000m bis 3'000 Meter können wasserführende Schichten bestehen. Das vorhandene Wasser verfügt über eine Temperatur von mehr als 50°C und könnte direkt für Heizung und Warmwassererzeugung eingesetzt werden (Beispiel: Pilotanlage Triemli in Zürich).

In tieferen Schichten kommt das sogenannte Hot Dry Rock-Verfahren zur Anwendung. Dabei wird das Gestein – je nach geologischen Voraussetzungen - in einer Tiefe von ca. 5'000 m geklüftet und Wasser eingepresst. Der dabei entstehende Dampf kann zur gekoppelten Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung genutzt werden (Beispiel Pilotanlage in Basel).

3.6.1 Heutige Nutzung

Im Kanton Zug wird heute weder Wärme noch Elektrizität aus tiefer Geothermie genutzt.

3.6.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Eine Tiefbohrung wurde 1965 in Hüenberg durchgeführt. Die Sondierbohrung für Erdöl und Erdgas erreichte eine Tiefe von knapp 3300 Meter. Aus dieser bisher tiefsten Bohrung im Kanton Zug geht hervor, dass eine geothermische Nutzung nicht geeignet ist, da «das Formationsfelswasser viel zu geringe Ergiebigkeit infolge zu geringer Durchlässigkeit

keit und nutzbarer Porosität des Aquifers aufweist» (Amt für Umweltschutz Kanton Zug 2007, S. 37).

Falls für den Kanton Zug die Nutzung tiefer Geothermie eine Option darstellt, sind zu den Möglichkeiten (Standort, Technologien, Vorgehen, Kosten etc.) vertiefte Abklärung vorzunehmen.

3.7 Sonne

Sonnenenergie wird für Wärmezwecke mittels Sonnenkollektoren genutzt. Meist werden Kollektoren zur vollständigen oder teilweisen Deckung des Warmwasserbedarfs eingesetzt. Vereinzelt dienen sie auch der Heizungsunterstützung. Sonnenkollektoren für die Warmwassererzeugung haben Wärmegestehungskosten, die leicht höher sind als fossile Wärmeerzeugungen. So lange die Kollektoren aber als ergänzendes System zu einer bestehenden Energieerzeugung eingesetzt werden, sind sie nicht wirtschaftlich, weil die gesamten Kosten der Sonnenenergieanlage lediglich dem zusätzlichen Energiebedarf des Hauptsystems (Grenzkosten der Wärmeerzeugung) gegenübergestellt werden müssten.

Sonnenkollektoren lassen sich sowohl in Neubauten als auch bei bestehenden Bauten optisch meist gut in das Gebäude einbinden. Der Interessenkonflikt zum Denkmalschutz, Ortsbildschutz und Landschaftsschutz ist zu beachten. Ausserdem muss bei der Schätzung des Potenzials solarenergetischer Anlagen berücksichtigt werden, dass die Elektrizitätsgewinnung durch Solarzellen in Konkurrenz zur Solarthermie steht. Jeder durch Sonnenkollektoren belegte Quadratmeter Dachfläche steht der Photovoltaik nicht mehr zur Verfügung. Da die Nutzung der Solarthermie auf die tatsächliche Warmwasser- oder Heizenergienutzung in den jeweiligen Gebäuden abgestimmt werden muss, gehen wir in Anlehnung an Nowak et al. (2007) davon aus, dass maximal 22% der nutzbaren Dachflächen für die Solarthermie genutzt werden kann.

Welcher Anteil des Wärmebedarfs tatsächlich mit Solarthermie gedeckt werden kann, hängt davon ab, welches Temperaturniveau das jeweilige Heizsystem aufweist, wie gross Wärmespeicher dimensioniert werden und wie gut ein Gebäude isoliert ist. Technisch wäre es möglich, einen Wärmespeicher so auszulegen, dass die Wärme saisonal gespeichert werden kann und eine ganzjährige solare Deckung des Wärmebedarfs erreicht wird.

3.7.1 Heutige Nutzung

Gemäss Angaben der Stadtverwaltung Zug²⁶ gibt es in den Gemeinden Baar, Cham, Hünenberg, Neuheim, Steinhausen und Zug insgesamt rund 6'120 m² Sonnenkollektoren. Diese Zahl basiert auf Angaben der einzelnen Gemeinden, welche teilweise die geförderten Kollektorflächen angegeben haben, und teilweise auch Schätzungen über die gesam-

²⁶ Walter Fassbind, Stadtverwaltung Zug

ten Kollektorflächen auf Gemeindegebiet. Da einzelne Gemeinden nur die geförderten Flächen angegeben haben (wie beispielsweise die Stadt Zug), dürfte die tatsächliche Summe der Kollektorflächen etwas grösser sein. Hochgerechnet auf den ganzen Kanton Zug ergibt dies insgesamt eine Fläche von rund 10'000 m² Sonnenkollektoren, was einer durchschnittlichen Kollektorfläche von ca. 0.09 m² pro EinwohnerIn entspricht. Dieser Wert liegt unter dem Schweizerischen Durchschnitt von 0.23 m² pro EinwohnerIn. (BFE 2009c). Bei einem typischen Wert für das Schweizer Mittelland von 450 kWh Energieproduktion pro Quadratmeter²⁷ beträgt die heutige Nutzung im Kanton Zug ca. 4'500 MWh.).

3.7.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Die Abschätzung des Potenzials der Nutzung von Solarthermie basiert auf Potenzialschätzungen für den Kanton Zürich und Erfahrungswerten aus eigenen Berechnungen für eine Zürcher Gemeinde (Klingler et al. 2009), wonach bei heutiger Technologie mindestens 15% des gesamten Wärmebedarfs durch Sonnenkollektoren gedeckt werden kann. Für den Kanton Zug ergibt dies ein Potenzial von 250'000 MWh/a.

Der Wert von rund 15% berücksichtigt heute übliche System-Lösungen für die Bereitstellung von Warmwasser oder die Realisierung einer Heizungsunterstützung. Er basiert auf einer detaillierten Studie, in welcher die geeigneten Dachflächen ausgezählt wurden. Dabei wurden nur Dachflächen ohne Nutzungskonkurrenz (Photovoltaik) mit mindestens 80% der maximal möglichen Solareinstrahlung (keine Freiflächen und Fassaden), die Verschattung bei Flachdächern und einen Anteil denkmalgeschützter Bauten von 5% der Steildachgebäude, berücksichtigt. Das in der Studie Klingler et al. (2009) ermittelte Potenzial entspricht einer Kollektorenfläche von 4-5 m² pro EinwohnerIn. Die Ergebnisse dieser Studie können als erste Näherung auf den Kanton Zug angewendet werden, da die Sonneneinstrahlung im Schweizer Mittelland überall ungefähr gleich gross ist und die Besiedlungsdichte der in der Studie untersuchten Gemeinde ungefähr mit der Besiedlungsdichte der Zuger Gemeinden verglichen werden kann.

Es ist anzumerken, dass die hier verwendete Potenzialschätzung konservative Annahmen zu Grunde liegen. So schätzen Frei und Hawkins (2004), dass in der Schweiz über 30% des gesamten Wärmebedarfs durch solarthermische Anwendungen gedeckt werden könnten.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von Sonnenenergie (Wärme)

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Sonne	4.5	250	~250

Tabelle 6: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials aus Sonnenenergie

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen (hohe Anforderungen an den Energiebedarf von Bauten nicht aber an die Nutzung von erneuer-

²⁷ Da Solarthermie hauptsächlich zur Warmwassererzeugung verwendet wird, kann die Raumwärme vernachlässigt werden.

baren Energieträgern) kann trotz der hohen sozialen Akzeptanz der Sonnenenergie nicht erwartet werden, dass das ungenutzte Potenzial bis 2030 ausgeschöpft werden wird.

3.8 Umgebungsluft

Auch die Umgebungsluft kann mit Hilfe von Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser eingesetzt werden. Der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung nimmt jedoch mit sinkender Aussentemperatur ab. Deshalb ist die Nutzung von oberflächennahen Erdschichten (Erdsonden) und Grund- oder Oberflächengewässer der Nutzung von Umgebungsluft vorzuziehen. Bei sehr gut gedämmten Bauten mit einem sehr geringen Wärmebedarf bleiben Wärmepumpen mit Umgebungsluft eine kostengünstige und prüfungswerte Wärmequelle.

Heutige Nutzung

Über die aktuelle Nutzung der Umweltwärme in der Umgebungsluft liegen keine genaueren Daten vor. Sie dürfte im Bereich von einigen Prozent des gesamten Wärmebedarfs liegen.

Ungenutztes ökologisches Potenzial

Da in den meisten Gebieten des Kantons Umweltwärme aus Seen, Flüssen, Grundwasser oder oberflächennahen Schichten zulässig ist, wird auf eine Ermittlung des ökologischen Potenzials verzichtet.

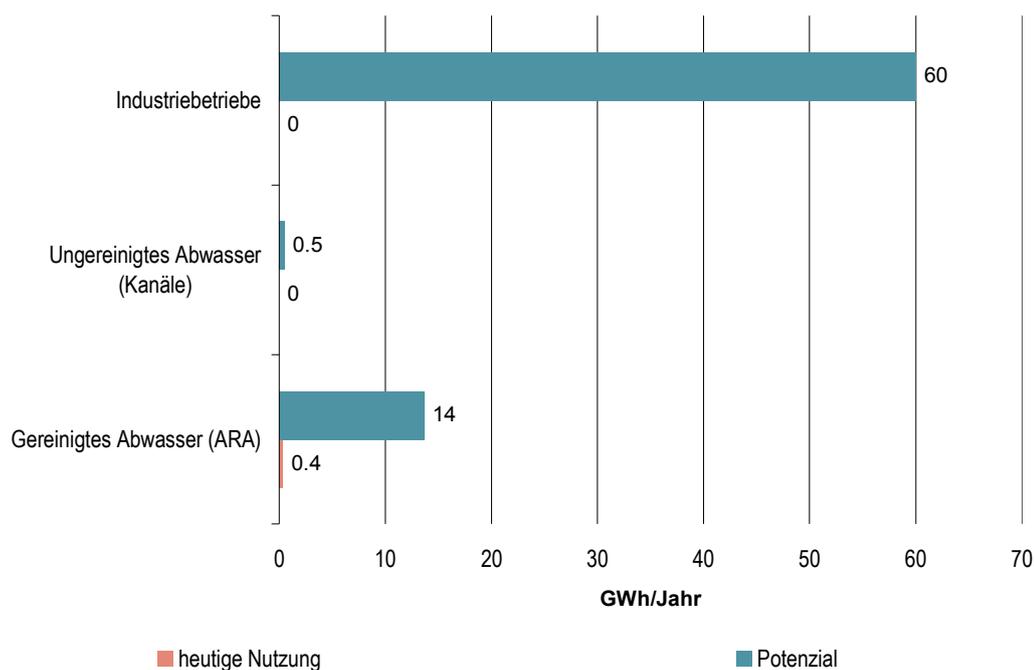
4 Abwärme für Wärmeezwecke

4.1 Zusammenfassende Übersicht

Grundsätzlich kann je nach Temperaturniveau zwischen hochwertiger Abwärme und niederwertiger Abwärme unterschieden werden. Hochwertige Abwärme ist direkt nutzbar, während zur Nutzbarmachung von niederwertiger Abwärme Wärmepumpen nötig sind. Da im Kanton Zug keine Kehrichtverbrennungsanlage besteht, fällt wahrscheinlich keine hochwertige Abwärme an²⁸. Niederwertige Abwärme fällt in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und den Abwasserkanälen sowie in wenigen Industriebetrieben an.

