Kanton Zug

EBP

Erneuerbare Energien im Kanton Zug:
Stand 2024 und Perspektive 2035 und 2050

Version vom 13. Mai 2026



Projektteam EBP
Janis Münchrath
Dr. Michel Müller
Carole Bouverat

Projektteam Amt für Umwelt (AFU), Kanton Zug
Pascal Suter
Beatrice Bochsler
Raphael Felber

Titelfoto
Andreas Busslinger, Photography

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

13. Mai 2026
2026-05-13_Kanton_Zug_Erneuerbare_Energien.docx
Projektnummer: 225465

Zusammenfassung

Ausgangslage

Hintergrund und Inhalt der Studie

Die Entwicklung im Energie- und Klimabereich ist dynamisch. Sie stellt Kantone und Gemeinden vor Herausforderungen und bietet zugleich bedeutende Chancen. Mit seiner Energie- und Klimastrategie will der Kanton Zug seine Handlungsmöglichkeiten nutzen, um den Weg in eine gesicherte Energiezukunft und Netto-Null-Emissionen bis 2050 zu unterstützen. Dafür setzt sich der Kanton Zug ein für mehr Energieeffizienz und für die Steigerung der lokalen erneuerbaren Energieproduktion. Die vorliegende Studie liefert dazu Grundlagen mit einer Beschreibung der Ausgangslage im Jahr 2024, einem Gesamtbild der Potenziale erneuerbarer Energiequellen und einer Beschreibung der möglichen künftigen Entwicklung in zwei Szenarien.

Energieverbrauch im Jahr 2024

Abbildung 1 zeigt die Energieflüsse im Kanton Zug im Jahr 2024. Am meisten Energie wurde mit 1'400 GWh für Wärme eingesetzt, mit einem Anteil der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas von 59%. Für Mobilität wurden rund 870 GWh eingesetzt, mit einem Anteil der fossilen Energieträger Benzin und Diesel von 96%. Für Kälte und die restlichen Verwendungszwecke wird elektrische Energie eingesetzt.

Lokale Energieerzeugung im Jahr 2024

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug rund 350 GWh Wärme aus lokalen Energiequellen erzeugt, dies entspricht etwa einem Viertel des Verbrauchs. Die meistgenutzten lokalen Wärmequellen sind Umweltwärme, insbesondere aus dem Erdreich und der Umgebungsluft sowie Energieholz. Bei der Stromerzeugung wurden im Jahr 2024 rund 145 GWh aus lokalen Quellen erzeugt, dies entspricht etwa einem Fünftel des Verbrauchs. Am meisten lokaler Strom erzeugte die Photovoltaik, nämlich 94 GWh. Wasserkraftwerke lieferten 45 GWh. Weitere rund 6 GWh wurden mit Biomasse erzeugt.

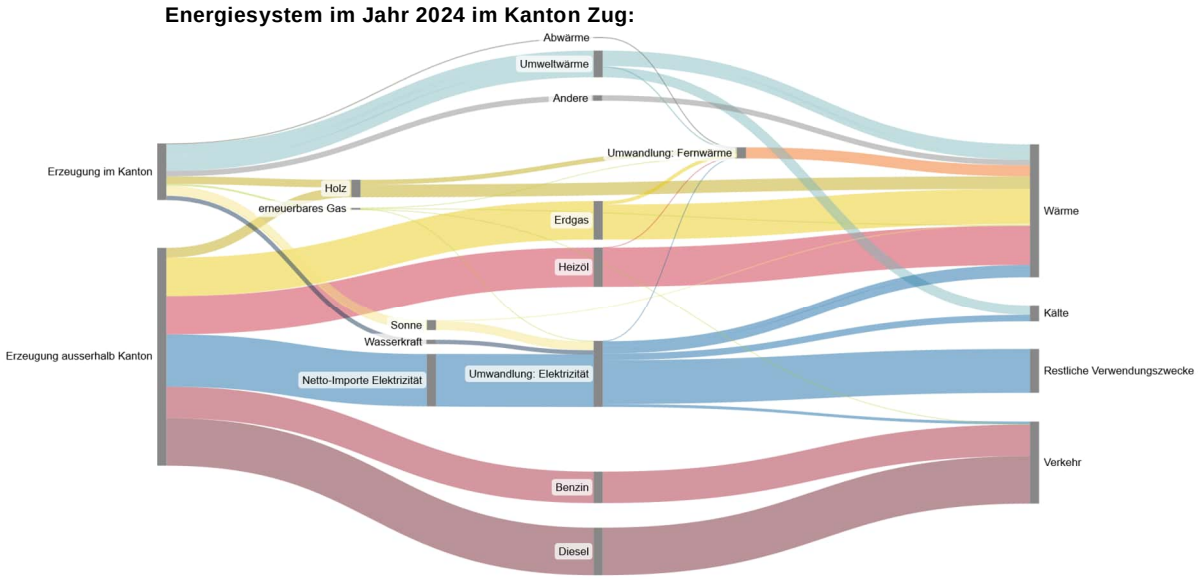


Abbildung 1 Energieflüsse im Kanton Zug im Jahr 2024

Erneuerbare Energieträger: Erwartete Potenziale und deren Nutzung

In dieser Studie werden die erwarteten Potenziale für die im Kanton verfügbaren Energieträger ermittelt. Das erwartete Potenzial entspricht einem aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten realisierbaren Potenzial.

Potenziale zur Stromproduktion und deren Nutzung

Abbildung 2 zeigt die Potenziale der Energieträger zur Stromproduktion für das Kalenderjahr und im Winterhalbjahr. Gleichzeitig zeigt die Abbildung die Nutzung im Jahr 2024 und in den Jahren 2035 und 2050 für das in dieser Studie betrachtete Szenario Zero Basis[1]. Das gesamte erwartete Potenzial beträgt knapp 1'100 GWh/a, davon 330 GWh im Winterhalbjahr. Das grösste Potenzial weist die Photovoltaik mit rund 920 GWh/a auf, davon rund 260 GWh im Winterhalbjahr. Entsprechend liefert die Photovoltaik in den betrachteten Szenarien auch den grössten Beitrag zur Stromversorgung, sowohl in der Jahresbilanz wie auch im Winterhalbjahr. In den Szenarien wird die Photovoltaik ergänzt mit Wasser- und Windkraft, welche beide einen höheren Winterstromanteil aufweisen. Eine Stromproduktion mit Geothermie wurde aufgrund der hohen Unsicherheiten entsprechender Projekte in den betrachteten Szenarien nicht berücksichtigt.

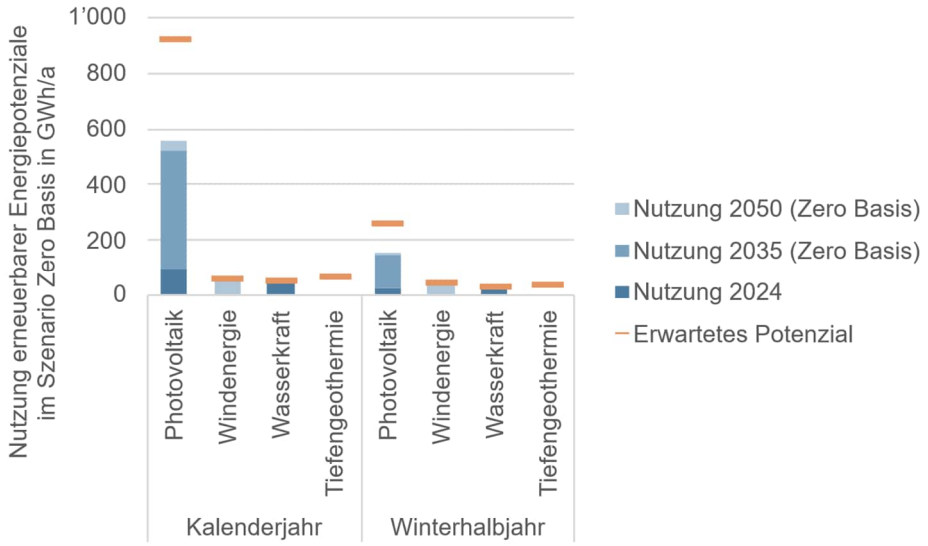


Abbildung 2 Nutzung und Potenziale zur erneuerbaren Stromproduktion im Kanton Zug

Potenziale zur Wärmeproduktion und deren Nutzung

Abbildung 3 zeigt die Potenziale der im Kanton Zug für die erneuerbare Wärmeproduktion verfügbaren Energieträger sowie die Nutzung im Jahr 2024 und in den Jahren 2035 und 2050. Das gesamte erwartete Potenzial beträgt über 2'000 GWh/a. Die Potenziale überschneiden sich allerdings teilweise und sind räumlich abzugleichen. Hohe zusätzliche Potenziale liegen in der

1 Das Szenario Zero Basis beschreibt eine Entwicklung, in der das Energiesystem konsequent umgebaut wird, um die lokalen Potenziale optimal auszunutzen, damit eine hohe Versorgungssicherheit und das Netto-Null-Ziel 2050 erreicht wird. Neben dem Szenario Zero Basis wird in dieser Studie ein zweites Szenario Weiter-wie-bisher betrachtet. Eine detaillierte Beschreibung der Szenarien findet sich in Kapitel 5.

Nutzung der Geothermie (ca. 540 GWh/a), der Oberflächengewässer (ca. 195 GWh/a) und in der Nutzung von Abwärme (ca. 90 GWh/a). Ebenfalls ein hohes Potenzial weist die Wärmenutzung der Umgebungsluft auf. Energieholz wird im Jahr 2024 bereits deutlich mehr genutzt, als Potenzial im Kanton Zug vorhanden ist. Im Szenario Zero Basis wird diese Nutzung stärker auf jene Anwendungen fokussiert, für die wenig Alternativen verfügbar sind. Trotzdem bleibt die Nutzung auch künftig über dem Potenzial im Kanton. Um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, muss der im Jahr 2050 verbleibende Gasabsatz vollständig erneuerbar gedeckt werden. Die entsprechende Nutzung übersteigt das im Kanton Zug erwartete Potenzial zur Erzeugung von Biogas und mit erneuerbarem Strom synthetisch hergestellten erneuerbaren Gasen wie Wasserstoff und Methan.

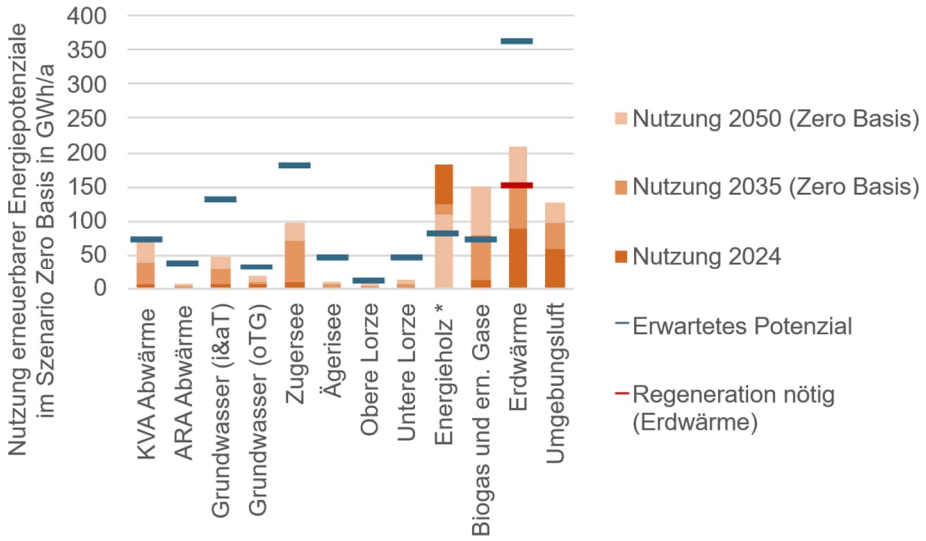


Abbildung 3 Nutzung und Potenziale zur erneuerbaren Wärmeproduktion im Kanton Zug
*: Bei Energieholz sinkt die Nutzung, deshalb ist die Nutzung nach Jahren umgekehrt dargestellt.
Grundwasser (i&aT): Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen
Grundwasser (oTG): oberflächennahes Tiefengrundwasser

Künftige Entwicklung: Perspektiven 2035 und 2050

Betrachtung von zwei Szenarien: Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB)

Die künftige Entwicklung des Energiebedarfs und -verbrauchs ist unsicher. Diese Studie betrachtete deshalb zwei Szenarien, welche die Bandbreite der möglichen Entwicklung aufzeigen. Beide Szenarien stützen sich auf die Energieperspektiven 2050+[2] ab. Abbildung 4 zeigt die Energieflüsse im Kanton Zug im Jahr 2050 für das betrachtete Szenario Zero Basis. In diesem Szenario wird eine Entwicklung beschrieben, in der die Potenziale zur lokalen Energieerzeugung konsequent genutzt werden, um eine hohe Versorgungsicherheit zu gewährleisten und das Netto-Null-Ziel 2050 zu erreichen. Das Szenario macht keine konkreten Aussagen, welche Massnahmen zur Erreichung dieses Ziels nötig sind. Ergänzend wird das Szenario Weiter-wie-

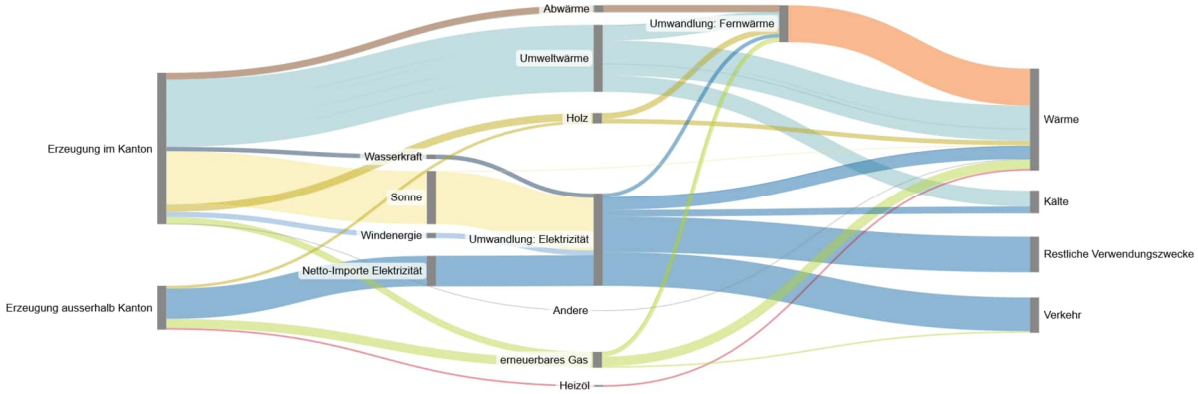
2 https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html

bisher betrachtet (Abbildung 4). In diesem Szenario wird kein Ziel vorgegeben, sondern es wird abgeschätzt, welche Entwicklung mit den heute umgesetzten Massnahmen und bekannten Planungen erreicht wird.

Umfassende Transformation des Energiesystems nötig

Das Szenario Zero Basis zeigt, dass ein umfassender Umbau des Energiesystems nötig ist, um im Kanton Zug eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten und gleichzeitig bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Die im Szenario Weiter-wie-bisher abgebildete Weiterführung der heutigen Massnahmen und Entwicklungen führt in die Richtung der gleichen Transformation wie in Zero Basis, aber weniger konsequent und mit einer für die Erreichung des Netto-Null-Ziels ungenügenden Umsetzungsgeschwindigkeit.

Energiesystem im Szenario Zero Basis im Jahr 2050 im Kanton Zug:



Energiesystem im Szenario Weiter-wie-bisher im Jahr 2050 im Kanton Zug:

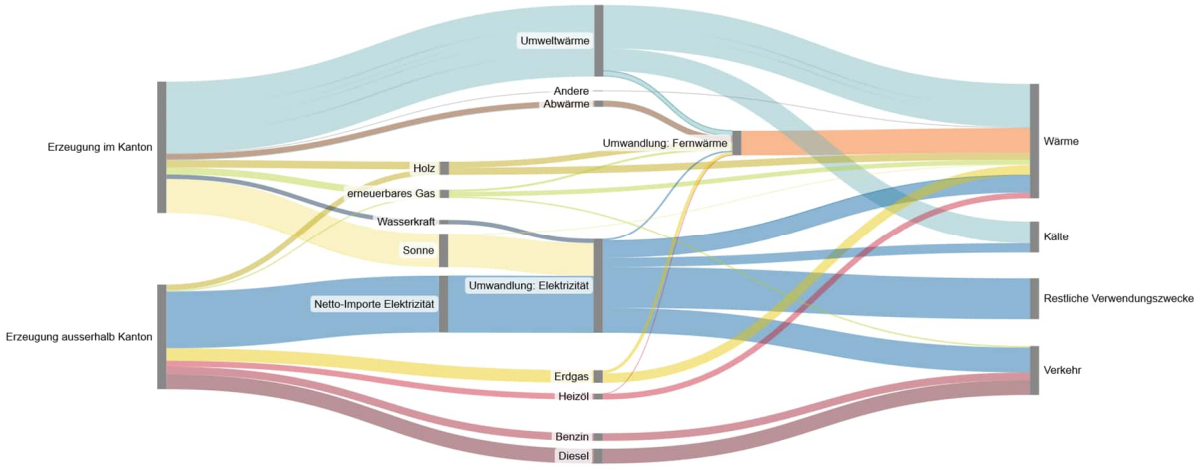


Abbildung 4 Energieflüsse im Kanton Zug im Jahr 2050 im Szenario Zero Basis (oben) und im Szenario Weiter-wie-bisher (unten)

Wichtigste Stossrichtungen

Mit den Resultaten dieser Studie lassen sich zentrale Stossrichtungen ableiten, die zur Steigerung der Versorgungssicherheit und zur Erreichung des Netto-Null-Ziels verfolgt werden sollten:

— *Effizienz weiter steigern*: Effizienzgewinne sind zentral für eine sichere und klimaneutrale Versorgung mit Energie. Dazu braucht es zusätzliche Anstrengungen in allen Verwendungszwecken. Der Energieverbrauch von Gebäuden sollte durch eine Verbesserung der Energieeffizienz weiter reduziert werden. Zusätzlich grosse Reduktionen des Energieverbrauchs können in der Mobilität und bei den restlichen Verwendungszwecken in Betrieben erreicht werden. Bei Kälteanwendungen und restlichen Verwendungszwecken im Bereich Wohnen kann dank Energieeffizienz bei steigender Nutzung eine Stabilisierung des Endenergieverbrauchs erzielt werden.

— *Transformation der Wärmeversorgung vorantreiben*: Im Kanton Zug bestehen grosse Potenziale an erneuerbarer Energie, um den Wärmebedarf zu decken, insbesondere Umweltwärme und Abwärme. Um die Wärmeversorgung künftig sicher, kostengünstig und klimaneutral zu gestalten, sollten diese Potenziale über Wärme- und Energieverbunde und mit Wärmepumpen in einzelnen Gebäuden genutzt werden. Im Kanton Zug besteht bereits eine Vielzahl von Wärme- und Energieverbunden, deren Ausbau vorgesehen ist. Entscheidend für Netto-Null 2050 ist, dass dieser Auf- und Ausbau der Wärme- und Energieverbunde weiter vorangetrieben wird. Der Ausbau der Wärme- und Energieverbunde erfolgt insbesondere auch in jenen Gebieten, die heute mit Gas versorgt sind. Mit der Umstellung auf Fernwärme (und Wärmepumpen) sinkt der Gasabsatz deutlich. Das wird dazu führen, dass Gasnetze oder Teilabschnitte mittelfristig wirtschaftlich nicht mehr tragbar sind und schrittweise stillgelegt werden. Der Umstieg von Gas auf Fernwärme ist deshalb zeitlich und räumlich zu koordinieren.

— *Lokale erneuerbare Stromproduktion ausbauen*: Damit der steigende Strombedarf zuverlässig gedeckt werden kann, ist der Ausbau der lokalen Stromproduktion unerlässlich[3]. Dies besonders im Winterhalbjahr, wenn die Versorgungslage am anspruchsvollsten ist. Dabei weist Photovoltaik das mit Abstand grösste Potenzial auf und liefert sowohl über das Kalenderjahr als auch im Winterhalbjahr den grössten Beitrag. Der netzverträgliche Ausbau der Photovoltaik mit Fokus auf die Winterproduktion ist daher entscheidend. Er erfordert die Digitalisierung und den bedarfsgerechten Ausbau der Netze, eine Flexibilisierung der Lasten, den intelligenten Einsatz von Speichern sowie Vergütungsmodelle, welche die Winterstromproduktion und Netzdienlichkeit honorieren. Mit dem lokal erzeugten Strom können effiziente Technologien wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge nachhaltig betrieben werden.

3 Die Sicherstellung der Versorgungssicherheit bedarf nationale (und auch internationale) Anstrengungen und kann nicht alleine durch den Kanton gewährleistet werden. Jedoch gehen alle Szenarien für die künftige Stromversorgung von einem starken Ausbau erneuerbarer Energien, welcher lokal erfolgen muss, aus.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	9
2.	Ausgangslage im Jahr 2024	10
	2.1 Wärmebedarf und -verbrauch 2024	11
	2.2 Kältebedarf und Energieverbrauch für Kälteerzeugung 2024	14
	2.3 Stromverbrauch 2024	15
3.	Erneuerbare Energieträger: Nutzung 2024 und erwartetes Potenzial	18
	3.1 Photovoltaik	20
	3.2 Windenergie	22
	3.3 Wasserkraft	26
	3.4 Abwärme	28
	3.5 Geothermie	32
	3.6 Oberflächengewässer	39
	3.7 Biomasse und synthetische erneuerbare Gase	42
	3.8 Solarthermie	46
	3.9 Umgebungsluft	47
4.	Nutzung von Fernwärme und Fernkälte	48
5.	Perspektiven 2035 und 2050	52
	5.1 Künftiger Wärmebedarf und -verbrauch	53
	5.2 Künftiger Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte	61
	5.3 Künftiger Stromverbrauch	62
	5.4 Ausbauziele für erneuerbare Energie im Kanton Zug	66
6.	Synthese	70
A1	Methodische Grundlagen	78
	A1.1 Energiebedarf und -verbrauch	78
	A1.2 Potenziale erneuerbarer Energieträger	80
	A1.3 Methoden und Annahmen zu den Szenarien	83
A2	Energieflussdiagramme des Kantons	91
A3	Karten-Sammlung	93

1. Einleitung

Strategische Ziele: Sichere Energiezukunft und Netto-Null-Emissionen bis 2050

Die Entwicklung im Energie- und Klimabereich ist dynamisch. Sie stellt Kantone und Gemeinden vor Herausforderungen und bietet zugleich bedeutende Chancen. Mit seiner Energie- und Klimastrategie will der Kanton Zug seine Handlungsmöglichkeiten nutzen, um den Weg in eine gesicherte Energiezukunft und Netto-Null-Emissionen bis 2050 zu unterstützen. Dafür setzt sich der Kanton Zug ein für mehr Energieeffizienz und für die Steigerung der lokalen erneuerbaren Energieproduktion.

Potenzialstudie 2011 und Entwicklungen seither

Bereits im Jahr 2011 wurde eine Studie zu den Potenzialen erneuerbarer Energien im Kanton Zug verfasst[4]. Die Studie identifizierte massgebliche Potenziale für die erneuerbare Wärme- und Stromproduktion. Seither hat sich die energie- und klimapolitische Ausgangslage deutlich verändert. Deshalb besteht Bedarf für eine aktualisierte Gesamtsicht über das Potenzial erneuerbarer Energieträger. Die wichtigsten Entwicklungen sind:

— Klare Ziele: Das Ziel von Netto-Null-Emissionen bis 2050 wurde im Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit verankert. Der Zuger Regierungsrat unterstützt das Netto-Null-Ziel in seiner Energie- und Klimastrategie. Im nationalen Energiegesetz wurden verbindliche Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion verankert.

— Erfolge beim Ausbau einzelner erneuerbarer Energieträger: In den letzten Jahren konnten im Kanton Zug die erneuerbare Stromproduktion mit Photovoltaik und die erneuerbare Wärmeerzeugung mit Umweltwärme massgeblich ausgebaut werden. Zudem nimmt der Auf- und Ausbau von Energieverbunden an Fahrt auf.

— Weiterentwicklung der kantonalen gesetzlichen Grundlagen: Auf der Basis der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn) 2014 wurde das kantonale Energiegesetz überarbeitet. Zentrale Elemente sind die Bestimmungen zur Eigenstromerzeugung bei Neubauten und zum Einsatz erneuerbarer Energie beim Heizungsersatz. Letztere wurden gegenüber den MuKEn 2014 verschärft. Das teilrevidierte Gesetz und die Verordnung sind seit dem 1. Februar 2024 in Kraft. Der Kanton Zug hat beide Artikel ins kantonale Energiegesetz übernommen.

— Messbarer Klimawandel: In der Schweiz ist es heute in allen Landesteilen deutlich wärmer als früher. Diese Erwärmung ist deutlich stärker als im globalen Durchschnitt. Auch Starkniederschläge sind häufiger und stärker geworden.

— Geopolitische Abhängigkeiten: Die letzten Jahre haben gezeigt, wie stark Energiepreise und Versorgungssicherheit von internationalen Krisen, Handelsbeziehungen und Importabhängigkeiten geprägt sind.

---

4 econcept im Auftrag des Amt für Umweltschutz Kanton Zug (2011): Erneuerbare Energien im Kanton Zug: Stand heute und Perspektiven 2030

Viele Grundlagen zu Potenzialen: Bedarf für ein Gesamtbild

Der Kanton Zug verfügt bereits über viele aktuelle Grundlagen zu Potenzialen für erneuerbare Energiequellen im Kanton. Dazu gehören Potenzialstudien für Photovoltaik, Wind, oberflächennahe und tiefe Geothermie und die thermische Nutzung des Zuger- und Ägerisees. Nun besteht Bedarf für ein aktuelles Gesamtbild zu den verfügbaren Energiepotenzialen.

Empfehlungen zum Abgleich von Energieträgern und Energiebedarf

Ergänzend zu diesem Gesamtbild der Potenziale erneuerbarer Energiequellen zeigt die vorliegende Studie die Entwicklung des künftigen Wärme- und Kältebedarfs und des Stromverbrauchs für die Jahre 2035 und 2050 in Szenarien auf. Die Saisonalität von Energieerzeugung und Energiebedarf sowie räumliche Aspekte werden dabei explizit berücksichtigt. Als Resultat liefert die Studie Empfehlungen, mit welchen Energieträgern der künftige Energiebedarf gedeckt werden kann.

Aufbau der Studie

Die vorliegende Studie beinhaltet folgende Punkte:

— *Ausgangslage im Jahr 2024*: Kapitel 2 zeigt den Energiebedarf und -verbrauch für Wärme, Kälte und Strom im Jahr 2024 auf.

— *Nutzung und Potenziale erneuerbarer Energie*: Kapitel 3 zeigt die aktuelle Nutzung und die Potenziale erneuerbarer Energien auf.

— *Nutzung und Potenzial von Fernwärme und -kälte*: Kapitel 4 zeigt den Stand des Ausbaus und der Planung von Fernwärme und -kälte im Jahr 2024 auf. Zudem werden weitere Potenziale für Fernwärme und -kälte aufgezeigt.

— *Perspektiven für die Jahre 2035 und 2050*: Kapitel 5 beschreibt den künftigen Energiebedarf und -verbrauch für Wärme, Kälte und Strom für die Jahre 2035 und 2050 in zwei Szenarien. Dabei wird der Energiebedarf räumlich und saisonal mit den Potenzialen erneuerbarer Energie abgeglichen.

— *Schlussfolgerungen und Empfehlungen für das Energiesystem im Kanton Zug*: Kapitel 6 zeigt als Synthese Schlussfolgerungen für die künftige Energieversorgung und den Weg hin zu Netto-Null-Emissionen bis 2050.

2. Ausgangslage im Jahr 2024

Im Fokus: Wärme, Kälte und Strom

Dieses Kapitel beschreibt die Ausgangslage im Jahr 2024. Im Fokus stehen der Bedarf und Verbrauch für Wärme und Kälte und der Verbrauch an elektrischer Energie. Zusätzlich werden die Bereiche Wohnen (Private Haushalte) und Nicht-Wohnen (Dienstleistungs- und Industriebetriebe) unterschieden und die Saisonalität des Energiebedarfs abgeschätzt.

Energiebedarf vs. Endenergieverbrauch

Als Wärmebedarf und Kältebedarf wird die aufzubringende Nutzenergie hergeleitet, unabhängig von den eingesetzten Energieträgern. Als Endenergieverbrauch wird die mit spezifischen Energieträgern auf Ebene der

Verbraucher aufzubringende Endenergie dargestellt[5]. Insbesondere bei Verbrennungsprozessen ist der Endenergieverbrauch (der Energieinhalt des Brennstoffes) oft deutlich höher als die Nutzenergie (die nutzbare Wärme), da meist eine beträchtliche Energiemenge als ungenutzte Abwärme verloren geht.

Methodenbeschrieb in Anhang A1

Wo möglich erfolgt die Herleitung basierend auf gebäudescharfen Datengrundlagen. In einigen Sektoren und für einige Verwendungszwecke sind weniger Datengrundlagen vorhanden. Dort wird die Ausgangslage aus übergeordneten Werten abgeschätzt. Die angewendeten Methoden sind in Anhang A1 beschrieben. Die Daten sind witterungskorrigiert. Die Angaben für ein bestimmtes Jahr beschreiben nicht den exakten Verbrauch in diesem Jahr, sondern den witterungskorrigierten Entwicklungsstand.

2.1 Wärmebedarf und -verbrauch 2024

Energiebedarf Wärme 2024

Im Jahr 2024 betrug der witterungskorrigierte Energiebedarf für Wärme 1'290 GWh. Davon sind 76% im Winterhalbjahr und 24% im Sommerhalbjahr angefallen. Abbildung 5 zeigt die Aufteilung auf die Bereiche Wohnen und Nicht-Wohnen. Knapp zwei Drittel des Wärmebedarfs fällt in privaten Haushalten an. Etwas mehr als ein Drittel fällt für Wärme in Dienstleistungs- und Industriebetrieben an. Der Bereich Nicht-Wohnen enthält neben dem Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser auch Prozesswärme. Im Jahr 2024 betrug der Energiebedarf für Prozesswärme rund 215 GWh. Im Gegensatz zur Komfortwärme weist Prozesswärme keine saisonalen Schwankungen auf.

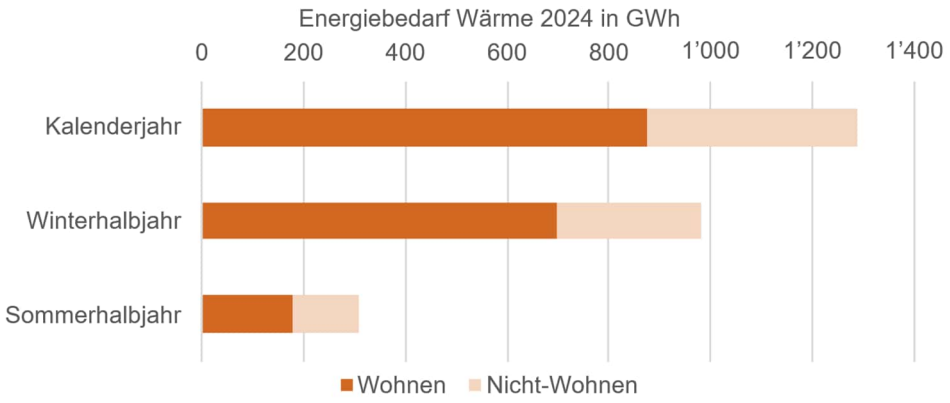


Abbildung 5 Energiebedarf Wärme im Kanton Zug im Jahr 2024. Gezeigt ist der witterungskorrigierte Anfall des Bedarfs im Winter- und Sommerhalbjahr und die Aufteilung auf die Bereiche Wohnen (Private Haushalte) und Nicht-Wohnen (Dienstleistung und Industrie).

Vergleich zu 2009

Im Jahr 2009 lag der Wärmebedarf gemäss der vorhergehenden Studie[4] noch bei rund 1'700 GWh. Damals wurden drei Szenarien verschiedener Fortschrittsgrade für die Entwicklung bis 2030 erarbeitet. Der Rückgang des Energiebedarfs bis 2030 wurde zwischen 5% und 32% eingeschätzt. Bis

5 Beispielsweise die elektrische Energie zum Laden eines E-Autos, die elektrische Energie und die Umweltwärme zur Wärmeerzeugung mit einer Wärmepumpe oder der Energieinhalt des Erdgases für eine Gasfeuerung.

2024 wurde gemäss heutiger Erhebung ein Rückgang von 24% erreicht, was tendenziell dem ambitiösesten «2000-Watt»-Szenario entspräche.

Energieverbrauch Wärme 2024 und eingesetzte Energieträger

Abbildung 6 zeigt den witterungskorrigierten Energieverbrauch für die Wärmeerzeugung des Kantons Zug im Jahr 2024. Diese stellt den Endenergieverbrauch für Wärme für alle eingesetzten Energieträger dar. Insgesamt ergibt sich für 2024 ein Endenergieverbrauch für Wärme von 1'400 GWh. Der Anteil der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas liegt bei 59%. Erneuerbare Energieträger (Holz, Umweltwärme, Strom, Abwärme (KVA und ARA), Biogas, Solarthermie und Andere) machen 41% aus. Dieser Anteil lag 2009 noch bei 5%. Den grössten Anteil des erneuerbaren Endenergieverbrauchs decken Wärmepumpen. Diese verursachen 19% des kantonalen Endenergieverbrauchs für Wärme, wenn die genutzte Umweltwärme und der eingesetzte Strom berücksichtigt wird.

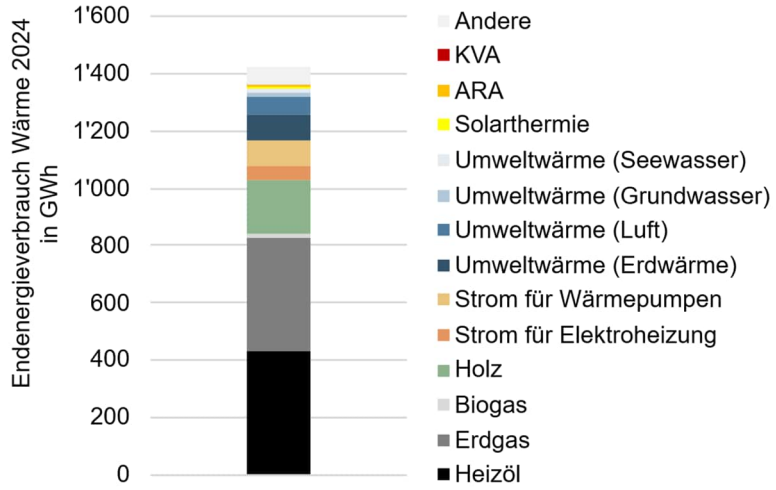


Abbildung 6 Endenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung für den Kanton Zug im Jahr 2024. Gezeigt ist der Endenergieverbrauch nach Energieträgern. Für Wärmeverbunde sind die eingesetzten Primärenergieträger (bspw. KVA-Abwärme, Umweltwärme) abgebildet.

Genauigkeit der Wärmebilanz

Der Wärmebedarf und -verbrauch wurden aus einer gebäudescharfen Grundlage hergeleitet. Basis bildete das Eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR). Dieses weist teilweise veraltete Daten auf. Mit zusätzlichen Anlagedaten wurde dies bestmöglich aktualisiert. Trotzdem besteht die Tendenz, dass der Einsatz fossiler Energieträger überschätzt und der Anteil erneuerbarer Energieträger unterschätzt wird.

Wärmebedarfsdichte nach Bauzonen

Für die Eignung potenzieller Gebiete für Wärmeverbunde ist die Dichte des Wärmebedarfs ein guter Indikator. Dafür wird der pro Gebäude erhobene Wärmebedarf räumlich ausgewertet und nach Bauzonen aggregiert. Berücksichtigt werden dabei Gebäude mit nicht erneuerbaren Energieträgern, da diese für einen Anschluss an einen Wärmeverbund im Fokus stehen (d.h. fossile Energieträger Heizöl und Gas, Elektroheizungen und unbekannte Energieträger), sowie nur reine Komfortwärme, d.h. ohne Prozesswärmeanteil. Ab einer Wärmebedarfsdichte von mehr als 500 MWh pro Hektare und

Jahr eignen sich Gebiete potenziell für Wärmeverbunde[6]. Weitere Aspekte wie Typ und Grösse der einzelnen Verbraucher, Topologie und heutige Wärmeversorgung müssen zusätzlich für eine Beurteilung der Eignung für Wärmeverbunde berücksichtigt werden. Abbildung 7 zeigt die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs nach Bauzonen.