Folgende Grafik zeigt die heutige Nutzung von erneuerbaren Energien zu Wärmeezwecken und das verbleibende ökologische Potenzial im Kanton Zug. Die Herleitung dieser Abschätzungen werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

«Heutige Nutzung von Abwärme und ökologisches Potenzial»



econcept

Figur 10: Übersicht über die heutige Nutzung und die Potenziale der Abwärmenutzung im Kanton Zug. Die Werte basieren auf den Abschätzungen in folgenden Kapiteln.

Die Übersicht zeigt, dass heute im Kanton Zug fast keine Abwärme genutzt wird. Insbesondere bei den Industriebetrieben besteht jedoch ein grosses Potenzial. Auch beim gereinigten Abwasser von Abwasserreinigungsanlagen ist ein Potenzial vorhanden.

²⁸ Ein Potenzial bei der Cham Paper Group ist möglich. Diese wird aber in der Regel vollständig betriebsintern genutzt und steht nicht für eine betriebsexterne Nutzung zur Verfügung.

4.2 Abwärme aus gereinigtem Abwasser von Abwasserreinigungsanlagen

Das geklärte Abwasser verfügt ganzjährig über ein relativ stabiles Temperaturniveau von ca. 12°C. Dadurch ist es gut als Niedertemperaturquelle für Wärmepumpen geeignet. Es bestehen bereits zahlreiche Anlagen zur Abwärmenutzung in der Schweiz. Die Gesteungskosten von Wärme aus Abwasserreinigungsanlagen sind tendenziell leicht höher als bei fossilen Feuerungen. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb sind grössere Wärmebezüger oder Gebiete mit einer hohen Wärmebezugsdichte in der Nähe, welche den Betrieb eines Wärmenetzes ermöglichen.

4.2.1 Heutige Nutzung

Auf Kantonsgebiet gibt es drei kommunale Abwasserreinigungsanlagen (ARA): Schönau, Finstersee und Neuheim, wobei lediglich die ARA Schönau genügend gross und in der Nähe von überbautem Gebiet gelegen ist, so dass eine Abwärmenutzung möglich ist. Zusätzlich besteht bei der Cham Paper Group eine betriebsinterne ARA.

- ARA Schönau

Dem gereinigten Abwasser aus der ARA Schönau wird heute lediglich die Energie zur Beheizung des nahegelegenen Schulhauses Hagedorn entnommen. Dies entspricht einer Leistung von ca. 200 kW, was bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 1800 h zu einer Energiemenge von 360 MWh führt.

- ARA Finstersee und ARA Neuheim

Bei den Abwasserreinigungsanlagen Finstersee und Neuheim wird heute keine Abwärme genutzt²⁹.

- ARA Cham Paper Group

Bei der ARA der Cham Paper Group (CPG) wird die Abwärme nicht genutzt. Ein entsprechendes Projekt für die nahegelegene Überbauung war nicht umsetzbar.

4.2.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Das Potenzial der einzelnen ARAs ist wie folgt:

- ARA Schönau

Das gereinigte Abwasser fliesst im Auslaufbereich ca. 500 m in einer Röhre entlang der Lorze. Das Abflussminimum im Winter beträgt ca. 300 l/s und die Minimaltemperatur 12°C. Da das Wasser bei der Einleitung in den Fluss nicht kälter als 8°C sein darf, entspricht dies einer Temperaturdifferenz von 4°C, die genutzt werden kann. Geht man nun davon aus, dass diese Wärme während 1'800 Stunden pro Jahr zu Heizzwecken genutzt werden kann, entspricht dies einem Wärmepotenzial von mindestens 9'000 MWh. Normalerweise wird eine grössere Abwärmenutzung in Kombination mit einer fossilen Spitzenlastfeuerung erstellt. Dadurch wird das nutzbare Wärme Potenzial aus dem Abwasser deutlich grösser.

²⁹ Herr Scherrer, Bauverwalter Bauamt Menzingen und Herr Kränzlin, Klärwart ARA Neuheim.

Ob die Wärmeenergie des gereinigten Abwassers der ARA Schönau genutzt werden kann, hängt in erster Linie davon ab, ob Abnehmer gefunden werden können (abhängig u.a. von Siedlungsentwicklung etc.).

— ARA Cham Paper Group (CPG)

Gemäss der «Machbarkeitsstudie Abwärmenutzung ARA Cham Paper Group» der Durena AG (2009) hat die ARA ein Potenzial von 4'600 MWh Umweltwärme, welche pro Jahr genutzt werden kann.

Die Empfehlungen der Studie wurden jedoch nicht umgesetzt – u.a. da keine Verträge mit Abnehmern zustande kamen und ausserdem die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage nicht unbedingt gegeben ist und eine langfristige Verfügbarkeit von Abwärme über eine Amortisationsdauer von 40 Jahren für das Wärmenetz nicht garantiert werden kann³⁰.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von Abwärme aus gereinigtem Abwasser

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
ARA Schönau	0.4	9	8.6
ARA CPG	0	4.6	4.6
Total	0.4	13.6	13.2

Tabelle 7: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials aus gereinigtem Abwasser in GWh/a

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der hohen sozialen Akzeptanz der Nutzung von Abwärme bestehen keine Restriktionen aus ökonomischer oder gesellschaftlicher Sicht, welche die Nutzung des ausgewiesenen Potenzials einschränken. Es müssen jedoch räumlich günstige Voraussetzungen bestehen. Zudem ist die Finanzierung einer Wärmenutzung mit erheblichen Investitionen verbunden. Raumplanerische Instrumente zur Sicherung des Wärmeabsatzes können Sicherheiten für mögliche private Investoren bieten, welche die Wahrscheinlichkeit der Potenzialnutzung erhöhen.

4.3 Abwärme Abwasserkanäle/ungereinigtes Abwasser

Analog zur Nutzung des geklärten Abwassers kann auch der Wärmeinhalt des ungeklärten Abwassers energetisch für grössere Einzelobjekte oder einen kleineren Wärmeverbund genutzt werden. Die Wärmenutzung erfolgt durch den Einbau eines Wärmetauschers im Abwasserkanal kombiniert mit einer Wärmepumpe. Dabei ist zu beachten, dass das Abwasser beim Eintritt in die ARA eine minimale Temperatur nicht unterschreitet, um negative Auswirkungen auf den biologischen Prozess in der ARA zu vermeiden.

³⁰ Walter Keller, Leiter Engineering, Cham Paper Group.

Es sind bereits einige Anlagen in der Schweiz in Betrieb, welche Wärme zu konkurrenzfähigen Preisen bereitstellen können.

Es müssen allerdings einige Voraussetzungen für eine Wärmenutzung erfüllt sein (Müller et al. 2005):

— Anforderungen an die Gebäude:

Die Nutzung wird dann interessant, wenn die angeschlossenen Gebäude oder Gebäudegruppen einen grösseren Wärmeleistungsbedarf aufweisen (ca. 150 kW, was etwa dem Bedarf von 30 Wohneinheiten entspricht). Generell kann ausgesagt werden, dass die Wirtschaftlichkeit mit einer Zunahme der Überbauungsdichte zunimmt. Optimal ist es, wenn die Gebäude nahe am Kanal stehen und mit Niedertemperaturheizsystemen ausgestattet sind.

— Anforderungen an den Kanal:

Der Kanal soll einen Mindestabfluss von 15 Liter pro Sekunde (Tagesmittelwert bei Trockenwetter) aufweisen. Längere gerade verlaufende Abschnitte vereinfachen zudem den Einbau des Wärmetauschers. Müller et al. (2005, S. 7): «Ideal ist ein gerader Abschnitt von mindestens 20 m, bei grossen Anlagen sogar 100 m Länge».

4.3.1 Heutige Nutzung

Zurzeit wird das ungereinigte Abwasser nicht zu energetischen Zwecken genutzt.

4.3.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Aus der Angabe des Tagesmittelwerts des Trockenabflusses kann das Energieangebot eines Abwasserkanals, der die obenstehenden Anforderungen erfüllt, grob abgeschätzt werden. Müller et al. (2005, S. 22) schlagen dafür folgende Faustregel vor:

$$\text{Max. Entzugsleistung (kW)} = \text{Tagesmittelwert Trockenwetterabfluss (l/s)} \cdot \text{Faktor } 6^{31}$$

Im Kanton Zug gibt es im Einzugsgebiet der ARA Schönau insgesamt ca. 24 km Kanäle mit einem durchschnittlichen Trockenwetterabfluss von > 15 l/s. Davon liegen jedoch nur ca. 8 km im Siedlungsgebiet. Innerhalb dieser 8 km lassen sich bei Baar, Zug und Cham drei unabhängige Teilkanäle ausmachen (vgl. Karte), bei denen Wärme entnommen werden könnte. Geht man je von einem Abfluss von 15 l/s und einer Nutzungsdauer von 1'800 Stunden aus, ergibt das ein Potenzial von 500 MWh pro Jahr. Wird die Energienutzung mit einem fossilen Spitzenlastkessel kombiniert, lassen sich deutlich höhere Wärmemengen nutzen.

Gemäss GVRZ³² gibt es bei der Nutzung des ungereinigten Abwassers in den Abflusskanälen einige Einschränkungen:

³¹ Die Formel basiert auf folgenden Annahmen (zitiert aus Müller et al 2005, S. 22): Mittlere Abkühlung des Abwassers im Kanal durch den Wärmeentzug: 3°C; Dimensionierungswert des Wärmetauschers für die maximale Entzugsleistung: 70 % des Tagemittels des Trockenwetterabflusses; Faktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung des Wärmetauschers: 0,7; Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe: 3,5; Anteil der Wärmepumpe an der gesamten Wärmeerzeugungsleistung: 35 %.

³² Bernd Kobler, Geschäftsführer GVRZ.

- Bei der Stickstoffelimination sind Wassertemperaturen von mind. 11.5°C nötig. Wird im Winter dem ungereinigten Abwasser so viel Wärme entnommen, dass diese Schwelle unterschritten wird, muss die ARA zusätzliche Energie zuführen. Dies verursacht erstens Kosten für die ARA und macht zweitens den Nutzen der vorher gewonnenen erneuerbaren Energie wieder zunichte.
- Gerade während der Wintermonate, wenn die Wärmeenergie gebraucht würde, ist die Abflussmenge zeitweise sehr tief (Schnee, wenig Niederschlag) und die Mindestabflussmenge, die für die Energiegewinnung nötig ist, wird nicht immer erreicht.

Die Nutzung von ungereinigtem Abwasser zur Wärmegewinnung ist grundsätzlich möglich. Es sind jedoch im Einzelfall genauere Abklärungen nötig.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von Abwärme aus ungereinigtem Abwasser

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Ungereinigtes Abwasser	0	0.5	0.5

Tabelle 8: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials aus ungereinigtem Abwasser

Es bestehen keine Restriktionen aus ökonomischer oder sozialer Sicht, welche die Nutzung des ausgewiesenen Potenzials einschränken. Es müssen jedoch räumlich günstige Voraussetzungen bestehen. Raumplanerische Instrumente zur Sicherung des Wärmeabsatzes können Sicherheiten für mögliche private Investoren bieten, welche die Wahrscheinlichkeit der Potenzialnutzung erhöhen.

4.4 Abwärme Industriebetriebe

In vielen energieintensiven Betrieben bestehen Energiepotenziale, die neben einer internen Nutzung auch für eine betriebsexterne Wärmenutzung in Frage kommen. Die Nutzung von industrieller Abwärme ist schwierig zu realisieren. Erstens muss das Unternehmen die Wärme langfristig zur Verfügung stellen können, was in der heutigen dynamischen Wirtschaftsentwicklung nicht garantiert werden kann. Zweitens muss die Abwärme bezüglich zeitlicher Verfügbarkeit (7 Tage pro Woche, keine längeren Betriebsunterbrüche) und Temperaturniveau der Nachfrage entsprechen und drittens darf die Distanz zum Wärmebezügler aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu gross sein.

Für die Nutzung von Industrieabwärme wurden als potenziell interessante Betriebe die Pavatex SA, die Cham Paper Group, Swisspor AG sowie V-Zug AG identifiziert und im Rahmen dieser Abklärungen befragt. Im internen Bericht vom 23. Dezember 2010 sind die Detailangaben zur heutigen Nutzung, dem ungenutzten Potenzial sowie Hinweise zu bisherigen Untersuchungen enthalten. Im vorliegenden öffentlichen Bericht werden die Angaben anonymisiert wiedergegeben.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von Abwärme aus Industriebetrieben

Abwärme aus Industriebetrieben	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Unternehmen A	Keine	40	40
Unternehmen B	Nur intern	3.6	3.6
Unternehmen C	Nur intern	17.5	17.5
Unternehmen D	Nur Intern	Nur Intern	-
Total		~60	~60

Tabelle 9: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials von Abwärme aus Industriebetrieben.

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der hohen sozialen Akzeptanz der Nutzung von industrieller Abwärme bestehen keine Restriktionen aus ökonomischer oder sozialer Sicht, welche die Nutzung des ausgewiesenen Potenzials einschränken. Es müssen jedoch günstige betriebliche, technische und räumliche Voraussetzungen bestehen. Raumplanerische Instrumente zur Sicherung des Wärmeabsatzes können Sicherheiten für mögliche private Investoren bieten, welche die Wahrscheinlichkeit der Potenzialnutzung erhöhen.

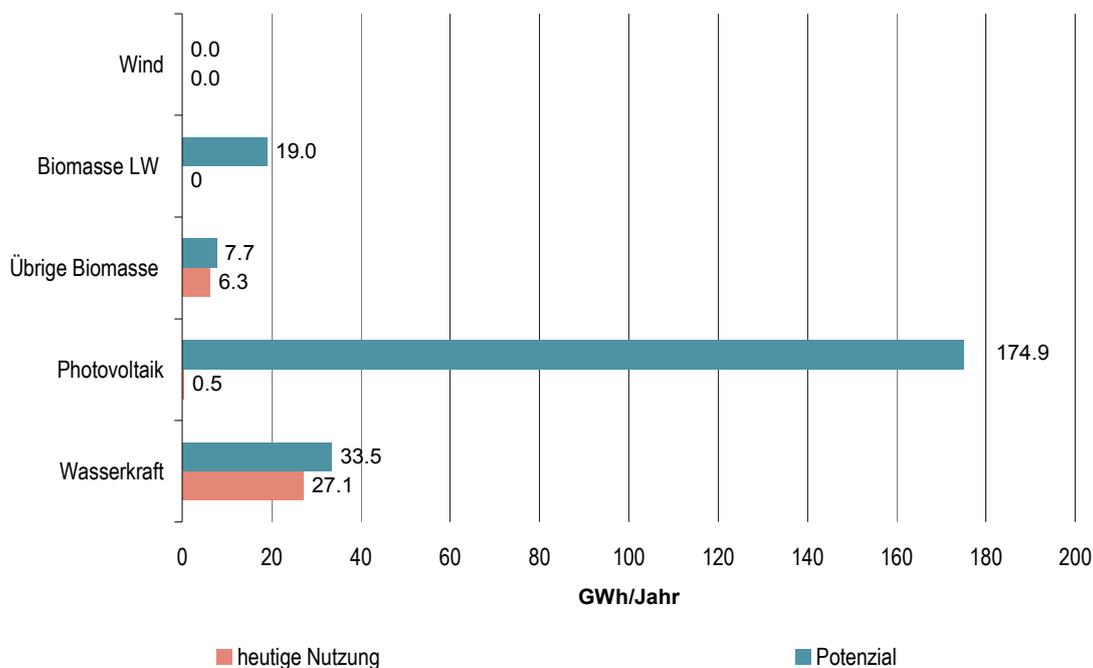
5 Erneuerbare Energien für die Elektrizitätsproduktion

5.1 Zusammenfassende Übersicht

Erneuerbare Energien können auch zur Nutzung von Elektrizität eingesetzt werden. Die potenzielle Energienutzung umfasst Wasserkraft, Sonne, Biomasse und Wind sowie Geothermie. Im folgenden werden die heutige Nutzung und die verbleibenden Potenziale abgeschätzt.

Folgende Grafik gibt eine Übersicht über die heutige Nutzung von erneuerbaren Energien zur Elektrizitätserzeugung und über die verbleibenden Potenziale im Kanton Zug. Die Ermittlung der Kennwerte wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

«Erneuerbare Energien zur Elektrizitätsproduktion»



econcept

Figur 11: Übersicht über die heutige Nutzung und die Potenziale von Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energien im Kanton Zug. Die Werte basieren auf den Abschätzungen in folgenden Kapiteln.

Es fällt auf, dass im Kanton Zug bei der Photovoltaik ein sehr grosses Potenzial besteht. Das Potenzial der landwirtschaftlichen Biomasse kann heute aufgrund des fehlenden Co-Substrats kaum genutzt werden. Die verbleibenden Potenziale bei Holz und Wasserkraft werden mit den heute in Bau befindlichen Anlagen bereits ausgenützt sein.

5.2 Wasser

Die Wasserkraftnutzung steht im Spannungsfeld des Gewässerschutzes und der Nutzung einer erneuerbaren Energiequelle. Im Kanton Zug konzentriert sich die Nutzung auf die untere und obere Lorze. Es handelt sich um ältere Kraftwerke, die zum Teil erneuert wurden. Mit der Sanierung einer Wasserkraftanlage ist meist eine Produktionserhöhung verbunden, so fern diese nicht durch erhöhte Restwasserbestimmungen kompensiert wird. Mit dem Förderinstrument der kostendeckenden Einspeisevergütung bestehen gute Anreize, dass auch erneuerte Wasserkraftanlagen wirtschaftlich betrieben werden können.

Auch das Gefälle innerhalb Trinkwasserversorgungen oder anderen Infrastrukturen kann energetisch mittels einer Turbine genutzt werden.

5.2.1 Heutige Nutzung

Gemäss WWZ³³ gibt es im Kanton Zug zurzeit drei Kleinwasserkraftwerke mit einer Leistung von >1MW, welche 2009 in der Summe 22'700 MWh Elektrizität produzierten. Zusätzlich gibt es sechs Kleinwasserkraftwerke <1MW, welche 2009 in der Summe 4'000 MWh Elektrizität produzierten sowie drei Trink- oder Abwasserkraftwerke, welche gemeinsam 430 MWh Elektrizität produzierten. Insgesamt wurden im Kanton Zug im Jahr 2009 also 27'000 MWh Elektrizität durch Wasserkraft produziert.

5.2.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Bei den Kleinwasserkraftwerken >1 MW besteht gemäss Auskunft WWZ in ihrem Bereich bis 2030 kein Ausbaupotenzial. Es wurden jedoch drei Kleinwasserkraftwerke <1 MW (Frauenthal, Untermühle und Hagendon) ausgebaut und saniert, welche ab 2011 gemeinsam 6'300 MWh Elektrizität produzieren werden (Vergütung über KEV), sowie ein zusätzliches Trinkwasserkraftwerk, welches 62 MWh produzieren wird.

Aus Gründen der Topographie des Kantons und des Gewässerschutzes kann davon ausgegangen werden, dass keine erheblichen Potenziale für neue Wasserkraftwerke bestehen.

Somit besteht also ein totales Potenzial von 6'400 MWh für Leistungssteigerungen bei bestehenden Wasserkraftanlagen, welches zum grössten Teil bereits ab Ende 2010 genutzt wird.

Zusammenfassende Darstellung zu Elektrizität aus Wasserkraft

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a ³⁴
Wasserkraft	27.1	33.5	0

Tabelle 10 Zusammenfassende Auflistung der Produktion von Elektrizität aus Wasserkraft

³³ Reinhard Bachmann, Leiter Energiewirtschaft und Portfoliomanagement WWZ.

³⁴ Mit den in diesem Jahr sanierten Anlagen wird das ungenutzte Potenzial grösstenteils ausgenutzt wird.

5.3 Sonne

Im Gegensatz zur Solarthermie ist die Elektrizitätsproduktion mit Photovoltaikzellen nicht auf eine unmittelbare Verwendung der Energie beim Erzeuger angewiesen, da die gewonnene Elektrizität ins Stromnetz eingespeist werden kann. Deshalb wird die Elektrizitätsproduktion durch technische und flächenmässige Rahmenbedingungen beschränkt und nicht durch die lokalen Nutzungspotenziale, d.h. die gesamten geeigneten Dachflächen ohne Nutzungskonkurrenz (Sonnenkollektoren für Wärmezwecke) können für die Photovoltaik genutzt werden.