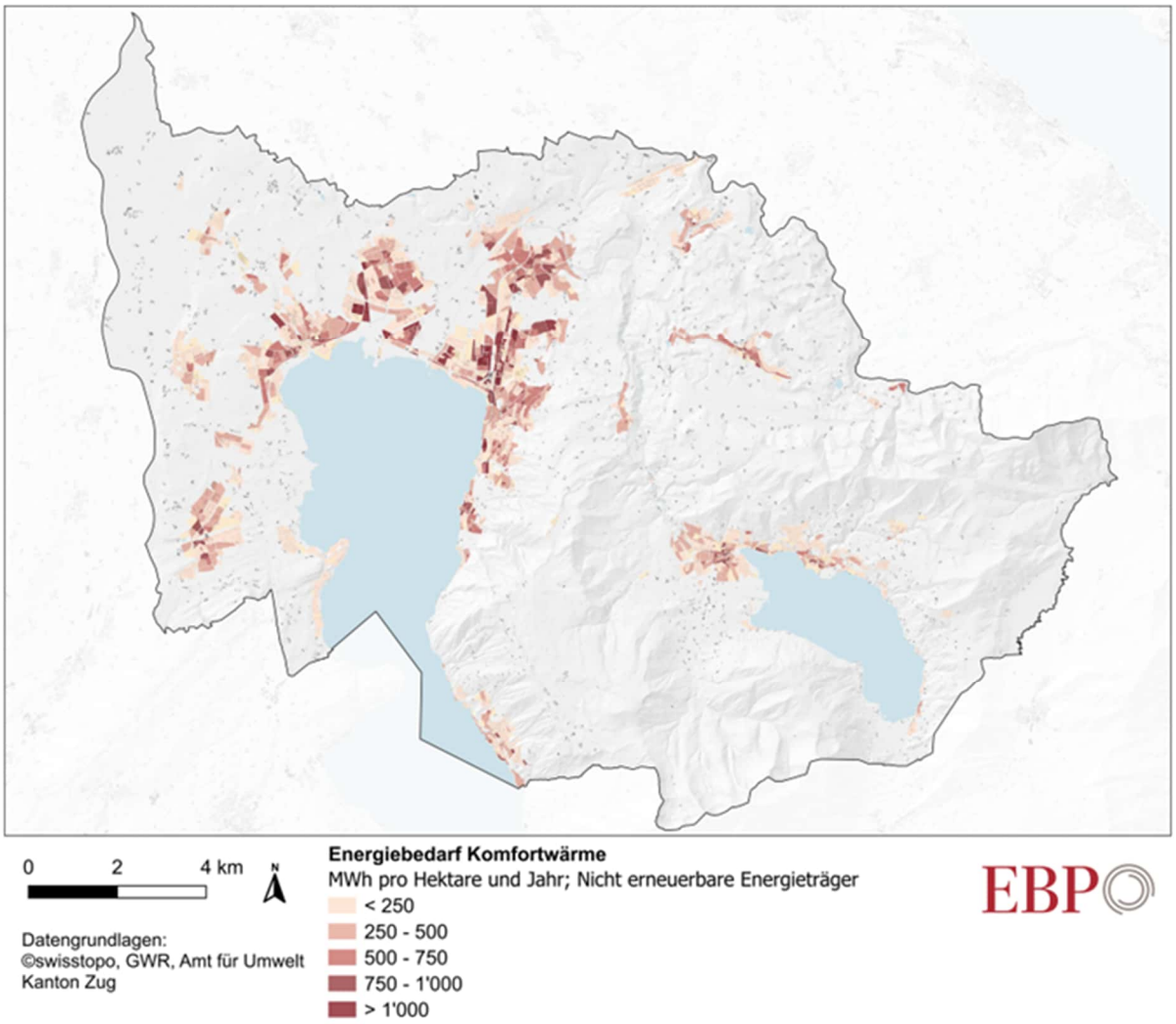


Abbildung 7 Dichte des Energiebedarfs nicht erneuerbarer Energieträger für Komfortwärme nach Bauzone.

6 Je nach Quelle werden als minimale Wärmebedarfsdichte für die Eignung für Wärmeverbunde Werte von 400 MWh/ha/a (Energiestadt (2025): Räumliche Energieplanung, Werkzeuge für eine zukunftstaugliche Wärme- und Kälteversorgung, Modul 7) bis 700 MWh/ha/a (EnergieSchweiz (2021): Faktenblatt Thermische Netze) angenommen. Die vorliegende Studie verwendet einen Wert von 500 MWh/ha/a.

2.2 Kältebedarf und Energieverbrauch für Kälteerzeugung 2024

Kältebedarf 2024

Im Jahr 2024 betrug der Kältebedarf 175 GWh. Der Kältebedarf beschreibt die Kälte-Nutzenergie, d.h. die abgeführte Wärme. Der Kältebedarf fällt zum grössten Teil im Sommer und im Bereich Nicht-Wohnen an. Abbildung 8 zeigt die Aufteilung auf die Bereiche Wohnen und Nicht-Wohnen. Nur rund 4% des Kältebedarfs fällt für Klimatisierung in privaten Haushalten an. Rund 96% des Kältebedarfs entfällt auf Dienstleistungs- und Industriebetrieben. Der tiefe Kältebedarf im Bereich Wohnen erklärt sich dadurch, dass aktuell nur ein sehr geringer Anteil der Wohngebäude klimatisiert wird. Anwendungen von Free-Cooling[7] sind hier nicht enthalten.

Endenergieverbrauch Strom zur Kälteerzeugung 2024

Der Energieverbrauch für die Kälteerzeugung entsteht durch den Betrieb von strombetriebenen Kälteanlagen. Massgeblich für den verbrauchten Strom ist die Leistungszahl dieser Anlagen. Abbildung 8 zeigt daraus hergeleitete Werte für den Endenergieverbrauch Strom zur Kälteerzeugung. Im Jahr 2024 wurden 70 GWh Strom für die Kälteerzeugung eingesetzt. Abbildung 9 zeigt den Kältebedarf räumlich auf, wobei der Kältebedarf aggregiert für jede Bauzone ausgewiesen ist.

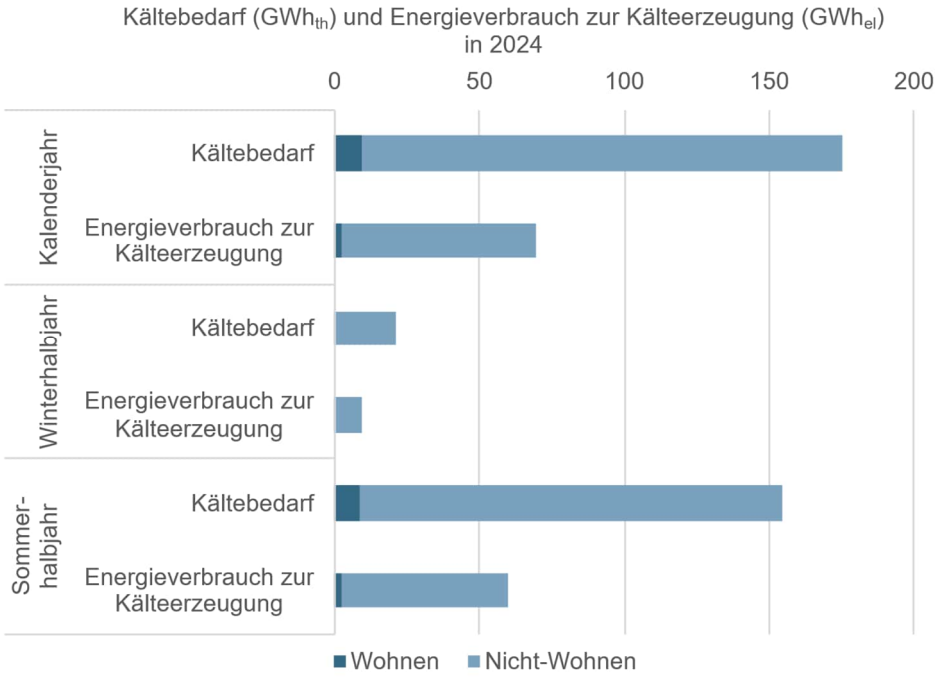


Abbildung 8 Kältebedarf und Endenergieverbrauch Strom zur Kälteerzeugung im Kanton Zug im Jahr 2024. Gezeigt ist der Anfall von Bedarf und Verbrauch im Winter- und Sommerhalbjahr und die Aufteilung auf die Bereiche Wohnen (Private Haushalte) und Nicht-Wohnen (Dienstleistung und Industrie).

7 Das Kühlen direkt mit Umweltwärme, ohne Kältemaschine

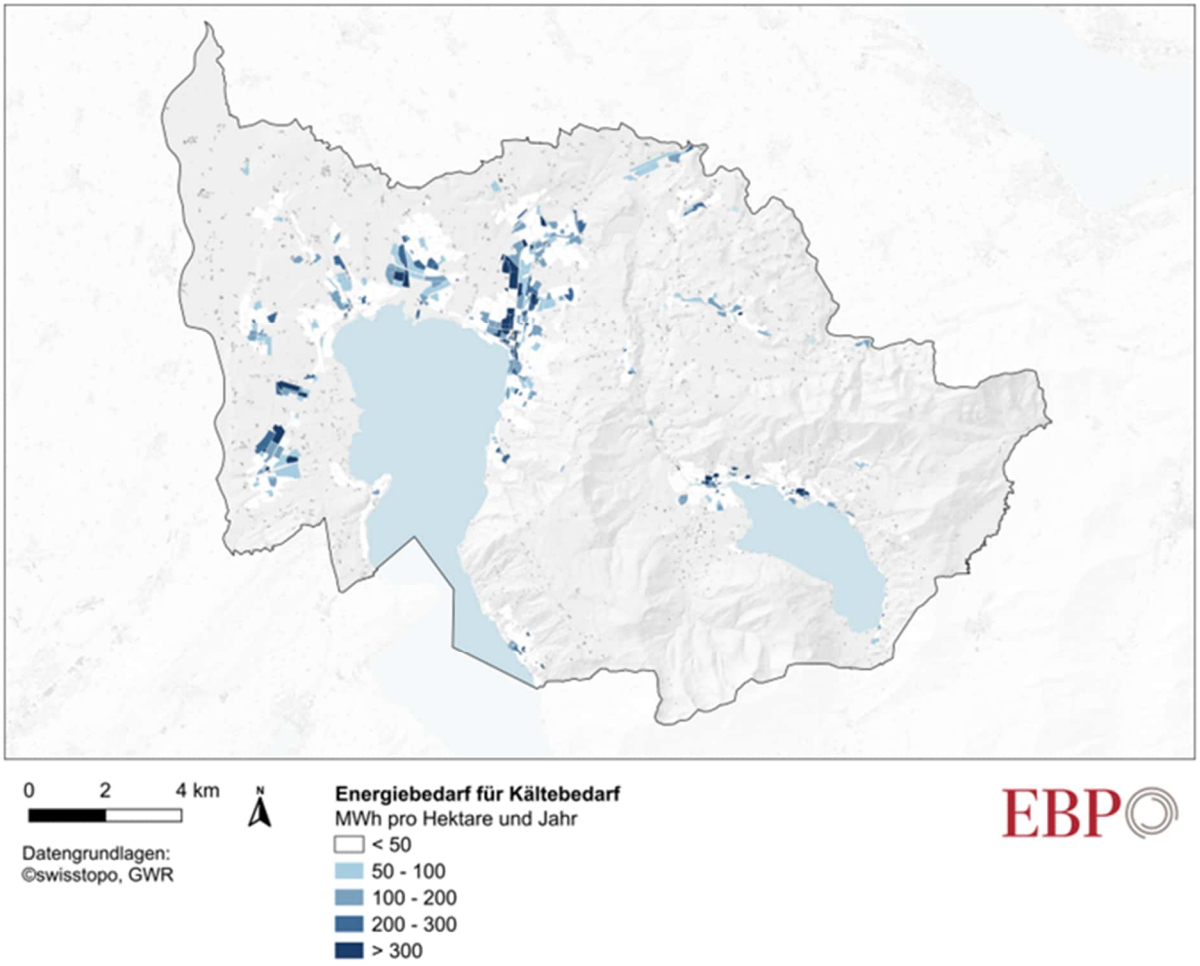


Abbildung 9 Dichte des Kältebedarfs nach Bauzone.

2.3 Stromverbrauch 2024

Endenergieverbrauch Strom 2024

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug insgesamt 689 GWh Strom verbraucht, ähnlich viel wie im Jahr 2009. Dies umfasst 653 GWh, welche durch die drei im Kanton tätigen Verteilnetzbetreiber WWZ Energie AG (WWZ), Elektro-Genossenschaft Hünenberg (EGH) und EKZ (anteilige Versorgung der Gemeinden Menzingen, Baar und Neuheim) an Kundinnen und Kunden geliefert wurden. Zusätzlich wird ein Eigenverbrauch von 35 GWh vor Ort erzeugt und direkt verbraucht. Dabei handelt es sich nahezu ausschliesslich um mit Photovoltaik erzeugten Strom.

Strommix 2024: Eingesetzte Energieträger

Für den 2024 im Kanton Zug verbrauchten Strom wurden 84% erneuerbare Energieträger eingesetzt (siehe Abbildung 10). Die übrigen 16% wurden mit Kernenergie erzeugt. Den grössten Anteil liefert Wasserkraft mit 69%. Photovoltaik liefert 9% des im Kanton verbrauchten Stroms. Weitere 6% werden als geförderter Strom bezeichnet. Dies bezieht sich auf den durch das Einspeisevergütungssystem geförderten Strom. Dieser Anteil wird für alle Verteilnetzbetreiber in der Schweiz gleich ausgewiesen. Der geförderte Strom setzte sich 2024 zu 58.5% Wasserkraft, 14.9% Sonnenenergie, 4.1% Windenergie, 19.1% Biomasse und 3.4% erneuerbaren Siedlungsabfällen

zusammen. 2009 setzte sich der gelieferte Strom noch aus 13% Wasserkraft, 86% Kernenergie und 1% sonstigen geförderten Strom zusammen.

Stromproduktion 2024

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug 145 GWh Strom erzeugt. Mit 94 GWh am meisten Strom wurde mit Photovoltaik (PV) erzeugt. Wasserkraftwerke lieferten 45 GWh. Weitere rund 6 GWh wurden mit Biomasse erzeugt. Ein Vergleich mit dem Energieträgermix des verbrauchten Stroms zeigt, dass im Kanton Zug mehr PV-Strom erzeugt als verbraucht wurde. Hingegen wurde deutlich mehr Strom aus Wasserkraft verbraucht als im Kanton produziert wurde. Strom aus Wasserkraft wird also importiert, inkl. der zugehörigen Herkunftsnachweise.

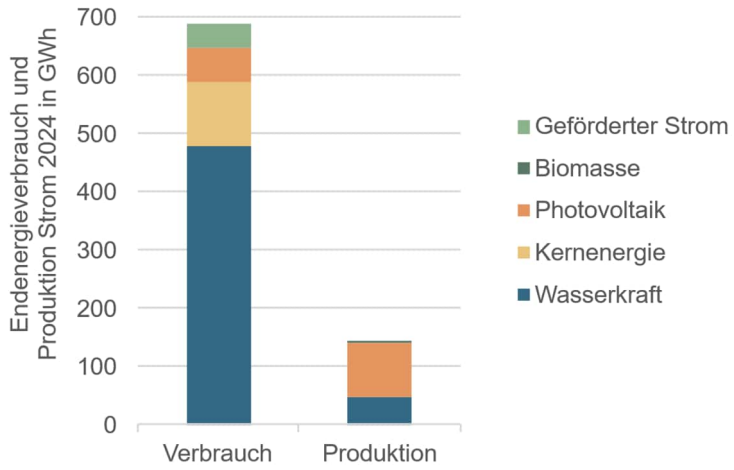


Abbildung 10 Endenergieverbrauch und Produktion Strom nach Energieträger im Kanton Zug im Jahr 2024. Der ausgewiesene Verbrauch an Photovoltaik beinhaltet den Eigenverbrauch, der vor Ort erzeugt und direkt verbraucht wird.

Genauigkeit der Strombilanz

Für die Herleitung der eingesetzten Energieträger wurde der Strommix der kantonalen Verteilnetzbetreiber vereinfacht auf den gesamten verteilten Strom angewendet. Damit wurde nicht berücksichtigt, dass ein Teil des verteilten Stroms an drittbelieferte Marktkunden[8] geht. Diese können ihren Stromversorger selbst wählen. Die Menge des an drittbelieferte Marktkunden gelieferten Stroms und die dabei eingesetzten Energieträger sind unbekannt.

Stromverbrauch 2024: Saisonalität und Verwendungszwecke

Abbildung 11 zeigt, wie sich im Jahr 2024 der Stromverbrauch von 689 GWh auf das Winter- und Sommerhalbjahr und auf unterschiedliche Verwendungszwecke verteilte. Als Verwendungszwecke werden dabei Wärme, Kälte, Mobilität und restliche Verwendungszwecke in privaten Haushalten (Wohnen) und Betrieben (Nicht-Wohnen) unterschieden.

8 Grosskunden, die mehr als 100‘000 kWh pro Jahr Strom aus dem Netz beziehen, können ihren Stromlieferanten frei auf dem Markt wählen

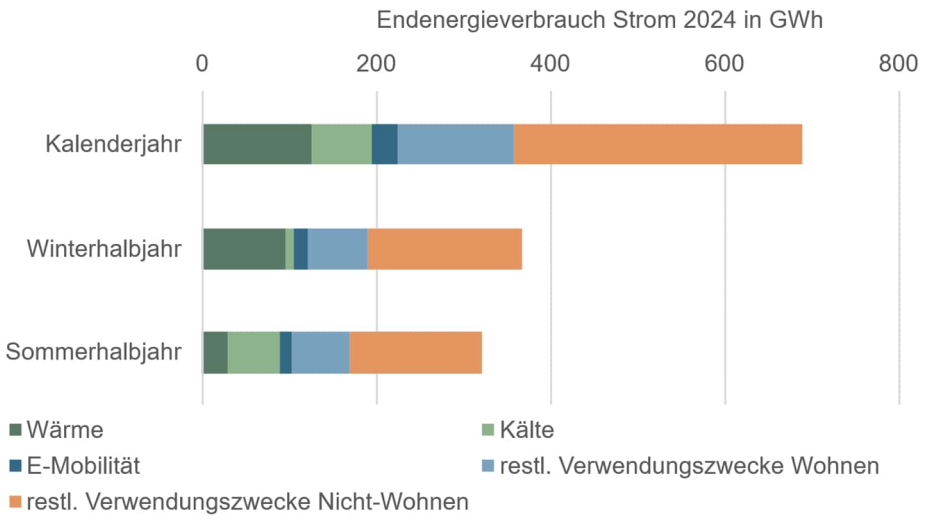


Abbildung 11 Endenergieverbrauch Strom im Jahr 2024 nach Verwendungszwecken und dem Anfall des Bedarfs im Winter- und Sommerhalbjahr.

Stromverbrauch für Wärme

Der Stromverbrauch für Wärme entsteht durch den Einsatz von Wärmepumpen und Elektroheizungen sowie Elektroboilern. Diese benötigen Strom für die Aufbereitung von Raumwärme und Warmwasser in Gebäuden. Die Analyse des Wärmeverbrauchs (siehe Kapitel 2.1 oben) ergibt einen geschätzten anteiligen Stromverbrauch von 90 GWh durch Wärmepumpen und 50 GWh durch Elektroheizungen bzw. -boiler auf Grundlage verfügbarer Anlagendaten und dem Gebäudebestand in einem durchschnittlichen Wetterjahr. Auf das Jahr 2024 bezogen, welches verhältnismässig wärmer war, dürfte der Stromverbrauch für Wärme bei rund 130 GWh gelegen haben.

Stromverbrauch durch Elektromobilität

Der Stromverbrauch für die Elektromobilität wurde für das Jahr 2024 im Kanton Zug auf insgesamt 30 GWh geschätzt. Die Summe ergibt sich aus allen Fahrzeugtypen von Personenwagen über Linienbusse bis zu sämtlichen Nutzfahrzeugen. Die Werte wurden aus dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz, welches u.a. die Grundlage für die Ladebedarfsszenarien[9] des Bundesamts für Energie bildet, abgeschätzt.

9 EBP im Auftrag des BFE (2024): Ladebedarfsszenarien

3. Erneuerbare Energieträger: Nutzung 2024 und erwartetes Potenzial

Erwartetes Potenzial

In der vorliegenden Potenzialstudie wird pro Energieträger das *erwartete Potenzial* identifiziert. Dies entspricht dem aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten realisierbaren Potenzial. Eine vertiefte Übersicht der Potenzialbegriffe findet sich in Anhang A1.2.

Zusammenfassung Potenziale zur Stromproduktion

Abbildung 12 zeigt die Nutzung im Jahr 2024 und die Potenziale der im Kanton Zug für die erneuerbare Stromproduktion verfügbaren Energieträger für das Kalenderjahr und im Winterhalbjahr. Das gesamte erwartete Potenzial beträgt knapp 1'100 GWh/a. Das grösste Potenzial weist mit rund 920 GWh/a die Photovoltaik auf. Diese weist auch bereits die höchste Nutzung im Jahr 2024 auf. Das gesamte erwartete Potenzial für die Stromerzeugung im Winterhalbjahr beträgt knapp 350 GWh/a. Auch für die Stromproduktion im Winterhalbjahr weist die Photovoltaik das grösste Potenzial auf, mit rund 260 GWh/a.

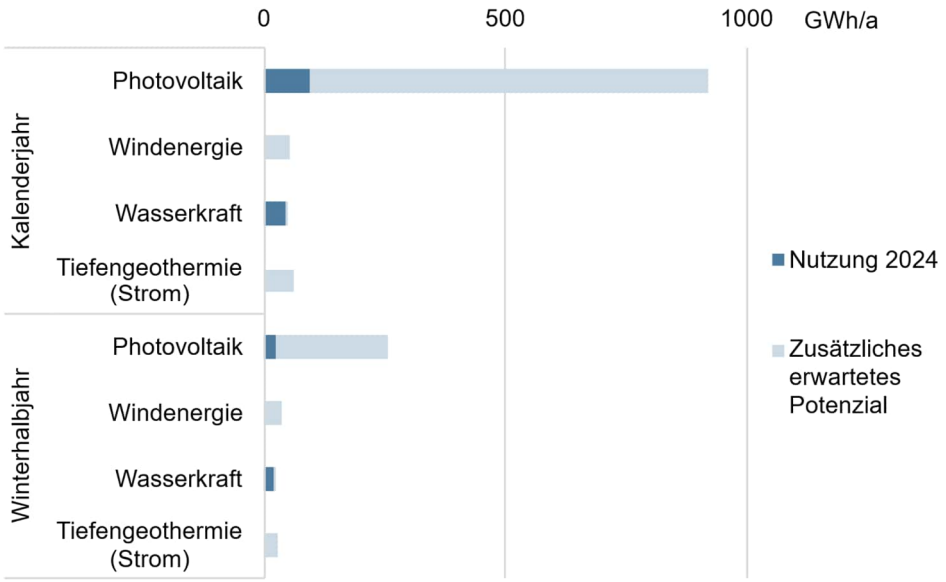


Abbildung 12 Nutzung 2024 und Potenziale zur erneuerbaren Stromproduktion im Kanton Zug

Abbildung 13 zeigt die Nutzung im Jahr 2024 und die Potenziale der im Kanton Zug für die erneuerbare Wärmeproduktion verfügbaren Energieträger. Das gesamte erwartete Potenzial beträgt über 2'000 GWh/a. Die Potenziale überschneiden sich allerdings teilweise und sind räumlich abzugleichen. Hohe zusätzliche Potenziale liegen im Kanton in der Nutzung der Geothermie (ca. 540 GWh/a), von Abwärme (ca. 90 GWh/a) und der Oberflächengewässer (ca. 195 GWh/a). Im Jahr 2024 wird Energieholz bereits deutlich mehr genutzt, als Potenzial im Kanton Zug vorhanden ist. Ebenfalls hohe Potenziale weisen Solarthermie und Umgebungsluft auf. Solarthermie liegt jedoch in Konkurrenz mit der Nutzung der Dachflächen mit Photovoltaik.

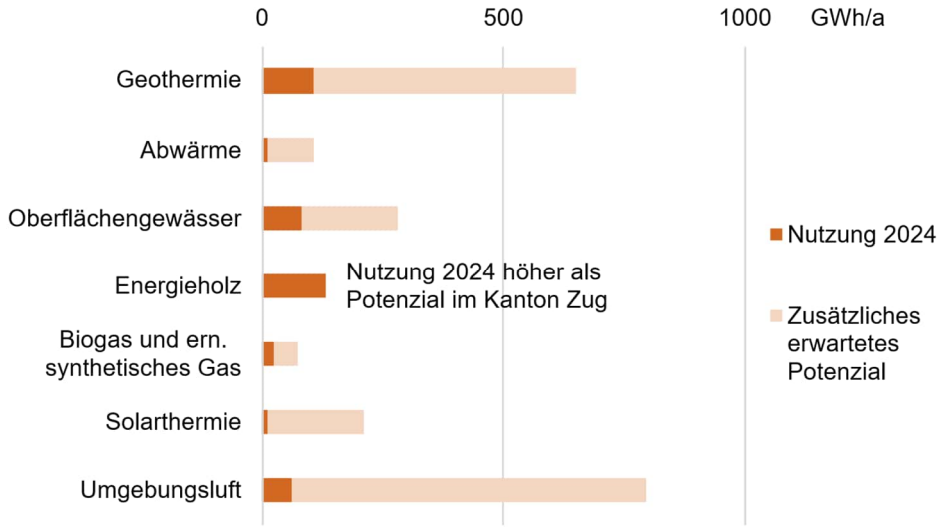


Abbildung 13 Nutzung 2024 und Potenziale zur erneuerbaren Wärmeproduktion im Kanton Zug

3.1 Photovoltaik

Das Wichtigste in Kürze

Die Stromproduktion mit Photovoltaik (PV) weist ein starkes Wachstum auf. 2024 wurden 94 GWh PV-Strom erzeugt. Das gesamte erwartete Potenzial liegt mit 920 GWh/a noch deutlich höher. Das erwartete Potenzial im Winterhalbjahr liegt bei rund 260 GWh/a, knapp 30% des Jahrespotenzials.

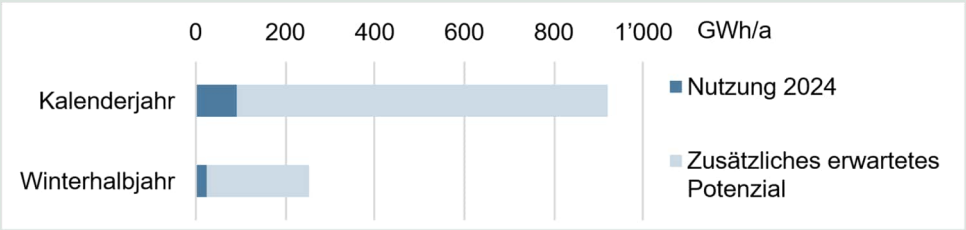


Abbildung 14 Photovoltaik: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial für die Stromproduktion (Quelle: Georegio AG)

Nutzung im Jahr 2024

Nutzung im Jahr 2024

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug 94 GWh Strom mit PV produziert. Erfasst sind dabei 2'613 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 101 MW. Die Stromproduktion mit PV-Anlagen ist insbesondere in den letzten Jahren stark gestiegen (Abbildung 15). Allein im Jahr 2024 wurde die Stromproduktion um 25 GWh/a ausgebaut. Gegenüber dem Jahr 2023 entspricht dies einem Zubau von mehr als einem Drittel.

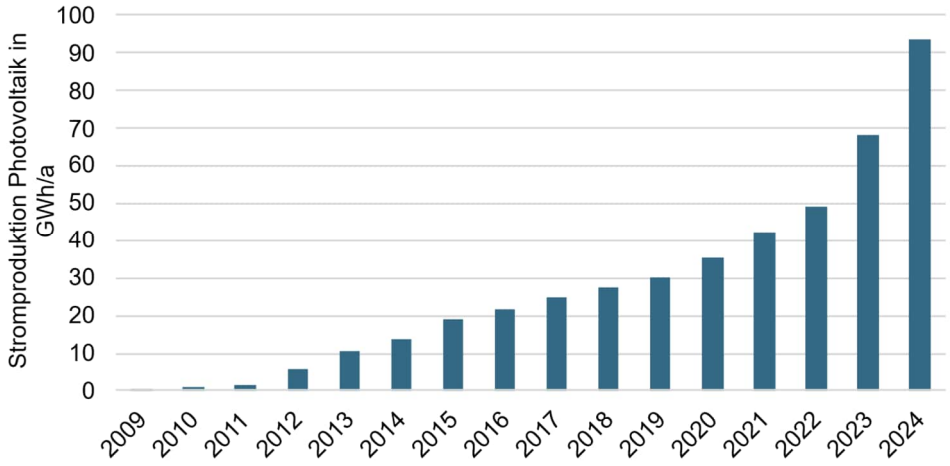


Abbildung 15 Entwicklung der Stromproduktion mit PV seit 2009 (Quelle: Pronovo AG)

Erwartetes Potenzial

Potenzialstudie von Georegio

Eine im Auftrag des Amts für Umwelt des Kantons Zug erstellte Potenzialstudie[10] identifiziert das erwartete Potenzial von PV. Unterschieden werden dabei einerseits Potenziale im Bereich von Gebäuden und andererseits Potenziale gemäss Art. 24ter des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG). Die Potenziale sind untenstehend nach Kategorien aufgeführt. Die

10 Georegio AG (2025): Potenzialstudie Photovoltaik Kanton Zug. Studie im Auftrag des Amts für Umwelt des Kantons Zug.

Potenzialstudie zeigte zudem, dass es im Kanton Zug keine geeigneten Gebiete für PV-Anlagen von nationalem Interesse gibt.

Bestehende Dächer und Fassaden

Das grösste PV-Potenzial besteht in der Nutzung geeigneter Dach- und Fassadenflächen von Gebäuden innerhalb und ausserhalb der Bauzone. Das Potenzial von PV-Anlagen auf bestehenden Dachflächen liegt bei 690 GWh/a, jenes an bestehenden Fassaden bei 103 GWh/a.

Dächer und Fassaden künftiger Gebäude

Das Potenzial künftiger Gebäude wurde anhand der Bauzonenreserven abgeschätzt. Wenn bis 2050 80% der bestehenden Bauzonenreserven überbaut werden, können auf Dächern und Fassaden künftiger Gebäude PV-Anlagen mit einer Stromproduktion von 64 GWh/a realisiert werden.

Parkplätze

Die kantonale Potenzialstudie berücksichtigt Parkplätze mit einer Fläche von über 300 m^2. Die Überdachung dieser Parkplätze liefert ein Potenzial von 49 GWh/a. Die Überdachung von Parkplätzen steht jedoch grundsätzlich im Konflikt mit der Siedlungsentwicklung nach innen. Diese sieht vor, dass Parkplätze langfristig überbaut werden und die Parkplätze in die Gebäude integriert werden.

Freistehende PV-Anlagen im Bereich von Infrastrukturen

Freistehende Anlagen im Bereich von Infrastrukturen nutzen bereits stark vorbelastete und landwirtschaftlich nicht interessante Flächen. Sie erfüllen damit die Anforderungen von Art. 24^{ter} RPG. Das Potenzial wird auf 3 GWh/a geschätzt.

Nicht freistehende PV-Anlagen auf Infrastrukturen

Nicht freistehende PV-Anlagen auf Infrastrukturen sind insbesondere dann bewilligungsfähig, wenn sie mit bestehenden Bauten eine optische Einheit bilden. Das Potenzial solcher PV-Anlagen umfasst Infrastrukturen wie Lärmschutzwände, Stützmauern, Brücken oder Autobahnüberdachungen. Das Potenzial wird auf 9 GWh/a geschätzt.

Agri-Photovoltaik

Agri-PV integriert PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Gemäss Art. 24^{ter} RPG sind solche Anlagen nur zulässig, wenn sie einen Vorteil für die landwirtschaftliche Produktion bringen oder Versuchs- oder Forschungszwecken dienen. Das Potenzial wird angesichts der im Kanton vorherrschenden landwirtschaftlichen Kulturen als gering eingeschätzt. Potenziale bestehen in Spezialandwirtschaftszonen. In der Anfang 2025 bewilligten Spezialandwirtschaftszone „Buuregarte“ besteht ein Potenzial von 4 GWh/a.

Übersicht Potenziale und saisonale Verteilung

Insgesamt ergibt sich für den Kanton Zug ein erwartetes Potenzial für PV von 921 GWh/a. Rund 260 GWh/a davon werden im Winterhalbjahr erzeugt. Von den betrachteten Typen an PV-Anlagen weisen Fassadenanlagen den höchsten Winterstromanteil auf. Die Grössenordnung des Winterstromanteils liegt aber für alle PV-Typen bei ungefähr einem Drittel der Jahresstromproduktion. Abbildung 16 zeigt deutlich, dass PV-Anlagen auf Dächern das mit Abstand grösste Potenzial für Winterstromproduktion aufweisen. Die tatsächliche Realisierung dieses Potenzials hängt massgeblich ab von allfälligen Fördermassnahmen, der Entwicklung und den Kosten von Energiespeichern sowie dem Netzausbau. In der früheren Studie aus dem Jahr 2011 wurde das PV-Potenzial noch auf rund 175 GWh/a geschätzt. Die damalige Nutzung lag bei etwa 0.5 GWh.

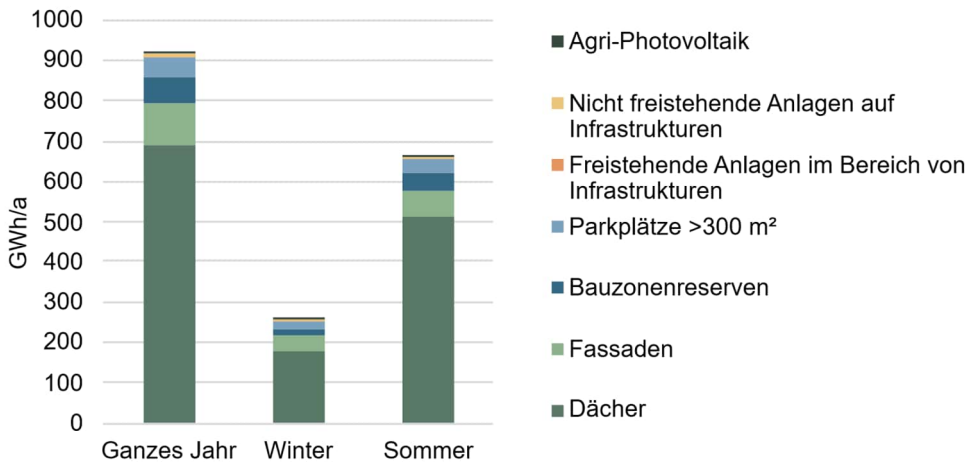


Abbildung 16 Potenzial für Photovoltaik im Kanton Zug (Quelle: Georegio AG)

3.2 Windenergie

Das Wichtigste in Kürze

Im Jahr 2024 gibt es im Kanton Zug noch keine Anlagen, welche Windenergie zur Stromerzeugung nutzen. Das erwartete Potenzial von Windenergie wird auf 55 GWh/a geschätzt, was den verbleibenden Grosswindkraftanlagengebieten nationalen Interesses im Richtplanverfahren entspricht. Das erwartete Potenzial im Winterhalbjahr liegt bei rund 37 GWh/a, zwei Drittel der Gesamtproduktion. Zusätzliche technische Potenziale bestehen durch weitere Gebiete von nationalem Interesse (200 GWh/a, 130 GWh/a davon im Winterhalbjahr) sowie von Kleinwindanlagen in Bauzonen (42 GWh/a, 28 GWh/a davon im Winterhalbjahr). Dieses Potenzial ist in den Abbildungen Abbildung 17 und Abbildung 18 nicht ausgewiesen, da Bewilligungsfähigkeit oder Wirtschaftlichkeit fraglich sind.

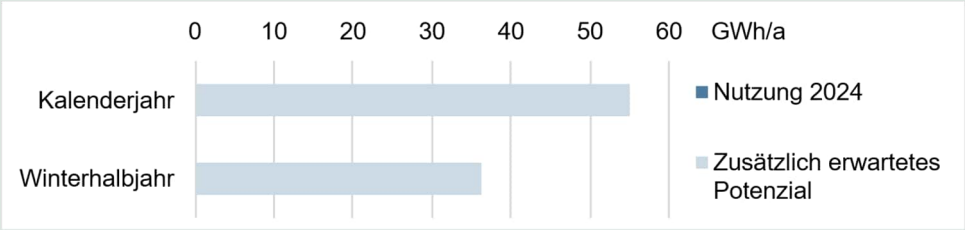


Abbildung 17 Windenergie: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Stromproduktion (Quelle: Georegio AG)

Nutzung im Jahr 2024

Noch keine Nutzung der Windenergie

Im Jahr 2024 gibt es im Kanton Zug noch keine Anlagen, welche Windenergie zur Stromerzeugung nutzen.

Erwartetes Potenzial: Grosswindkraftanlagen

Potenzialstudie von Georegio: Fokus auf Grossanlagen

Eine vom Amt für Raum und Verkehr des Kantons Zug beauftragte Potenzialstudie[11] identifiziert das erwartete Potenzial von Windenergie. Die Studie identifiziert potenzielle Gebiete, welche die Voraussetzungen für Windparks von nationalem Interesse aufweisen. Dafür nötig ist ein Produktionspotenzial von über 20 GWh/a. Die Studie berücksichtigt rechtliche, technische und ökologische Kriterien gemäss dem Konzept Windenergie des Bundes[12]. Ausgeschlossen werden Gebiete, in welchen aufgrund Schutzinteressen die Windenergienutzung ausgeschlossen ist. Ebenfalls ausgeschlossen werden Gebiete mit unzureichender Windgeschwindigkeit für eine wirtschaftliche Nutzung der Windenergie. Für die verbleibenden Flächen wurden jene Windpotenzialgebiete ausgewählt, die ein jährliches Produktionspotenzial von mindestens 20 GWh aufweisen und damit als Standorte von nationalem Interesse gelten.