Mit der kostendeckenden Einspeisevergütung besteht ein wirkungsvolles Förderinstrument. Die heute zur Verfügung stehenden Mittel reichen jedoch nicht aus, um das bestehende Potenzial im Kanton Zug zu vergüten.

Bei der Nutzung von Sonnenenergie sind die Zielkonflikte zwischen Elektrizitätsproduktion und dem Denkmalschutz bzw. Schutz von Ortsbildern zu berücksichtigen.

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Produktion von Elektrizität mit der Einstrahlung des Lichtes zusammenfällt und damit nicht konstant anfällt (Redundanzen sind notwendig).

5.3.1 Heutige Nutzung

Gemäss Aussagen der WWZ³⁵ wurden im Kanton Zug im Jahr 2009 rund 450 MWh Solarstrom produziert.

5.3.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Die Potenzialabschätzung für die solare Elektrizitätsproduktion mittels Photovoltaikzellen baut auf denselben Annahmen wie die Abschätzung der Solarthermie-Potenziale auf (vgl. Kapitel 3.5). Wiederum auf der Basis von Potenzialschätzungen des Kantons Zürich und Erfahrungswerten aus eigenen Berechnungen für eine Zürcher Gemeinde (Klingler et al. 2009) wird davon ausgegangen, dass bei heutiger Technologie mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der Photovoltaikanlagen von 11% mindestens 25% des gesamten Elektrizitätsverbrauches des Jahres 2009 des Kantons Zug durch Solarstrom gedeckt werden kann. Dies entspricht ca. 175 GWh/a. Die Berechnung basiert auf einem konservativen Ansatz einerseits und andererseits kann davon ausgegangen werden, dass für ein Kantonsgebiet, mit nicht nur städtischen Gebieten, ein grösserer Anteil des Stromverbrauchs mit Sonnenenergie gedeckt werden kann.

Je nach Solarzellentechnologie kann aber heute schon bis zu 19% der eingestrahlten Energie in Solarstrom umgewandelt werden (neuere monokristalline Photovoltaikzellen). Allerdings könnten auch Dünnschichtzellen eingesetzt werden, die einen Wirkungsgrad von ca. 8% aufweisen. Neuste Technologien, welche jedoch noch nicht serienmässig eingesetzt werden können, kommen auf einen Zell-Wirkungsgrad von 35-40% (bspw. Konzentration-Mehrschicht-Zellen). Würden im Kanton Zug nur heute erhältliche Solarzel-

³⁵ Reinhard Bachmann, Leiter Energiewirtschaft und Portfoliomanagement WWZ.

len mit hohen Wirkungsgraden installiert (monokristalline Zellen) könnte man ca. 40% des Elektrizitätsverbrauchs 2009 durch Solarstrom decken (entspricht ca. 276 GWh/a). Bei einem vollständigen Einsatz von Dünnschichtzellen wären es noch ca. 17% des Elektrizitätsverbrauches im Jahr 2009.

Für die Potenzialabschätzung gehen wir von heutigen Technologien mit einem Wirkungsgrad von ca. 11% aus.

Zusammenfassende Darstellung zu Elektrizität aus Sonnenenergie

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Sonne	0.5	175	175

Table 11: Zusammenfassende Auflistung der Produktion von Elektrizität aus Sonnenenergie.

Aufgrund der heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Rücklieferarife der kosten-deckenden Einspeisevergütung sind mengenmässig beschränkt) und den langen Sanierungszyklen von Bauten kann trotz der hohen sozialen Akzeptanz der Sonnenenergie nicht erwartet werden, dass das ungenutzte Potenzial bis 2030 ausgeschöpft werden wird. Die Einschränkungen aus Sicht des Denkmalschutzes und die Nutzungskonkurrenz zur thermischen Sonnenenergienutzung sind im ausgewiesenen Potenzial berücksichtigt.

5.4 Biomasse

Die Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse für die Elektrizitätsproduktion wurden bereits im Kapitel 3 erläutert.

5.4.1 Heutige Nutzung

Holz und landwirtschaftliche Biomasse

Heute wird im Kanton Zug weder Holz noch landwirtschaftliche Biomasse für die Produktion von Elektrizität verwendet. Zu den geplanten Anlagen für die Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse vgl. Kap. 3.3.1.

Übrige Biomasse

a) Grüngut

In der Kompostier- und Vergäranlage Allmig wurden 2009 2.9 GWh Elektrizität produziert. Weitere Ausführungen zur Allmig befinden sich in Kapitel 3.3.

b) Biogasanlage ARA Schönau

In der ARA Schönau werden pro Jahr 3.4 GWh Elektrizität erzeugt. Weitere Ausführungen zur ARA Schönau befinden sich in Kapitel 3.2)

5.4.2 Ungenutztes ökologisches Potenzial

Holz

Momentan im Bau und voraussichtlich ab 2010/2011 in Betrieb sind zwei Holzheizkraftwerke (1600 kW und 2400 kW) in Menzingen. Sobald diese in Betrieb sind besteht kein zusätzliches ungenutztes Potenzial auf Kantonsgebiet.

Biomasse Landwirtschaft

Aus der landwirtschaftlichen Biomasse im Kanton Zug (ca. 19'000 Grossvieheinheiten GVE) können 19 GWh Strom und 6 GWh nutzbare Wärme gewonnen werden. (vgl. Kap. 3.3.2).

Übrige Biomasse

a) Grüngut

Das Potenzial für übrige Biomasse wie Grüngut und Speiseabfälle ist im Kanton Zug beschränkt (vgl. Kapitel 3.4.2). Mit dem Ausbau der Anlage Allmig und dem Neubau der Anlage in Hünenberg wird das Potenzial Elektrizität aus Grüngut zu produzieren aufgebraucht sein. Das Ziel der Anlage Allmig ist es, gesamthaft 25'000 Tonnen Grüngut zu verwerten und daraus 3.5 GWh Elektrizität zu produzieren (www.allmig.ch).

b) Biogasanlage ARA Schönau

Die Elektrizitätsproduktion der Anlage Schönau kann jährlich um weitere 800 MWh erhöht werden³⁶.

Zusammenfassende Darstellung zu Elektrizität aus Biomasse

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial ³⁷ GWh/a
Biomasse LW	0	19	17.3
Übrige Biomasse	6.3	7.7	0.8
Holz	0	0	0
Total	6.3	26.7	18.1

Tabelle 12: Zusammenfassende Auflistung der Produktion von Elektrizität aus Biomasse.

Der limitierende Faktor zur wirtschaftlichen Nutzung der landwirtschaftlichen Biomasse ist das Co-Substrat. Da im Kanton Zug kaum ungenutzte biogene Reststoffe vorhanden sind, wird dieses Potenzial nur sehr begrenzt ausgeschöpft werden können.

³⁶ Bernd Kobler, Geschäftsführer GVRZ

³⁷ Unter Berücksichtigung der geplanten Anlage in Hünenberg sowie der geplanten Stromproduktion der Allmig.

5.5 Wind

Mittels Windturbinen kann aus der Windkraft Elektrizität erzeugt werden. Die Windkraftnutzung gehört, günstige Windverhältnisse vorausgesetzt, zu den kostenmässig günstigsten Technologien. Die Windkraftnutzung steht im Spannungsfeld zwischen Elektrizitätserzeugung, der Beeinflussung des Landschaftsbildes und Auswirkungen auf die Fauna.

Mit der kostendeckenden Einspeisevergütung besteht eine wirkungsvolle Förderung, welche einen wirtschaftlichen Betrieb von grösseren Anlagen erlaubt. Der Kanton Zug gehört jedoch nicht zu den Gebieten in der Schweiz mit günstigen Voraussetzungen für die Windkraftnutzung.

Heutige Nutzung

Heute ist im Kanton Zug keine Anlage zur Nutzung von Windenergie in Betrieb.

Ungenutztes ökologisches Potenzial

Gemäss Angaben von wind-data.ch (Suisse-eole) besteht im Kanton Zug kein Potenzial zur Nutzung von Windenergie. Erstens sind die Windgeschwindigkeiten im ganzen Kanton relativ gering. Zweitens befinden sich diejenigen Gebiete, welche die höchsten Windgeschwindigkeiten (4.5–5.4 m/s auf 100 Meter Nabenhöhe) aufweisen, in Natur- und Landschaftsschutzzonen und kommen deshalb nicht für die Windkraftnutzung in Frage.

5.6 Tiefe Geothermie

Elektrizität könnte auch aus der tiefen Geothermie erzeugt werden. Bis heute wird im Kanton Zug diese Technologie nicht angewendet. Über die mögliche zukünftige Nutzung kann aufgrund der vorliegenden Informationen keine Aussage gemacht werden. Es wären vertiefte Studien nötig. Ausführlichere Informationen über tiefe Geothermie sind in Kapitel 3.4 enthalten.

6 Prognose Energiebedarf und Energieangebot 2030

6.1 Energiebedarf 2030 gemäss drei Szenarien

Für die folgenden drei Szenarien werden in den vier Bereichen *Haushalt, Dienstleistung, Industrie und Verkehr* die Endenergienachfrage im Kanton Zug bis 2030 abgeschätzt. Die verwendeten Szenarien entsprechen den Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie.

- Szenario «weiter wie bisher»: Die Abschätzung der Referenzentwicklung bis ins Jahr 2030 wird auf Basis des *Szenario II Preise Hoch* der Energieperspektiven des BFE vorgenommen. Dieses Szenario beschreibt eine Entwicklung «weiter wie bisher»³⁸. Es findet somit kein Paradigmenwechsel statt, aber eine verstärkte Ausschöpfung wirtschaftlicher Potenziale.

Gemäss diesem Szenario nimmt die Endenergienachfrage im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2010 um 5 Prozent ab (Energieperspektiven Anhang zu Band I S. 2).

- Szenario «Fortschritt»: Dieses Szenario basiert auf dem *Szenario III Trend* der Energieperspektiven des Bundes. Es wird davon ausgegangen, dass es eine grundsätzliche und signifikante Verschiebung der gesellschaftlichen Prioritäten gibt: Klima- sowie Ressourcenschutz und Energieeffizienz rücken auf der globalen Agenda weiter nach oben. Es wird davon ausgegangen, dass die energieeffizientesten Anlagen, Geräte, Fahrzeug- und Gebäudetechniken ihren Anteil in den Bestandesgrössen stetig vergrössern. Anforderungen an Neubauten und Sanierungen der Wohngebäude werden zuerst massiv verschärft, danach werden nur noch moderate Verschärfungen vorgenommen.

Gemäss diesem Szenario nimmt die Endenergienachfrage im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2010 um 16 Prozent ab (Energieperspektiven Anhang zu Band I S. 2).

- Szenario «2000-Watt»: Das ambitionöseste Szenario, welches wir vorschlagen, basiert auf dem Szenario IV der Energieperspektiven. Es wird davon ausgegangen, dass die 2000-Watt-Gesellschaft bis 2100 erreicht wird. Dem Szenario IV werden heute noch nicht wettbewerbsfähige, aber bereits vorhandene Techniken, unterstellt. Während bei Neubauten nur noch erneuerbare Energien eingesetzt werden, werden auch bei bestehenden Bauten erneuerbare Energieträger verstärkt eingesetzt.

In diesem Szenario nimmt die Endenergienachfrage im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2010 um 32 Prozent ab (Energieperspektiven Anhang zu Band I S. 2).

³⁸ Das Szenario I der Energieperspektiven «Weiter wie bisher» entspricht bereits nicht mehr den heutigen Rahmenbedingungen.

Der Endenergiebedarf des Kantons für das Jahr 2010 wird nach Sektoren aufgeteilt. Die kantonalen Eigenheiten werden durch kantonspezifische Kennwerte angepasst. Folgende Tabelle zeigt, welche Faktoren in die Abschätzung mit eingeflossen sind:

Sektor	Schweizer Durchschnitt ³⁹	Kantonspezifische Korrektur der Schweizer Durchschnittswert für die drei Szenarien	
		2009	2010
Haushalt	29%	Verbrauch für EinwohnerInnen Kanton Zug hochgerechnet	Bevölkerungswachstum +20% ⁴⁰ , respektive +18.5% gegenüber der Gesamtschweizerentwicklung.
Industrie	19%	Anpassung mit Arbeitsplätzen im Kanton Zug im 2. Sektor ⁴¹ :	Anteil bleibt gleich wie im Jahr 2010 (Annahme dass die Zunahme der Arbeitsplätze im DL Sektor stattfindet).
Dienstleistung	16%	Anpassung mit Arbeitsplätzen im Kanton Zug im 3. Sektor ⁴⁶	Zunahme der Arbeitsplätze: Annahme, dass alle Arbeitsplätze der DL zugeordnet werden können (+ 24% ⁴²), respektive +20.8% gegenüber der Schweizerentwicklung für diese Periode.
Verkehr	35%	Anpassung mit Angaben zu Anzahl Fahrzeugen pro Person und Hubraumgrösse im Kt. Zug im Vergleich zum Schweizer Durchschnitt ⁴³	Gleiche Anpassung wie im Jahr 2010. Berücksichtigung der Bevölkerungszunahme von +20%, resp. 18.5% gegenüber des Schweizerdurchschnittswertes.

Tabelle 13: Einflussfaktoren für die Abschätzung des Endenergieverbrauches im Jahr 2030.

³⁹ Gemäss Gesamtenergiestatistik 2009 (BFE 2010a).

⁴⁰ Gemäss Angaben Amt für Umweltschutz Kanton Zug

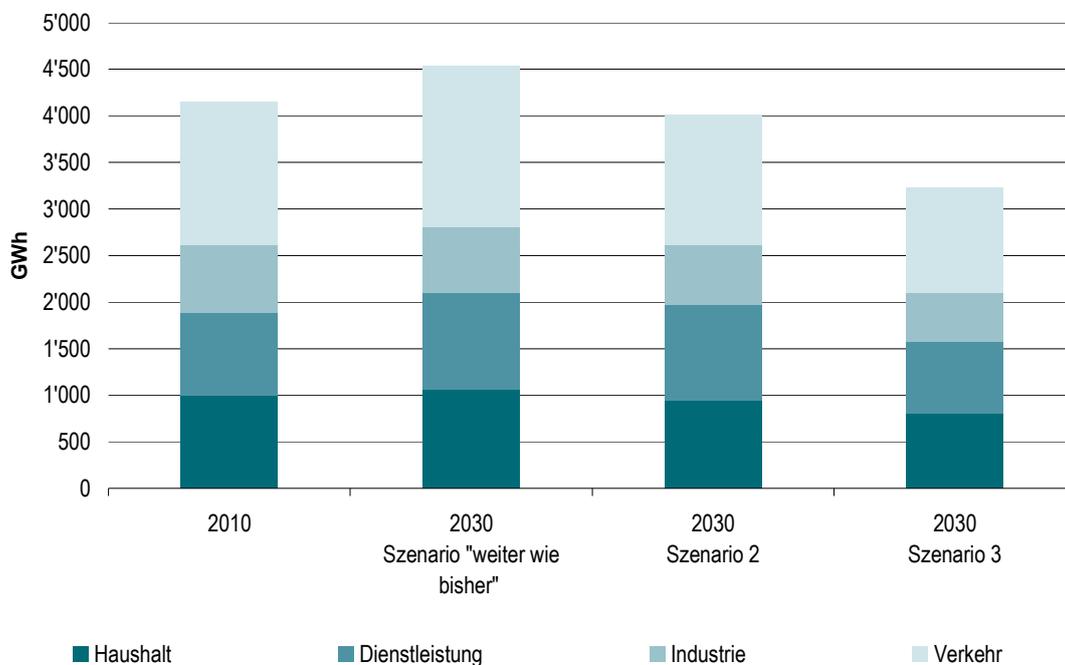
⁴¹ Aus der Erhebung des BFS aus dem Jahr 2005.

⁴² Zuwachs der Arbeitsplätze gemäss Amt für Umweltschutz Kanton Zug.

⁴³ Angaben zu durchschnittlicher Anzahl Fahrzeuge pro Person und Hubraumgrösse pro Fahrzeug vom Amt für Umweltschutz, resp. vom Strassenverkehrsamt Kanton Zug.

Damit ergibt sich folgender Gesamtenergiebedarf für das Jahr 2030 gemäss den oben erläuterten Szenarien:

«Gesamtenergiebedarf Kanton Zug heute und im Jahr 2030»



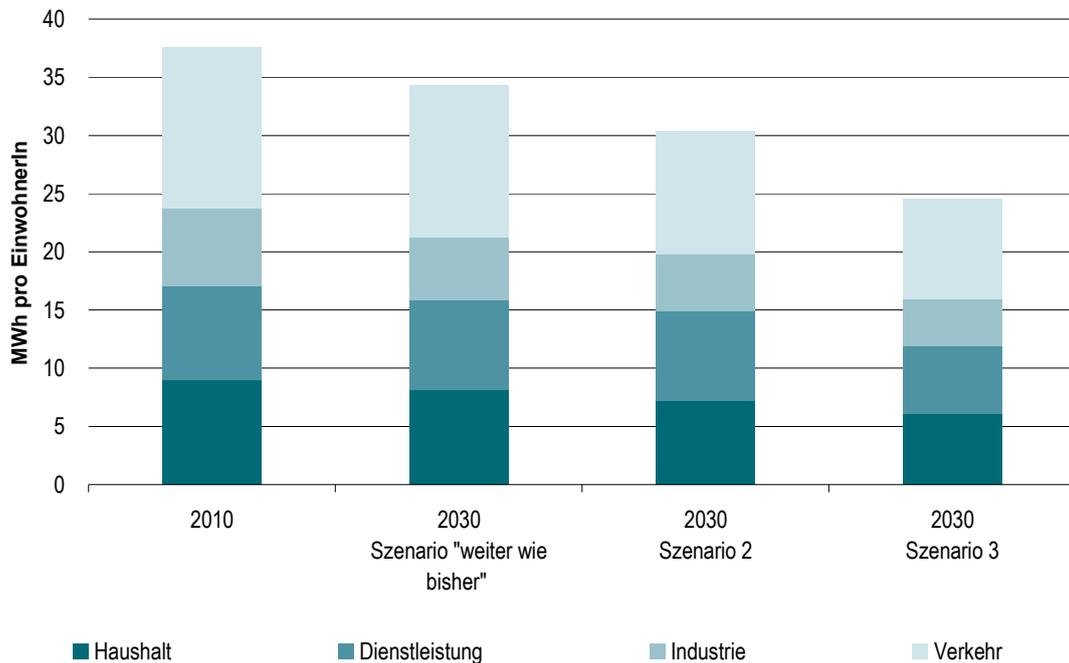
econcept

Figur 12: Gesamtenergieverbrauch im Kanton Zug nach Szenarien für heute und das Jahr 2030 auf Basis der Energieperspektiven.

Der Gesamtenergiebedarf wird aufgrund der Bevölkerungsentwicklung und der zugrunde gelegten Zunahme der Arbeitsplätze im Kanton Zug im ersten Szenario um 8% zunehmen. In den beiden fortschrittlicheren Szenarien kann aber der Wachstumseffekte kompensiert werden und der Gesamtenergiebedarf bleibt so im zweiten Szenario ungefähr konstant, während er im dritten Szenario um rund 20% abnimmt.

Der Energiebedarf pro Kopf nimmt gemäss Annahmen für alle Szenarien gegenüber heute ab. Die folgende Grafik zeigt den Rückgang nach Sektor für die drei Szenarien pro EinwohnerIn im Kanton Zug.

«Energieverbrauch pro EinwohnerIn im Kanton Zug»



econcept

Figur 13: Energiebedarf pro EinwohnerIn gemäss den drei Szenarien basierend auf den Energieperspektiven des Bundes.

Der Energiebedarf pro Kopf nimmt im ersten Szenario um 10%, im zweiten Szenario um 20% und im dritten Szenario um 36% gegenüber heute ab.

6.2 Entwicklungsprognose der Potenziale bis 2030

Die Potenziale an erneuerbaren Energien wurden gemäss heutigen Voraussetzungen und Technologien abgeschätzt. Man kann davon ausgehen, dass sich diese bis ins Jahr 2030 - zumindest teilweise - verändern werden. Diese möglichen Veränderungen, welche eine Auswirkung auf das vorhandene Potenzial an erneuerbaren Energieträgern mit sich bringen werden, sind in folgender Tabelle qualitativ abgeschätzt.