Sieben geeignete Gebiete für Windparks von nationalem Interesse gemäss Potenzialstudie

Die Windverhältnisse im Kanton Zug sind für die Windenergienutzung gut geeignet. Mittels der oben beschriebenen Methodik identifiziert die Studie 13 Standorte mit ausreichendem Windpotenzial für einen Windpark von nationalem Interesse. Aufgrund von Konflikten zu technischen Bundesinteressen wurden sechs dieser 13 Gebiete ausgeschlossen. Das Potenzial der sieben verbleibenden Gebiete beträgt rund 262 GWh/a (Abbildung 18). Windenergie weist einen hohen Winterstromanteil auf, 173 GWh/a des erwarteten Potenzials fallen im Winterhalbjahr an. Für die sieben Gebiete erfolgt ein Richtplanverfahren mit vertiefter technischer Prüfung und Interessensabwägung, welche die Anzahl der realisierbaren Gebiete bereits auf zwei reduziert hat. Das erwartete Potenzial wird daher auf diese zwei verbleibenden und mittlerweile angepassten Gebiete «Raten» und «Früebüel» mit einem Potenzial von rund 55 GWh begrenzt. In der Studie aus dem Jahr 2011 wurde noch kein Windenergiepotenzial ausgewiesen.

Grossanlagen in Gebieten ohne nationales Interesse

Die Windpotenzialstudie von Georegio identifizierte auch kleinere Potenzialgebiete für Grosswindkraftanlagen mit Energiepotenzialen von weniger als 20 GWh/a. Diese Gebiete sind nicht von nationalem Interesse und somit rechtlich deutlich schwieriger realisierbar. Auch für diese Grossanlagen gilt, dass sie im kantonalen Richtplan aufgenommen werden müssen. Sie werden für die Potenzialschätzung nicht berücksichtigt, da sie nur nach einem langen und unsicheren rechtlichen Verfahren realisiert werden könnten.

11 Georegio AG (2025): Windpotenzialstudie Kanton Zug. Studie im Auftrag des Amts für Raum und Verkehr des Kantons Zug.

12 Konzept Windenergie ARE

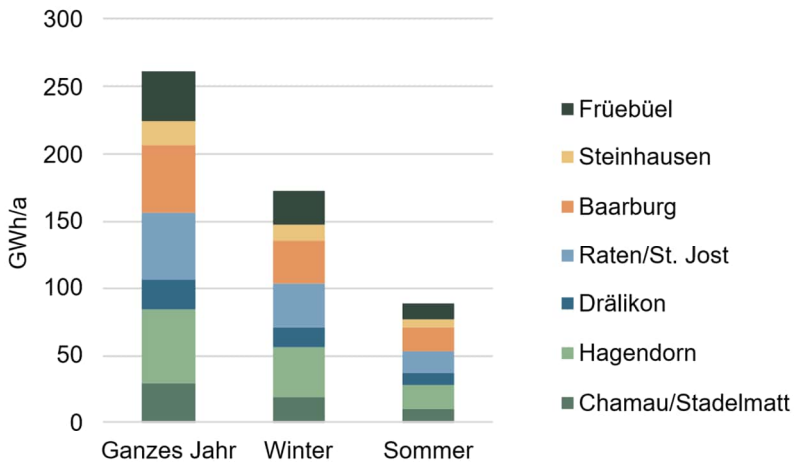


Abbildung 18 Potenzial für Windenergieanlagen von nationalem Interesse im Kanton Zug, unterschieden nach den sieben identifizierten Gebieten (Quelle: Georegio AG)

Erwartetes Potenzial: Kleinwindanlagen in Bauzonen

Zusätzliche GIS-Analyse für Kleinwindanlagen in Bauzonen

Mit einer GIS-Analyse wurden im Rahmen der vorliegenden Studie geeignete Gebiete für Kleinwindanlagen in Bauzonen identifiziert. Die Methodik orientiert sich an der im Jahr 2025 publizierten Studie des Kantons Zürich zu Kleinwindanlagen[13]. Betrachtet wurden alle Bauzonen, in welchen die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit auf 50 m Höhe über Grund über 3 m/s liegt[14]. Ausgeschlossen wurden Gebiete, welche sich in Ortsbildschutzzonen gemäss Inventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (ISOS) befinden. Abbildung 20 zeigt die Windgeschwindigkeit in den jeweiligen Bauzonen mit Einbezug der ISOS-Zonen. Wie in der Studie von Georegio für Grossanlagen wurde ein Flächenbedarf der einzelnen Windanlagen angenommen (vgl. Anhang A1.2).

Technisches Potenzial von Kleinwindanlagen

Für Kleinwindanlagen in Bauzonen ergibt sich ein technisches Potenzial von 42 GWh/a. 28 GWh/a des technischen Potenzials fallen im Winterhalbjahr an. Abbildung 19 zeigt, dass das Potenzial in Wohnzonen am höchsten ist. Für eine Umsetzung von Kleinwindanlagen ist eine raumplanerische Interessensabwägung und eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen nötig, welche im ausgewiesenen Potenzial nicht berücksichtigt ist.

13 Kanton Zürich (2025). Kleinwindanlagen.

14 BFE (2025): Windatlas Schweiz.

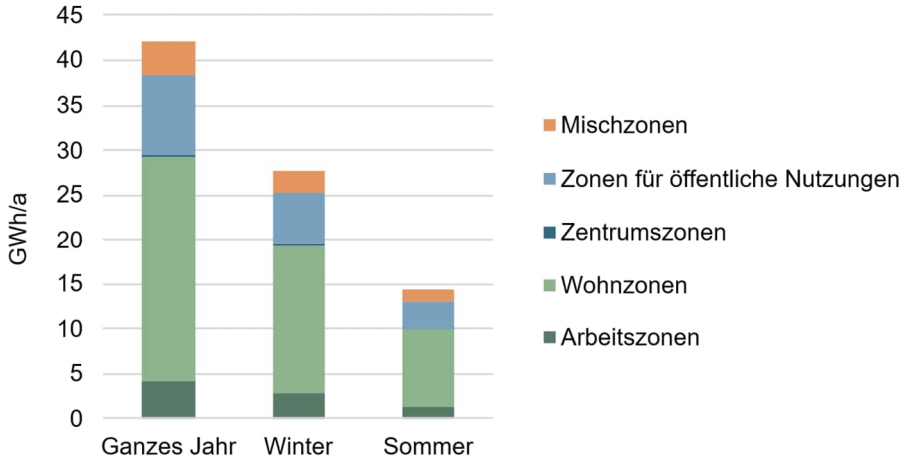


Abbildung 19 Technisches Potenzial von Kleinwindanlagen in Bauzonen im Kanton Zug, unterschieden nach den einzelnen Bauzonen (Quelle: Eigene Auswertung)

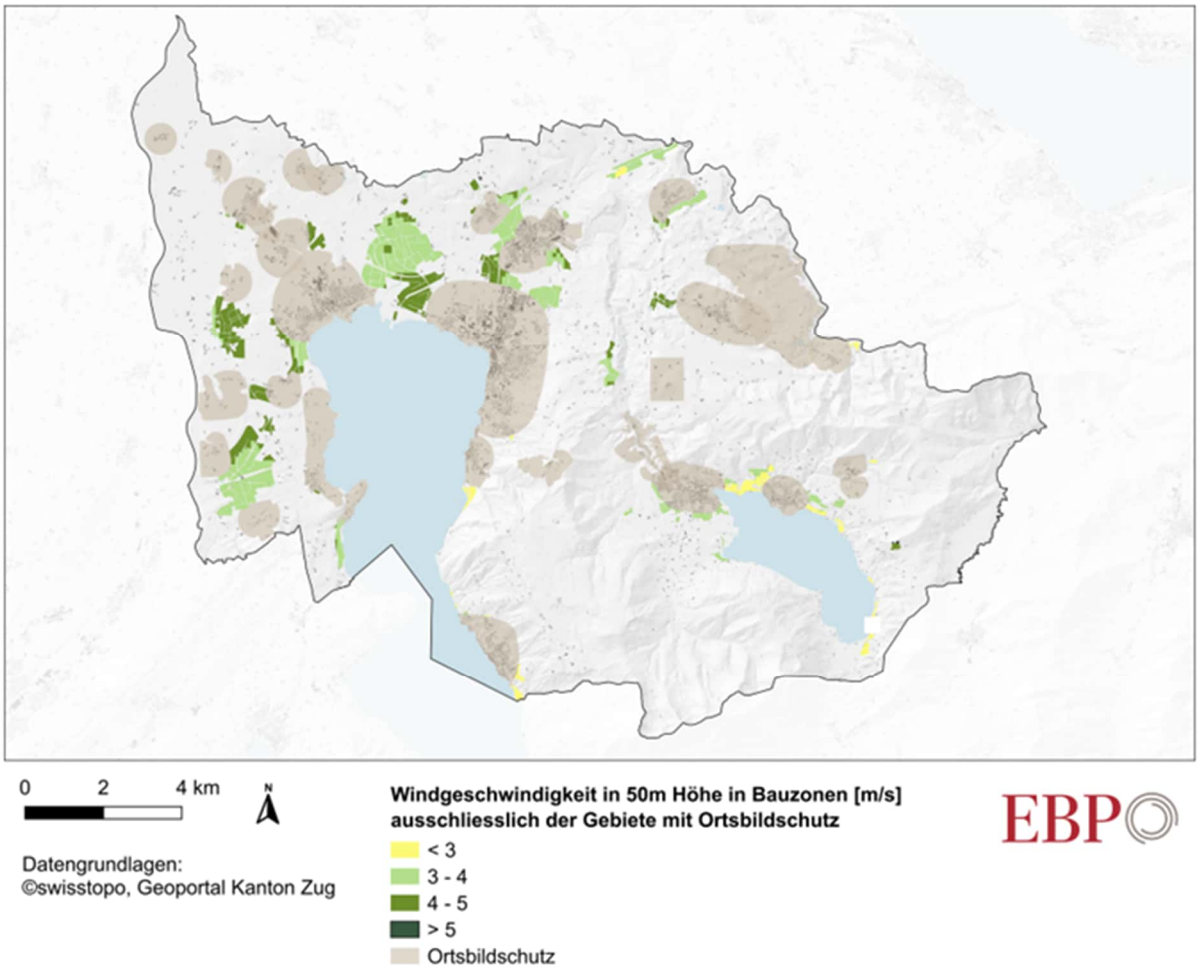


Abbildung 20 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten in Bauzonen in 50 m Höhe über Grund mit Einbezug der ISOS-Zonen.

3.3 Wasserkraft

Das Wichtigste in Kürze

Im Jahr 2024 wurde im Kanton Zug in 19 Wasserkraftanlagen 46 GWh Strom erzeugt. 21 GWh wurden im Winterhalbjahr produziert. Die heutige Nutzung schöpft das erwartete Potenzial nahezu aus. Es verbleibt nur ein sehr geringes zusätzliches Potenzial. Mögliche Produktionsminderungen aufgrund von ökologischen Sanierungen und höheren Restwassermengen sind nicht auszuschliessen.

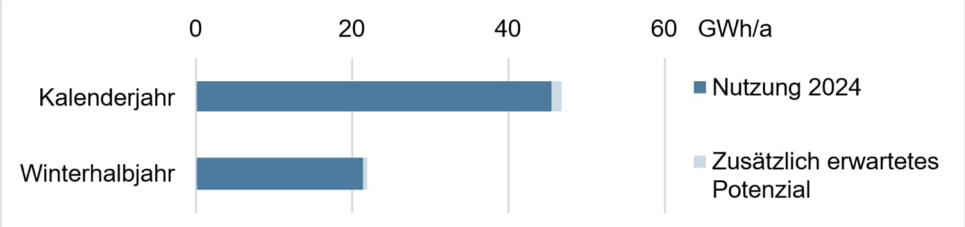


Abbildung 21 Wasserkraft: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Stromproduktion

Nutzung im Jahr 2024

Wasserkraftanlagen im Kanton Zug

Gemäss Angaben von Pronovo[15] befinden sich im Kanton Zug 19 Wasserkraftanlagen. Diese liegen in den Gemeinden Unterägeri, Walchwil, Oberägeri, Zug, Baar, Cham und Menzingen. Die Nutzung der Wasserkraft erfolgt im Kanton Zug vor allem mit Lauf- und Ausleitkraftwerken. Zusätzlich gibt es einzelne kleinere Nutzungen in Trinkwasserkraftwerken. Speicherkraftwerke gibt es im Kanton Zug keine.

Stromproduktion im Jahr 2024

Im Jahr 2024 wurde im Kanton Zug mit Wasserkraft 46 GWh Strom erzeugt. 21 GWh wurden im Winterhalbjahr produziert[16]. 2009 waren es noch 27 GWh. Die Studie aus dem Jahr 2011 hatte das Potenzial der Wasserkraft ausserdem noch auf rund 34 GWh geschätzt. Damit hat die heutige Nutzung die damalige Prognose sogar um 35% übertroffen. Abbildung 22 zeigt die Stromproduktion im Jahr 2024 nach Standortgemeinden der Wasserkraftanlagen.

15 Pronovo (2024). Stromproduktion und -verbrauch im Kanton Zug.

16 Die saisonalen Unterschiede in der Stromproduktion der Wasserkraftanlagen wurden mit Daten der Statistik der Wasserkraftanlagen (WKA) der Schweiz (WASTA, Stand 1.1.2025) ermittelt. Dabei lagen Datengrundlagen der sieben grössten WKA vor. Die saisonalen Unterschiede für die verbleibenden WKA wurden mit Analogieschlüssen ermittelt.

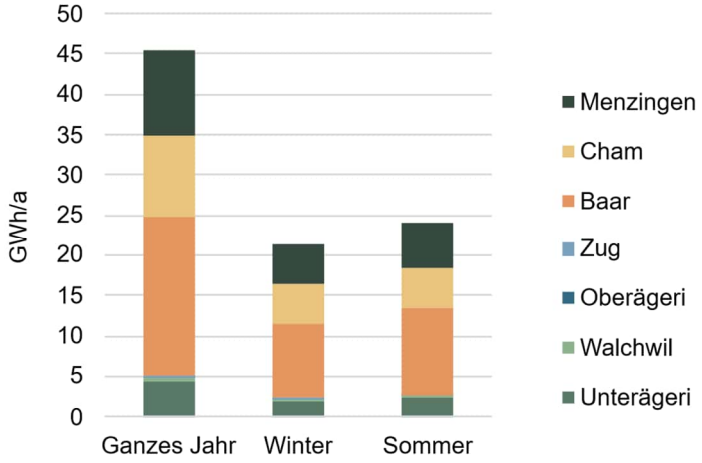


Abbildung 22 Stromproduktion der Wasserkraftanlagen im Jahr 2024 nach Standortgemeinden (Quelle: Pronovo).

Erwartetes Potenzial

Erwartetes Potenzial gering

Im Rahmen der geplanten Optimierung der Wasserkraftanlage Lorze werden die Druckleitungen der beiden Werke KWZ 1 und KWZ 2 zusammengeführt. Zusätzlich wird die bisher ungenutzte Gefällstufe im Lorzentobel mit einer Fallhöhe von 13 m erschlossen. Parallel dazu erfolgt die Erneuerung der Zentrale. Diese Massnahmen führen in Zukunft zu einer Produktionserhöhung von 1.3 GWh pro Jahr, gleichmässig aufgeteilt im Sommer und Winter. Abgesehen vom laufenden Projekt der Optimierung der Wasserkraftanlage Lorze werden gemäss Schätzung des Kantons Zug bereits alle wirtschaftlich nutzbaren Gewässerstufen genutzt. Ein noch nicht quantifiziertes, aber sehr geringes Potenzial könnte in noch nicht energetisch genutzten Trinkwasserkraftwerken bestehen. Demgegenüber können ökologische Sanierungen und Erhöhungen der Restwassermengen zu einer Reduktion der Stromproduktion mit Wasserkraft führen.

3.4 Abwärme

Das Wichtigste in Kürze

Als Abwärmequellen wurden die Kehrichtverbrennungsanlage Renergia Zentralschweiz AG (KVA Renergia), Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Abwasserkanäle sowie ausgesuchte Betriebe untersucht. Im Jahr 2024 wurden 12 GWh Abwärme genutzt. Grosse zusätzliche Potenziale weisen die KVA Renergia und die ARA Schönau in Cham auf. Weitere relevante Potenziale bestehen in der Abwärmenutzung von Rechenzentren. Insgesamt weist Abwärme ein erwartetes Potenzial von rund 130 GWh/a auf. Allerdings fällt Abwärme in den meisten Betrieben gleichmässig über das Jahr an, während die Wärmenutzung überwiegend im Winter erfolgt. Für die vollständige Nutzung des erwarteten Potenzials ist eine saisonale thermische Speicherung nötig.

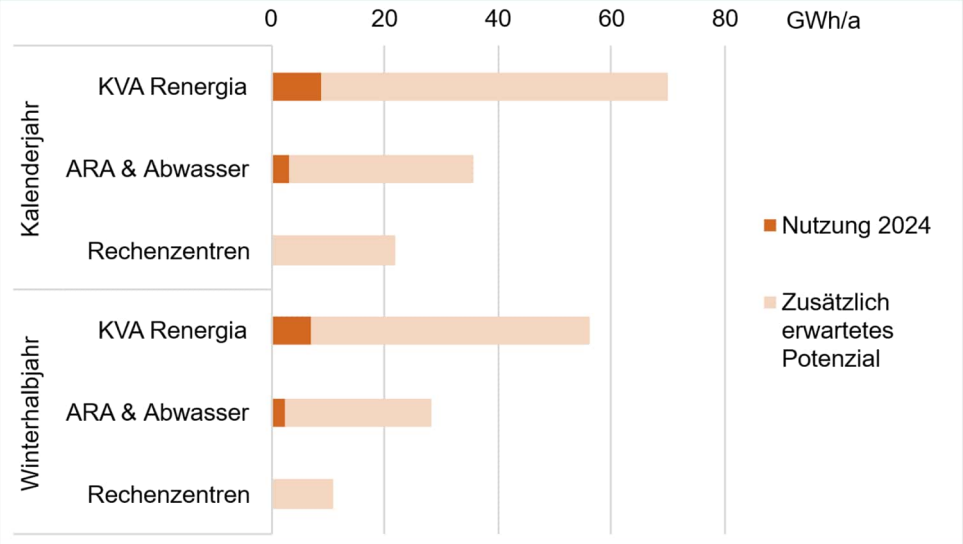


Abbildung 23 Abwärme: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärmenutzung

Betrachtete Abwärmequellen

In dieser Studie wurde potenzielle Abwärme aus der KVA Renergia, aus den ARA im Kanton sowie aus ausgesuchten Betrieben inkl. Rechenzentren betrachtet. Hochwertige Abwärme, bspw. jene der KVA, fällt auf einem Temperatur-Niveau an, welches direkt zur Stromerzeugung genutzt oder in ein Wärmenetz eingespeist werden kann. Niederwertige Abwärme, bspw. von ARA oder Rechenzentren, muss für die Nutzung mittels Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden.

Nutzung im Jahr 2024: Kehrichtverbrennungsanlage Renergia

Nutzung 2024 für Fernwärme: 140 GWh

Die im Kanton Zug anfallenden Abfallmengen werden in der KVA Renergia verwertet[17]. Diese befindet sich ausserhalb des Kantons Zug in Perlen im Luzernischen Root. Abbildung 24 zeigt, dass die KVA Renergia energetisch bereits intensiv genutzt wird[18]. Sie versorgt bereits drei Fernwärmenetze im Kanton Luzern (Äste Root, Ebikon und Luzern). Die Wärmelieferung an diese Netze stieg von knapp 80 GWh im Jahr 2019 auf 130 GWh im Jahr

17 Der Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (ZEBA) liefert rund 20'000 Tonnen Abfall pro Jahr. Dies sind rund 15% der Abfallanlieferung der der KVA Renergia angeschlossenen kommunalen Verbände.

18 Jahresberichte der Renergia Zentralschweiz AG, 2020 bis 2024.

2024. Die KVA Renergia liefert auch Wärme an den Wärmeverbund Ennetsee der WWZ. Die Wärmelieferung betrug 2024 9 GWh. Insgesamt betrug die Lieferung an Fernwärmenetze im Jahr 2024 damit 140 GWh.

Insgesamte energetische Nutzung 2024: rund 600 GWh

Neben der Wärmelieferung an Fernwärmenetze liefert die KVA Renergia Prozessdampf an die Perlen Papier AG. Die jährlich gelieferten Mengen schwanken erheblich, im Jahr 2024 betrug die Dampflieferung 254 GWh. Zusätzlich erzeugt die Renergia jährlich rund 200 GWh Strom, wovon rund 10% selbst verbraucht werden.

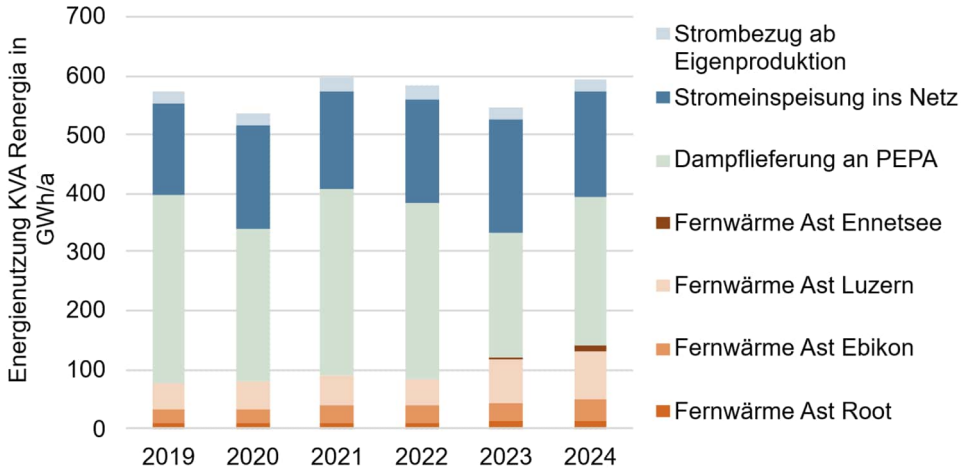


Abbildung 24 Energienutzung der KVA Renergia von 2019 bis 2024. Diese umfasst einerseits die Wärmelieferung an Fernwärmnetze im Kanton Luzern (Root, Ebikon, Luzern) und im Kanton Zug (Ennetsee). Zudem liefert die KVA Renergia Dampf an die Perlen Papier AG (PEPA) und erzeugt Strom.

Erwartetes Potenzial: Kehrichtverbrennungsanlage Renergia

Erwartetes Potenzial für die Nutzung im Kanton Zug: 70 GWh/a

Im Jahr 2050 wird eine durch Recycling und Reduktion von Lebensmittelabfällen reduzierte Abfallmenge von 206'000 Tonnen pro Jahr erwartet. Diese Abfallmenge hat einen Energiegehalt von 740 GWh/a[19]. Zieht man von diesem Potenzial eine jährliche Dampflieferung an die Perlen Papier AG von 300 GWh und eine jährliche Stromerzeugung von 200 GWh ab, so verbleiben 240 GWh/a für Fernwärme. Die Potenzialstudie des Kantons Luzern hält fest, dass die Renergia bis 2030 eine Steigerung des Fernwärmeabsatzes auf 170 GWh/a plant. Die WWZ plant einen Ausbau des Wärmeverbunds Ennetsee auf 68 GWh/a. Als erwartetes Potenzial für die Abwärmenutzung der KVA Renergia im Kanton Zug wird deshalb von rund 70 GWh/a ausgegangen.

Einschränkungen zum erwarteten Potenzial

Eine wichtige Einschränkung ist, dass von der Ausbauplanung der Renergia ein grosser Teil der Wärme bereits 2024 durch Fernwärmenetze im Kanton Luzern beansprucht werden. Im Abgleich mit diesen Fernwärmenutzungen im Kanton Luzern und den weiteren energetischen Nutzungen (Dampf und Stromerzeugung) ist die Fernwärmenutzung der KVA-Abwärme im Kanton Zug möglichst zu optimieren. Ein weiterer zentraler Aspekt, um die Abwärme der KVA möglichst optimal zu nutzen, ist eine saisonale Speicherung der im

19 Kanton Luzern (2024): Potenziale der erneuerbaren Energieproduktion im Kanton Luzern.

Sommer anfallenden thermischen Energie[20]. In der vorhergehenden Studie von 2011 wurde die KVA Renergia im Kanton Zug noch nicht als Abwärmequelle genutzt bzw. als Potenzial betrachtet.

Nutzung im Jahr 2024: Abwasserreinigungsanlagen

Nutzung 2024: 3 GWh

Im Kanton Zug befinden sich zwei ARA:

— Die deutlich grösste Anlage ist die ARA Schönau in Cham. Ihre Abwärme wird bereits durch die ARA selbst, das Schulhaus Hagendorn, sowie in einem privaten Wärmeverbund genutzt. Der Absatz im Jahr 2024 liegt bei ca. 3 GWh. 2009 lag der Absatz noch bei 0.4 GWh.

— Die etwas abgelegene ARA Neuheim weist wenig Abwärmepotenzial auf. Die Abwärme wird heute nicht genutzt und dürfte eine vernachlässigbare Rolle in der Wärmeversorgung im Kanton Zug spielen.

Erwartetes Potenzial: Abwasserreinigungsanlagen

Erwartetes Potenzial: 36 GWh/a

Das grösste Potenzial zur Abwärmenutzung weist die ARA Schönau in Cham auf. Eine Machbarkeitsstudie der Ryser Ingenieure AG hat ein noch ungenutztes Potenzial von 22 bis 48 GWh ermittelt. Die kantonale Potenzialstudie aus dem Jahr 2011 bezifferte das Gesamtpotenzial noch auf mindestens 9 GWh. Das damals erhobene Potenzial der ARA der Cham Paper Group ist durch deren Ausserbetriebnahme hinfällig. In der 2011er Studie wurde zudem das ökologische Abwärmepotenzial der verbauten Abwasserkanäle mit dem ungereinigten Wasser auf ca. 0.5 GWh abgeschätzt. Mit dem Mittelwert der Potenzialschätzungen ergibt sich ein erwartetes Potenzial von 36 GWh/a. Aufgrund der tiefen Wärmebedarfsdichte ist in Hagendorn jedoch nur ein kleiner Anteil dieses Potenzials wirtschaftlich erschliessbar. Denkbar ist eine Wärmeentnahme aus den Abwasserkanälen im Zulauf. Diese könnte in den Teilkanälen in Baar, Zug oder Cham erfolgen. Hierbei wäre sicherzustellen, dass die Prozesse in der ARA durch den Wärmeentzug nicht beeinträchtigt werden. Es ist zu beachten, dass die niederwertige Abwärme aus ARA und Abwasser zur Wärmenutzung mit Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden muss.

Nutzung im Jahr 2024: Betriebe, inkl. Rechenzentren

Nutzung im Jahr 2024: Eher geringe Nutzung

Interessant für die Abwärmenutzung sind Betriebe, die Prozesswärme auf hohem Temperaturniveau oder grössere Mengen niederwertige betriebliche Abwärme aufweisen. In der kantonalen Potenzialstudie aus 2011 wurden vier ausgesuchte Betriebe zu ihrem Abwärmepotenzial befragt. Zwei dieser Betriebe sind mittlerweile nicht mehr im Kanton Zug tätig. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden wieder vier ausgewählte Betriebe interviewt, davon ein Rechenzentrum. Rechenzentren liefern über das gesamte Jahr kontinuierlich niederwertige Abwärme, die zur Wärmenutzung mit Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden muss. Weitere Rechenzentren im Kanton wurden mit einer Online-Recherche[21] identifiziert. Die interviewten und identifizierten Betriebe sind in Tabelle 1 aufgeführt, die Interviews in Anhang A1.2 detaillierter beschrieben. In den interviewten

20 Zum Beispiel mit Wassertanks, Erdbeckenspeicher, Aquiferspeicher oder Erdsondenfelder

21 Verwendet wurden insbesondere Karte Schweizer Webhosting und Data Center Map (Zugriff im Februar 2026)

Betrieben fällt Abwärme an. Diese wird jedoch überwiegend für den eigenen Bedarf verwendet oder, in bisher geringen Mengen in direkter Nachbarschaft.

Erwartetes Potenzial: Betriebe, inkl. Rechenzentren

Erwartetes Potenzial: 22 GWh/a

Das erwartete Potenzial scheint für die interviewten Betriebe gering zu sein. Entweder besteht keine substanzielle zusätzliche Abwärme oder die Nutzung scheint nicht wirtschaftlich. Konkrete Potenziale bestehen in der Nutzung der Abwärme der Rechenzentren im Kanton. Basierend auf dem Interview mit der CKW Fiber Services AG wurde deren erwartetes Abwärmepotenzial auf rund 2 GWh/a beziffert. Für die restlichen identifizierten Rechenzentren wird mit einer konservativen Hochrechnung ein erwartetes Potenzial von 20 GWh/a abgeschätzt (vgl. Anhang A1.2). In der vorherigen Studie von 2011 wurde das Potenzial ausgewählter Betriebe auf 60 GWh geschätzt. Es ist unklar, wie viel des Potenzials mittlerweile innerhalb jener Betriebe genutzt wird.

Betrieb	Nutzung 2024	Erwartetes Potenzial
Multi Energy Zug AG (Interview durchgeführt)	Geringere Nutzung Druckluft-Abwärme der V-Zug AG sowie nächstes Jahr der SHL	Nutzung Druckluft-Abwärme der SHL Nutzung der Wärme der grösseren Brenneröfen der V-Zug bereits mehrmals geprüft, aber als nicht wirtschaftlich eingeschätzt.
Unternehmen aus der Bauindustrie (Interview durchgeführt)	Anfallende Abwärme wird für eigene Gebäude genutzt, ev. begrenzte Nutzung für direkte Nachbargebäude möglich	
Kunsteisbahn Zug AG (Interview durchgeführt)	Kleiner Energieverbund mit drei umliegenden Liegenschaften (Uptown-Gebäude, Sporthalle, Überbauung Schutzengel).	Integration in Energieverbund Circulago.
CKW Fiber Services AG in Rotkreuz (Interview durchgeführt)	Deckung eigener Raumwärmebedarf.	Erwartetes Potenzial niederwertige Abwärme von 2.2 GWh/a
Weitere Rechenzentren (Keine Interviews durchgeführt): Convotis in Baar; Datasource AG in Baar, Hünenberg und Zug; Datawire AG in Cham, Steinhausen und Baar; META10 (databaar) in Baar; WWZ AG in Zug	Nutzung 2024 unbekannt.	Konservativ geschätztes erwartetes Potenzial niederwertiger Abwärme von 20 GWh/a

Tabelle 1: Betriebe mit potenzieller Abwärme, inkl. mit einer Online-Recherche identifizierte Rechenzentren.

3.5 Geothermie

Das Wichtigste in Kürze

Die Energiepotenziale von Geothermie werden in drei Kategorien unterschieden: Oberflächennahe Erdwärme, Oberflächennahes Grundwasser und Tiefengeothermie. Die oberflächennahe Erdwärme wird mit rund 90 GWh im Jahr 2024 heute bereits weiträumig genutzt und weist ein grosses Potenzial für zusätzliche Nutzungen auf. Um dieses Potenzial effizient zu nutzen und um langfristig den Strombedarf der Wärmepumpen zu reduzieren, sind Massnahmen zur Regeneration des Erdreichs wichtig. Ebenfalls ein grosses zusätzliches Potenzial hat die Nutzung des oberflächennahen Grundwassers. Zuletzt bietet auch die Tiefengeothermie relevante Potenziale sowohl für die Wärme- und Stromproduktion, deren Erschliessung jedoch hohe Fündigkeitsrisiken aufweist. Die oberflächennahe Erdwärme und Grundwasser können ergänzend zur Kälteerzeugung und saisonalen Speicherung thermischer Energie genutzt werden.

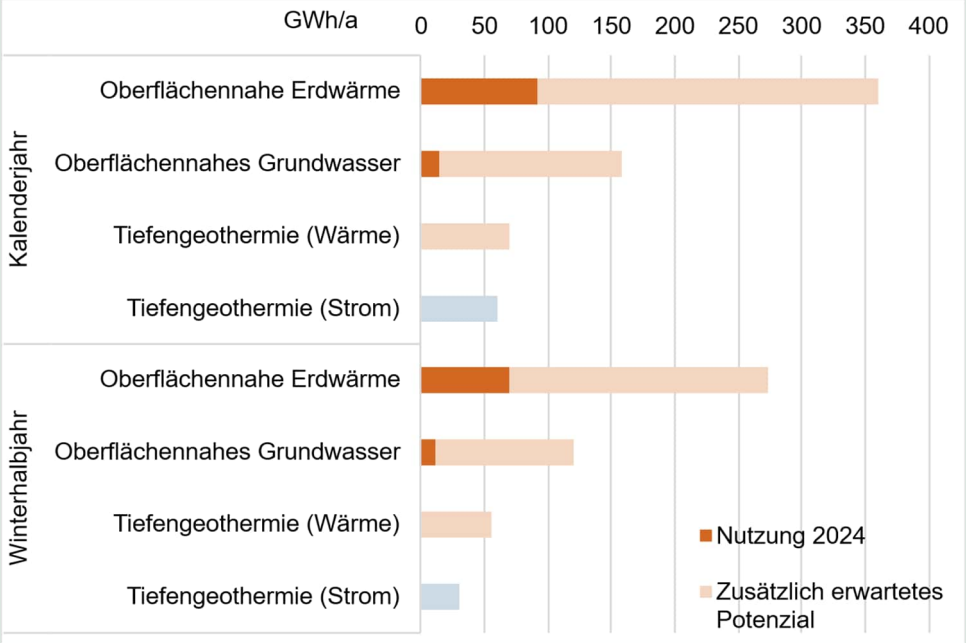


Abbildung 25 Geothermie: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärmenutzung und Stromproduktion

Kategorien der Nutzung von Geothermie

Drei Kategorien der Geothermie-Nutzung

Die vorliegende Studie betrachtet drei unterschiedliche Kategorien der Nutzung von Erdwärme. Diese sind in Abbildung 26 dargestellt.

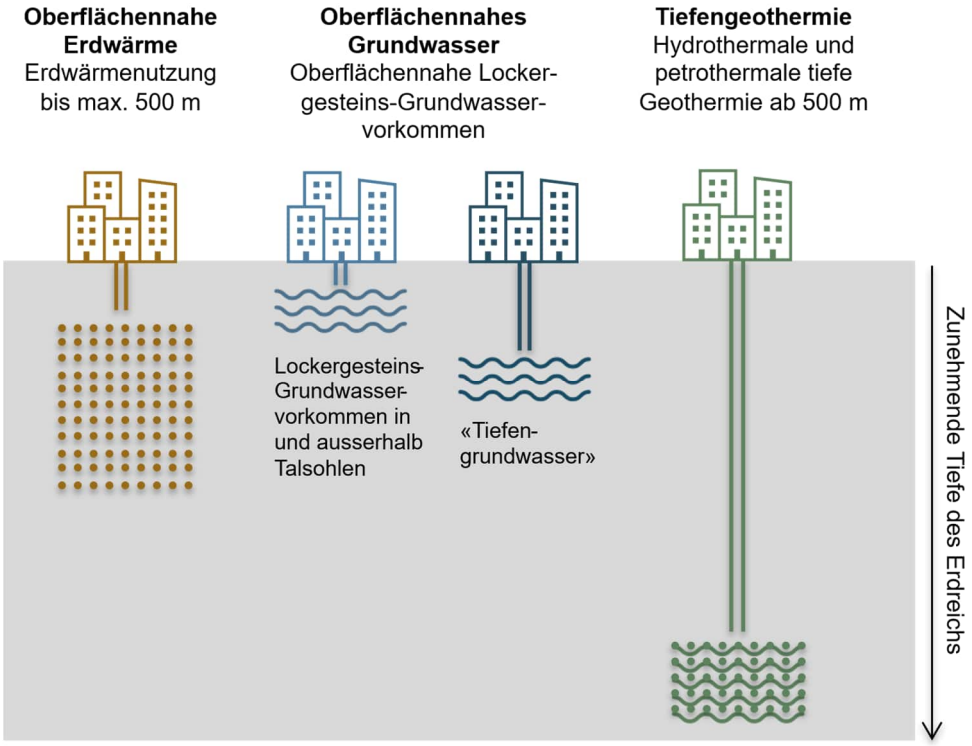


Abbildung 26 In dieser Studie betrachtete Kategorien der Nutzung von Geothermie

Nutzung im Jahr 2024: Oberflächennahe Erdwärmenutzung

Zulässigkeit der oberflächennahen Erdwärmenutzung

Die oberflächennahe Nutzung der Erdwärme mit Erdwärmesonden ist im Kanton Zug bis maximal 500 m Tiefe zulässig[22]. Erdwärmesonden sind in der Regel nur ausserhalb von Gebieten mit nutzbarem Grundwasser zulässig. Abbildung 27 zeigt die Zulässigkeitsgebiete für die Erdwärmenutzung innerhalb der Bauzonen räumlich auf. In der Stadt Zug sowie in Baar Dorf befinden sich grössere Gebiet mit hoher Wärme-/Kältenachfrage, wo Erdsonden unzulässig sind.