Energieträger	Indikator	Potenzialveränderung ökologisches Potenzial	Weitere relevante Einflussgrössen	Veränderung gegenüber Potenzial heute
Wärme				
Holz	<ul style="list-style-type: none"> – Waldfläche – Nachwachsende Menge Holz – Nutzung der nachwachsenden Menge Holz (Stammholz, Industrieholz, Energieholz) 	<ul style="list-style-type: none"> – Waldfläche ungefähr konstant – Mögliche Verschiebung der Nutzung des Holz 	<ul style="list-style-type: none"> – Akzeptanz Holzheizungen in Wohngebieten (Emissionen) 	⇒
Biomasse (Grüngut)	<ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Einwohner 	<ul style="list-style-type: none"> – Leichte Bevölkerungszunahme 	<ul style="list-style-type: none"> – Wirkungsgrad der Anlagen 	⇒
Landwirtschaftliche Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Betriebe – Anzahl GVE – Nötiger Anteil Co-Substrate 	<ul style="list-style-type: none"> – Betriebe: Tendenz sinkend⁴⁴ – GVE: Tendenz stagnierend⁴⁹ 	<ul style="list-style-type: none"> – Anteil Co-Substrate bleibt konstant. 	⇒
Sonne	<ul style="list-style-type: none"> – Sonneneinstrahlung – Besiedelte Fläche 	<ul style="list-style-type: none"> – Sonneneinstrahlung bleibt gleich – Besiedelte Fläche nimmt ev. leicht zu 	<ul style="list-style-type: none"> – Wirkungsgrad der Anlagen – Höhere soziale Akzeptanz – Technische Lösungen für Integration in Gebäude werden besser 	↗
Umweltwärme	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Veränderung im ökologischen Potenzial – Nutzung abhängig von der Nachfrage 	<ul style="list-style-type: none"> – Wirkungsgrad WP 	In Abhängigkeit der Nachfrage rückläufig
Abwärme	<ul style="list-style-type: none"> – Menge Abwasser – Anzahl Industriebetriebe – Siedlungsgebiet um Abwärmequellen 	<ul style="list-style-type: none"> – Bevölkerungszunahme (Abwasser) – Konstante Anzahl Industriebetriebe 		⇒
Tiefe Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> – Geologie – Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Aussage möglich 		Keine Aussage möglich

Tabelle 14: Veränderungen des Potenzials 2030

Das Potenzial wird sich gegenüber dem heutigen ungenutzten Potenzial nur leicht verändern. Die grösste Veränderung ist in der Nutzung der Umweltwärme zu erwarten, da dieses Potenzial abhängig von der Nachfrage ist. Wird künftig in den Bereichen Haushalt und Dienstleistung weniger Wärme nachgefragt, so wird das Potenzial zur Deckung dieses Wärmebedarfes auch geringer ausfallen. Beim Potenzial der Solarenergie wird bei geringerem Wärmebedarf eine Verschiebung hin zur Produktion von Elektrizität stattfinden.

⁴⁴ Gemäss Angaben Amt für Umweltschutz Kanton Zug

7 Gegenüberstellung von Energiebedarf und Potenzial

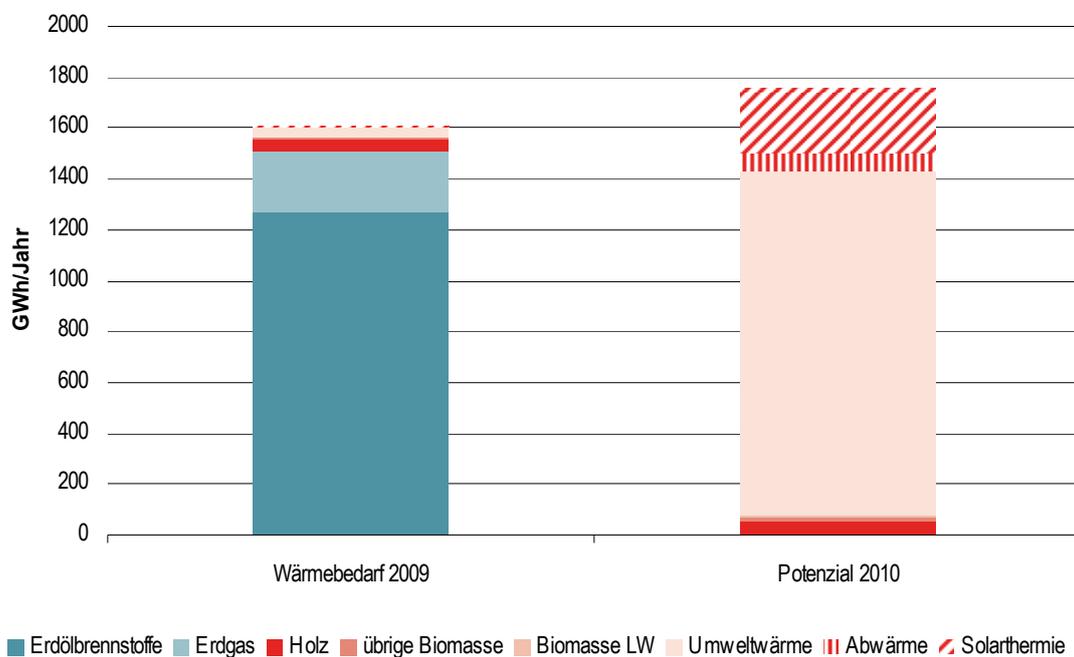
7.1 Energiebedarf und Potenzial 2010

Die Energiepotenziale können nun dem heutigen Energieverbrauch des Kantons Zug gegenübergestellt werden. Dabei wird ersichtlich, wie weit die Potenziale an erneuerbaren Energien und Abwärme auf Kantonsgebiet den Energiebedarf des Kantons decken können. Es wird zwischen dem Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser und dem Elektrizitätsbedarf unterschieden.

Wärme

Die Gegenüberstellung des heutigen Wärmebedarfs mit den bestehenden Potenzialen an erneuerbaren Energien und Umweltwärme zeigt, dass annähernd der gesamte Wärmebedarf durch erneuerbare Energien und Abwärme gedeckt werden kann. Heute werden rund 6% des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien erzeugt. Es wurden dabei die Wärme für Haushalt und Dienstleistungen berücksichtigt, nicht aber Prozesswärme (höheres Temperaturniveau nötig).

«Gegenüberstellung des Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser mit dem Potenzial 2010»



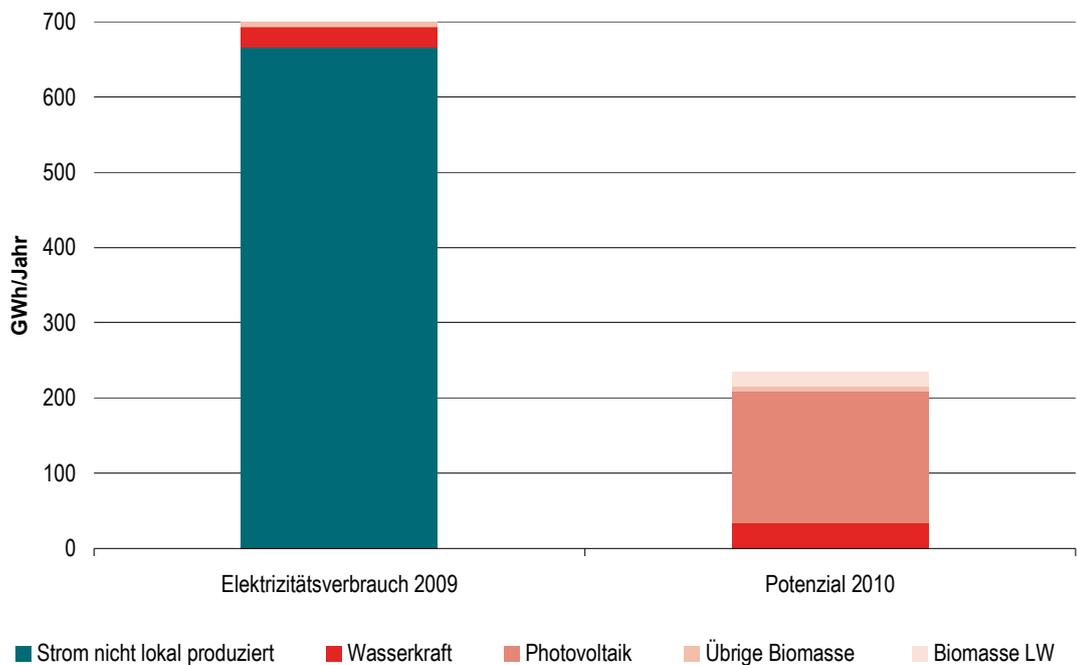
econcept

Figur 14: Gegenüberstellung des Wärmebedarfes und der Potenziale 2010. Zahlen gemäss Erhebungen in dieser Studie.

Elektrizität

Der Vergleich im Elektrizitätsbereich zeigt, dass das Potenzial an erneuerbarer Elektrizitätsproduktion auf Kantonsgebiet rund einen Drittel abdecken kann. Heute werden rund 4% des Elektrizitätsbedarf aus erneuerbaren Energien erzeugt.

«Gegenüberstellung Elektrizitätsverbrauch und Potenzial 2010»



econcept

Figur 15: Vergleich des Stromverbrauchs 2009 unterteilt nach lokal produziert und Angaben aus übergeordnetem Netz mit den Potenzialen im Kanton Zug. Das Potenzial der Wasserkraft wird mit Inbetriebnahme der sanierten Kleinwasserkraftwerke ausgenützt sein.

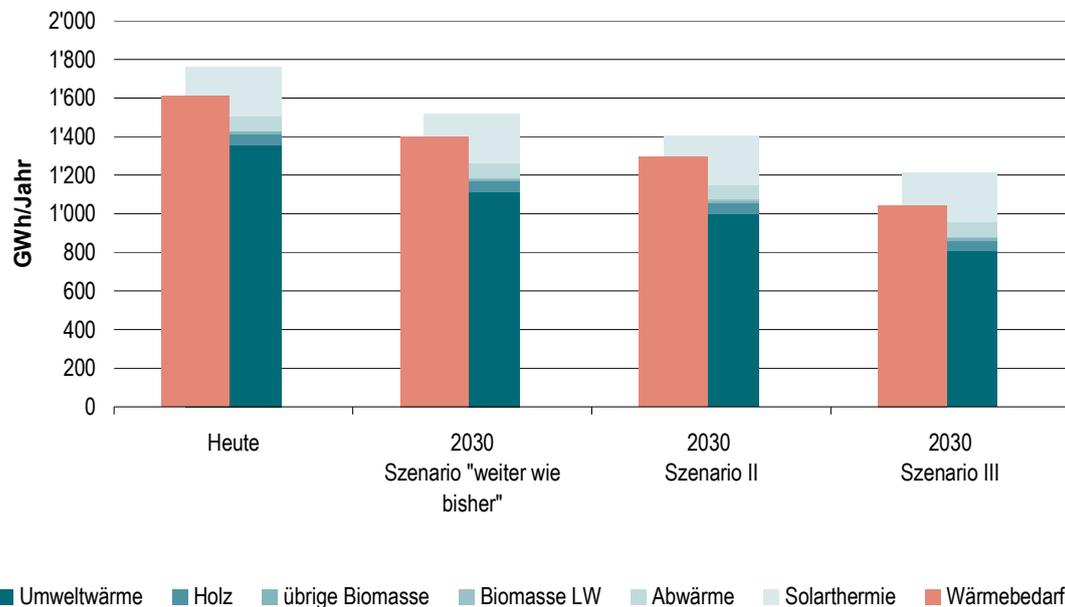
7.2 Energiebedarf und Potenzial 2030

Der Wärmebedarf im Jahr 2030 wird anhand der in Kapitel 6 hergeleiteten Szenarien abgeschätzt. Es wird der Anteil am Gesamtenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in den Sektoren Haushalt und Dienstleitungen bestimmt. Und zwar wird in den Energieperspektiven der Bedarf für Raumwärme und Warmwasser anhand der dafür eingesetzten Energieträger in den Sektoren Haushalt und Dienstleistungen für die Jahre 2010 und 2030 berechnet. Die prozentuale Veränderung einzelner Energieträger wird für den Kanton Zug übernommen, wobei als Ausgangslage die Werte gemäss Kapitel 2.2 verwendet werden.

Im Wärmebereich werden die Potenziale mit ambitionierteren Szenarien abnehmen, da die Energienutzung aus Umweltwärme nachfrageabhängig ist. Die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung bis ins Jahr 2030 ist dabei berücksichtigt. Limitierend bei der Nutzung von Umweltwärme sind Schutzzonen und die Distanz zu Oberflächengewässern: diese

werden sich basierend auf den heutigen Datengrundlagen bis ins Jahr 2030 nicht stark verändern.

«Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser und Potenzial heute und 2030»

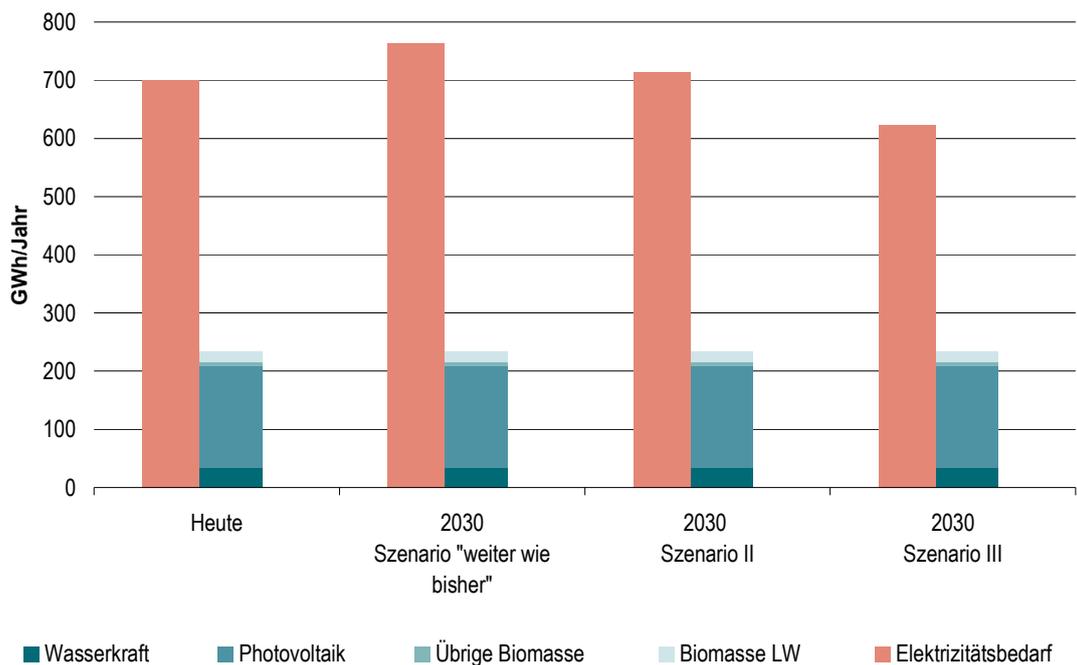


econcept

Figur 16: Die Veränderung des Potenzials hängt mit der Wärmenachfrage, welche mit Umweltwärme gedeckt werden kann, zusammen.

Im Elektrizitätsbereich sieht die Situation anders aus: Während der Bedarf im Szenario «weiter wie bisher» im Jahr 2030 zunimmt, bleiben die Potenziale für die erneuerbarer Elektrizitätserzeugung unabhängig von der Nachfrage bis ins Jahr ungefähr 2030 konstant. Auch im ambitionierten Szenario III kann der zukünftige Elektrizitätsbedarf nicht aus regionalen erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden.

«Elektrizitätsbedarf und Potenzial heute und im Jahr 2030»



econcept

Figur 17: Die Potenziale im Elektrizitätsbereich sind unabhängig von der zukünftigen Nachfrage.

7.3 Schlussfolgerungen

Die Situation im Wärmebereich unterscheidet sich deutlich von der Situation im Elektrizitätsbereich.

Im Wärmebereich wird heute erst ein kleiner Anteil des Energiebedarfes mit erneuerbaren Energien gedeckt. Während für die Erzeugung von Prozessenergie auch in Zukunft vorwiegend fossile Energien zum Einsatz kommen werden, bestehen bei der Deckung des Energiebedarfes für Heizung und Warmwasser verschiedene Alternativen. Der Energiebedarf für Warmwasser und Heizung kann im Kanton Zug heute und in Zukunft vollständig mit erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Die grossen ungenutzten Potenziale liegen bei der Solarthermie und bei der Umweltwärme. Bei der Umweltwärme stehen die Potenziale aus oberflächennahen Erdschichten (Erdsonden) und den tiefer gelegenen Grundwasserschichten sowie aus dem See im Vordergrund. Die Potenziale aus Energieholz und anderer Biomasse sind bereits mehrheitlich ausgeschöpft.

Die Nutzung der Umweltwärme erfolgt mit Wärmepumpen. Damit diese einen möglichst guten Wirkungsgrad entfalten können, sollten diese zusammen mit Niedertemperaturheizsystemen eingesetzt werden. Diese wiederum setzen ein Gebäude mit einer guten Wärmedämmung voraus. Damit die bedeutenden Potenziale an Umweltwärme genutzt werden können, müssen bei Gebäudesanierungen und bei Neubauten die bestehenden

Chancen konsequent genutzt werden. Die Nutzung des Potenzials an Umweltwärme ist also massgebend mit der energetischen Sanierung der bestehenden Gebäudesubstanz verbunden. Aufgrund der langsamen Sanierungszyklen von Heizungen und Bauten wird daher das bestehende Potenzial bis 2030 nur teilweise ausgeschöpft werden.

Einzig Sonnenkollektoren können auch unabhängig von Massnahmen an der Gebäudehülle bestehende (fossile) Heizsysteme unterstützen und einen grossen Teil des Wärmebedarfs für das Warmwasser erzeugen.

Wärmepumpen benötigen Elektrizität. Falls das bestehende Potenzial vollständig genutzt wird, resultiert eine Erhöhung des Elektrizitätsbedarfs des Jahres 2010 von rund 300 GWh/a (+42%) (Annahme für den Kanton Zug, die beschriebenen Szenarien berücksichtigen diese Entwicklung in bescheidenerem Masse). Für die Umweltbilanz der zukünftigen Wärmeversorgung im Kanton Zug ist deshalb auch die umweltfreundliche Erzeugung von Elektrizität massgeblich. Zu beachten ist, dass der Mehrverbrauch an Elektrizität für die Wärmepumpen in der gleichen Grössenordnung liegt wie die bestehenden Effizienzpotenziale (BFE 2009a). Der Zuwachs des Elektrizitätsbedarfs durch die Wärmepumpen könnte also durch eine forcierte Effizienzpolitik kompensiert werden.

Allfällige Massnahmen für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmebereich sollten sich auf die Sanierung des Gebäudeparks, die zusätzliche Nutzung von Sonnenenergie konzentrieren. Sie sind zu ergänzen mit Massnahmen für einen effizienten Elektrizitätseinsatz und eine ökologische Elektrizitätserzeugung.

Ein grosser Teil des zusätzlichen Elektrizitätsbedarfes gegenüber heute gemäss den Szenarien könnte mit erneuerbaren Energien im Kanton Zug gedeckt werden. Der Kanton verfügt aber nur über wenige natürliche Ressourcen für die Elektrizitätserzeugung wie beispielsweise Wasserkraft oder Biomasse. Diese können nicht in der nötigen Masse zusätzlich Elektrizität erzeugen. Das weitaus grösste Potenzial besteht hingegen bei der Photovoltaik. Die Gestehungskosten von Elektrizität aus Photovoltaik sind nicht mehr deutlich höher als die Endverbraucherpreise (Preise, die das Elektrizitätswerk für Strombezug bei den Kunden verrechnen). Die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie verbessert sich durch sinkende Kosten. Allerdings ist die Strommenge aus Photovoltaik unmittelbar von Licht bzw. Sonneneinstrahlung abhängig, weshalb sie immer mit einer anderen, gleichgrossen Stromerzeugung über das Netz gekoppelt sein muss (Redundanzen). Die bestehenden Förderprogramme, wie beispielsweise die kostendeckende Einspeisevergütung des Bundes, liefern Anreize für den Bau von Anlagen. Die vorhandenen Mittel sind aber zu gering, um den Bau der nötigen Anlagen über die nächsten Jahre anzustossen.

Als Alternative zum Bau von Anlagen auf Kantonsgebiet besteht die Möglichkeit der Beteiligung an Anlagen ausserhalb des Kantonsgebietes, beispielsweise an Windkraftanlagen an geeigneten Standorten (wie beispielsweise die WWZ im Rahmen einer Beteiligung an Windkraftanlagen bereits ausgeführt hat).

Allfällige Massnahmen für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie im Elektrizitätsbereich sollten sich auf die Photovoltaik fokussieren, allenfalls ergänzt mit Beteiligun-

gen der massgebenden Versorgungsunternehmen an Anlagen für erneuerbare Energien ausserhalb des Kantonsgebiets. Die Massnahmen für die Förderung von Photovoltaik stehen im Zusammenhang mit der Förderung von Gebäudesanierungen, da zum Sanierungszeitpunkt eine Photovoltaikanlage optimal in das Dach oder die Fassade integriert werden kann. Ebenso können bei Neubauten Photovoltaikanlagen optimal eingebunden werden.