Nutzung von 92 GWh im Jahr 2024

Die Beschreibung der Nutzung im Jahr 2024 stützt sich auf die in Kapitel 2.1 erhobene Wärmebilanz. Diese gebäudescharfe Auswertung bezog Standorte von Erdsondenbohrungen mit ein. Im Jahr 2024 wurden mit oberflächennaher Erdwärme bereits 92 GWh Wärme genutzt. Gemäss Studie von 2011 lag die Nutzung 2009 bei rund 26 GWh.

22 Kanton Zug (2025). Energienutzung aus Untergrund und Wasser.

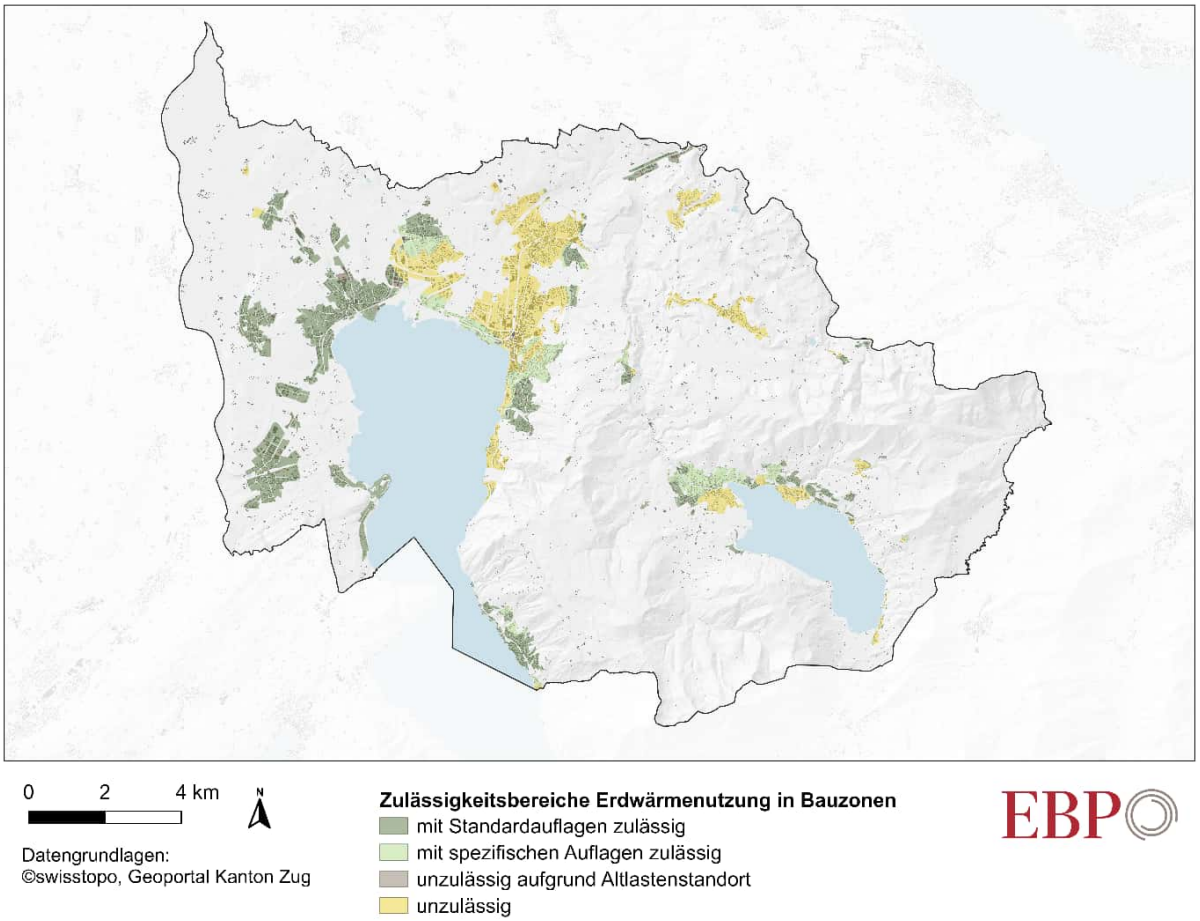


Abbildung 27 Zulässigkeitsbereiche Erdwärmenutzung im Kanton Zug in Bauzonen.

Erwartetes Potenzial: Oberflächennahe Erdwärmenutzung

Erwartetes Potenzial von 360 GWh/a

Das erwartete Potenzial der oberflächennahen Erdwärmenutzung wurde mit einer GIS-Analyse abgeschätzt. Das Potenzial ergibt sich aus dem Wärmebedarf innerhalb zulässiger Erdwärmenutzungsgebiete. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden nur Gebäude betrachtet, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden. Dies ergibt ein erwartetes Potenzial von 360 GWh/a. 2011 wurde das Potenzial auf 930 GWh/a geschätzt.

Wichtigkeit von Regenerationsmassnahmen

Mit steigender Dichte der Erdwärmesonden verstärkt sich der Bedarf für Massnahmen zur Erdsonden-Regeneration. Ab einer Wärmebedarfsdichte von jährlich 150 MWh pro Hektar werden Regenerationsmassnahmen empfohlen, um eine Abkühlung des Bodens zu vermeiden. Abbildung 28 zeigt in brauner Schraffierung die Gebiete im Kanton Zug, in welchen dieser Schwellenwert überschritten würde, wenn alle verbliebenen fossilen Heizungen durch Wärmepumpen mit Erdwärmesonden ersetzt würden. Würde die Nutzung oberflächennaher Erdwärme nur unter diesem Schwellenwert erfolgen, so reduziert sich das erwartete Potenzial deutlich auf 152 GWh/a. Aktuell liegen noch keine kantonalen Vorgaben oder Richtlinien für Regenerationsmassnahmen vor. Vorgaben oder Anreize für die Regeneration von

Erdwärme könnten durch Anpassungen der gesetzlichen Grundlagen oder beim Förderprogramm geschaffen werden.

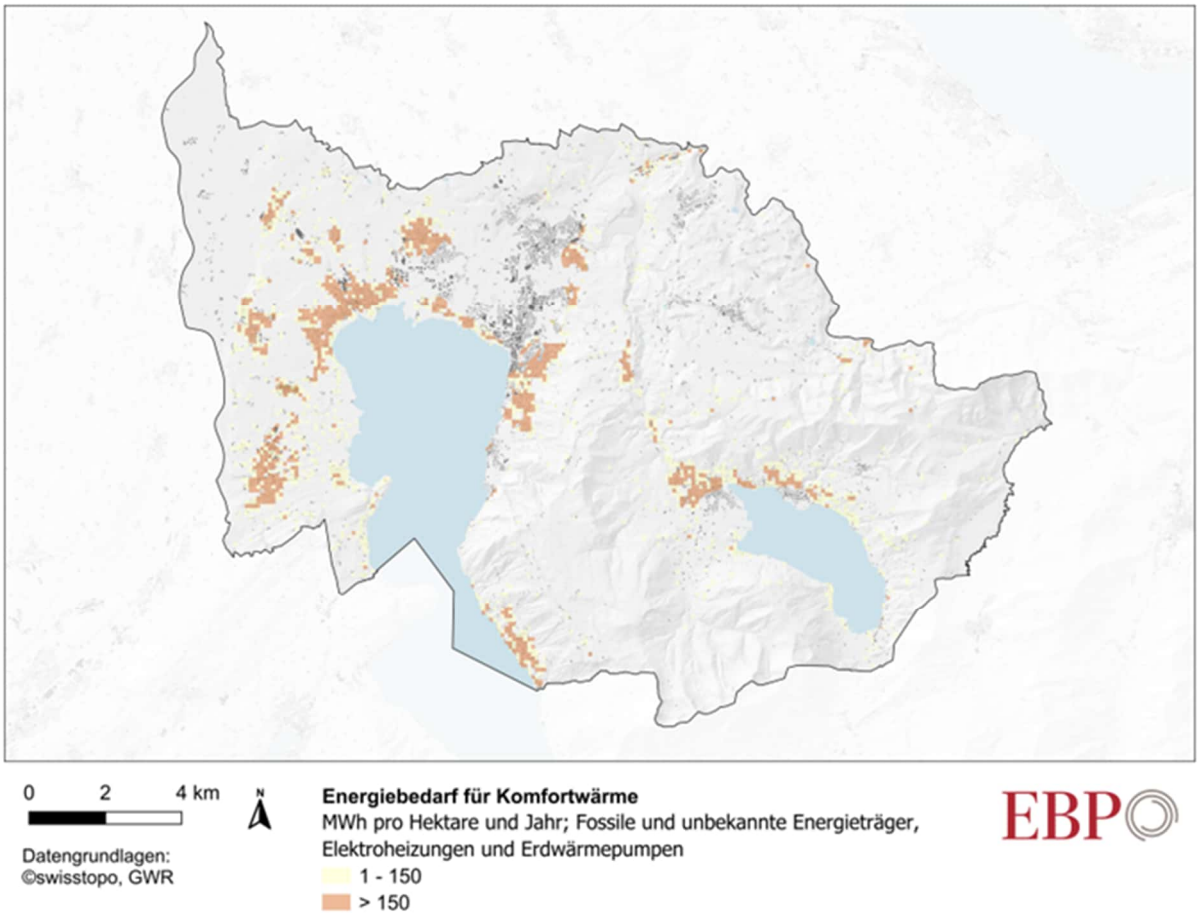


Abbildung 28 Künftiger Regenerationsbedarf der Erdwärme pro Hektar. Dargestellt ist die Energiebedarfsdichte für Wärme in hektarscharfer Auflösung innerhalb der für Erdwärmenutzung zulässigen Gebiete. Die Analyse umfasst fossile Energieträger, Elektroheizungen, Erdwärmepumpen und unbekannte Energieträger.

Nutzung im Jahr 2024: Oberflächennahes Grundwasser

Übersicht Grundwasservorkommen

Im Kanton Zug gibt es drei Kategorien von Vorkommen von oberflächennahmen Grundwasser, die in Abbildung 29 räumlich dargestellt sind:

— Lockergesteins-Grundwasservorkommen in Talsohlen (Reusstal, Baarerbecken, Randgebiete Zuger- und Ägerisee)

— Lockergesteins-Grundwasservorkommen ausserhalb Talsohlen (bspw. Zuger Bergland, Menzingen/Neuheim)

— Tiefengrundwasser[23] (ältere schottergefüllte Rinnen und Becken, Baarerbecken, Richterswil-Zug, Blickensdorf-Knonau, Unterägeri)

23 Beim Begriff «Tiefengrundwasser» handelt es sich um einen historisch gewachsenen Begriff. Die entsprechenden Grundwasservorkommen befinden sich in einer Tiefe von bis zu 200 Metern.

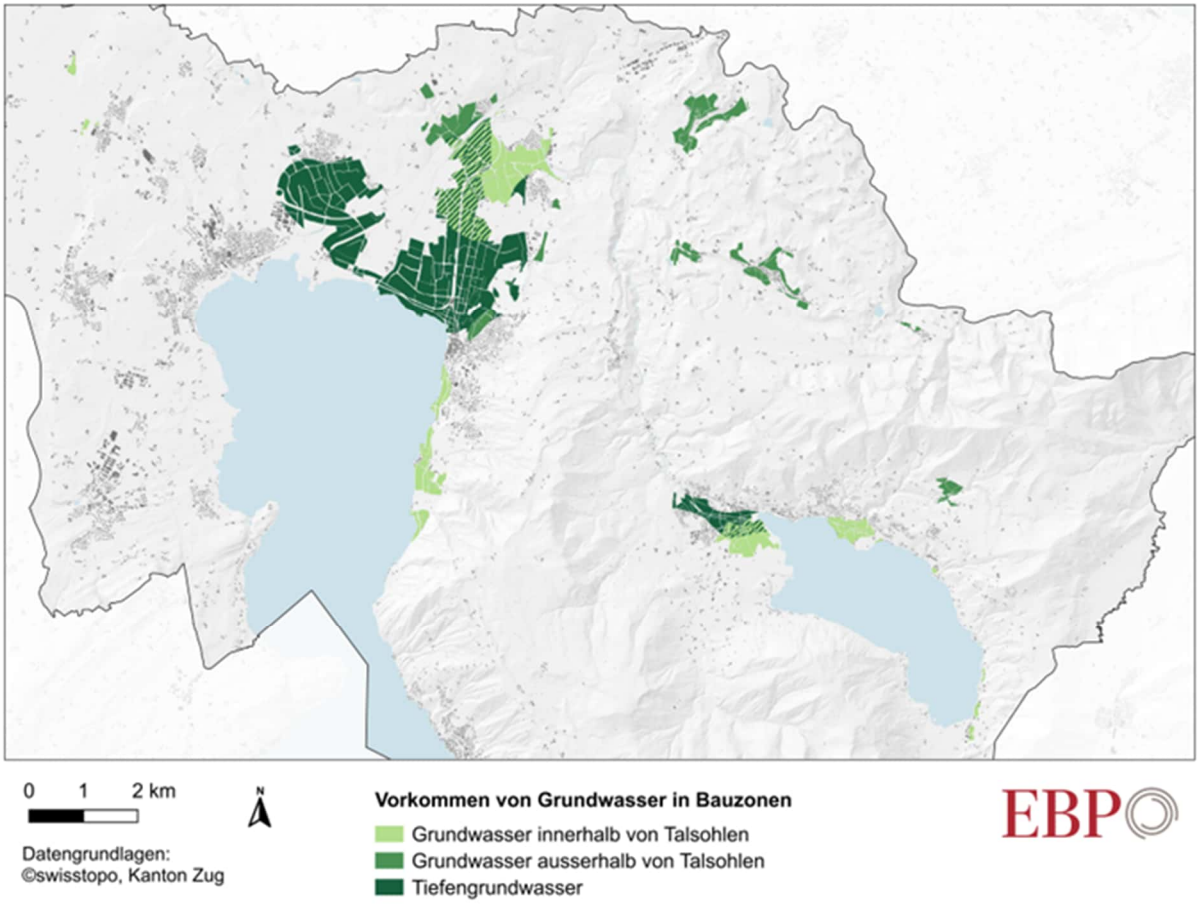


Abbildung 29 Vorkommen von Grundwasser im Kanton Zug innerhalb von Bauzonen und ohne Schutzzonen (Quelle: Kanton Zug 2019).

Nutzung von 15 GWh im Jahr 2024

Die Beschreibung der Nutzung im Jahr 2024 stützt sich auf die in Kapitel 2.1 erhobene Wärmebilanz. Diese gebäudescharfe Auswertung bezog Standorte von Grundwasserwärmenutzungen mit ein. Im Jahr 2024 wurden mit oberflächennahem Grundwasser 15 GWh Wärme genutzt. Diese thermische Nutzung des Grundwassers wurde über den Wärmeenergiebedarf der Gebäude ermittelt, welche sich an den Standorten von Grundwasserwärmenutzungen befinden[24]. Im Jahr 2024 wurde das Grundwasservorkommen in Talsohlen und das Tiefengrundwasser bereits genutzt. Das Grundwasservorkommen ausserhalb von Talsohlen wird noch nicht genutzt. Die heutige Ausschöpfung unterscheidet sich insbesondere für das Vorkommen in Talsohlen deutlich zwischen den jeweiligen Gebieten. Gemessen an der Entnahmeleistung unter Annahme einer realistischen Nutzung, liegt der Ausschöpfungsgrad zum unten dargestellten Potenzial durchschnittlich bei 8%. In Baar/Zug liegt der Ausschöpfungsgrad bei 28%. Im Jahr 2009 lag die Nutzung des

24 Dieses vereinfachte Vorgehen bezieht nicht alle Gebäude mit ein, die mit Grundwasserwärme versorgt werden. Eine alternative Abschätzung über die Entnahmeleistung der Grundwasserentnahmen gemäss Konzessionen ergäbe eine mehr als doppelt so hohe thermische Nutzung im Jahr 2024. Dies dürfte eine deutliche Überschätzung sein, da die konzessionierten Leistungsentnahmen höher liegen als die tatsächlichen Entnahmeleistungen.

oberflächennahen Grundwassers noch bei 3 GWh, die des tiefen Grundwassers bei 5 GWh.

Erwartetes Potenzial: Oberflächennahes Grundwasser

Erwartetes Potenzial von Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen: 130 GWh/a

Eine Studie des Kantons Zug untersuchte 2019 das Potenzial für die thermische Grundwassernutzung[25]. Diese Studie ermöglicht eine Abschätzung des erwarteten thermischen Potenzials von oberflächennahmen Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen. Die Studie selbst liefert ein theoretisches Potenzial der gesamten Grundwasserleiter und eine Einschränkung auf das nutzbare Potenzial sowohl innerhalb von Bauzonen als auch im Gebiet bestehender Gebäude ausserhalb Bauzonen. Diese Aussagen wurden für die vorliegende Studie mit einer zusätzlichen GIS-Analyse geschärft, welche den Wärmebedarf der Gebäude berücksichtigt, die sich flächenmässig mit den Grundwasservorkommen überschneiden. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden nur Gebäude betrachtet, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden. Dies ergibt ein erwartetes Potenzial von 130 GWh/a.

Einordnung des Potenzials von Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen

Eine zentrale Annahme der Studie aus dem Jahr 2019 ist eine maximale Veränderung der Grundwassertemperatur von ±3°C in 100 m Distanz zum Rückgabebrunnen. Dies führt zu einer konservativen Schätzung. Gemäss der im Verordnungspaket Umwelt Herbst 2026 vorgesehenen Neuregelung wäre zudem eine höhere Temperaturdifferenz von –4°C/100 m zulässig. Aufgrund der oben genannten Limitierung der Nutzung durch den Wärmebedarf in Gebäuden würde sich das definierte erwartete Potenzial dadurch nicht erhöhen, jedoch gewissen lokalen Spielraum von Entnahme- und Rückgabebrunnen ermöglichen. Zudem hat sich die Grundwassertemperatur in einigen oberflächennahen Grundwasservorkommen in den letzten Jahren im Mittel um 2°C erhöht, wobei der Klimawandel einer der Hauptfaktoren darstellt. Diese Temperaturdifferenz könnte zukünftig zusätzlich genutzt werden, was die Entnahme grösserer Wärmeenergiemengen ermöglichen würde.

Erwartetes Potenzial des Tiefengrundwassers: 20 bis 40 GWh/a

Eine Studie des Kantons Zug vertiefte 2024 das Potenzial des Tiefengrundwassers in Baar, Zug und Steinhausen[26]. Die Modellrechnungen der Studie zeigen, dass die bestehenden Anlagen mit weiteren 10 MW Leistung ergänzt werden können, bzw. das gesamte erwartete Potenzial zwischen 20 und 40 GWh/a liegt. Das Tiefengrundwasser bietet zudem günstige Voraussetzungen für saisonale Wärmespeicherungen, da es geringe Grundwassergeschwindigkeiten und eine relativ konstante Temperatur aufweist.

Vergleich mit Studie von 2011

2011 wurde das Gesamtpotenzial des oberflächennahen Grundwassers auf 6 GWh geschätzt, was durch die heutige Nutzung bereits übertroffen wird. Dem tiefen Grundwasser wurde hingegen ein Potenzial von 360 GWh zugeschrieben.

Nutzung im Jahr 2024: Tiefengeothermie

2024 noch keine Nutzung

Die mitteltiefe und tiefe Geothermie umfasst die hydrothermale und petrothermale Nutzung in einer Tiefe ab 500 m. Im Jahr 2024 gab es im Kanton

25 Amt für Umwelt des Kantons Zug (2019): Thermische Grundwassernutzung. Abschätzung des Nutzungspotenzials für thermische Grundwassernutzungen im Kanton Zug.

26 GEOTEST AG (2024): Abschätzung des Wärmenutzungspotenzials des Tiefengrundwasservorkommens Baar/Zug/Steinhausen. Studie im Auftrag des Kantons Zug.

Zug noch keine Nutzung der Tiefengeothermie. Ebenfalls sind beim Kanton Zug von externen Akteuren noch keine konkreten Projektanfragen eingegangen, welche technisch realisierbar sind. Im Kanton Luzern plant die CKW ein Geothermie-Projekt mit einer Bohrtiefe von 4'000 bis 4'500 m in der Muschelkalkschicht[27]. Der Verlauf dieses Projekts wird sich möglicherweise auf zukünftige Projekte im Kanton Zug auswirken.

Erwartetes Potenzial: Tiefengeothermie

Studie 2014: Keine herausragende Eignung

Im Vergleich zu anderen Kantonen weist der Kanton Zug keinen Standortvorteil zur Nutzung der Tiefengeothermie auf. Eine erste Studie[28] beurteilte im Jahr 2014 das Potenzial für die Nutzung hydrothermaler Geothermie als kaum vorhanden. Das Potenzial für eine petrothermale Nutzung sei im Nordwesten des Kantons grundsätzlich vorhanden, jedoch nicht herausragend. Die Studie aus dem Jahr 2014 empfahl deshalb, künftige Entwicklungen zu beobachten um bei Bedarf ein petrothermales Projekt als Option in der Zukunft zu prüfen.

Studie 2026: Erwartetes Potenzial Wärme von ca. 70 GWh/a

Eine neue Studie aus dem Jahr 2026 untersucht verschiedene geothermische Plays[29] und fasst die Eignung des Untergrunds im Kanton Zug zur Wärme- und Stromproduktion zusammen[30]. Für die Wärmegewinnung wird die Nutzung eiszeitlicher Rinnen, welche sich auch als Aquiferspeicher nutzen lassen, als erfolgversprechendstes Play bezeichnet. Dabei handelt es sich um das oben im Abschnitt «oberflächennahes Grundwasser» beschriebene «Tiefengrundwasser». Das attraktivste tiefe Play stellen die Bruchzonen zusammen mit dem Paläokarst im Mesozoikum dar. Diese sind für eine Direktwärmenutzung (ab ca. 2’500 m) oder für die Stromgeneration (ab ca. 4’000 m) geeignet. Die thermische Entzugsleistung liegt bei 0.5 bis 5 MW_{th} pro Brunnen. Pro Play sind mehrere Förderbrunnen bzw. Brunnendubletten möglich. Bezogen auf dieses attraktivste tiefe Play (Bruchzonen im Mesozoikum) könnten im Kanton rund 2 bis 4 Dubletten mit je einer thermischen Leistung von rund 2 bis 6 MW_{th} erstellt werden. Dies würde mit je 3'000 Laststunden einem geschätzten jährlichen Energiebezug von gemittelt bis zu 70 GWh entsprechen. Allerdings weisen tiefe Plays eine geringe bis mittlere Fündigkeitschance auf. In der Potenzialstudie von 2011 wurde der Tiefengeothermie kein Potenzial zugeschrieben.

Erwartetes Potenzial zur Stromproduktion: 60 GWh/a

Für die Stromgewinnung kommen im Kanton Zug die folgenden tiefen Plays in Frage: Entweder der Paläokarst und durchlässige Bruchzonen im autochthonen Mesozoikum, im kristallinen Grundgebirge, entlang der Permokarbon-Trogränder oder künstlich erzeugte Reservoire. Die Bandbreite der Leistung liegt im Fall der Stromerzeugung bei den hydrothermalen Plays im Bereich von 0.5 bis 2 MW_{el} bei gleichzeitig hohen Fündigkeitsrisiken. Analog zur Abschätzung der Wärmegewinnung würde dies bei 4 Dubletten und im

27 CKW (2023). Geothermieprojekt in der Gemeinde Inwil.

28 Kanton Zug (2014). Tiefengeothermie im Kanton Zug. Synthesebericht.

29 Ein geothermisches „Play“ ist eine für eine bestimmte Region typische Kombination geologischer Faktoren, welche für eine Wärmenutzung geeignet ist.

30 Geo Explorers AG (2026, noch nicht veröffentlicht). Potenzial der mitteltiefen und tiefen Geothermie im Kanton Zug. Studie im Auftrag des Kantons Zug.

nahezu Grundlastbetrieb eine Stromproduktion von rund 60 GWh/a erlauben.

Die künstliche Erzeugung von Reservoiren haben Pilotcharakter und werden in Europa aufgrund der hohen Bohrkosten als noch nicht wirtschaftlich betrachtet. Bevor im Kanton Zug auf solche Projekte gesetzt werden kann, sollte der Erfolg des Projekts Haute-Sorne im Kanton Jura abgewartet und auf dessen Erkenntnissen aufgebaut werden. Mit einem Erfolg in Haute-Sorne würde die Akzeptanz in diese Technologie steigen und eine Umsetzung beschleunigen.

3.6 Oberflächengewässer

Das Wichtigste in Kürze

Die Umweltwärme von Oberflächengewässer wird bereits genutzt. Die grösste Nutzung erfolgt im Energieverbund Circulago mit 15 GWh Wärme und 3.6 GWh Kälte im Jahr 2024. Das erwartete Potenzial ist hoch und liegt insgesamt bei 280 GWh/a Wärme und 60 GWh/a Kälte. Für die beiden grössten Quellen an Umweltwärme, dem Zugersee und dem Ägerisee, ist das Potenzial durch die Nachfrage limitiert, d.h. durch den Energiebedarf, welcher durch diese Umweltwärme gedeckt werden kann. Die Umweltwärme von Oberflächengewässern eignet sich sowohl für die Wärme- als auch die Kälteversorgung. Diese Potenziale werden in Abbildung 30 saisonal aufgeteilt dargestellt. Aus gewässerökologischen Gründen muss bei Neuanlagen die Bilanz zwischen der Wärmeenergiezufuhr und der Wärmeenergieentnahme jedes Jahr mindestens ausgeglichen oder negativ sein.

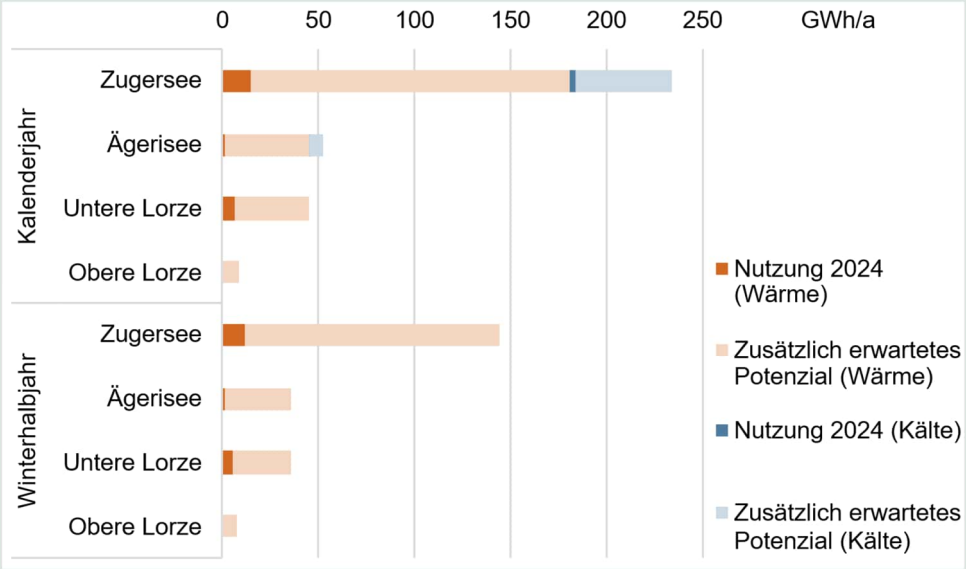


Abbildung 30 Oberflächengewässer: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärme- und Kältenutzung

Nutzung im Jahr 2024

Bewilligte Nutzung im Jahr 2024

Im Kanton Zug sind 11 Anlagen erfasst, welche Oberflächengewässer für Wärme- sowie Kältezwecke nutzen[31]. Bei den erfassten Anlagen handelt es sich um Systeme mit einer Leistung von jeweils über 100 kW, die bereits in Betrieb sind oder bewilligt wurden. Erfasst ist die Wärmeentnahme und

31 Kanton Zug (2025). Thermische Nutzungen der Zuger Gewässer.

Wärmezufuhr bei maximal bewilligter Wärme- und Kälteleistung. Im Ägerisee liegt die bewilligte jährliche Nutzung bei 1.6 GWh für Wärmezwecke und 0.2 GWh für Kältezwecke, im Zugersee bei 75.2 GWh für Wärmezwecke und 53 GWh für Kältezwecke. In der Unteren Lorze entspricht der bewilligte jährliche Wärmeentzug 6.7 GWh, während keine Kältenutzung zulässig ist. 2009 wurden 3.8 GWh Umweltwärme aus dem Zugersee sowie 1 GWh aus der Lorze genutzt.

Energienutzung Circulago im Jahr 2024

Das Projekt Circulago macht rund 85% der bewilligten jährlichen Nutzung des Zugersees aus. Im Jahr 2024 betrug die Energienutzung des Zugersees durch Circulago über das gesamte Jahr gesehen 18.5 GWh. Die für Wärmezwecke im Winterhalbjahr entzogene Wärmeenergie betrug 14.9 GWh und die für Kältezwecke im Sommerhalbjahr zugeführte Wärmeenergie betrug 3.6 GWh.

Erwartetes Potenzial

Ökologisch nutzbare Potenziale Zugersee und Ägerisee

Eine Machbarkeitsstudie[32] zeigt, dass bei einer jährlichen Wärmeentnahme von bis zu 500 GWh und einer Wärmeabgabe von 200 GWh die Temperaturveränderungen im Zugersee gering bleiben und keine negativen Auswirkungen auf die Ökologie zu erwarten sind. Eine EAWAG-Studie[33] hat das Potenzial für Wärme- und Kältenutzung des Ägerisees vertieft. Bei einer Wärmeentnahme von bis zu 100 GWh pro Jahr und einer Wärmeeinleitung von bis zu 30 GWh pro Jahr sind die Temperaturveränderungen im See gering und deshalb ökologisch unbedenklich. Grössere Nutzungen mit einer jährlichen Wärmeentnahme von 200 GWh bis zu 500 GWh werden als wahrscheinlich möglich ausgewiesen. Im Jahr 2011 wurde lediglich das Potenzial des Zugersees als realisierbar betrachtet und auf 180 GWh geschätzt.

Ökologisch nutzbare Potenziale Lorze

Im Rahmen der Energieplanung der Gemeinde Baar wird das Potenzial der Oberen Lorze untersucht. Der Kanton Zug hat dafür das theoretische, ökologische Energiepotenzial zur Wärmeentnahme quantitativ abgeschätzt. Die Obere Lorze kommt dabei mit Einschränkungen der Wärmeentnahmemenge durch die Beheimatung von Forellen auf ein Wärmenutzungspotenzial von 9 GWh Umweltwärme. Für die Untere Lorze beträgt jenes Potenzial rund 45 GWh. 2011 wurde lediglich das theoretische Potenzial der beiden Flüsse zur Wärmenutzung untersucht und auf rund 60 GWh beziffert.

Erwartetes Potenzial: 280 GWh/a Wärme, 60 GWh/a Kälte

Das erwartete Potenzial wird auf Basis der oben ausgeführten ökologisch nutzbaren Potenziale abgeschätzt. Zusätzlich berücksichtigt wird, ob genügend Wärme- und Kältebedarf besteht, welcher durch die Umweltwärme der Oberflächengewässer gedeckt werden kann. Dazu wird auf jenen Bedarf fokussiert, welcher potenziell durch thermische Netze gedeckt werden kann (vgl. Kapitel 4). Zudem wird auf jene Gemeinden fokussiert, die für die Nutzung der jeweiligen Gewässer prioritär in Frage kommen. Für den Zugersee erfolgt die Abschätzung basierend auf einer ausschliesslichen Nutzung in der Stadt Zug. Würden die Gemeinden Cham, Steinhausen und Baar ebenfalls berücksichtigt, ergäbe sich ein deutlich höheres erwartetes Potenzial. Tabelle 2 fasst die Abschätzung und die Resultate für das erwartete

32 EAWAG im Auftrag des Kantons Zug (2024). Energieverbund Zug Machbarkeitsstudie.

33 EAWAG im Auftrag des Kantons Zug (2014). Abschätzung des Potenzials des Ägerisees für die Wärme- und Kältenutzung.

Potenzial zusammen. Die Oberflächengewässer weisen insgesamt ein erwartetes Potenzial von rund 280 GWh/a für die Wärmenutzung und 60 GWh/a für die Kältenutzung auf.

Oberflächengewässer	Ökologisch nutzbares Potenzial	Erwartetes Potenzial
Zugersee	500 GWh/a Wärme und 200 GWh/a Kälte (Wärmezufuhr)	Beschränkung auf den durch thermische Netze in der Gemeinde Zug potenziell abdeckbaren Bedarf: **180 GWh/a Wärme und rund 50 GWh/a Kälte (Wärmezufuhr)** Wenn weitere Gemeinden einbezogen würden (bspw. Cham, Steinhausen, Baar), könnte das erwartete Potenzial deutlich erhöht werden.
Ägerisee	100 GWh/a Wärme und 30 GWh/a Kälte (Wärmezufuhr)	Beschränkung auf den durch thermische Netze in Ober- und Unterägeri potenziell abdeckbaren Bedarf: **45 GWh/a Wärme und 7 GWh/a Kälte (Wärmezufuhr)**
Obere Lorze	9 GWh/a Wärme	Der potenziell abdeckbare Bedarf ist nicht limitierend. **9 GWh/a Wärme**
Untere Lorze	45 GWh/a Wärme	Der potenziell abdeckbare Bedarf ist nicht limitierend. **45 GWh/a Wärme**

Tabelle 2: Abschätzung des erwarteten Potenzials der Umweltwärme von Oberflächengewässern.

3.7 Biomasse und synthetische erneuerbare Gase

Das Wichtigste in Kürze

Bei der Biomasse wird zwischen verholzter Biomasse, d.h. Energieholz, und feuchter Biomasse unterschieden. Das Gut Energieholz ist auch im Kanton Zug eine knappe lokale Ressource. Die heutige Nutzung liegt bereits weit über dem erwarteten regionalen Potenzial (siehe Abbildung 31). Eine Priorisierung für den Einsatz von Energieholz ist deshalb dort sinnvoll, wo alternative Energieträger fehlen und hohe Temperaturen erforderlich sind. Zudem ist die Speicherbarkeit von Energieholz möglichst auszunutzen. Feuchte Biomasse wird im Kanton Zug für die Strom-, Wärme- und Biogasproduktion genutzt. Die Energieproduktion kann theoretisch erhöht werden, ist aber aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit und knappen Co-Substraten schwierig zu realisieren. Zudem steht sie im Konflikt mit anderweitigen Nutzungstypen, inkl. CCS und NET[34]. Ausserdem können mit erneuerbarem Strom erneuerbare Gase wie Wasserstoff und Methan synthetisch hergestellt werden. Auch dieses Potenzial ist beschränkt, da die Produktion von synthetischen erneuerbaren Gasen noch sehr teuer ist. Abbildung 31 weist ein erwartetes Potenzial für die Aufbereitung von Biogas und für synthetisches erneuerbares Gas von je 36 GWh/a aus. Damit könnten etwa 20% des heutigen Gasverbrauchs gedeckt werden.

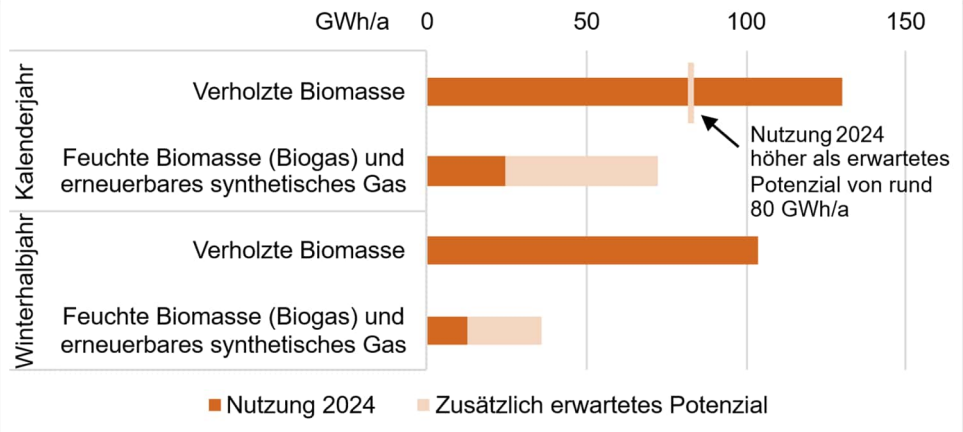


Abbildung 31 Biomasse und synthetische erneuerbare Gase: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärmenutzung

Nutzung im Jahr 2024: Verholzte Biomasse

Nutzung im Jahr 2024: 130 GWh/a

Der Verein Holzenergie Schweiz[35] sowie die CLB Schweiz GmbH[36] beziffern die heutige Nutzung von Energieholz im Kanton Zug auf ca. 55'000 m³ bzw. 130 GWh. Abzüglich des Energieholzes aus dem Wald im Kanton Zug von 28'000 m³ (siehe unten) werden noch kleinere Mengen Zuger Restholz (500 m³) und Altholz (2'000 m³) verwendet[36]. Die restliche Menge von ca. 24'500 m³, d.h. 58 GWh, und damit fast die Hälfte der Nutzung, wird heute bereits von ausserhalb des Kantons erworben. Die Region ist somit heute

34 Carbon Capture and Storage (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET) bezeichnen Technologien zur Entnahme und Speicherung von CO_2

35 Monitoring von Holzenergie Schweiz (https://www.holzenergie.ch/monitoring/karte)

36 CLB: Wald und Holz Zentralschweiz (2025)

schon von ausserkantonalen Holzimporten abhängig. 2009 lag die Nutzung noch deutlich tiefer bei 52 GWh.

Erwartetes Potenzial: Verholzte Biomasse

Erwartetes Potenzial: Rund 80 GWh/a

Das Fachbüro *guaraci forest consulting AG* erstellte 2023 im Auftrag des Amts für Wald und Wild eine Potenzialstudie auf Grundlage der kantonalen Waldinventur[37]. Diese kommt zum Schluss, dass das ökologisch nachhaltige Energieholzpotenzial im Kanton Zug durch bestehende und geplante Holzfeuerungsanlagen bereits ausgeschöpft ist. Das jährlich nachhaltig nutzbare Gesamtpotential an Waldholz beträgt rund 70'000 m³, bestehend aus ca. 70% Nadel- sowie 30% Laubholz. Davon werden heute durchschnittlich ca. 64'000 m³ pro Jahr geerntet, bzw. nach Abzug von Ernteverlusten etwa 54'000 m³ verwendet. Die aktuelle durchschnittliche Nutzung von Energieholz liegt bei 28'000 m³, d.h. ca. 67 GWh. Die restlichen Mengen werden stofflich verwertet (Bau- und Industrieholz). Eine Erhöhung der lokalen Energieholzbereitstellung ist nur durch Abbau von Holzvorräten oder Einschränkung der stofflichen (industriellen) Nutzung möglich. Das Nutzungspotential von Energieholz hängt stark von der aktuellen Marktsituation ab. Eine Erhöhung der zur Energiegewinnung eigesetzten Holzmenge zulasten der stofflichen Nutzung ist unter Berücksichtigung der Kaskadennutzung nicht sinnvoll. Selbst bei einer intensiveren Waldbewirtschaftung im Rahmen der nachhaltig nutzbaren Holzmengen wäre jährlich eine zusätzliche Energieholzmenge von nur maximal 4'000 bis 6'000 m³ mobilisierbar, d.h. 9 bis 14 GWh. Je nach Szenario wird das gesamte Energieholzpotenzial auf 24'000 m³ bis 35'000 m³ geschätzt. Optimistisch entspricht dies einem erwarteten Potenzial von rund 80 GWh/a. 2011 wurde das ökologische Potenzial auf 57 GWh geschätzt. Abbildung 32 stellt die heutige Nutzung dem erwarteten Potenzial gegenüber.

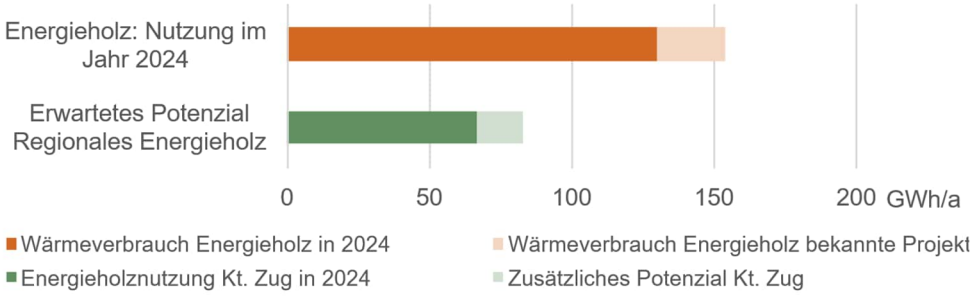


Abbildung 32 Nutzung und erwartetes Potenzial von Energieholz im Kanton Zug.

Zukünftige Nutzung des verfügbaren Potenzials

Praktisch alle verfügbaren Mengen von kantonalem Energieholz sind bereits heute durch bestehende Wärmeanbieter vertraglich gebunden. Zudem sind gemäss Holzenergie Schweiz Projekte mit einer zusätzlichen Nutzung von über 10'000 m³ (24 GWh) geplant. Zusätzliche Anlagen und die steigende Nachfrage werden dazu führen, dass die lokale Holzknappheit weiter zunehmen wird. Importe aus anderen Regionen oder Kantonen – wie Schwyz oder Graubünden – werden, wie im gesamten Schweizer Mittelland, verstärkt notwendig. Hinzu kommt die potenzielle Konkurrenz der anderweitigen Nutzung

37 Amt für Wald und Wild, Kanton Zug: Holzenergiepotenzial im Kanton Zug (2023)

von Holz wie der vermehrten Verwendung von Holz als Baustoff oder die Aufforstung des Waldes als Massnahme für CCS und NET.

Nutzung im Jahr 2024: Feuchte Biomasse

Regionale Verwertung von Grüngut und Gülle: 6 GWh/a Strom und 7 GWh/a Wärme

Im Kanton Zug gibt es derzeit fünf bewilligte Vergär- und Kompostierbetriebe, welche eine Gesamtmenge von ca. 40'000 t Grüngut sowie ca. 35'000 t Frischgülle verarbeiten. Neben drei Kompostierplätzen auf Landwirtschaftsbetrieben werden eine landwirtschaftliche Co-Vergäranlage sowie eine Kompostier- und Vergäranlage betrieben. In der Anlage Allmig der Alfred Müller AG in Baar werden aus den biogenen Abfällen aus Haushalten, Gartenbau und Landwirtschaft Strom, Wärme und Kompost gewonnen. In den drei Anlagen der Verora AG in Baar, Menzingen und Neuheim wird Grüngut zu Kompost verarbeitet (keine Energieproduktion). Die BiEAG (Biomasse Energie AG) in Hünenberg verwertet hauptsächlich Grüngut aus Industrie und Landwirtschaft sowie Frischgülle zu Gärgülle und produziert dabei Strom und Wärme. Insgesamt werden im Kanton auf diese Weise jährlich rund 6 GWh Strom und 7 GWh Wärme produziert. Bereits 2009 wurden rund 6 GWh Strom sowie 9 GWh Wärme aus feuchter Biomasse produziert.

Aufbereitung von 12 GWh/a Biogas in der ARA Cham

Die ARA Schönau in Cham nutzt das aus Klärschlamm produzierte Klärgas seit 2023 nicht mehr in einem Blockheizkraftwerk zur Elektrizitäts- und Wärmeproduktion, sondern in einer neuen Biogasaufbereitungsanlage. Damit werden pro Jahr ca. 1.17 Mio. Nm^3 Biomethan pro Jahr ins externe Gasnetz gespeist. Dies entspricht rund 12 GWh Biogas.

Erwartetes Potenzial: Feuchte Biomasse

Potenzial vermehrter Aufbereitung von Gülle

In Allenwinden ist eine Biogasanlage geplant, welche vom eigenen Hof und von zwei benachbarten Höfen jährlich ca. 5'000 t Rindergülle und Mist sowie Co-Substrate zu Biogas verarbeiten wird. Es ist mit einer Produktion von 0.75 GWh/a Biogas zu rechnen. Gemäss dem Amt für Umwelt des Kantons Zug sind solche dezentralen Anlagen prinzipiell vermehrt möglich, aber meist nur dank Investitions- und Betriebskostenbeiträgen des Bundes rentabel. Wirtschaftlicher sind grössere Anlagen. Solche sind jedoch aufgrund der Distanzen zwischen den Landwirtschaftsbetrieben im Kanton Zug kaum umsetzbar. Eine weitere Limitierung besteht in der Verfügbarkeit geeigneter Co-Substrate. 2011 wurde das Potenzial aus landwirtschaftlicher Biomasse, Grüngut und der ARA Schönau auf 18 GWh Wärme und 27 GWh Strom bestimmt. Dies entspräche einem Potenzial von 50 bis 70 GWh Biogas, wenn anstelle der Nutzung der Biomasse in einem BHKW Biogas aufbereitet wird.

Mögliche weitere Potenziale

Die flächendeckende Hol-Sammlung der biogenen Abfälle aus Haushalten sowie deren Verwertung ist eine Erfolgsgeschichte im Kanton Zug. Es besteht jedoch noch keine Bereitstellungspflicht für Sammelgebinde. Mit einer solchen könnte die Menge des Grünguts weiter erhöht werden. Wie gross das Verwertungspotenzial bei biogenen Abfällen aus dem Detailhandel und der Gastronomie ist, kann nicht beziffert werden. Für die Gastronomie wird es in naher Zukunft eine Verpflichtung geben, wohingegen die Verwertung im Detailhandel noch nicht weit verbreitet ist. Eine Quantifizierung dieser beiden Potenziale war im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Im Rahmen der kantonalen Potenzialstudie zu CCS und NET wurden einige

Biomassebetriebe interviewt und Empfehlungen für den Kanton Zug definiert[38]. Relevant für die energetische Nutzung insbesondere in der Strom- und Wärmeversorgung im Kanton sind vor allem perspektivische Umnutzungen wie sie es die ARA bereits vollzogen hat. Auch weitere Betriebe könnten in Zukunft ähnliche Umrüstungen angehen, von denen heute aber noch nichts bekannt ist.

Erwartetes Potenzial für Biogas: 10–15% des heutigen Gasverbrauchs

Eine Schätzung des erwarteten Potenzials für die Biogasaufbereitung, welches maximal erreicht werden kann, lässt sich aus übergeordneten Potenzialstudien herleiten. Ein Grundlagenbericht zur Zukunft der Gasversorgung[39] bezifferte, dass bei voller Ausschöpfung des Potenzials in der Schweiz ein Anteil eingespeistes Biogas von 10–15% des heutigen Gasverbrauchs erreicht werden kann. Bezogen auf den Gasverbrauch im Kanton Zug von ca. 360 GWh/a würde dies einem erwarteten Potenzial von Biogas von 36–54 GWh/a entsprechen. Aufgrund der oben geschilderten Herausforderungen geht diese Studie vom unteren Rand dieser Potenzialschätzung aus, d.h. von einem erwarteten Potenzial für Biogas von 36 GWh/a. Dies entspricht einem Potenzial von rund 14 GWh Strom und 16 GWh Wärme, wenn anstelle der Biogasaufbereitung eine Nutzung der Biomasse in BHKW erfolgt.

Nutzung und erwartetes Potenzial: Synthetische erneuerbare Brennstoffe

Noch keine Nutzung im Jahr 2024

Zusätzlich zu Biogas lassen sich über das Gas-Leitungsnetz auch synthetisch hergestellte erneuerbare Gase nutzen. Dies umfasst Gase wie Wasserstoff und Methan, die mit Strom synthetisch hergestellt werden (Power-to-Gas). Für erneuerbares Gas muss erneuerbarer Strom genutzt werden. Im Jahr 2024 ist noch keine Nutzung bzw. Einsatz von synthetisch erneuerbaren Gasen bekannt.

Erwartetes Potenzial für synthetische erneuerbare Gase: 5–15% des heutigen Gasverbrauchs

Das Potenzial dieser erneuerbaren Gase ist beschränkt[39,40]. Steht begrenzt erneuerbarer Strom zur Verfügung, ist es klar klimafreundlicher, diesen direkt einzusetzen (Wärmepumpe, Elektroauto) als damit erneuerbares synthetisches Gas herzustellen und für eine Gasheizung oder ein Gasauto zu nutzen. Besteht jedoch ein Überangebot an erneuerbarem Strom, kann aus dem Überschuss erneuerbares synthetisches Gas produziert werden. Dies macht die Energie speicherbar und reduziert Treibhausgasemissionen. Solcher Überschussstrom fällt jedoch nur in einer begrenzten Anzahl Stunden pro Jahr an. Die wirtschaftliche Produktion erneuerbarer synthetischer Gase ist deshalb sehr schwierig. Erneuerbares synthetisches Gas ist heute sehr viel teurer als Erdgas und auch deutlich teurer als Biogas. Langfristig kann inländisches erneuerbares synthetisches Gas 5 bis 15% des heutigen Gasverbrauchs decken[39]. In Bezug auf den Gasverbrauch im Kanton Zug von ca. 360 GWh/a entspricht dies einem erwarteten Potenzial von 18–54 GWh/a. Hier wird von einem Mittelwert von 36 GWh/a ausgegangen.

38 EBP (2025): Potenzialstudie CCS und Negativemissionen im Kanton Zug. Studie im Auftrag des Kantons Zug.

39 EBP (2019): Die Zukunft der Gas-Infrastruktur im Metropolitanraum Zürich. Fachbericht.

40 EnFK (2018): Einspeisepotenzial von erneuerbarem Gas in das Schweizer Gasnetz bis 2030.

3.8 Solarthermie

Das Wichtigste in Kürze

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug rund 11 GWh Wärme mit Solarthermieanlagen erzeugt. Das erwartete Potenzial ist hoch und beträgt 210 GWh/a. Solarthermie steht jedoch in Konkurrenz mit dem Einsatz von Photovoltaik, wobei die Umsetzung von Photovoltaik zur Stromerzeugung priorisiert wird. Deshalb wird erwartet, dass nur ein geringer Anteil des hohen Solarthermie-Potenzials genutzt werden wird.

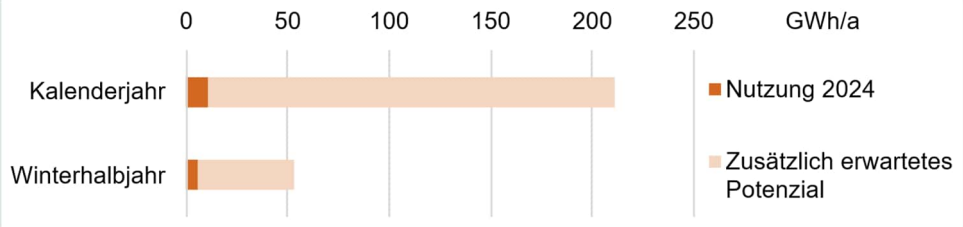


Abbildung 33 Solarthermie: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärmenutzung

Nutzung im Jahr 2024

Nutzung im Jahr 2024: 11 GWh

Im Jahr 2024 wurden im Kanton Zug rund 11 GWh Wärme mit Solarthermieanlagen erzeugt und genutzt, hauptsächlich für die Warmwasseraufbereitung. 2009 lag die Nutzung bei 4.5 GWh.

Erwartetes Potenzial

Erwartetes Potenzial: 210 GWh/a

Solarenergie kann zur Erzeugung von Strom (Photovoltaik, siehe Kapitel 3.1) oder von Wärme (Solarthermie) eingesetzt werden. Beide Technologien nutzen die gleichen Dachflächen und stehen zueinander in Konkurrenz. Die Potenzialgrundlage des Bundes[41] beziffert das erwartete Potenzial von Solarthermie auf Dächern im Kanton Zug auf 210 GWh pro Jahr. Eine optimal ausgelegte Solarthermieanlage nutzt oft nur einen geringen Anteil der verfügbaren Dachfläche und kann grundsätzlich mit einer PV-Anlage kombiniert werden. Trotzdem stehen die beiden Technologien zueinander in Konkurrenz. Die PV wird dabei aufgrund der gesunkenen Kosten und einfacheren Installation grundsätzlich gegenüber der Solarthermie priorisiert[42]. Ausserdem zeigen die jüngsten Entwicklungen, dass Wärmepumpen die vorwiegende Individuallösung zur Bereitstellung erneuerbarer Wärme gegenüber der Solarthermie sind. Es wird erwartet, dass dies auch in Zukunft der Fall sein wird und nur ein geringer Anteil des Solarthermie-Potenzials von 210 GWh/a genutzt wird. Künftige Anwendungen von Solarthermie könnte die Regeneration von Erdwärmesonden oder der Einsatz von Solarthermie in Wärmeverbunden sein. Auch die Erzeugung von Prozesswärme ist denkbar. Diese Anwendungen werden in der Schweiz jedoch noch nicht breit eingesetzt. 2011 wurde das Potenzial auf 256 GWh geschätzt.

41 www.sonnendach.ch

42 EBP im Auftrag von Swissolar und energieschweiz (2023): Roadmap Solarwärme Schweiz 2050

3.9 Umgebungsluft

Das Wichtigste in Kürze

Im Jahr 2024 wurde bereits ca. 64 GWh/a an Wärme aus der Umgebungsluft genutzt. Luft/Wasser-Wärmepumpen können nahezu überall genutzt werden. Das erwartete Potenzial ist mit 800 GWh/a entsprechend hoch. Im Vergleich zu anderen Wärmepumpentechnologien weisen Luft/Wasser-Wärmepumpen eine geringere Effizienz auf.

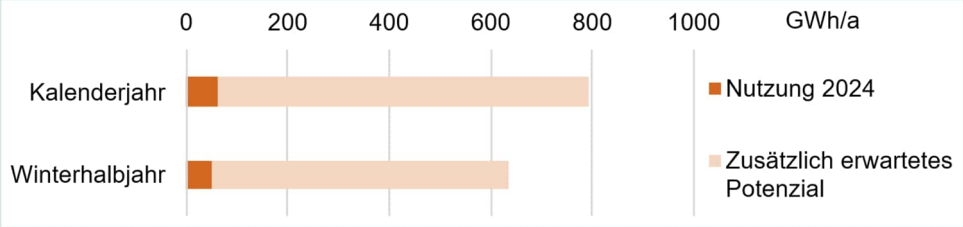


Abbildung 34 Umgebungsluft: Nutzung 2024 und zusätzlich erwartetes Potenzial zur Wärmenutzung

Nutzung im Jahr 2024

Nutzung im Jahr 2024: 64 GWh

Im Jahr 2024 wurde der Umgebungsluft im Kanton Zug ca. 64 GWh an Umweltwärme entnommen, welche mit Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem Stromverbrauch von ca. 36 GWh zu 100 GWh Gebäudewärme aufbereitet wurden. Gemessen an der Anzahl Anlagen machen Luft/Wasser-Wärmepumpen rund 38% aller Wärmepumpen im Kanton aus. 2009 lagen noch keine Informationen zur damaligen Nutzung von Umweltwärme aus Umgebungsluft vor.

Erwartetes Potenzial

Erwartetes Potenzial: Rund 800 GWh/a

Luft/Wasser-Wärmepumpen, welche Umgebungsluft nutzen, sind nicht standortgebunden und können grundsätzlich überall eingesetzt werden. Einschränkend können Lärmschutzvorschriften und dadurch einzuhaltende Mindestabstände sein. Das erwartete Potenzial kann dem Bedarf an Komfortwärme in Gebäuden im Kanton Zug gleichgesetzt werden, bzw. dessen Anteil der Umweltwärmenutzung. Dies entspricht einer Energiemenge von rund 800 GWh. Im Vergleich zu anderen Wärmepumpentechnologien weisen Luft/Wasser-Wärmepumpen geringere Investitionskosten, aber auch eine geringere Effizienz auf. Die Nutzung von Erdwärme, Grundwasser und Oberflächengewässern ist deshalb, wo möglich, zu priorisieren. 2011 wurde kein Potenzial der Umweltwärme aus Umgebungsluft ermittelt.

4. Nutzung von Fernwärme und Fernkälte

Übersicht Wärme- und Energieverbunde

Zahlreiche bestehende Wärme- und Energieverbunde im Kt. Zug

Im Kanton Zug existieren eine Vielzahl voneinander unabhängige Wärme- und Energieverbunde[43], welche von verschiedenen Energieversorgungsunternehmen (EVU) betrieben werden. Tabelle 3 listet die wichtigsten Verbundlösungen im Kanton Zug auf. Abbildung 35 verortet sie auf der Karte.

ID1	Bezeichnung	EVU	Primäre Energieträger	Dimension	Bekannte Ausbauplanung	ID2
1	WV Hagendorn	Gemeinde Cham / privat	ARA	ca. 3 GWh ca. 40 HAS	Neue Hausanschlüsse (HAS) projektiert	**A**
2	WV Birst	Korporation Baar-Dorf	Holz	<1 GWh ca. 10 HAS	Neue HAS geplant	**B**
3	WV Blegi	Korporation Baar-Dorf	Holz[44]	ca. 2 GWh ca. 10 HAS	Neue HAS geplant	**C**
4	WV Inwil	Korporation Baar-Dorf	Holz[44]	ca. 5 GWh ca. 10 HAS	Neue HAS geplant	**D**
5	WV Lättich	Korporation Baar-Dorf	Holz	ca. 5 GWh ca. 10 HAS	Neue HAS geplant	**E**
6	WV BiEAG Hünenberg & Lindencham	BiEAG	Biogas/Holz[44]	ca. 14 GWh ca. 60 HAS	Allgemeine Verdichtung geplant	**F**
7	WV Ennetsee	WWZ	KVA	ca. 6 GWh ca. 30 HAS	Integration in WV Ennetsee 2035: 45 GWh 2050: 50 GWh	**G**
8	WV Cham Zentrum	WWZ	Grundwasser/Erdgas	ca. 2 GWh ca. 10 HAS <1 GWh Kälte		
9	WV Cham Röhrliberg	WWZ	Erdgas	ca. 4 GWh		
10	WV Steinhausen/WV Kirchmatt	WWZ	Holz/Erdgas	ca. 2 GWh ca. 10 HAS	Entwicklung von WV Kirchmatt zu neuem WV, Umrüstung auf rein erneuerbar 2035: 34 GWh 2050: 30 GWh	**H**
11	Circulago/Tech-Cluster	WWZ	/Seewasser/Erdgas	ca. 30 GWh ca. 100 HAS ca. 4 GWh Kälte	Ausbau geplant 2035: 75 GWh 2050: 101 GWh	**I**
12	WV Altstadt Zug	WWZ	Erdgas/Seewasser	ca. 10 GWh ca. 180 HAS	Umrüstung auf erneuerbar	**J**
13	WV Menzingen	WWZ	Holz/Heizöl	ca. 9 GWh ca. 80 HAS	Verdichtung geplant 2035: 10 GWh 2050: 10 GWh	**K**

43 Diese Studie verwendet den Begriff «Wärmeverbund» für ein Netz, welches Wärme verteilt. Verbundlösungen, welche sowohl Wärme als auch Kälte liefern, werden als «Energieverbunde» bezeichnet.

44 Mit bekannter fossiler Spitzenlastdeckung

ID1	Bezeichnung	EVU	Primäre Energieträger	Dimension	Bekannte Ausbauplanung	ID2
14	WV Unterägeri	Korporation Unterägeri	Holz	ca. 7 GWh ca. 100 Hausanschlüsse (HAS)	-	**L**
15	EV Lutisbach	Energie Aegerital	Seewasser	<1 GWh ca. 10 HAS Inkl. Kälte	Im Ausbau	**M**
16	WV Hofmatt	Energie Aegerital	Holz	ca. 3 GWh ca. 20 HAS	Im Ausbau mit EV Ägeribad	**N**
					neuer EV Breiten-Ländli mit Seewasser/Holz	**O**
17	WV Alosen KO	Korporation Oberägeri	Holz	<1 GWh ca. 20 HAS	-	**P**
18	WV Walchwil	Gemeinde Walchwil	Holz	ca. 1 GWh ca. 30 HAS	-	**Q**

Tabelle 3: Übersicht von bestehenden Energieverbunden im Kanton Zug sowie deren bekannte Ausbauplanung gemäss Angaben der Betreibenden. Dargestellt sind lediglich Netze mit mindestens ca. 10 Anschlüssen.

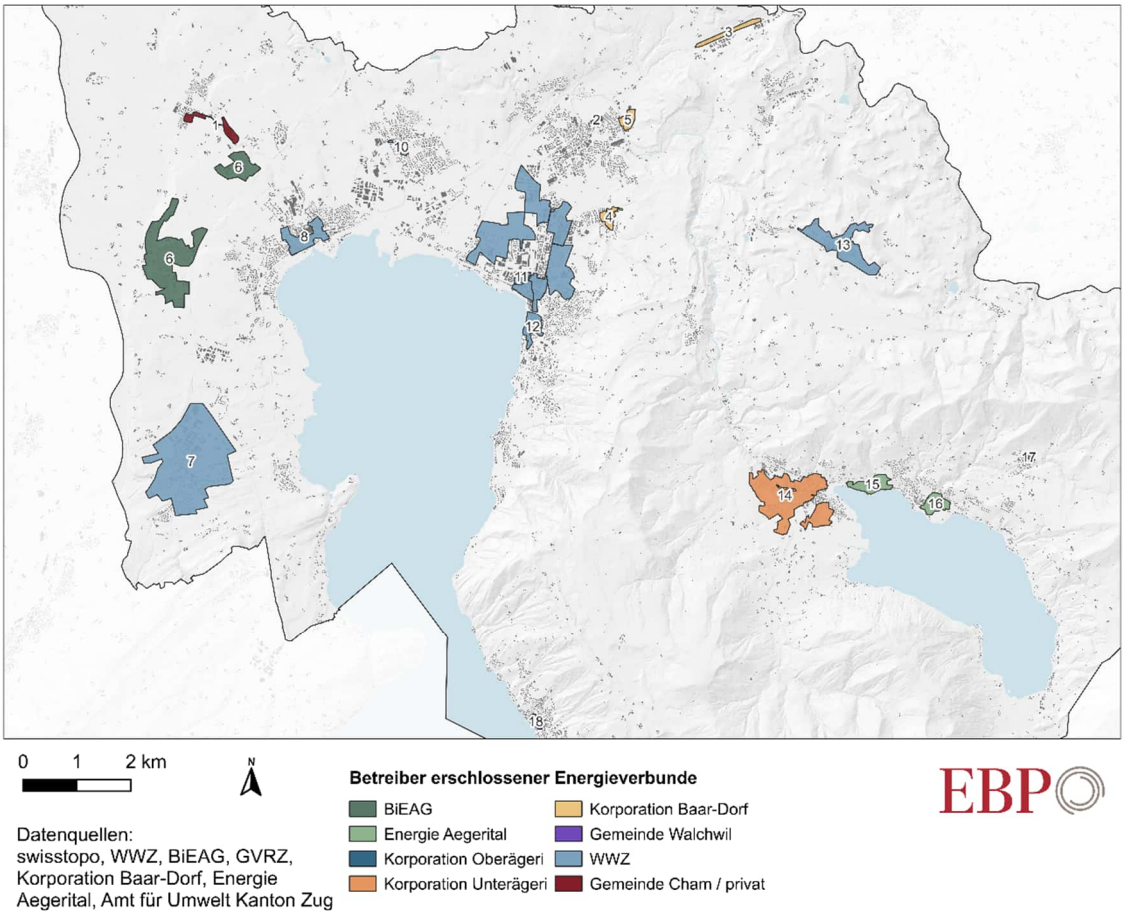


Abbildung 35 Stand 2024 der Wärme- und Energieverbunde im Kanton Zug

Stand 2026 und geplante Erweiterungen

Ciculago und MEH als grösster Energieverbund

Das Projekt Circulago der WWZ weist das grösste bestehende Verbundgebiet im Kanton auf. Es entnimmt Seewasser aus dem Zugersee und nutzt dieses für die Wärme- und Kälteversorgung der Stadt Zug. Die Wärme wird in mehreren Quartierzentralen durch Wärmepumpen aufbereitet. Das Verteilnetz umspannt bereits weite Gebiete der Stadt Zug und befindet sich im stetigen Ausbau. Im und um das Areal der TechCluster Zug AG betreibt die Multi Energy Zug AG (MEZ), deren Anteilhaberin ebenfalls die WWZ ist, mit dem Multi Energy Hub (MEH) ein paralleles Verbundnetz, welches an Circulago gekoppelt ist. Dort werden zwei Wärmenetze unterschiedlicher Temperaturniveaus sowie ein Kältenetz betrieben. In der Öffentlichkeit werden diese gekoppelten Netze zur Einfachheit meist als ein Netz der Betreiberin WWZ kommuniziert. Bis 2050 sollen weitere Gebiete in der Stadt Zug sowie Richtung Baar erschlossen und der Energieabsatz entsprechend von ca. 32 GWh im Jahr 2025 auf ca. 101 GWh erhöht werden. Nicht zu verwechseln ist dieser Energieverbund mit dem Wärmeverbund in der Zuger Altstadt, wo vorwiegend Erdgas und zu einem geringen Anteil Seewasser verwendet wird.

Grossprojekt Wärmeverbund Ennetsee

Ausserhalb der Stadt Zug betreibt die WWZ Wärmeverbunde in Menzingen mit Energieholz, in Cham mit Grundwasser und Erdgas sowie in Rotkreuz mit KVA-Abwärme (siehe auch Kapitel 3.4). Letzteres Projekt läuft unter dem Namen Wärmeverbund Ennetsee, womit die gesamte Westküste des Zugersees bis Cham erschlossen werden soll. Auch im benachbarten Steinhausen soll der bestehende Wärmeverbund Kirchmatt zu einem neuen Wärmeverbund entwickelt werden. Der Wärmeabsatz soll von ca. 6 GWh im Jahr 2025 in Rotkreuz auf ca. 80 GWh im gesamten Netzgebiet bis 2050 steigen Der Zusammenschluss der Wärmeverbunde Steinhausen und Ennetsee ist geplant, perspektivisch könnten diese Wärmeverbunde auch mit Circulago vernetzt werden.

Weitere Wärmeverbunde mit Ausbauplänen

Weitere Wärmeverbunde bestehen in verschiedenen Gemeinden, betrieben durch diverse Unternehmen. Als Energieträger eingesetzt werden Energieholz, Heizöl und Biogas. Viele dieser Wärmeverbunde planen einen partiellen Ausbau. Darunter sind vor allem die Wärmeverbunde der Korporation Baar-Dorf sowie der BiEAG in Hünenberg und Lindencham zu erwähnen. Am Ägerisee plant zudem die Energie Aegerital den Bau und Ausbau von Wärmeverbunden entlang des Nordufers in den Gemeinden Ober- und Unterägeri. Dabei wird je nach Ort auf Seewasser und Energieholz gesetzt.

Potenzielle Gebiete für weitere Wärme und Energieverbunde

Abbildung 36 zeigt die Stand 2026 geplanten Verbundgebiete im Kanton Zug. Ausserdem sind Gebiete dargestellt, welche eine erhöhte Wärmebedarfsdichte von >500 MWh/ha aufweisen, wenn nur bestehende, fossil und direktelektrisch betriebene Heizungen betrachtet werden. In diesen Gebieten können weitere Wärme- und Energieverbunde wirtschaftlich attraktiv sein, wodurch sich Erweiterungen bestehender Verbunde oder neue Verbunde anbieten. Besonders in der Gemeinde Baar, südöstlich der Stadt Zug sowie entlang des östlichen Zugerseeufers zeigen sich Potenziale für zusätzliche Verbundlösungen.

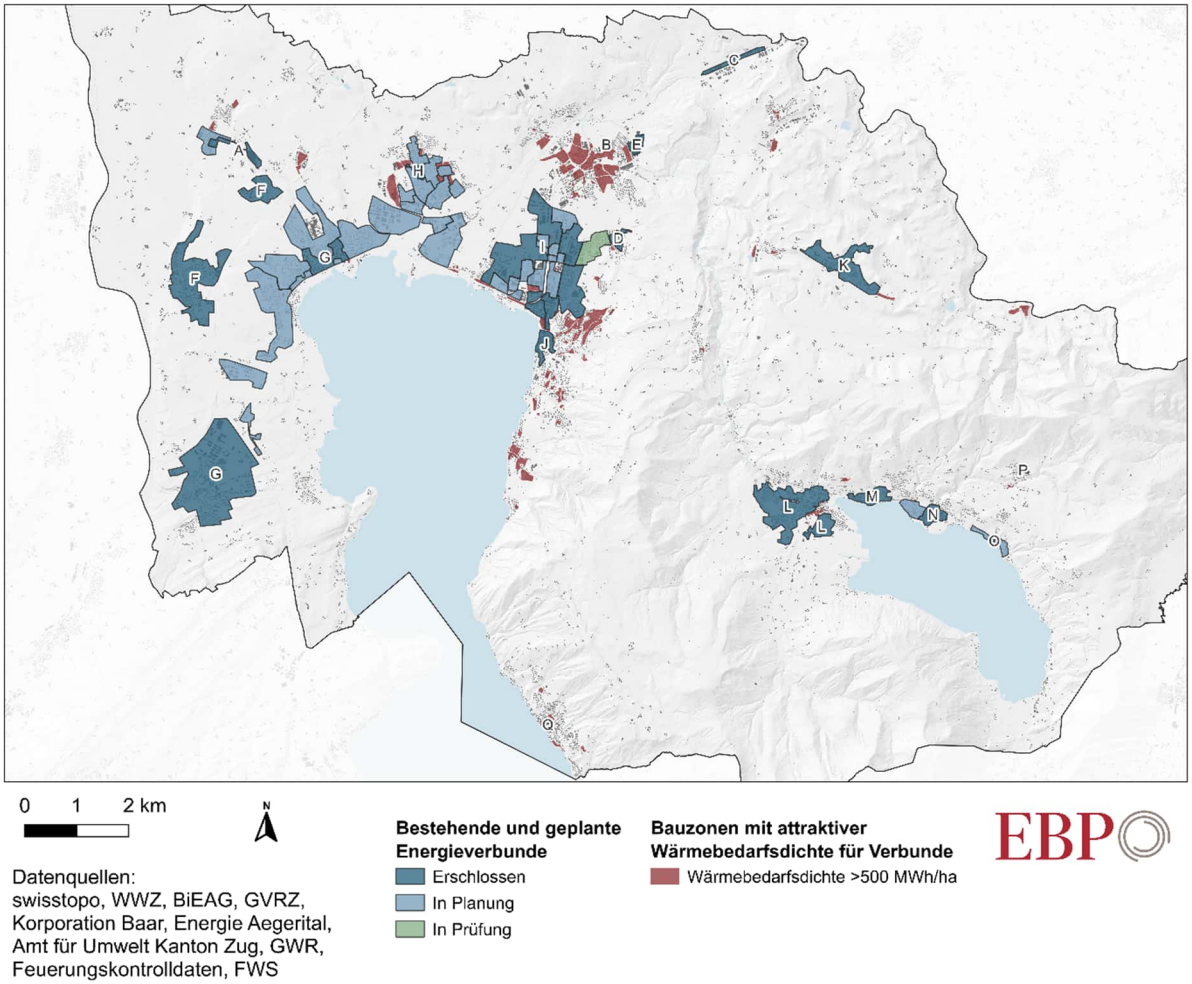


Abbildung 36 Geplante Wärme- und Energieverbunde im Kanton Zug (Stand 2026) sowie Bauzonen ausserhalb dieser Planungsperimeter mir erhöhter Wärmebedarfsdichte und Eignung für Verbundlösungen.

5. Perspektiven 2035 und 2050

Betrachtung von zwei Szenarien: Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB)

Die künftige Entwicklung des Energiebedarfs und -verbrauchs ist unsicher. Deshalb werden in diesem Kapitel zwei Szenarien aufgezeigt, welche die Bandbreite der möglichen Entwicklung aufzeigen. Beide stützen sich auf die Energieperspektiven 2050+ ab. Im Szenario *Zero Basis* wird eine Entwicklung beschrieben, die zur Erreichung des Netto-Null-Ziels dient. Das Szenario macht keine konkreten Aussagen, welche Massnahmen zur Erreichung dieses Ziels nötig sind. Als zweites Szenario wird das Szenario *Weiter-wie-bisher* betrachtet. In diesem Szenario wird kein Ziel vorgegeben, sondern es wird abgeschätzt, welche Entwicklung mit den heute umgesetzten Massnahmen und bekannten Planungen erreicht wird. Die für die Modellierung der Szenarien angewendete Methodik und Annahmen werden im Anhang A1.3 beschrieben.

Das **Szenario Zero Basis** beschreibt eine Entwicklung des Schweizer Energiesystems, welche bis 2050 mit dem Klimaziel Netto-Null Treibhausgasemissionen für die Schweiz kompatibel ist und weiterhin eine sichere Energieversorgung gewährleistet. Es entwickelt die heutigen absehbaren Trends der technologischen Entwicklung in die Zukunft weiter. Sie geht von einer hohen und möglichst frühen Steigerung der Energieeffizienz sowie von einer deutlichen Elektrifizierung aus. Wärmenetze gewinnen in urbanen Gebieten an Bedeutung und werden schnell ausgebaut. Synthetische Brenn- und Treibstoffe sowie Wasserstoff spielen eine untergeordnete Rolle. Abweichend von den Energieperspektiven 2050+ beruhen die Annahmen für den künftigen Strombedarf für die E-Mobilität auf dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz[45]. Betrachtet wird das Szenario ZERO-E, welches bis 2050 von einer vollständigen Elektrifizierung des Strassenverkehrs ausgeht.

Das **Szenario Weiter-wie-bisher** beschreibt eine Entwicklung des Schweizer Energiesystems, welche mit den heute in Kraft gesetzten Instrumenten der Energie- und Klimapolitik und heutigen Marktbedingungen und Rahmenbedingungen erwartet wird. Die Annahmen der Energieperspektiven 2050+ wurden dabei so aktualisiert, dass der Stand per Ende 2025 abgebildet wird. Das am 1. Februar 2024 in Kraft getretene kantonale Energiegesetz wird dabei berücksichtigt. Weitere Verschärfungen von Massnahmen sind nicht Bestandteil dieses Szenarios. Im Vergleich zum Szenario ZERO Basis wird die Energieeffizienz deutlich weniger gesteigert. Die Elektrifizierung des Energiesystems und der Ausbau der Wärmenetze wird weniger stark vorangetrieben. Abweichend von den Energieperspektiven 2050+ beruhen die Annahmen für den künftigen Strombedarf für die E-Mobilität auf dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz. Betrachtet wird das Szenario «Business As Usual», welches von einer substanziellen Elektrifizierung des Strassenverkehrs ausgeht, wobei jedoch weiterhin auch fossile Energieträger eingesetzt werden.