Anhang

A-1 Berechnungsgrundlagen Potenzial Umweltwärme

Gemeinde	EinwohnerInnen	Wärmebedarf	vom Wärmebedarf können gedeckt werden mit								Total 1		Total 2
			Erdsonden		Grundwasser		See	Fluss	Total 1		ohne Doppelzählung		
					oberflächennah	tief							
	110'415												
	%	[GWh]	%	[GWh]	%	[GWh]	%	[GWh]	%	[GWh]	[GWh]	%	[GWh]
Baar	21'504	19%	332	5%	15	4.0	50%	166			185	56%	185
Cham	14'449	13%	223	98%	219				25%	56	38	140%	223
Hünenberg	8'340	8%	129	70%	90	0.4					91	70%	91
Menzingen	4'330	4%	67	3%	2						2	3%	2
Neuheim	1'924	2%	30	2%	1						1	2%	1
Oberägeri	5'352	5%	83	90%	74	0.8					75	91%	83
Risch	8'755	8%	135	100%	135						135	100%	135
Steinhausen	8'820	8%	136	50%	68		20%	27			95	70%	95
Unterägeri	7'882	7%	122	60%	73	0.8	10%	12		8	93	77%	93
Walchwil	3'486	3%	54	97%	52						52	97%	52
Zug	25'573	23%	395	50%	197	0.4	40%	158	30%	118	17	124%	395
Total [GWh]			1'705		926	6		363		174	62		1'533
													1'355

Tabelle 15: Berechnungsgrundlage Potenzial Umweltwärme. Die von econcept abgeschätzten Werte wurden von Herrn Rolf Bleiker, Amt für Umweltschutz, plausibilisiert.

Der Tabelle 15 kann entnommen werden, wie viel Prozent des Energiebedarfs zu Heiz- oder Warmwasserzwecken⁴⁵ von der jeweiligen Umweltwärme abgedeckt werden kann. Das erste Total (Total 1) entspricht dem theoretischen Potenzial. Da es Gebiete gibt, die sowohl mit Erdsonden als auch mit Abwärme aus Fluss oder See versorgt werden können, resultieren Doppelzählungen. Diese Doppelzählungen wurden beim zweiten Total (Total 2) bereinigt. Die Grafiken zu den einzelnen Energieträgern der Umweltwärme im Bericht weisen jeweils das unbereinigte Potenzial aus, während bei der Grafik mit dem kumulierten Umweltwärmepotenzial die Doppelzählungen bereinigt wurden.

⁴⁵ Als Näherung kann davon ausgegangen werden, dass heute rund 40.6% des Energieverbrauchs zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser verwendet werden (BFE 2008).

A-2 Übersicht über die Potenziale

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme zu Wärmezwecken:

Holz	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial ⁴⁶ GWh/a
Waldholz	42	47	0
Restholz	10	10	0
Altholz	Keine energetische Nutzung	Kein Potenzial	Kein Potenzial
Total Holz	52	57	0
Biomasse Landwirtschaft	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Wärme	0	6	3.5
Elektrizität	0	19	17.3
Übrige Biomasse	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Grüngut			
Wärme	3	5	0
Elektrizität	3	3.5	0
ARA			
Wärme	5.5	7.3	1.8
Elektrizität	3.4	4.2	0.8
Total übrige Biomasse			
Wärme	8.5	12.3	1.8
Elektrizität	6.3	7.7	0.8
Umweltwärme	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Erdwärme	25.8	926	~ 920
Grundwasser (oberflächen- nah)	3	6.4	3.4
Grundwasser (tief)	4.9	363	~ 360
See			
Wärmezwecke	3.8	174	~ 170
Kühlzwecke	6.3		
Flüsse			
Wärmezwecke	1.0	62	~ 60
Kühlzwecke	0.3		
Total Umweltwärme			
Wärmezwecke	38.5	1'533	~ 1513
Kühlzwecke	6.9	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Sonne	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Sonne	4.5	250	~250
Abwärme Abwasser	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
ARA Schönau	0.4	9	8.6
ARA CPG	0	4.6	4.6
Total ARA	0.4	13.6	13.2

⁴⁶ Unter Berücksichtigung der geplanten Anlagen wird das verbleibende Potenzial wegfallen.

Ungereinigtes Abwasser	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Ungereinigtes Abwasser	0	0.5	0.5
Abwärme aus Industriebetrieben	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a
Pavatex	Keine	40	40
Cham Paper Group	Nur intern	17.5	17.5
Swisspor	Nur intern	3.6	3.6
VZug	Nur Intern	Nur Intern	-
Total		~60	~60

Tabelle 16: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials aus erneuerbaren Energieträgern und Abwärme zu Wärmeezwecken im Kanton Zug.

Zusammenfassende Darstellung der Nutzung von erneuerbaren Energien zur Erzeugung von Elektrizität:

	Heutige Nutzung GWh/a	Ökologisches Potenzial GWh/a	Ungenutztes Potenzial GWh/a ⁴⁷
Wasserkraft	27.1	33.5	0
Sonne	0.5	175	175
Biomasse LW	0	19	17.3
Übrige Biomasse	6.3	7.7	0.8
Holz	0	0	0

Tabelle 17: Zusammenfassende Auflistung der Nutzung und des ökologischen Potenzials aus erneuerbaren Energieträgern zur Erzeugung von Elektrizität im Kanton Zug.

⁴⁷ Mit den sanierten Kleinwasserkraftwerken und dem Ausbau der Allmig, resp. der Inbetriebnahme des Blockheizkraftwerkes in Hünenberg, wird das entsprechende Potenzial bereits teilweise ausgenutzt.

A-3 Vom kantonalen Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellte Grundlagen

Allgemeines

- Medienmitteilung der Baudirektion vom 24. Juni 2010. Information über Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung Kanton Zug (Word Datei)
- Fahrzeugbestand im Kanton Zug Stand 1.10.2009 (PDF Datei)
- Parlamentarische Vorstösse und deren Beantwortung durch den Regierungsrat
- Pläne: Gesamt-Zonenplan Kanton Zug (Stand Oktober 2008), Grundwasserkarte Kanton Zug (Stand Mai2010), Erdwärmenutzungskarte Kanton Zug (Stand September 2010).

Erneuerbare Energien

- Holzfeuerungen: Auflistung der installierten Holzfeuerungen über 70 kW im Kanton Zug (Excel Datei).
- Biomasse: Auflistung der gesammelten Menge Grüngut im Jahr 2009 und Informationen über die geplante Anlage Hünenberg (Excel Datei)
- Biomasse_Landwirtschaft: Auflistung der GVE im Kanton (Excel Datei)
- Änderung des Einführungsgesetzes zum Bundesgesetz über den Wald (EG Waldgesetz). Bericht und Antrag des Regierungsrates vom 20. Februar 2007).
- Erneuerbare Energien Daten Gemeinden: Daten zu Sonnekollektoren, Luft/Wasser-Wärmepumpen und bestehenden Fernwärmenetzen in den Gemeinden (Excel Datei)

Umweltwärme

- Grundwasser_Wärmepumpen, sortiert nach Grundwassergebieten, Stand 22.9.2010 (Excel Datei)
- Wärmeenergienutzung aus Zugersee (Excel Datei)
- Wärmeenergienutzung_ObereUntere_Lorze (Excel Datei)
- Erdsonden: Auflistung der bewilligten Erdwärmesonden Erdsonden ausgewertet, Stand Sept. 2010 (Excel Datei).
- Geologie und Grundwasservorkommen im Kanton Zug: Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000. Herausgegeben von der Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Umweltschutz, Luzern 2007.

- Konzessionserneuerung an die Stadtgemeinde Zug zur Wärmeentnahme aus dem Zugersee beim Casino in Zug für die Wärmenutzung von Wohngebäuden vom 12. Juli 2010.
- Perimeter GW Potenzial: Perimeter für das heutige GW Potenzial im Baarbecken (Karte, PDF Datei)

Abwärme aus ungereinigtem Abwasser

- Abwasserkanäle_über15l_Siedlungsgebiete (Karte von Frau Bochsler ergänzt, PDF Datei)

Abwärme aus gereinigtem Abwasser

- Machbarkeitsstudien Abwärmenutzung ARA Cham Paper Group vom 25. November 2009 und Erweiterung kalte Fernwärme ARA Cham Paper Group vom 14. März 2010.

Literatur

- Amt für Umweltschutz Kanton Zug 2007 Geologie und Grundwasservorkommen im Kanton Zug. Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25000. Bearbeitung Dr. Lorenz Wyssling AG. 2007.
- AWEL 2010 Heizen und Kühlen mit Abwasser: Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur Abwasserenergienutzung. AWEL. Zürich, 2010.
- BAFU 2009 Abfallwirtschaftsbericht 2008. Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft 2005–2007. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2009.
- BFE 2006 Potenzial des Solarstroms in der Gemeinde. S. Nowak und M. Gutschner; Bundesamt für Energie BFE und Nowak Energie und Technologie. St. Ursen/Bern
- BFE 2008 Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2006 nach Verwendungszwecken. Bundesamt für Energie BFE. Bern, 2008.
- BFE 2009a Wettbewerbliche Ausschreibungen im Elektrizitätsbereich, Grundlagen, Bundesamt für Energie, Bern 2009
- BFE 2009b Umfrage Stromkennzeichnung 2007. Christian Schaffner. Bern, 29. Juni 2009.
- BFE 2009c Markterhebung Sonnenergie. Bundesamt für Energie, Bern 2009.
- BFE 2010a Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009. Bundesamt für Energie BFE. Bern, 2010.
- BFE 2010b Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien – Ausgabe 2009. Bundesamt für Energie BFE. Bern, 2010.
- Compospect 2010 Jahresbericht 2010 des Inspektorats der Schweizer Kompostier- und Vergärbranche. Ergebnisse aus dem Kanton Zug. Mönchenbuchsee/Zug, 2010.
- Durena AG 2009 Machbarkeitsstudie Abwärmenutzung ARA Cham Paper Group. Durena AG. Lenzburg, 2009.
- eawag 2006 Temperaturveränderung und Phosphat-Eintrag durch Kühlwassernutzung und Wärmeentnahme am Zugersee, 2006.
- eBio 2009 Umweltverträglichkeitsbericht Biomasse-Heizkraftwerk Hünenberg, 2009.

- Frei, Hawkins 2004 Solarthermie – wie weiter? Teil 1: Nutzungsmöglichkeiten und Potential, Ueli Frei und Alan Hawkins in HK–GEBÄUDETECHNIK 2 – 04
- Klingler et al. 2010 Grundlagen für die Energiepolitik der Gemeinde Kilchberg. Erstellt von econcept AG, Zürich 2010
- KPK 1994 Energie und Ortsplanung – Arbeitshilfe. Zürich, Kontonsplanerkonferenz 1994.
- Müller et al. 2005 Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Zu Beziehen unter www.infrastrukturanlagen.ch
- Stadt Zug 2010 Energiestrategie 2050 der Stadt Zug. April 2010.
- WWZ 2009 Stromkennzeichnung für WWZ (exkl. PCT) Kalenderjahr 2009.
- Wyssling 2010 Grundwasserwärmenutzung im oberen Grundwasserstockwerk des Baarbeckens. Abschätzung des Wärmepotenzials. Hydrogeologischer Bericht erstellt von Geologisches Büro Dr. Lorenz Wyssling AG. Pfaffhausen/ZH, 2010.