45 EBP 2024: Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2050

5.1 Künftiger Wärmebedarf und -verbrauch

Künftiger Wärmebedarf

Reduktion des Wärmebedarfs bis 2050:
−9% in Weiter-wie-bisher
−19% in Zero Basis

Abbildung 37 zeigt die Entwicklung des Wärmebedarfs für das Szenario Zero Basis und das Szenario Weiter-wie-bisher. In beiden Szenarien sinkt der Wärmebedarf, von 1’290 GWh im Jahr 2024 auf 1’173 GWh (Weiter-wie-bisher) bzw. 1’046 GWh (Zero Basis) im Jahr 2050. Haupttreiber dieser Reduktion sind Effizienzsteigerungen bei bestehenden Gebäuden, dank denen der Wärmebedarf gesenkt werden kann. Auch der fortschreitende Klimawandel führt zu einem Rückgang des Wärmebedarfs. Einen etwas gegenläufigen Effekt hat der zusätzliche Wärmebedarf durch Neubauten. Im schweizweiten Vergleich fällt die mögliche Reduktion des Wärmebedarfs im Kanton Zug etwas geringer aus. Dies, weil der Kanton einen jüngeren Gebäudebestand aufweist. Zudem wird im Kanton Zug eine höhere Neubautätigkeit als im Schweizer Mittel erwartet.

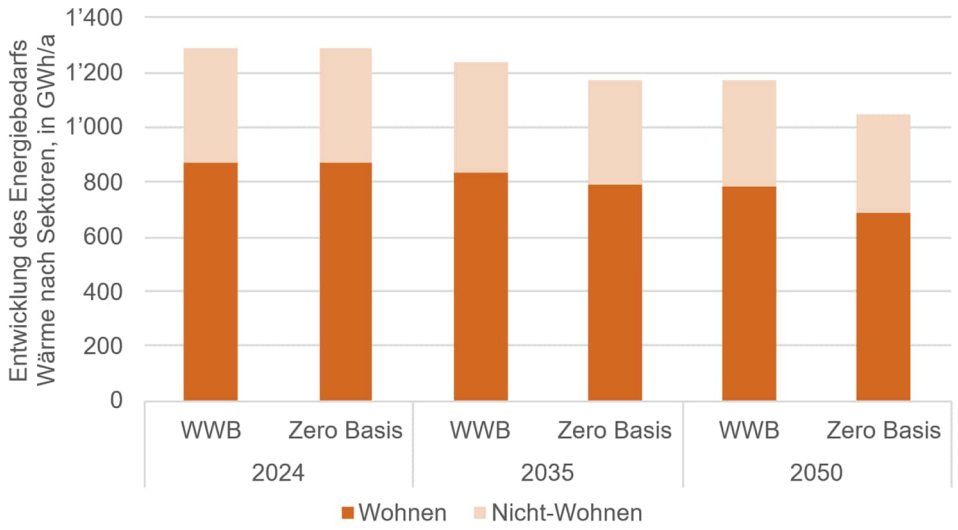


Abbildung 37 Entwicklung des künftigen Wärmebedarfs im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung des Wärmebedarfs für beide Szenarien detaillierter nach Sektoren und Winter- und Sommerhalbjahr. Der Anteil des Wärmebedarfs im Winterhalbjahr sinkt künftig geringfügig, da der ganzjährig anfallende Anteil Warmwasser am Wärmebedarf etwas relevanter wird. In beiden Szenarien fallen trotzdem auch künftig rund drei Viertel des Wärmebedarfs im Winterhalbjahr an. Auch der Anteil des Wärmebedarfs in Wohngebäuden liegt über beide Szenarien und den betrachteten Zeitraum bei rund zwei Dritteln.

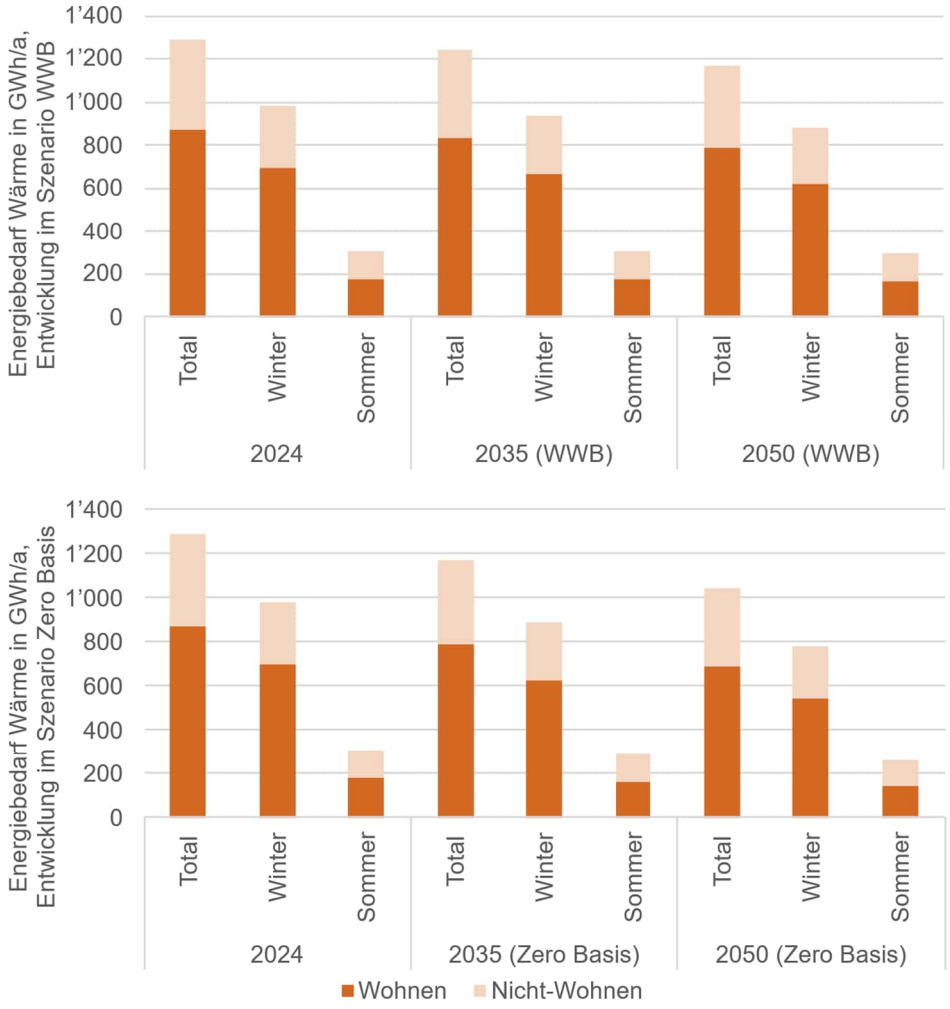


Abbildung 38 Entwicklung des künftigen Wärmebedarfs im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB) nach Sektoren und Winter- und Sommerhalbjahr.

Künftiger Wärmeverbrauch nach Energieträgern

Einschätzung der künftig für Wärme eingesetzten Energieträger

Für die beiden Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher wurde geschätzt, mit welchen Energieträgern der oben beschriebene Wärmebedarf gedeckt wird. Dazu wurde der Wärmebedarf räumlich mit den zur Verfügung stehenden Potenzialen für erneuerbare Wärme abgeglichen und für Wärmeverbunde die Ausgangslage im Jahr 2024 und die bekannten Planungen berücksichtigt. Dem räumlichen Abgleich der Potenziale liegt eine Priorisierung der Energieträger zugrunde (siehe unten). Im Szenario Zero Basis wird diese Priorisierung deutlich strikter umgesetzt als im Szenario Weiter-wie-bisher. Die Methodik und Annahmen sind im Anhang A1.3 beschrieben.

Prioritäten für die Wärmeversorgung im Kanton Zug

Den beiden abgebildeten Szenarien liegt folgende Priorisierung der Energieträger zugrunde:

— Grosse Gebiete im Kanton Zug sind für die **Versorgung mit Fernwärme** geeignet. Die Erschliessung dieser Gebiete mit Fernwärme hat die höchste Priorität.

Begründung für die Priorisierung der Fernwärme:
Mittels Fernwärme lassen sich lokale und regionale Wärmequellen wie Abwärme (insbesondere aus KVA und ARA) sowie Wärme aus Oberflächengewässern und Grundwasser in grösserem Massstab erschliessen und für die Wärmeversorgung nutzbar machen. Diese Quellen weisen im Kanton ein hohes Potenzial auf und sollen möglichst umfassend und effizient genutzt werden. Fernwärme ermöglicht es, solche Potenziale gebündelt zu erschliessen und auch dort nutzbar zu machen, wo eine Versorgung einzelner Gebäude mit dezentralen Lösungen weniger zweckmässig oder wirtschaftlich ist.

Zudem trägt Fernwärme dazu bei, den Stromverbrauch im Winter zu begrenzen, da ein Teil der Wärmeversorgung nicht über strombasierte Einzelanlagen erfolgen muss. Dies ist insbesondere mit Blick auf die hohe Winterstrombelastung von Bedeutung. Gleichzeitig erlaubt Fernwärme einen effizienten Betrieb der Heizzentralen, da Erzeugungsanlagen grösser dimensioniert, besser ausgelastet und technologisch gezielt aufeinander abgestimmt werden können. Auch die Abdeckung von Spitzenlasten kann in Fernwärmesystemen effizienter organisiert werden. Zuletzt lassen sich in Heizzentralen unterschiedliche Erzeugungstechnologien optimal kombinieren. Insgesamt leistet Fernwärme damit einen wichtigen Beitrag zur Nutzung lokaler und regionaler Potenziale, zur Versorgungssicherheit im Winter und zu einer robusten, langfristig klimaneutralen Wärmeversorgung.

— Ausserhalb von Fernwärme-Verbundgebieten hat der Einsatz von **Erdwärme-Wärmepumpen** und Grundwasser-Wärmepumpen Priorität, soweit möglich. **Luft/Wasser-Wärmepumpen** sollen zum Einsatz kommen, wo weder ein Anschluss an einen Wärmeverbund noch der Einsatz von Erdwärme- oder Grundwasser-Wärmepumpen möglich sind.
Begründung: Erdwärme- und Grundwasser-Wärmepumpen haben aufgrund des geringeren Temperaturhubs eine höhere Effizienz als Luft/Wasser-Wärmepumpen. Dies gilt insbesondere bei tiefen Umgebungstemperaturen, wenn auch der Heizbedarf am höchsten ist. Ein hoher Anteil an Luft/Wasser-Wärmepumpen ist nachteilig für die Stromversorgungssicherheit bei tiefen Temperaturen.

— **Energieholz** soll prioritär für Hochtemperatur-Anwendungen, insbesondere für Prozesswärme und in Wärmeverbunden, eingesetzt werden. Die Nutzung soll möglichst im Winter erfolgen, in Kombination mit anderen Energieträgern.
Begründung: Energieholz ist ein rarer Energieträger und soll daher sparsam eingesetzt werden. Seine Lagerbarkeit soll gezielt genutzt werden, da durch die Substitution der lagerbaren, fossilen Energieträger die Speicherfähigkeit an Bedeutung gewinnt.

— Aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit **erneuerbarer Gase** soll langfristig, bis auf gesonderte Ausnahmefälle, kein Gas mehr für Raumwärme

genutzt, sondern stattdessen nur noch für Prozesswärme oder Spitzenlastabdeckung verwendet werden.

Zero Basis: Grundlegende Transformation der Wärme-Energieträger

Abbildung 39 beschreibt insbesondere für das Szenario Zero Basis eine grundlegende Transformation der für Wärme eingesetzten Energieträger. Bis zum Jahr 2050 sinkt der im Jahr 2024 noch am meisten eingesetzte Energieträger Heizöl auf nahezu null. Auch der Strombedarf für Elektroheizungen sinkt bis 2050 auf nahezu null. Der Gasabsatz sinkt von 2024 bis 2050 deutlich um fast zwei Drittel und wird 2050 durch erneuerbares Gas gedeckt. Auch der Einsatz von Energieholz sinkt bis 2050 um rund 40%. Einen hohen Anstieg verzeichnet der Einsatz von Wärmepumpen und der damit genutzten Umweltwärme. Bis in das Jahr 2050 verdoppelt sich der Strombedarf für Wärmepumpen und die genutzte Umweltwärme verdreifacht sich. Zuletzt ebenfalls deutlich gesteigert wird die Nutzung von Abwärme, insbesondere KVA-Abwärme.

Weiter-wie-bisher: weniger konsequente Transformation

Auch im Szenario Weiter-wie-bisher werden die für Wärme eingesetzten Energieträger grundlegend transformiert. Im Vergleich zu Zero Basis erfolgt dies weniger konsequent. Es verbleibt weiterhin ein Einsatz der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas, die 16% des Energieverbrauchs abdecken. Der Einsatz von Energieholz sinkt weniger stark. Der Strombedarf für Wärmepumpen steigt um 230% und damit stärker als in Zero Basis. Abbildung 40 zeigt die Resultate für die beiden Szenarien im Detail und nach Winter- und Sommerhalbjahr.

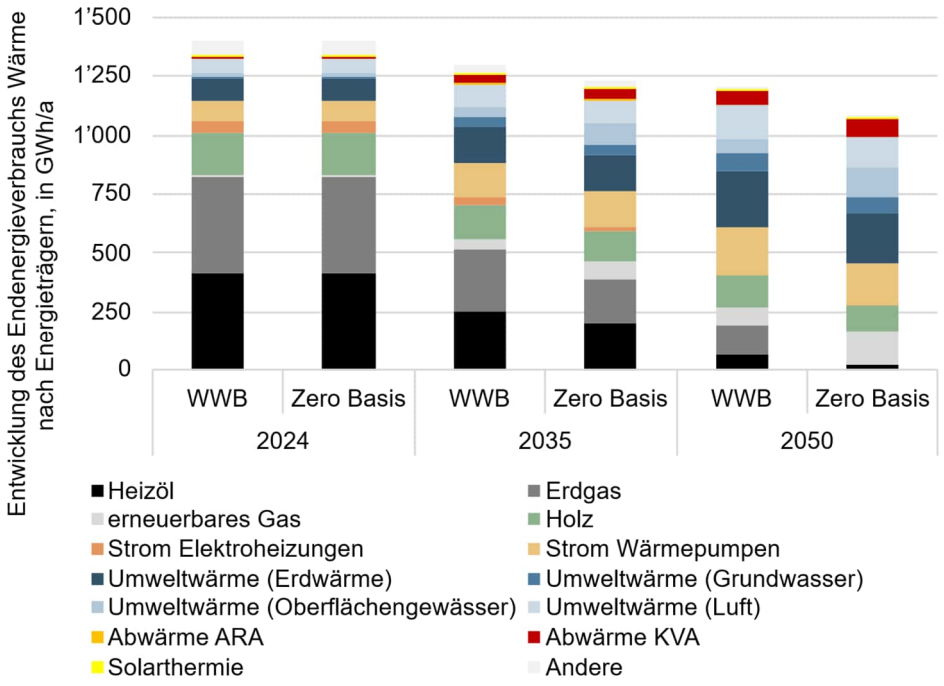


Abbildung 39 Entwicklung des künftigen Wärmeverbrauchs und der für Wärme eingesetzten Energieträger im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

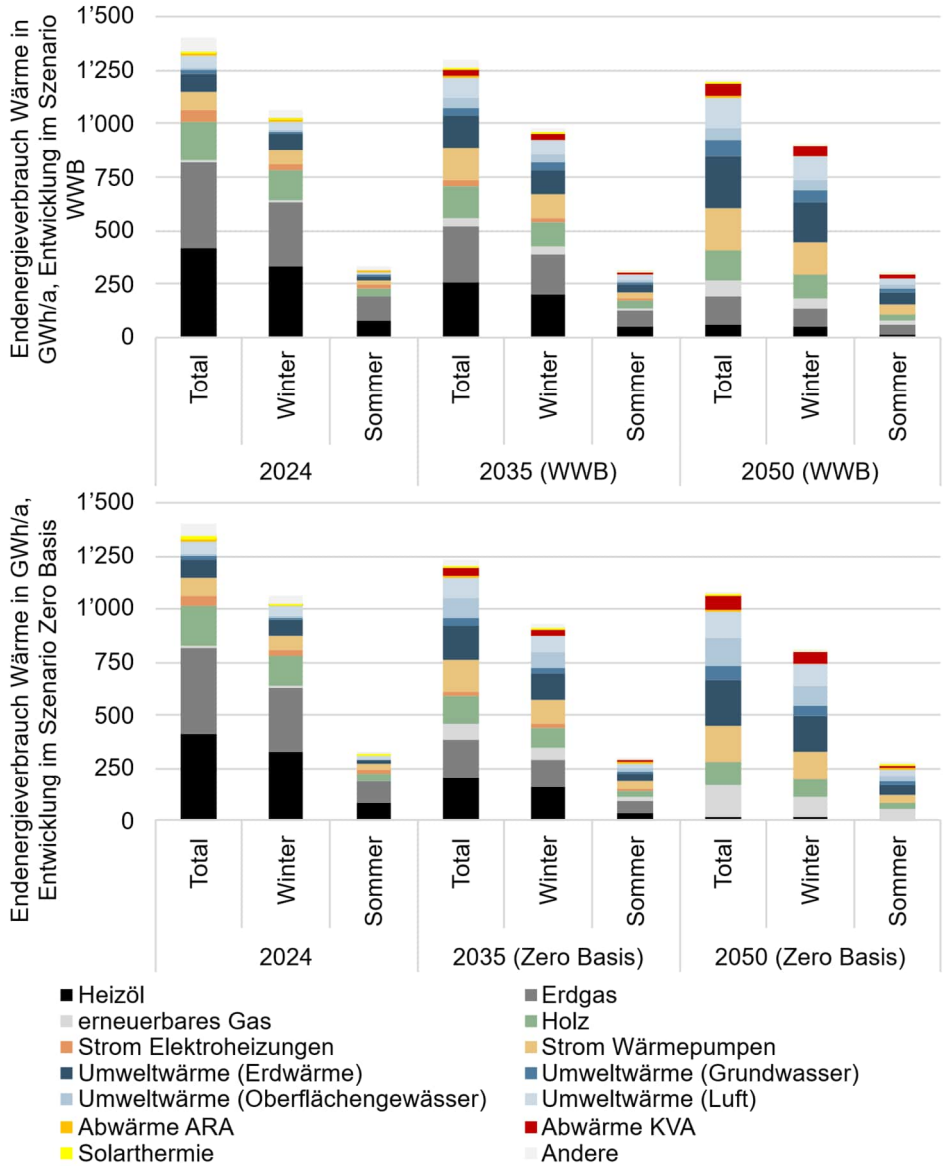


Abbildung 40 Entwicklung des künftigen Wärmeverbrauchs und der für Wärme eingesetzten Energieträger im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB), nach Winter- und Sommerhalbjahr.

Ausbau Wärme- und Energieverbunde bis 2050: 255 GWh/a bereits bestehend oder konkret geplant

Ein entscheidender Baustein für die künftige Wärmeversorgung im Kanton Zug ist der breitflächige Auf- und Ausbau von Wärme- und Energieverbunden. Abbildung 41 zeigt den Absatz im Jahr 2040 und bereits bekannte Ausbauplanungen im Vergleich zur Entwicklung im Szenario Zero Basis und im Szenario Weiter-wie-bisher. Der Auf- und Ausbau kann sich stark auf bestehende und konkret geplante Verbunde stützen. Bestehende Verbunde und bekannte Ausbauplanungen erschliessen bis 2050 rund 255 GWh/a.

Ausbau Wärme- und Energieverbunde im Szenario Zero Basis: 390 GWh/a bis 2050

Im Szenario Zero Basis wird über Wärme- und Energieverbunde bis 2050 ein Wärmeverbrauch von 390 GWh/a gedeckt. Mit hohen Anschlussraten an die Wärme- und Energieverbunde wird in den heute bekannten und geplanten Verbundgebieten ein Potenzial für weitere Verdichtungen, d.h. mehr Anschlüsse im selben räumlichen Perimeter, von rund 30% erschlossen. Bis

2050 werden in diesen Gebieten rund 330 GWh/a Fernwärme abgesetzt. Zudem werden in Zero Basis auch zusätzliche Potenzialgebiete erschlossen und weitere 60 GWh/a Fernwärme abgesetzt.

Ausbau Wärme- und Energieverbunde im Szenario Weiter-wie-bisher: 260 GWh/a bis 2050

Im Szenario Weiter-wie-bisher wird über Wärme- und Energieverbunde bis 2050 ein Wärmeverbrauch von 260 GWh/a gedeckt. Dies ist nahezu exakt der Wärmeverbrauch, welcher durch bestehende und geplante Verbunde 2050 gedeckt werden soll. Die Entwicklung im Szenario Weiter-wie-bisher ist jedoch langsamer als der geplante Auf- und Ausbau: Im Jahr 2035 wird in Weiter-wie-bisher nur 85% des geplanten Absatzes erschlossen. Zusätzliche Potenzialgebiete werden im Szenario Weiter-wie-bisher nicht erschlossen.

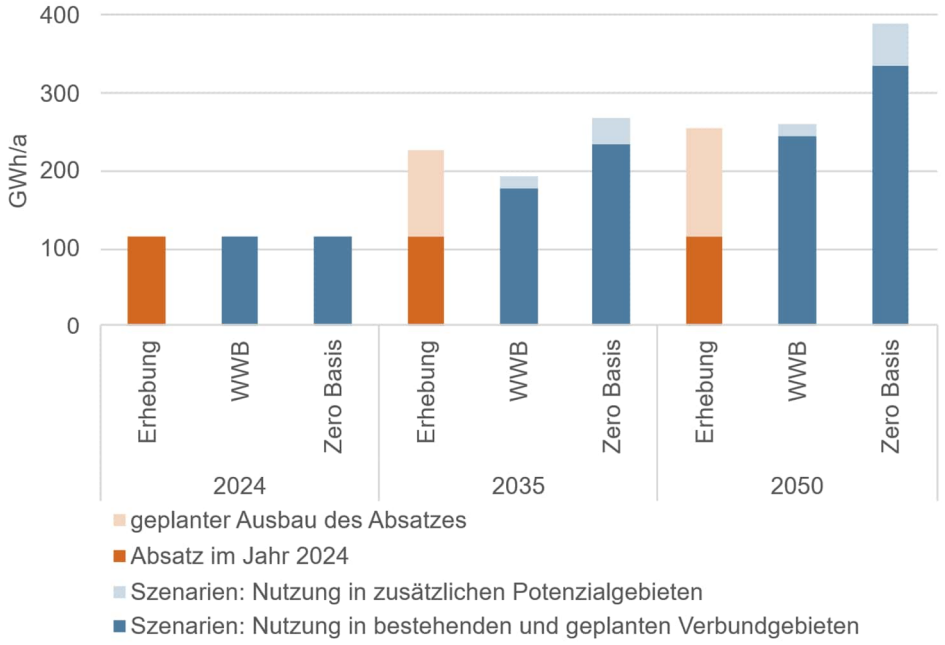


Abbildung 41 Ausbau von Wärme- und Energieverbunden: Vergleich der bestehenden Verbunde und der bekannten Ausbauplanungen mit der Entwicklung von Fernwärme in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Ausschöpfung der Potenziale pro Energieträger

Potenzialausschöpfung der erneuerbaren Energieträge: Viele Energieträger mit massgeblichen weiteren Potenzialen

Abbildung 42 zeigt die Potenzialausschöpfung der erneuerbaren Energieträger im Szenario Zero Basis und Szenario Weiter-wie-bisher. Viele Energieträger weisen massgebliche weitere Potenziale auf, die ausgeschöpft werden könnten. In Zero Basis wird KVA-Abwärme bis zum erwarteten Potenzial ausgeschöpft. Die Nutzung von Energieholz liegt 2024 deutlich über dem erwarteten Potenzial. In beiden Szenarien wird die Energieholz-Nutzung reduziert, bleibt jedoch über dem erwarteten Potenzial. Um in Zero Basis den im Jahr 2050 verbleibenden Gasabsatz erneuerbar zu decken ist eine Nutzung dieser Energieträger nötig, welche deutlich über dem erwarteten Potenzial liegt. Die Nutzung von Erdwärme liegt deutlich unter dem erwarteten Potenzial, aber über einer Schwelle, welche bedeutet, dass Regenerationsmassnahmen nötig sind. Weitere detailliertere Informationen pro Energieträger finden sich weiter unten.

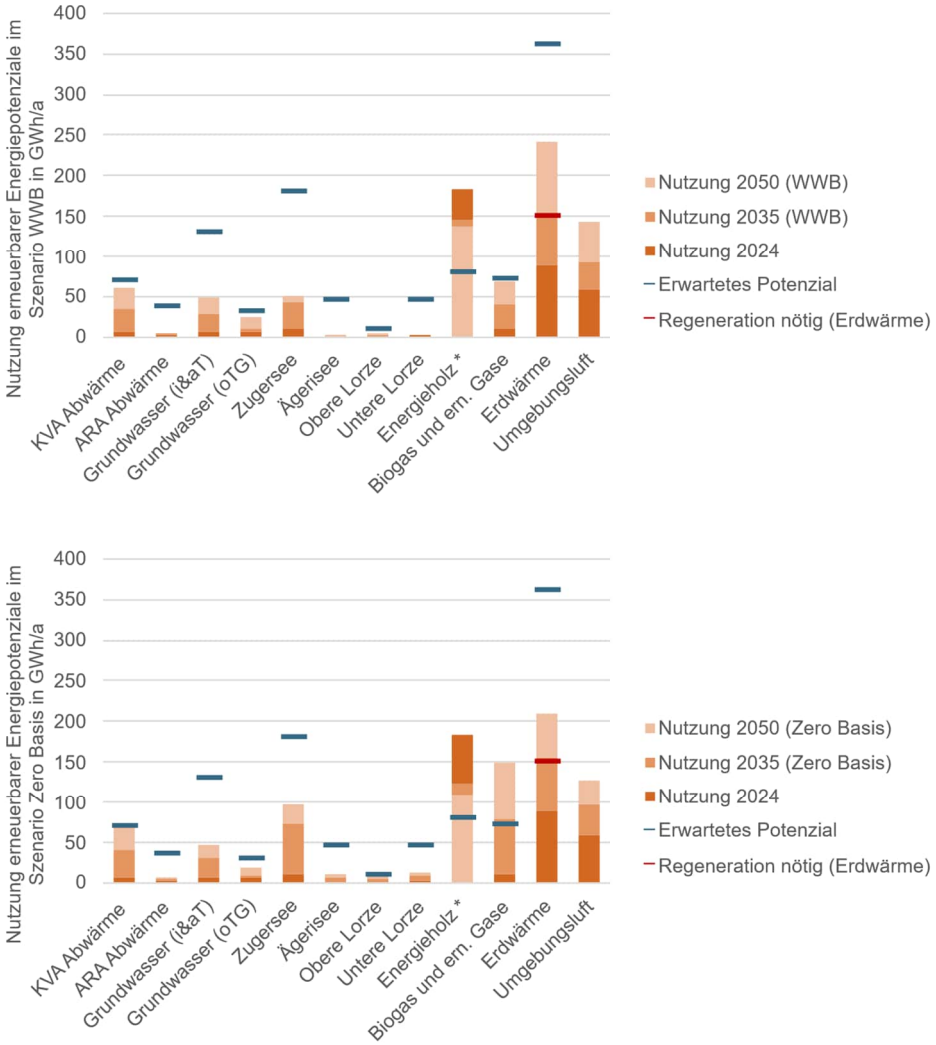


Abbildung 42 Ausschöpfung der Potenziale pro Energieträger in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB). Gezeigt ist die Nutzung in den Jahren 2024, 2035 und 2050 im Vergleich mit dem erwarteten Potenzial.
*: Bei Energieholz sinkt als einzigem erneuerbarem Energiepotenzial die Nutzung, deshalb ist die Nutzung nach Jahren umgekehrt dargestellt (von 2050, 2035 zu 2024).
Grundwasser (i&aT): Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen
Grundwasser (oTG): oberflächennahes Tiefengrundwasser

Nutzung und Potenzial von Abwärme

Die Nutzung der KVA-Abwärme ist insbesondere in den Wärmeverbunden Ennetsee und Steinhausen geplant. Der mögliche Absatz in diesen Perimetern ist gross und die Nutzung der KVA-Abwärme im Jahr 2050 liegt im Szenario Zero Basis beim erwarteten Potenzial von 70 GWh/a. Die Nutzung der ARA-Abwärme hingegen bleibt deutlich unter dem verfügbaren, erwarteten Potenzial, da die lokale Wärmebedarfsdichte zu gering für einen Wärmeverbund ist, welcher das Potenzial auszuschöpfen könnte.

Nutzung und Potenzial von oberflächennaher Erdwärme (und Umgebungsluft)

Im Szenario Zero Basis wird im Jahr 2050 210 GWh Erdwärme genutzt. Dies bleibt unter dem erwarteten Potenzial von 360 GWh/a. Diese Nutzung liegt jedoch deutlich über der Schwelle, über welcher für eine langfristig nachhaltige Erdwärmenutzung in gewissen Gebieten Regenerationsmassnahmen nötig sind. Die Nutzung von Umgebungsluft mit Wärmepumpen ist grundsätzlich nicht beschränkt, jedoch etwas weniger effizienter als die Nutzung von Erdwärme. Im Jahr 2050 beträgt die thermische Nutzung von Umgebungsluft in Zero Basis rund 125 GWh/a.

Nutzung und Potenzial von oberflächennahem Grundwasser

Im Szenario Zero Basis wird im Jahr 2050 knapp 70 GWh Wärme aus Grundwasser genutzt. Diese Nutzung liegt für alle Kategorien von oberflächennahem Grundwasser unter dem erwarteten Potenzial. Insbesondere für Grundwasser in und ausserhalb von Talsohlen wären weitere Nutzungen möglich.

Nutzung und Potenzial von Oberflächengewässern

Im Szenario Zero Basis wird im Jahr 2050 130 GWh Wärme aus Oberflächengewässern genutzt. Bis auf die obere Lorze weisen alle Gewässer hohe weitere Potenziale auf, welche genutzt werden könnten. Zur möglichst hohen Nutzung des Zugersees empfiehlt sich eine Vernetzung der Energieverbunde im Raum Zug, Baar, Cham und Steinhausen. Dies insbesondere, weil die Abwärme der KVA ein begrenztes Potenzial darstellt.

Nutzung und Potenzial von Energieholz und erneuerbarem Gas

Im Szenario Zero Basis werden im Jahr 2050 110 GWh Energieholz und 150 GWh erneuerbare Gase genutzt. Die Nutzung von Energieholz lag 2024 deutlich über dem lokal vorhandenen, nachhaltigen Potenzial. Insbesondere durch Kombination mit anderen Energieträgern kann die Nutzung von Energieholz reduziert werden. Sie liegt jedoch auch im Jahr 2050 noch über dem erwarteten Potenzial. Folglich wird Energieholz importiert werden müssen. Der Gasverbrauch wird bis 2050 massiv sinken und überwiegend für die Spitzenlastabdeckung in Energieverbunden und für Prozesswärme eingesetzt werden. Insbesondere der Einsatz für Prozesswärme ist stark davon abhängig, ob diese Betriebe im Jahr 2050 noch im Kanton Zug tätig sind und ob die Prozesse elektrifiziert werden können. Der verbleibende Gasverbrauch wird 2050 ausschliesslich erneuerbar gedeckt werden müssen. Im Jahr 2024 waren nur 2% des gesamten Gasabsatzes Biogas. Da der erwartete Gasverbrauch deutlich über dem lokalen Potenzial von Biogas und synthetischem erneuerbaren Gas liegt, wird erneuerbares Gas importiert werden müssen. Der Einsatz für Prozesswärme ist stark abhängig, ob diese Betriebe im Jahr 2050 noch im Kanton Zug tätig sind und ob die Prozesse elektrifiziert werden können. Es ist fraglich, ob der Betrieb eines Gasnetzes in diesem Szenario noch wirtschaftlich ist.

5.2 Künftiger Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte

Anstieg des Kältebedarfs

Abbildung 43 zeigt die Entwicklung des Kältebedarfs für das Szenario Zero Basis und das Szenario Weiter-wie-bisher. In beiden Szenarien steigt der Kältebedarf an, von rund 180 GWh im Jahr 2024 auf rund 245 GWh (Zero Basis) bzw. 335 GWh (Weiter-wie-bisher) im Jahr 2050. Der Anstieg ist einerseits dadurch geprägt, dass der Bedarf für Klimatisierung in Wohngebäuden stark ansteigt. Von knapp 10 GWh im Jahr 2024 erhöht sich dieser Bedarf auf rund 70 GWh (Zero Basis) bis 95 GWh (Weiter-wie-bisher) im Jahr 2050. Andererseits kann in Zero Basis der Kältebedarf in Dienstleistungs- und Industriebetrieben dank Effizienzsteigerungen von Klimatisierung und Prozesskälte stabilisiert werden. In Weiter-wie-bisher hingegen steigt auch dieser Kältebedarf von 175 GWh im Jahr 2024 auf 240 GWh im Jahr 2050. Anwendungen von Free-Cooling sind in diesen Auswertungen nicht enthalten und reduzieren insbesondere im Szenario Zero Basis den Energiebedarf massgeblich.

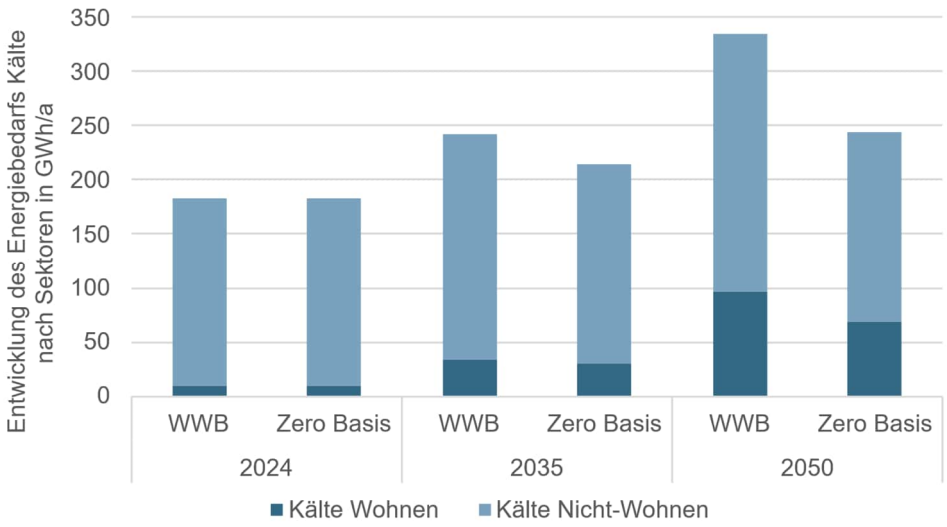


Abbildung 43 Entwicklung des künftigen Kältebedarfs im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte

Abbildung 44 zeigt den Stromverbrauch, der für die Erzeugung von Kälte benötigt wird. Im Szenario Zero Basis bleibt trotz steigendem Energiebedarf für Kälte dank Effizienzsteigerungen der nötige Stromverbrauch nahezu stabil. Im Szenario Weiter-wie-bisher steigt der Stromverbrauch an, von 69 GWh im Jahr 2024 auf rund 100 GWh im Jahr 2050. Der Anteil des Stromverbrauchs für Kälte, welcher im Winter anfällt, ist sehr gering und sinkt weiter, von rund 14% im Jahr 2024 auf 11% im Jahr 2050.

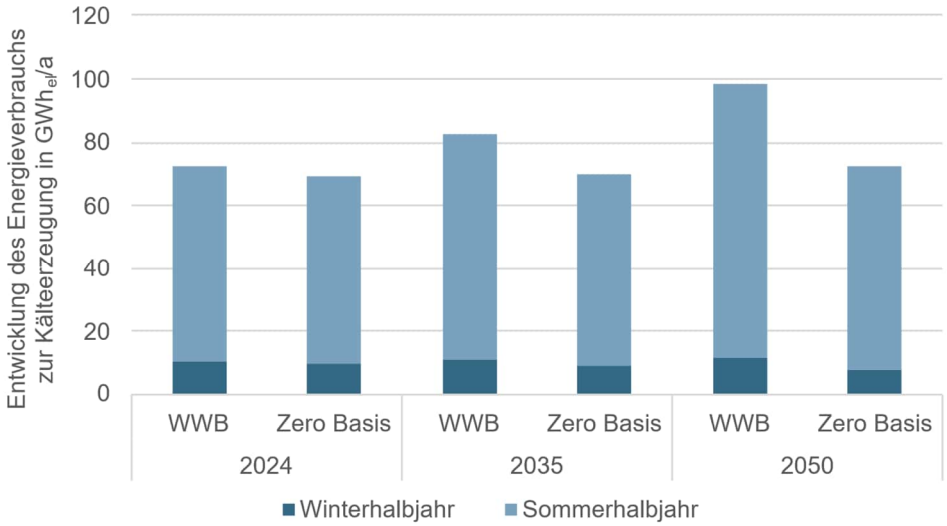


Abbildung 44 Entwicklung des künftigen Stromverbrauchs für Kälte im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

5.3 Künftiger Stromverbrauch

Deutlicher Anstieg des Stromverbrauchs um über 40% bis 2050 in beiden Szenarien

Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen die Entwicklung des Stromverbrauchs für das Szenario Zero Basis und das Szenario Weiter-wie-bisher. In beiden Szenarien steigt der Stromverbrauch stark an. Über alle Verwendungszwecke wird damit gerechnet, dass der Strombedarf von knapp 700 GWh im Jahr 2024 bis 2050 auf rund 980 GWh (Zero Basis) bis 1'000 GWh (Weiter-wie-bisher) steigt. Dies ist ein deutlicher Zuwachs von über 40%. Im Vergleich zu den Energieperspektiven 2050+ ist dies ein deutlich stärkerer Anstieg. Die verschiedenen Verwendungszwecke von elektrischer Energie entwickeln sich sehr unterschiedlich. Ein starker Anstieg erfolgt in beiden Szenarien insbesondere aufgrund der Elektrifizierung der Mobilität. Im Szenario Zero Basis trägt die Elektrifizierung des Energiesystems zu einer nahezu vollständigen Substituierung von fossilen Energieträgern massgeblich bei. Im Szenario Weiter-wie-bisher werden weiterhin fossile Brenn- und Treibstoffe eingesetzt. Weil aber im Szenario Weiter-wie-bisher die Effizienzsteigerungen deutlich geringer sind, ist der Anstieg des Stromverbrauchs in beiden Szenarien vergleichbar.

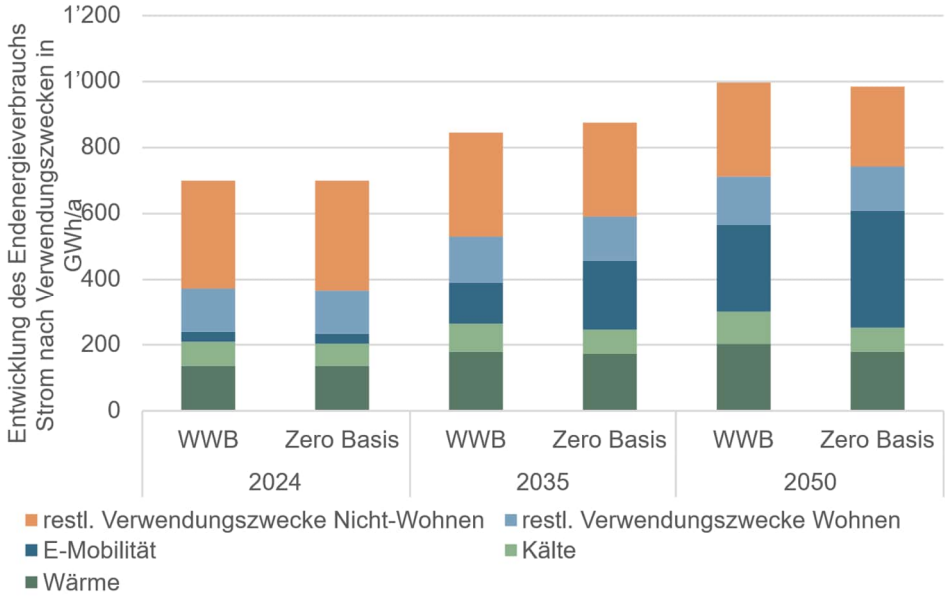


Abbildung 45 Entwicklung des künftigen Stromverbrauchs im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Steigender Stromverbrauch im Wärmesektor bis 2050: +50% in Weiter-wie-bisher, +30% in Zero Basis

Im Szenario Zero Basis steigt der Stromverbrauch für Wärme von 135 GWh im Jahr 2024 auf 176 GWh im Jahr 2050, ein Anstieg um ca. 30%. Im Szenario Weiter-wie-bisher beträgt der Stromverbrauch für Wärme 2050 203 GWh. Ein deutlich höherer Anstieg um 50%. Generell ist die Verbreitung von Wärmepumpen der Haupttreiber, dass der Strombedarf für die Bereitstellung von Wärme steigt. Die benötigte elektrische Energie pro Anlage wird jedoch kontinuierlich geringer, da durch effizientere Gebäude und durch stetige Effizienzfortschritte bei Wärmepumpen höhere Jahresarbeitszahlen erreicht werden, welche den Anteil genutzter Umweltwärme erhöhen. In Zero Basis weisen die Gebäude und die Wärmepumpenanlagen eine deutlich höhere Effizienz auf. In beiden Szenarien wird angenommen, dass bis 2050 nahezu alle direkten Elektroheizungen und -boiler ersetzt werden, welche für dieselbe Wärmemenge deutlich mehr Strom benötigen. In Zero Basis werden zuletzt deutlich mehr Gebiete im Kanton Zug mit Wärmeverbunden erschlossen. Zudem schliessen sich in Zero Basis in diesen Gebieten mehr Gebäudeeigentümer den Wärmeverbunden an. Dies reduziert den Bedarf für den Einsatz von Wärmepumpen im Vergleich zum Szenario Weiter-wie-bisher.

Sehr hoher Anstieg des Strombedarfs im Verkehr bis 2050: +870% in Weiter-wie-bisher, +1'200% in Zero Basis

Den grössten Anstieg des Stromverbrauchs verzeichnet in beiden Szenarien die Elektromobilität. Im Jahr 2024 mit 30 GWh noch wenig stark genutzt, verzwölffacht sich der Stromverbrauch für Mobilität im Szenario Zero Basis bis 2050 auf knapp 360 GWh. Dabei werden nicht nur Personenwagen, sondern auch leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Reise- und Linienbusse nahezu vollständig elektrifiziert. Damit kann in Zero Basis die Mobilität fast vollständig dekarbonisiert werden. Die Substitution von Verbrennerfahrzeugen durch Elektrofahrzeuge erfolgt im Szenario Weiter-wie-bisher ebenfalls massgeblich, jedoch weniger stark ausgeprägt. Der Stromverbrauch für Mobilität steigt bis 2050 auf knapp 265 GWh, ein Anstieg um das Neunfache. In

Weiter-wie-bisher wird auch im Jahr 2050 ein signifikanter Anteil fossiler Treibstoffe eingesetzt.

Stromverbrauch für Kälte: in Zero Basis stabil, in Weiter-wie-bisher deutlicher Anstieg

Im Szenario Zero Basis steigt der Stromverbrauch für Kälte von 69 GWh im Jahr 2024 auf 73 GWh im Jahr 2050, ein geringer Anstieg um ca. 5%. Im Szenario Weiter-wie-bisher steigt der Stromverbrauch für Kälte deutlicher und beträgt 2050 knapp 100 GWh. Ein deutlich höherer Anstieg um mehr als einen Drittel. Mit fortschreitender Klimaerwärmung steigt der Bedarf an Kälte insbesondere in Wohngebäuden in beiden Szenarien. Im Szenario Zero Basis wird dies durch hohe Effizienzsteigerungen von Klimatisierung und Prozesskälte in Dienstleistungs- und Industriebetrieben jedoch nahezu kompensiert. Im Szenario Weiter-wie-bisher sind die Kälteanwendungen sowohl in Wohngebäuden als auch in Dienstleistungs- und Industriebetrieben weniger effizient.

Restliche Verwendungszwecke: Hohe Effizienzsteigerungen in Betrieben

Der restliche Stromverbrauch setzt sich aus den Kategorien Beleuchtung, I&K[46] und Unterhaltungsmedien, Antriebe, Prozesse und sonstige Verwendungszwecke der Energieperspektiven 2050+ zusammen. Dort werden in Zukunft Effizienzgewinne erwartet, welche durch die steigende Bevölkerung und Anzahl Arbeitsplätze teilweise kompensiert werden. Im Bereich Wohnen bleibt der Stromverbrauch in Zero Basis dadurch nahezu stabil. In Weiter-wie-bisher steigt dieser um rund 10%, von 134 GWh in 2024 auf 149 GWh in 2050. Im Bereich Nicht-Wohnen führen in Zero Basis hohe Effizienzgewinne zu einer Reduktion des Stromverbrauch gegenüber 2024 um 27% bis 2050. In Weiter-wie-bisher fallen diese Effizienzgewinne etwas weniger stark aus. Der Stromverbrauch sinkt gegenüber 2024 um 13% bis 2050.

Saisonalität des Stromverbrauchs

Abbildung 46 zeigt zusätzlich zur Entwicklung auch die Saisonalität des Stromverbrauchs. Diese bleibt von 2024 bis 2050 und in beiden Szenarien stabil: rund 54% des Stroms wird im Winter verbraucht. Treiber des Stromverbrauchs im Winter ist der Verwendungszweck Wärme mit rund drei Viertel des Energiebedarfs im Winter. Die Elektromobilität hat einen etwas höheren Stromverbrauch im Winter (ca. 55%). Für den Verwendungszweck Kälte hingegen wird knapp 90% der Energie im Sommer verbraucht. Die restlichen Verwendungszwecke sind wenig saisonal abhängig.

46 Informations- und Kommunikationsgeräte

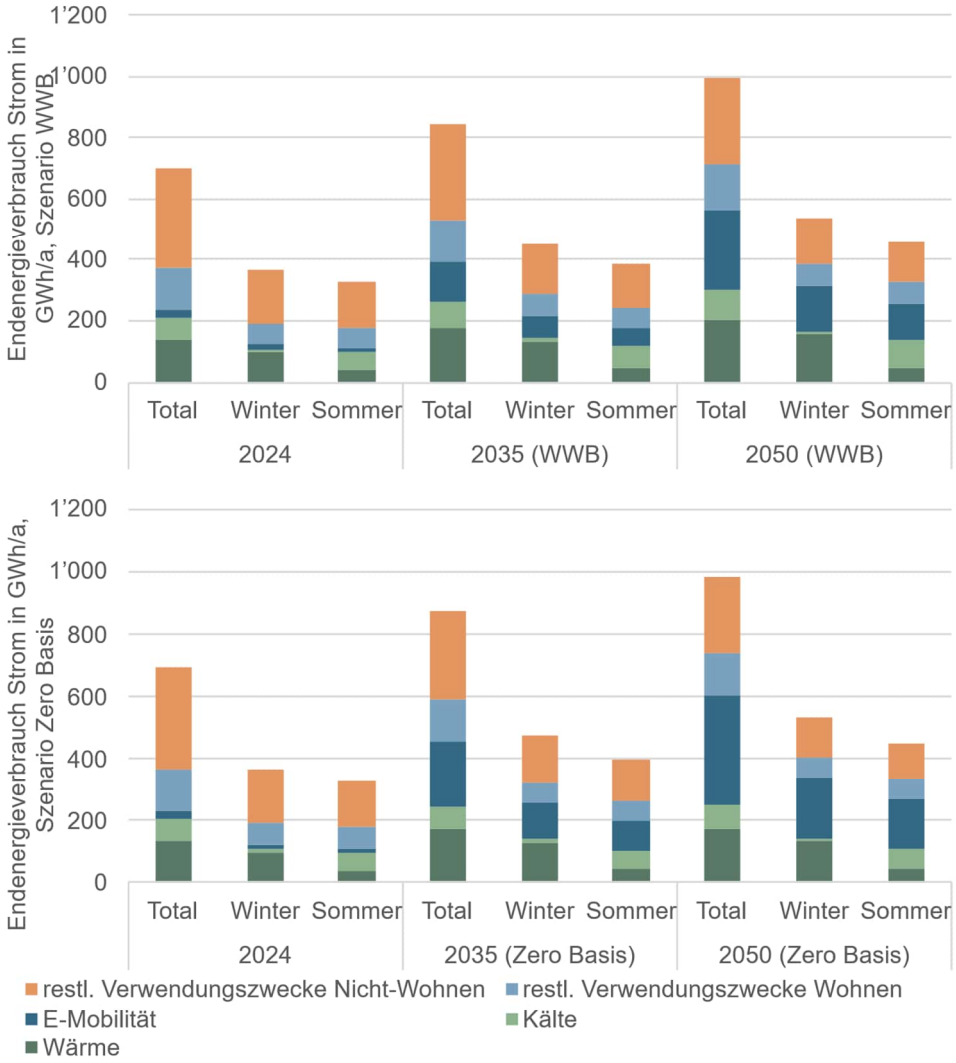


Abbildung 46 Entwicklung des künftigen Stromverbrauchs im Kanton Zug in den Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB), nach Verwendungszwecken und über das Winter- und Sommerhalbjahr.

5.4 Ausbauziele für erneuerbare Energie im Kanton Zug

Mit den in den obigen Kapiteln dargestellten Entwicklungen können Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energieträger im Kanton Zug formuliert werden. Im Fokus steht dabei der Anteil erneuerbarer Energie in den Bereichen Wärme, Kälte und Strom.

Anteil erneuerbare Wärme

Anteil erneuerbare Wärme

Das Ausbauziel für den Anteil erneuerbarer Wärme wird vom oben beschriebenen Szenario Zero Basis abgeleitet. Abbildung 47 zeigt die Entwicklung des Anteils erneuerbarer Wärme in diesem Szenario, je nachdem ob Strom als erneuerbar gezählt wird oder nicht. Wird Strom als erneuerbar betrachtet, so beträgt der Anteil im Jahr 2024 38%. Im Jahr 2035 steigt der Anteil erneuerbare Wärme auf 66%, im Jahr 2050 auf nahe bei 100%. Geeignete Ziele für den Anteil erneuerbare Wärme im Kanton Zug sind:

— 2035: 66% Wärme aus erneuerbaren Energien

— 2050: 100% Wärme aus erneuerbaren Energien

Voraussetzungen, um die Ausbauziele zu erreichen

Ein mit diesen Zielen konsistenter Ausbau bedingt, dass fossile Heizungen im Rahmen ihrer technischen Nutzungsdauer ersetzt werden. Beim Ersatz fossiler Heizungen muss in nahezu allen Fällen ein erneuerbares Heizungssystem eingesetzt werden. Zudem ist der Anteil Biogas bzw. erneuerbares Gas kontinuierlich zu erhöhen und muss im Jahr 2050 100% des Gasabsatzes abdecken. Dies ist eine grosse Herausforderung: Im betrachteten Szenario besteht im Jahr 2050 ein Bedarf für erneuerbares Gas von 150 GWh/a. Das erwartete Potenzial für Biogas und synthetisches erneuerbares Gas beträgt hingegen maximal 72 GWh/a.

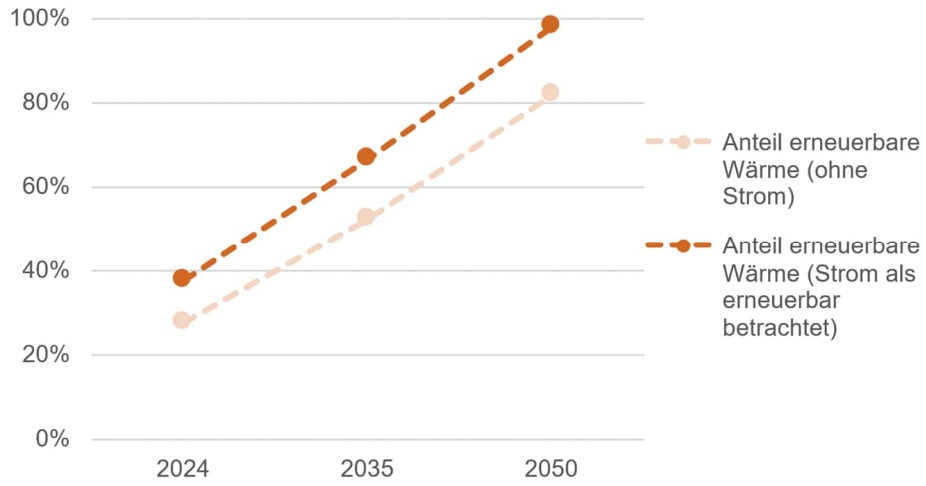


Abbildung 47 Anteil erneuerbare Wärme, je nachdem ob Strom als erneuerbar gezählt wird oder nicht.

Anteil erneuerbare Kälte

Anteil erneuerbare Kälte

Um Kälte erneuerbar bereitzustellen ist vor allem entscheidend, dass der dafür eingesetzte Strom erneuerbar ist. Dies ist im Kanton Zug bereits im Jahr 2024 grösstenteils der Fall, bis auf einen Anteil von knapp 16% Strom aus Kernenergie. Als geeignetes Ziel für den Anteil erneuerbare Kälte im Kanton Zug kann festgelegt werden, dass diese ab 2035 zu 100% erneuerbar bereitgestellt werden soll.

Voraussetzungen, um das Ausbauziel zu erreichen

Neben der Bereitstellung eines zu 100% erneuerbaren Strommixes ist insbesondere entscheidend, dass bei Kälteanwendungen überwiegend natürlich verfügbare Kälte genutzt wird, bspw. Grund- oder Seewasser oder Erdreich. Damit kann der Bedarf für mechanische Kälteerzeugung mit Strom möglichst reduziert werden.

Anteil lokale erneuerbare Stromproduktion

Annahmen für den Ausbau der lokalen erneuerbaren Stromproduktion

Um die Entwicklung des Anteils lokaler erneuerbarer Stromproduktion zu beschreiben, wird der künftige Stromverbrauch gemäss Szenario Zero Basis einem möglichen Ausbau von lokal produziertem erneuerbarem Strom gegenübergestellt. Die Annahmen für diesen Ausbau stützen sich auf die in Kapitel 3 beschriebenen Potenziale. Für den möglichen Ausbau werden zwei Varianten dargestellt. Diese Varianten unterscheiden sich bezüglich des Ausbaus von Photovoltaik – dem grössten kantonalen Potenzial für die lokale erneuerbare Stromproduktion.

Variante 1: PV-Ausbau gemäss Bundeszielen

In Variante 1 erfolgt der PV-Ausbau gemäss den Bundeszielen. Es gelten folgende Annahmen:

— Die Erschliessung des PV-Potenzials auf Dächern und an Fassaden erfolgt proportional zu den Ausbauzielen des Bundes. Dies entspricht einem Ausbau auf 275 GWh/a im Jahr 2035 und 350 GWh/a im Jahr 2050. Von den weiteren Potenzialen (Parkplätze, Infrastrukturen, Agri-Photovoltaik) soll bis 2050 ein Drittel erschlossen werden. Dies entspricht zusätzlich 20 GWh/a.

— Vom Potenzial von Windenergie sollen 55 GWh/a erschlossen werden. Die Erschliessung erfolgt zwischen 2035 und 2050. Dies entspricht der Umsetzung der Gebiete für Grosswindkraftanlagen von nationalem Interesse «Raten» und «Früebüel».

— Bei der Wasserkraft wird die heute bestehende Produktion und ein geringes, in Kapitel 3.3 beschriebenes Potenzial berücksichtigt.

Variante 2: Hohe Potenzialausschöpfung PV

In Variante 2 wird ein deutlich ambitionierterer PV-Ausbau angenommen. Es gelten folgende Annahmen:

— Die Erschliessung des PV-Potenzials erfolgt so, dass in 2035 und 2050 jeweils im Sommerhalbjahr die Stromerzeugung mit lokalen erneuerbaren Energien dem Stromverbrauch entspricht. Dies entspricht einem Ausbau auf 520 GWh/a im Jahr 2035 und 560 GWh/a im Jahr 2050. Das gesamte erwartete Potenzial der Photovoltaik beträgt im Kanton Zug 920 GWh/a.

— Der Ausbau von Windenergie und Wasserkraft entspricht Variante 1.

Gegenüberstellung von Stromverbrauch und -erzeugung

Abbildung 48 stellt für beide Varianten den Stromverbrauch der lokal produzierten elektrischen Energie gegenüber. Damit lässt sich die Entwicklung des Anteils lokalen erneuerbaren Stroms einschätzen (vgl. Tabelle 4). Dieser Anteil fällt unterschiedlich aus, wenn das gesamte Kalenderjahr oder nur das Winterhalbjahr und wenn nur neue erneuerbare Stromproduktion oder auch Wasserkraft berücksichtigt wird:

	Variante 1	**Variante 2**
Anteil Stromerzeugung aus lokalen erneuerbaren Energien am Stromverbrauch	2035: 38% (21% im Winterhalbjahr) 2050: 48% (30% im Winterhalbjahr)	2035: 65% (35% im Winterhalbjahr) 2050: 67% (40% im Winterhalbjahr)
Anteil Stromerzeugung aus lokalen, neuen erneuerbaren Energien am Stromverbrauch	2035: 33% (17% im Winterhalbjahr) 2050: 43% (26% im Winterhalbjahr)	2035: 59% (30% im Winterhalbjahr) 2050: 63% (36% im Winterhalbjahr)

Tabelle 4: Anteil lokaler erneuerbarer Strom

Anteil lokaler erneuerbarer Strom

Variante 1 entspricht mit Blick auf das Jahr 2050 einer Weiter-wie-bisher-Entwicklung[47]. Als Ausbauziele für den lokalen erneuerbaren Strom im Kanton Zug werden deshalb Werte für den Anteil von lokalem erneuerbarem Strom am Verbrauch vorgeschlagen, die in folgenden Bandbereiten liegen[48]:

— 2035: 50% bis 65% im ganzen Jahr
30% bis 35% im Winterhalbjahr

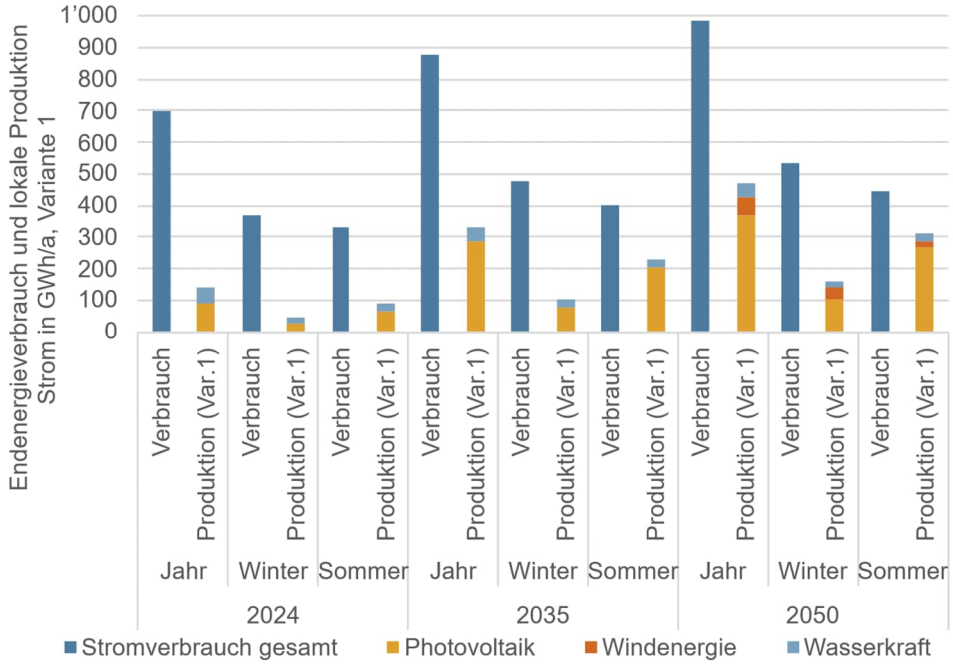
— 2050: 60% bis 67% im ganzen Jahr
35% bis 40% im Winterhalbjahr)

Voraussetzungen, um die Ausbauziele zu erreichen

Entscheidend für eine Erreichung der Ausbauziele ist eine schnelle und sehr weitgehende Erschliessung der im Kanton verfügbaren PV-Potenziale. Um im Jahr 2050 einen Anteil von Strom aus lokalen erneuerbaren Energien von 67% (und 40% im Winterhalbjahr) zu erreichen ist ein PV-Ausbau von rund 560 GWh/a nötig. Dies entspricht etwas über 60% des in Kapitel 3 ausgewiesenen erwarteten Potenzials. Ebenso entscheidend ist eine frühzeitige Strategie zur Integration dieses Ausbaus in die Stromnetze. Dazu gehören nicht nur der gezielte Ausbau und die Verstärkung der Netze, sondern auch deren Digitalisierung und betriebliche Optimierung, die netzdienliche Steuerung von PV-Anlagen und Wechselrichtern, der gezielte Einsatz von Speichern sowie die breite Flexibilisierung der Nachfrage, insbesondere bei Wärmepumpen, Elektrofahrzeugen und weiteren steuerbaren Lasten. Der PV-Zubau sollte zudem räumlich und qualitativ so ausgerichtet werden, dass winterliche Erträge, Eigenverbrauch und Netzverträglichkeit verbessert werden. Zusätzlich sind die Gebiete für Grosswindkraftanlagen von nationalem Interesse «Raten» und «Früebüel» zu erschliessen. Der Beitrag der Windenergie ist sehr wertvoll, da zwei Drittel der produzierten Energie im Winter anfallen.

47 Wird die durchschnittliche Entwicklung des Zubaus von Photovoltaik in den Jahren 2018–2024 auf das Jahr 2050 extrapoliert, entspricht der damit erreichte Zubau Variante 1.

48 Die Bandbereiten ergeben sich aus den Mittelwerten von Variante 1 und 2 (untere Schwelle) und Variante 2 (obere Schwelle).



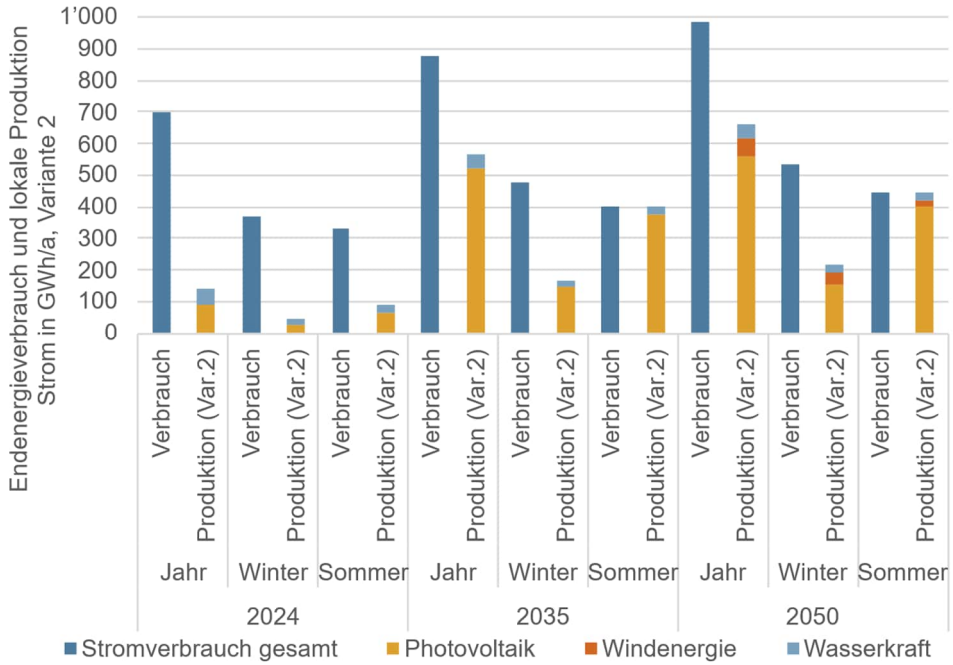


Abbildung 48 Gegenüberstellung der Entwicklung des Stromverbrauchs von 2024 bis 2050 mit der lokal produzierten elektrischen Energie für Variante 1 (oben) und Variante 2 (unten).

6. Synthese

Umfassende Transformation des Energiesystems nötig

Umfassende Transformation des Energiesystems nötig

Damit der Kanton Zug bis 2050 Netto-Null-Emissionen erreicht und gleichzeitig eine sichere Energieversorgung gewährleistet bleibt, ist ein umfassender Umbau des Energiesystems nötig. Abbildung 49 zeigt dies deutlich: Die Abbildung vergleicht die Energieflüsse im Jahr 2024 mit jenen im Szenario Zero Basis im Jahr 2050. Der abgebildete Umbau betrifft Wärme, Strom und Mobilität[49] und erstreckt sich über mehrere Jahrzehnte.

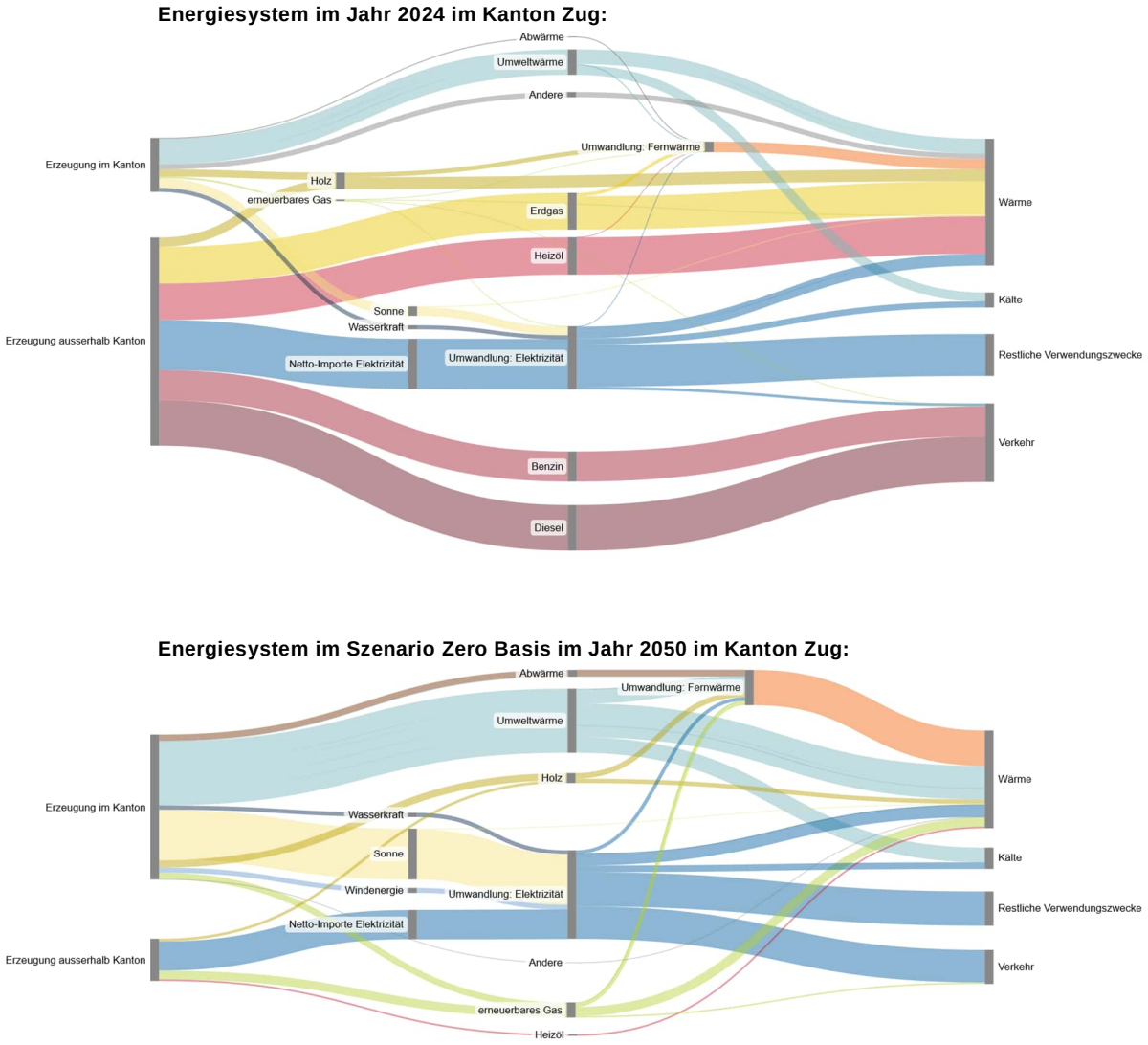


Abbildung 49 Energieflüsse im Kanton Zug im Jahr 2024 (oben) und im Szenario Zero Basis im Jahr 2050 (unten)

49 Für die Energiefluss-Diagramme wurde der Energieverbrauch der Mobilität ganzheitlich abgebildet, d.h. inklusive Verbrauch fossiler Treibstoffe (vgl. Anhang A1)

Stossrichtungen für Netto-Null und Versorgungssicherheit

Das zusätzlich betrachtete Szenario Weiter-wie-bisher bildet die Weiterführung der heutigen Massnahmen und Entwicklungen ab. Abbildung 50 zeigt, dass diese in die Richtung der gleichen Transformation wie in Zero Basis führen, aber weniger konsequent und mit einer für die Erreichung des Netto-Null-Ziels ungenügenden Umsetzungsgeschwindigkeit. Wie genau das Energiesystem im Jahr 2050 schliesslich aussieht, ist heute offen – es hängt unter anderem von Entwicklungen im In- und Ausland sowie von Entscheidungen in Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Markt ab. Mit den Resultaten dieser Studie lassen sich zentrale Stossrichtungen ableiten, die im Folgenden aufgezeigt werden. Diese Stossrichtungen sollten bereits heute konsequent verfolgt werden, weil sie direkt der Umsetzung des Netto-Null-Ziels und der Steigerung der Versorgungssicherheit dienen.

Energiesystem im Szenario Weiter-wie-bisher im Jahr 2050 im Kanton Zug:

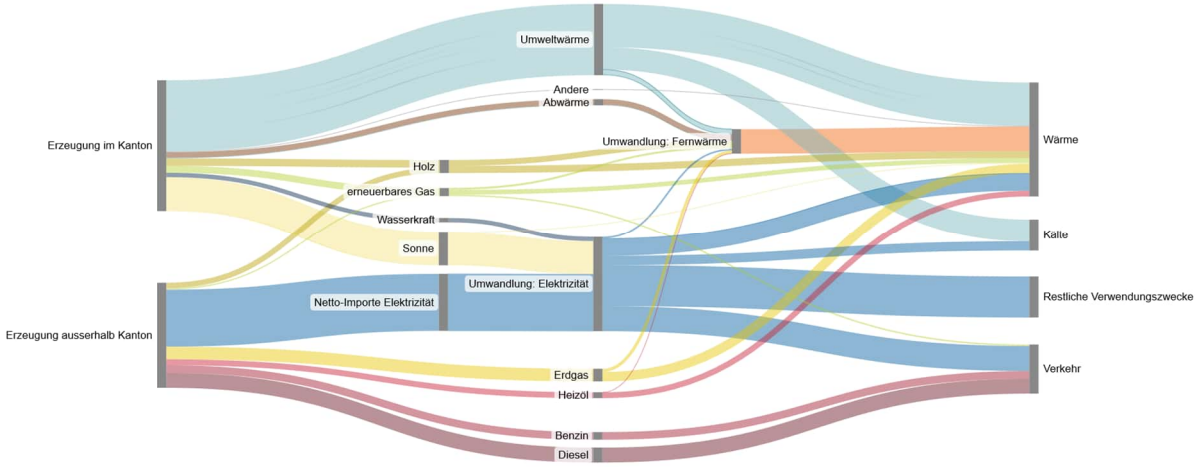


Abbildung 50 Energieflüsse im Kanton Zug im Szenario Weiter-wie-bisher im Jahr 2050 (unten)

Energieeffizienz ist zentral für ein nachhaltiges und sicheres Energiesystem

Energieeffizienz mit zusätzlichen Anstrengungen weiter steigern

Energieeffizienz ist ein zentraler Hebel, um Versorgungssicherheit und Klimaziele im Energiebereich gleichzeitig zu erreichen: Jede eingesparte Kilowattstunde reduziert den Bedarf an Energie, entlastet Netze und senkt den Ausbaubedarf bei Erzeugung und Infrastrukturen. Abbildung 51 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Kanton in den beiden betrachteten Szenarien für alle Verwendungszwecke. Zur hohen Steigerung der Energieeffizienz, wie sie im Szenario Zero Basis erreicht wird, müssen alle Verwendungszwecke beitragen. Grosse Reduktionen des Energieverbrauchs werden in Wärme, Mobilität und bei restlichen Verwendungszwecken in Betrieben erreicht. Bei Kälteanwendungen und restlichen Verwendungszwecken im Bereich Wohnen wird dank Energieeffizienz bei steigender Nutzung eine Stabilisierung des Endenergieverbrauchs erreicht.

Energieeffizienz mit zusätzlichen Anstrengungen weiter steigern

Um die Ziele des Szenarios Zero Basis zu erreichen, braucht es neben den bestehenden Instrumenten zusätzliche Anstrengungen in allen Verbrauchssektoren. Der Energieverbrauch der Gebäude soll durch konsequente Effizienzverbesserungen weiter sinken (z.B. Sanierungen, bessere Gebäudehüllen und effiziente Systeme), ebenso der Energieverbrauch in Industrie und Verkehr. Damit kann der Bedarf an knappen und voraussichtlich auch teuren biogenen und synthetischen Energieträgern auf jene Anwendungen beschränkt werden, in denen kaum Alternativen bestehen, wie Hochtemperaturprozesse in der Industrie.

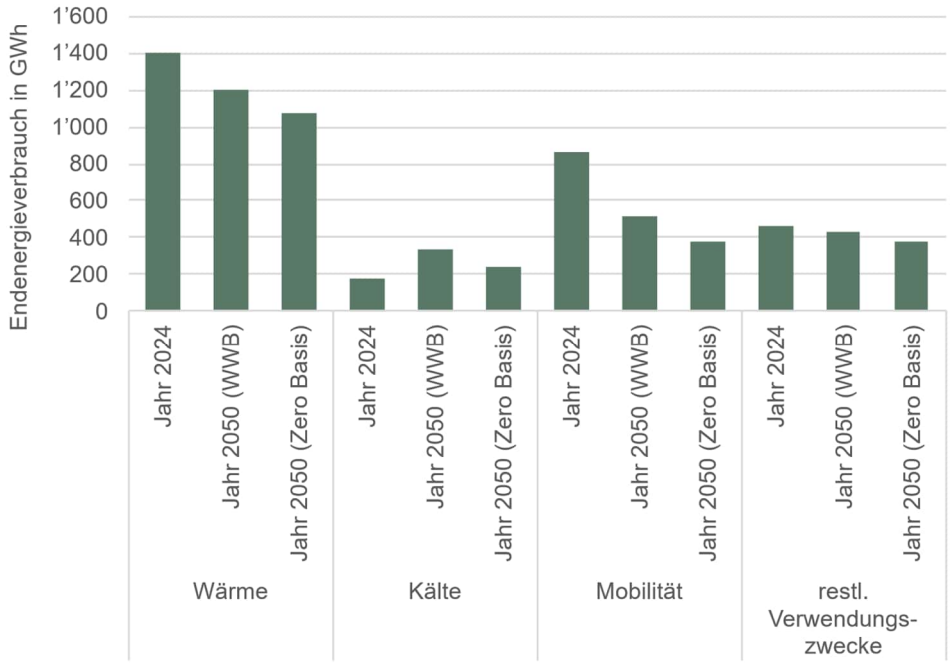


Abbildung 51 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verwendungszwecken im Kanton Zug im Jahr 2024 sowie 2050 für die betrachteten Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Die lokale Energieerzeugung im Kanton Zug wird deutlich gesteigert

Deutlich höhere lokale Energieerzeugung

Durch die Transformation der Energieversorgung erfolgt künftig ein grosser Teil der Energieerzeugung im Kanton Zug. Dies sowohl bei Strom als auch bei Wärme. Abbildung 52 zeigt, dass mit einer Entwicklung in Richtung des Szenarios Zero Basis, die lokal im Kanton erzeugte Energie deutlich gesteigert werden kann: von heute knapp 20% auf rund 75% im Jahr 2050. Dafür werden die lokalen Potenziale konsequent genutzt: bei Strom vor allem Photovoltaik (ergänzt durch Wasser- und Windkraft) und bei Wärme insbesondere Umweltwärme und Abwärme.

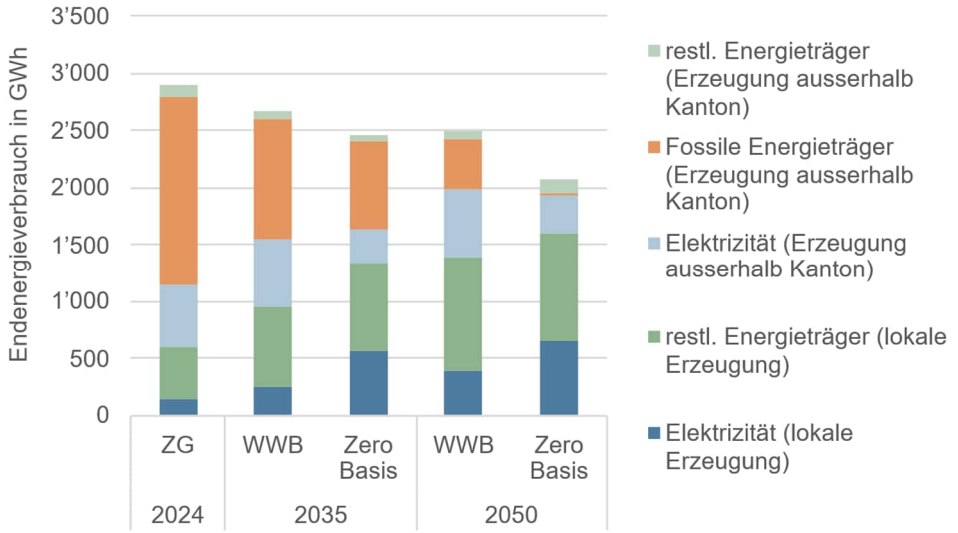


Abbildung 52 Endenergieverbrauch im Kanton Zug, unterteilt nach lokal im Kanton erzeugter Energie und Energieträgern, die ausserhalb des Kantons erzeugt werden. Dargestellt für 2020 sowie jeweils für 2035 und 2050 für die Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Zentrale Rolle von elektrischer Energie

Abbildung 52 zeigt ebenfalls deutlich, dass sich die Energieversorgung weg von fossilen Energieträgern hin zu Elektrizität verschiebt. Der Anteil elektrischer Energie steigt im Kanton Zug von heute 25% auf rund 50% im Jahr 2050. Künftig wird Elektrizität in allen wesentlichen Verwendungszwecken (insbesondere Wärme und Mobilität) zum zentralen Energieträger. Sie ersetzt fossile Energie und ermöglicht die Nutzung lokaler erneuerbarer Energiequellen.

Elektrizität ermöglicht den Einsatz von hocheffizienten Schlüsseltechnologien

Elektrifizierung ist nicht nur ein Energieträger-Wechsel, sondern ein Effizienzsprung. Mit Elektrizität können hocheffiziente Schlüsseltechnologien eingesetzt werden, die vor Ort keine Treibhausgasemissionen verursachen und im Betrieb deutlich weniger Energie benötigen als fossile Alternativen. Besonders wichtig sind Wärmepumpen und Elektromobilität: Wärmepumpen nutzen Strom, um einen grossen Teil der benötigten Wärme als Umweltwärme aus Luft, Erdreich oder Grund- und Oberflächengewässern zu gewinnen. Effiziente Anlagen erreichen Jahresarbeitszahlen um vier. Sie liefern also mit einer Einheit Strom rund vier Einheiten Wärme und sind damit deutlich effizienter als auch moderne Feuerungen. Auch im Verkehr ist der Effizienzvorteil entscheidend: Batterieelektrische Fahrzeuge setzen einen grossen Teil der eingesetzten Energie in Antriebsenergie um (grobe Grössenordnung: rund zwei Drittel). Bei Verbrennungsmotoren ist es deutlich weniger

(rund ein Fünftel). Diese Effizienzgewinne sind ein zentraler Hebel, um den Energiebedarf insgesamt zu senken.

Der Ausbau der Photovoltaik ist essenziell; Wasserkraft und Windenergie ergänzen

Raschen Ausbau der lokalen erneuerbaren Stromproduktion forcieren

Damit der steigende Strombedarf zuverlässig gedeckt werden kann, ist der konsequente Ausbau der lokalen Stromproduktion entscheidend. Dies besonders im Winterhalbjahr, wenn die Versorgungslage am anspruchsvollsten ist. Abbildung 53 zeigt, dass im Szenario Zero Basis der Anteil von lokal erzeugtem Strom trotz höherem Stromverbrauch gegenüber 2024 deutlich gesteigert werden kann. Dabei weist Photovoltaik das mit Abstand grösste Potenzial auf und liefert sowohl über das Kalenderjahr als auch im Winterhalbjahr den grössten Beitrag. Windenergie ist eine ideale Ergänzung zur Photovoltaik, weil ihre Produktion saisonal komplementär ist: Im Kanton Zug fallen rund zwei Drittel der Windstromproduktion im Winterhalbjahr an. Wasserkraft kann im Winterhalbjahr ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten. Stromerzeugung durch Geothermie kann punktuell einen ergänzenden Beitrag leisten. Entsprechende Projekte sind jedoch mit hohen Unsicherheiten verbunden. Eine Stromproduktion mit Geothermie wurde deshalb in den betrachteten Szenarien nicht berücksichtigt.

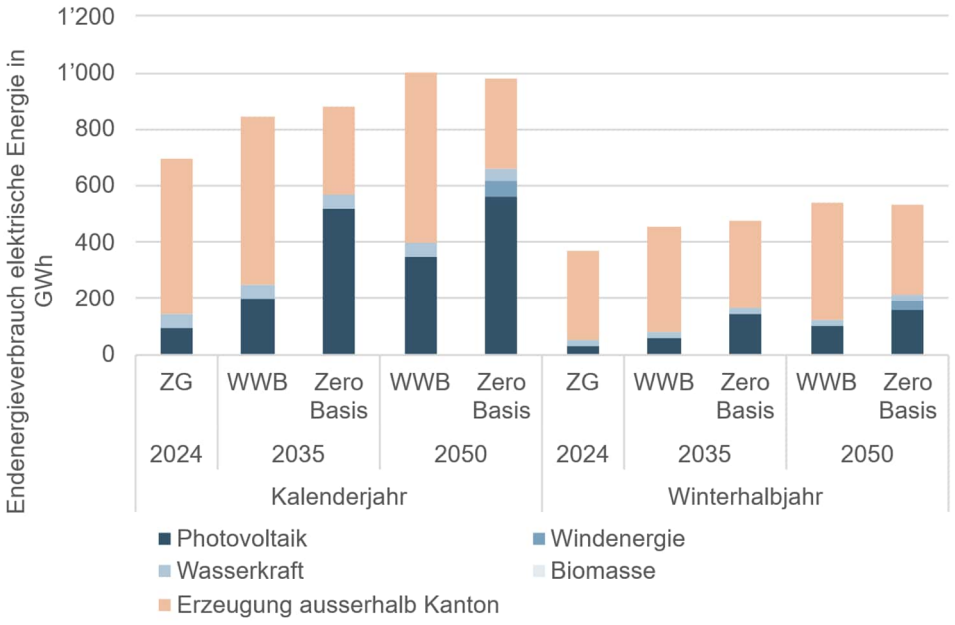


Abbildung 53 Endenergieverbrauch elektrischer Energie im Kanton Zug und deren Erzeugung, unterteilt Kalenderjahr und Winterhalbjahr. Dargestellt für 2020 sowie jeweils für 2035 und 2050 für die Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Elektrifizierung stellt hohe Anforderungen an künftige Stromnetze

Die Stromnetze müssen so weiterentwickelt werden, dass sie dem steigenden Stromverbrauch und der zunehmenden lokalen Stromproduktion gerecht werden. Dazu gehören der bedarfsgerechte Ausbau von Verteil- und Übertragungsnetzen, die Verstärkung von Engpassbereichen sowie die konsequente Digitalisierung und bessere Steuerbarkeit im Betrieb. Gleichzeitig gewinnt Flexibilität an Bedeutung: Lastmanagement, Speicher und steuerbare Verbraucher helfen, Spitzen zu reduzieren und die lokale Produktion

besser zu integrieren. Wie stark und wo der Netzausbau nötig wird, hängt neben dem grundsätzlich planbaren Ausbau von Wärmepumpen, Elektromobilität und Photovoltaik auch stark von einzelnen Entwicklungen ab. Besonders relevant sind neue, stromintensive Verbraucher wie Rechenzentren, die lokal zu erheblichen Netz- und Leistungsanforderungen führen können. Solche Standortentscheide und Lastentwicklungen sind deshalb frühzeitig zu antizipieren und mit Netzplanung, Energieplanung und raumplanerischen Instrumenten zu koordinieren.

Konsequente Nutzung von Umweltwärme und Abwärme für die Wärmeerzeugung

Umweltwärme und Abwärme zentral für die klimaneutrale Wärmeversorgung

Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung sind Umweltwärme und Abwärme zentrale lokale Energiequellen. Abbildung 54 zeigt, dass insbesondere Umweltwärme in beiden betrachteten Szenarien eine zentrale Rolle für die Wärmeversorgung im Kanton Zug spielt. Die Potenziale sind insgesamt sehr hoch und könnten noch stärker genutzt werden, etwa Grundwasser und Oberflächengewässer.

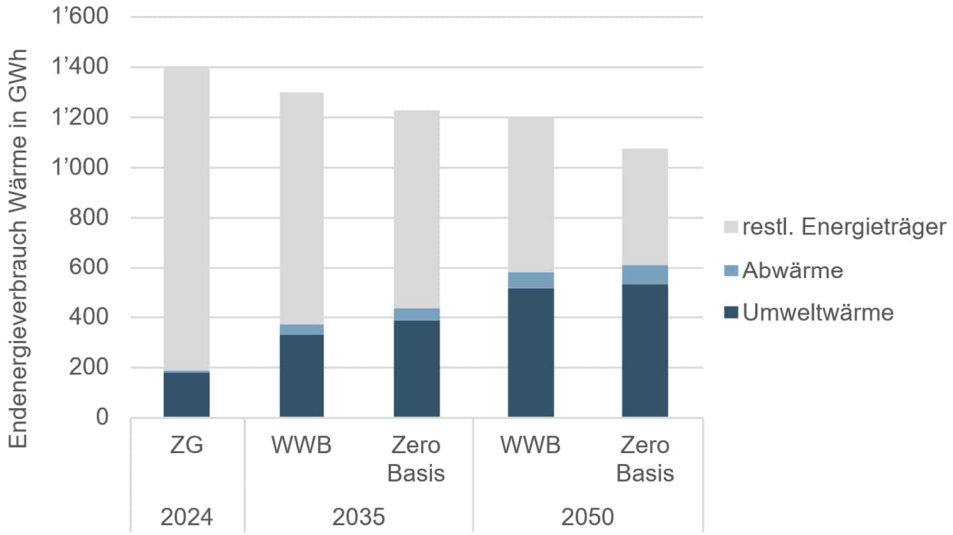


Abbildung 54 Endenergieverbrauch Wärme im Kanton Zug und deren Deckung, mit einem Fokus auf Umweltwärme und Abwärme. Dargestellt für 2020 sowie jeweils für 2035 und 2050 für die Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

Optimale Nutzung in Wärme- und Energieverbunden

Umweltwärme kann mit Wärmepumpen in einzelnen Gebäuden als auch über Wärme- und Energieverbunde als Fernwärme genutzt werden. Im Szenario Zero Basis erfolgt die Nutzung der Umweltwärme verbreitet in Wärme- und Energieverbunden. Im Kanton Zug besteht bereits eine Vielzahl von Verbunden, deren Ausbau aktiv vorangetrieben wird. Entscheidend für Netto-Null 2050 ist dabei, dass der Auf- und Ausbau der Wärme- und Energieverbunde weiter vorangetrieben wird und dass die eingesetzte Wärme ausschliesslich aus erneuerbaren Quellen und Abwärme stammt. Eine Vernetzung der geplanten Wärmeverbunde kann helfen, Quellen und Senken räumlich auszugleichen und die lokalen Potenziale insgesamt optimal auszuschöpfen. Dies insbesondere im Gebiet um den Zugersee (Cham, Steinhausen und Zug), wo eine Nutzung der Abwärme der KVA vorgesehen ist.

Die Abwärme aus der KVA ist mengenmässig begrenzt und kann nicht beliebig ausgebaut werden, während bei der Umweltwärme grosse weitere Potenziale bestehen (Zugersee, Grundwasser).

Wichtigkeit von saisonaler Speicherung thermischer Energie

Eine saisonale Speicherung von thermischer Energie gewinnt an Bedeutung, um Wärmeangebot und -bedarf über das Jahr besser auszugleichen. Saisonale thermische Speicher ermöglichen, Abwärme und Umweltwärme aus dem Sommerhalbjahr für den Winter nutzbar zu machen – beispielsweise KVA-Abwärme oder Abwärme aus Kälteanwendungen. Wo sinnvoll, kann damit sichergestellt werden, dass ein möglichst grosser Anteil dieser Wärme auch im Winterhalbjahr zur Verfügung steht, Spitzenlasten reduziert werden und Wärmeverbunde stabiler und effizienter betrieben werden können. Bei der oberflächennahen Erdwärme werden in ausgewählten Gebieten Massnahmen zur Regeneration des Erdreichs nötig sein, damit die Nutzung langfristig nachhaltig und effizient bleibt. Zuletzt ist auch Energieholz ein speicherbarer Energieträger mit limitiertem Potenzial. Energieholz soll vor allem im Winter einen Beitrag leisten, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist. Aufgrund des begrenzten Potenzials soll Energieholz gezielt eingesetzt und mit anderen erneuerbaren Wärmequellen (z. B. Wärmepumpen, Abwärme, Fernwärme) kombiniert werden – insbesondere zur Abdeckung von Winterspitzen und als Ergänzung zur Versorgungssicherheit.

Biogas und synthetische erneuerbare Gase leisten einen Beitrag – ihr Potenzial ist jedoch begrenzt

Erneuerbare Gase zielgerichtet einsetzen

Biogas und synthetisch erzeugte erneuerbare Gase leisten künftig einen Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Dekarbonisierung. Bis 2050 muss die Gasversorgung vollständig erneuerbar ausgestaltet werden. Gleichzeitig ist das Potenzial für die Produktion und den Bezug solcher Energieträger begrenzt und voraussichtlich mit höheren Kosten verbunden. Deshalb sollen erneuerbare Gase prioritär dort eingesetzt werden, wo Alternativen fehlen oder sehr aufwändig sind, insbesondere für bestimmte Industrieprozesse sowie für Spitzenlast und Redundanz in der Wärmeversorgung. Damit der Einsatz dieser Energieträger zielgerichtet erfolgt, ist vertieft abzuklären, für welche Anwendungen erneuerbares Gas im Kanton langfristig tatsächlich benötigt wird. Dazu gehört die Prüfung, ob Prozesse elektrifiziert werden können (z. B. mit Wärmepumpen oder elektrischer Prozesswärme) oder ob andere erneuerbare Energieträger (z. B. Fernwärme, Abwärmenutzung, Solarthermie) die gleiche Funktion übernehmen können. So lässt sich das knappe Potenzial auf jene Anwendungen konzentrieren, in denen es den grössten Nutzen stiftet. Der verbleibende Gasabsatz im Jahr 2050 wird sich damit voraussichtlich auf wenige Anwendungen konzentrieren: auf Spitzenlasten (z. B. sehr kalte Tage, Redundanz) und auf industrielle Grossverbraucher mit spezifischen Prozessanforderungen. Gerade bei den Grossverbrauchern ist entscheidend, wie sich die industrielle Struktur im Kanton Zug entwickelt und ob diese Betriebe langfristig am Standort tätig bleiben. Diese Unsicherheit ist bei der Auslegung einer erneuerbaren Gasversorgung und der Planung der verbleibenden Infrastruktur mitzudenken.

Aufeinander abgestimmte Transformation von Gas- und Fernwärmenetzen

Für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung spielt der Ausbau der Wärme- und Energieverbunde eine zentrale Rolle. Fernwärmenetze müssen in geeigneten Gebieten gezielt erweitert und neue Verbunde aufgebaut werden, damit ein grosser Teil der heute eingesetzten fossilen Energieträger ersetzt werden kann. Dieser Ausbau der Wärme- und Energieverbunde erfolgt insbesondere auch in jenen Gebieten, die heute mit Gas versorgt sind. Abbildung 55 zeigt, dass mit der Umstellung auf Fernwärme (und Wärmepumpen) gleichzeitig der Gasabsatz deutlich sinkt. Das wird dazu führen, dass Gasnetze oder Teilabschnitte mittelfristig wirtschaftlich nicht mehr tragbar sind und schrittweise stillgelegt werden. Der Umstieg von Gas auf Fernwärme ist deshalb zeitlich und räumlich zu koordinieren: Ausbaupläne der Wärmeverbunde, Investitionsentscheide von Gebäudeeigentümerschaften sowie die Planung der Gasnetzbetreiber sollten aufeinander abgestimmt werden. So lassen sich Fehlinvestitionen vermeiden, Versorgungslücken verhindern und der Übergang für Haushalte und Betriebe planbar gestalten.

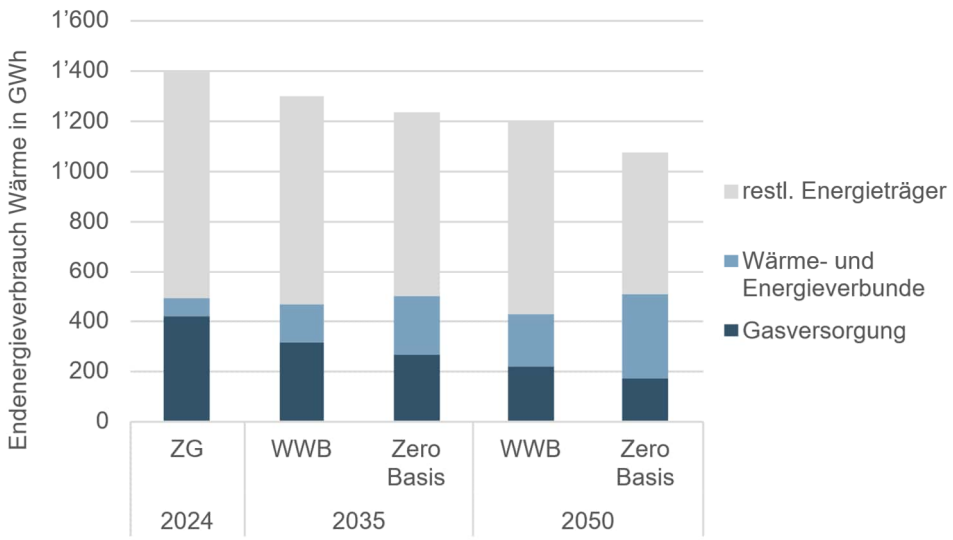


Abbildung 55 Endenergieverbrauch Wärme im Kanton Zug und deren Deckung, mit einem Fokus auf die Gasversorgung und Wärme- und Energieverbunde. Dargestellt für 2020 sowie jeweils für 2035 und 2050 für die Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher (WWB).

A1 Methodische Grundlagen

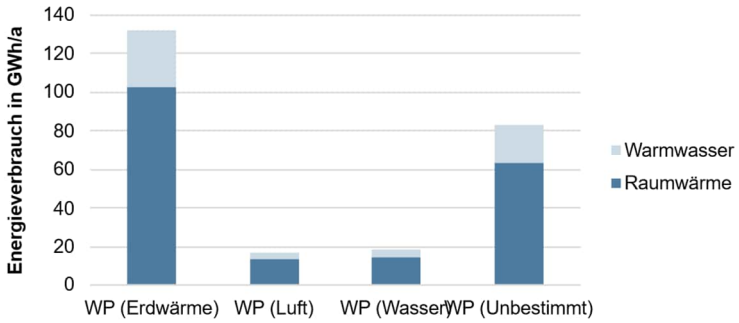
A1.1 Energiebedarf und -verbrauch

Die folgende Tabelle zeigt, welche Methoden eingesetzt wurden, um den Energiebedarf und -verbrauch abzuschätzen.

<table>
<tr><th>Verwendungszweck / Sektor</th><th>Methodisches Vorgehen</th></tr>
<tr><td>Erhebung Wärmebedarf und Endenergieverbrauch für Wärmeerzeugung</td><td>
Die Erhebung des Wärmebedarfs und des Endenergieverbrauchs für die Wärmeerzeugung erfolgte gebäudescharf. Als Grundlage wurde die Energiebezugsfläche (EBF) über das Eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) wie folgt geschätzt:

Wenn das GWR Angaben zu EBF enthält, wurden diese direkt übernommen. Dies ist jedoch nur für sehr wenige Gebäude der Fall.
Für Gebäude mit ausschliesslicher Wohnnutzung wurden die EBF auf Basis der Wohnfläche geschätzt.
Für Gebäude mit nur teilweiser oder keiner Wohnnutzung wurden die EBF auf Basis der Gebäudegrundfläche und der Anzahl Stockwerke geschätzt.
Für Gebäude, für welche diese Angaben fehlen (Wohnfläche, Gebäudegrundfläche, Anzahl Stockwerke), wurde die EBF gleich null gesetzt.

Der Wärmebedarf der Gebäude wurde mit dem Produkt der EBF und Energiekennzahlen geschätzt. Energiekennzahlen beschreiben den Wärmebedarf pro m² EBF. Die Annahmen für Energiekennzahlen unterscheiden Gebäudetypen und Baujahrperioden, bspw. die Annahmen für die angewendeten Energiekennzahlen für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH):
<table>
<tr><th>Gebäudebauperiode</th><th>EFH</th><th>MFH</th><th>Einheit</th></tr>
<tr><td>Vor 1919</td><td>155</td><td>123</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1919-1945</td><td>150</td><td>122</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1946-1960</td><td>160</td><td>127</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1961-1970</td><td>164</td><td>124</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1971-1980</td><td>129</td><td>114</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1981-1985</td><td>102</td><td>91</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1986-1990</td><td>94</td><td>83</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1991-1995</td><td>83</td><td>73</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>1996-2000</td><td>74</td><td>63</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>2001-2005</td><td>66</td><td>51</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>2006-2010</td><td>55</td><td>40</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>2011-2015</td><td>39</td><td>31</td><td>kWh/m2</td></tr>
<tr><td>Nach 2015</td><td>26</td><td>21</td><td>kWh/m2</td></tr>
</table>
Zusätzlich wurden Energiekennzahlen für die Bereitstellung von Warmwasser von 14 kWh/m² (EFH) und 21 kWh/m² (MFH) berücksichtigt.
Die Informationen zum Energieträger der Gebäude des GWR wurden mit weiteren gebäudescharfen Anlagendaten verbessert. Verwendet wurden verfügbare Feuerungskontrolldaten des Kantons, Standorte von Erdsondenbohrungen des kantonalen Geoportals, Konzessionen für Grundwasserwärmenutzungen des Amts für Umwelt sowie Daten zu Wärmepumpen des Fachvereins Wärmepumpen Schweiz (FWS). Alle diese Daten wurden verwendet, um den Energieträger des Standortgebäudes zu korrigieren. Mittels der Anlagendaten der Feuerungskontrolle und den Daten zu Erdwärmepumpen wurden die Angaben zur Leistung, sofern vorhanden, verwendet, um den Wärmebedarf zu schätzen und zu korrigieren. Dabei wurden Volllaststunden von 1'500 (kleinere Anlagen/Feuerungen) und 1'750 (grössere Anlagen/Feuerungen) angewendet.
Die Aufteilung auf die Bereiche Wohnen und Nicht-Wohnen erfolgte über den Typ des Gebäudes, auf welches sich der Wärmebedarf bezieht. Durch die Verfügbarkeit von Anlagendaten zu Heizöl-, Gas- und Holzfeuerungen sind auch Schätzungen zur Prozesswärme möglich. Der Anteil an Prozesswärme wurde anhand einer Liste der grösseren Feuerungen abgeschätzt.
</td></tr>
</table>

Unsicherheiten bei der Ermittlung der Wärmebilanz	Der Wärmebedarf und -verbrauch wurde detailliert auf gebäudescharfer Grundlage ermittelt. Basis bildete das Eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR). Dieses weist teilweise veraltete Daten auf. Mit zusätzlichen Anlagedaten wurde dies bestmöglich aktualisiert. Trotzdem besteht die Tendenz, dass der Einsatz fossiler Energieträger überschätzt, und der Anteil erneuerbarer Energieträger unterschätzt wird. Eine Herausforderung ist insbesondere die Identifikation von Luft/Wasser-Wärmepumpen. Zur Analyse der aktuellen Nutzung von Umweltwärme im Kanton Zug wurden Daten des GWR, kantonale Bewilligungs- und Konzessions- und Anlagendaten des FWS einbezogen. Mit den kantonalen Bewilligungs- und Konzessionsdaten können jene Wärmepumpen robust abgeschätzt werden, welche Erdwärme oder Grundwasser nutzen. Luft/Wasser-Wärmepumpen, welche die Umgebungsluft nutzen, konnten teilweise anhand der FWS-Daten identifiziert werden. Allerdings verbleibt eine grosse Anzahl von Wärmepumpen, welche über das GWR identifiziert wurden, deren Energieträger jedoch nicht eindeutig bestimmt ist. Dies ist in der untenstehenden Abbildung gezeigt. Die vorliegende Studie geht nun davon aus, dass es sich bei diesen Wärmepumpen mit unbestimmtem Energieträger um Luft/Wasser-Wärmepumpen handelt. Mit dieser Annahme beträgt der Energieverbrauch von Luft/Wasser-Wärmepumpen rund 100 GWh/a (Strom und Umweltwärme). Im Vergleich zu Erdwärme-Wärmepumpen mit einem Energieverbrauch von ca. 130 GWh/a erscheint dies aufgrund von Erfahrungswerten in anderen Kantonen und Gebieten eher gering und die Anzahl Luft/Wasser-Wärmepumpen scheinen unterschätzt. 
Abschätzung Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte	Der Kältebedarf wurde aus übergeordneten Daten der Schweizer Energieperspektiven 2050+ abgeschätzt. Für die Abschätzung für den Kanton Zug wurden folgende Verteilungsgrössen angewendet: – Bereich Wohnen: Anteil Bevölkerung im Kanton Zug, relativ zur Schweiz – Dienstleistungsbetriebe: Anteil Beschäftigte im tertiären Sektor im Kanton Zug, relativ zur Schweiz – Industriebetriebe: Anteil Beschäftigte im sekundären Sektor im Kanton Zug, relativ zur Schweiz – Landwirtschaft: Anteil Beschäftigte im primären Sektor im Kanton Zug, relativ zur Schweiz
Erhebung Stromverbrauch	Der Stromverbrauch wurde direkt mit Angaben der drei Verteilnetzbetreiber (VNB) WWZ, Elektro-Genossenschaft Hünenberg (EGH) und EKZ erhoben. Für die eingesetzten Energieträger wurde der Strommix der kantonalen VNB vereinfacht auf den gesamten verteilten Strom angewendet. Nicht berücksichtigt wurde, dass ein Teil der verteilten Strommenge an drittbelieferte Marktkunden geht. Diese können ihren Stromversorger selbst wählen. Die Menge des an drittbelieferten Marktkunden gelieferten Stroms und die dabei eingesetzten Energieträger sind unbekannt.
Abschätzung Verwendungszwecke im Stromverbrauch	Der Stromverbrauch für Wärme und Kälte wurde mit den oben beschriebenen Methoden abgeschätzt. Der Stromverbrauch für die Elektromobilität wurde basierend auf dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz, welches u.a. die Grundlage für die Ladebedarfsszenarien[9] des Bundesamts für Energie bildet, abgeschätzt. Das Modell berücksichtigt die soziodemographische Entwicklung, Technologie- und Marktentwicklungen, das Mobilitätsverhalten, Verkehrsflüsse für jede Verkehrszone pro Gemeinde, das individuelle Ladeverhalten (52 Typen) sowie die vorhandene Ladeinfrastruktur inkl. deren Verfügbarkeit. Eine detaillierte Beschreibung des Modells befindet sich in der Studie «Verständnis Ladeinfrastruktur 2050»[50]. Die weiteren Verwendungszwecke wurden anhand der Energieperspektiven 2050+ abgeschätzt. Wobei die gleichen Verteilungsgrössen wie bei der Abschätzung des Kältebedarfs und Stromverbrauch für Kälte angewendet wurden.

50 EBP im Auftrag des Bundesamt für Energie (2023): Verständnis Ladeinfrastruktur 2050 – Wie lädt die Schweiz in Zukunft?

A1.2 Potenziale erneuerbarer Energieträger

Potenzialbegriffe

Unterschiedliche Potenzialbegriffe

Die vorliegende Potenzialanalyse stützt sich auf die in Abbildung 56 dargestellten Potenzialbegriffe. Das *theoretische Potenzial* bezeichnet die theoretisch physikalisch nutzbare Energiemenge. Das *technische Potenzial* ist der Anteil des theoretischen Gesamtpotenzials, der unter den gegebenen technischen Rahmenbedingungen umsetzbar ist. Das *ökologische Potenzial* ist jener Anteil des technischen Potenzials, dessen Nutzung den Lebensraum nicht dauerhaft beeinträchtigt. Das *wirtschaftliche Potenzial* beschreibt jenen Anteil des technischen Potenzials, dessen Gesamtkosten in der gleichen Bandbreite liegen wie die Gesamtkosten konkurrierender Systeme.

Erwartetes Potenzial

Die Studie identifiziert das *erwartete Potenzial*. Dies entspricht der in Abbildung 56 bezeichneten Schnittmenge und ist das aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten realisierbare Potenzial. Einschränkungen des erwarteten Potenzials erfolgen einerseits aus *Angebotssicht*: Das erwartete Potenzial entspricht dabei der aus ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten verfügbaren Energiemenge, diese kann im Kanton genutzt werden. Einschränkungen des erwarteten Potenzials erfolgen andererseits auch aus *Nachfragesicht*: Das erwartete Potenzial entspricht dabei der Energiemenge, die aufgrund der lokalen Nachfrage genutzt werden kann und geringer ist als die aus ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten verfügbare Energiemenge.

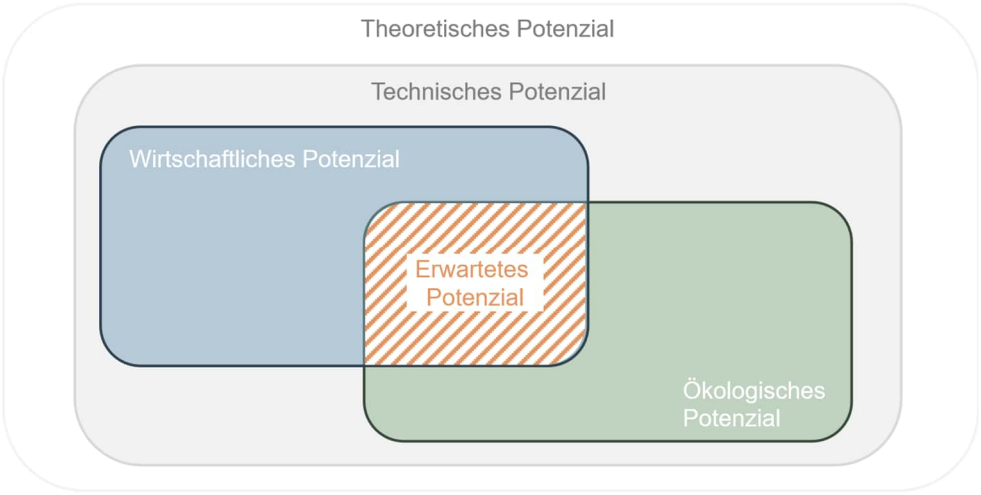


Abbildung 56 Überblick der Potenzialbegriffe, angelehnt an die Energieperspektiven[51].

51 Bundesamt für Energie (2007): Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. 5. Exkurs: Potenzialbegriffe.

Eingesetzte Methoden

Die folgende Tabelle zeigt, welche Methoden eingesetzt wurden, um das erwartete Potenzial pro Energieträger abzuschätzen.

<table>
<tr><th>Potenzial</th><th>Methodisches Vorgehen</th></tr>
<tr><td>Photovoltaik</td><td>Verwendung der Studie: Georegio AG (2025): Potenzialstudie Photovoltaik Kanton Zug. Studie im Auftrag des Amts für Umwelt des Kantons Zug.</td></tr>
<tr><td>Grosswindkraftanlagen</td><td>Verwendung der Studie: Georegio AG (2025): Windpotenzialstudie Kanton Zug. Studie im Auftrag des Amts für Raum und Verkehr des Kantons Zug.</td></tr>
<tr><td>Kleinwindanlagen in Bauzonen</td><td>GIS-Analyse für Kleinwindanlagen in Bauzonen: Die Analyse betrachtete alle Bauzonen, in welchen die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit auf 50 m Höhe über Grund über 3 m/s liegt, gemäss Windatlas Schweiz. Ausgeschlossen wurden Gebiete, welche sich in Ortsbildschutzzonen gemäss Inventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (ISOS) befinden. Wie in der Studie von Georegio für Grossanlagen wurde ein Flächenbedarf der einzelnen Windanlagen angenommen. Dabei sind die Windanlagen mit einem Abstand von dreifachem Rotordurchmesser quer zur Hauptwindrichtung und fünffachem Rotordurchmesser in der Hauptwindrichtung zueinander platziert worden. Basierend auf der Studie im Kanton Zürich sind standardisierte Rotoren-Durchmesser sowie Leistungen angenommen worden, welche den jeweiligen Bauzonen angepasst sind (siehe folgende Tabelle). Der Effekt der Siedlungsdichte, d.h. einzelner Gebäude innerhalb der Bauzonen, wurde in der Analyse nicht berücksichtigt.
<table>
<tr><th>Zone</th><th>Rotordurchmesser [m]</th><th>Leistung Windanlage [kW]</th><th>Abstände zwischen Anlagen [m]</th></tr>
<tr><td>Arbeitszonen</td><td>20</td><td>30</td><td>60 x 100</td></tr>
<tr><td>Wohnzonen, Zentrumszonen, Zonen für öffentliche Nutzungen, Mischzonen</td><td>4</td><td>5</td><td>12 x 20</td></tr>
</table>
Annahmen für standardisierte Kleinwindanlagen je Bauzone (Quelle: Kanton Zürich)</td></tr>
<tr><td>Wasserkraft</td><td>Daten zum Projekt der Optimierung der Wasserkraftanlage Lorze und Expertenaussagen</td></tr>
<tr><td>oberflächennahe Erdwärmenutzung</td><td>GIS-Analyse: Das erwartete Potenzial der oberflächennahen Erdwärmenutzung wurde mit einer GIS-Analyse abgeschätzt. Dabei wurden jene Gebäude identifiziert, welche sich innerhalb zulässiger Erdwärmenutzungsgebiete befinden. Der Wärmeenergieverbrauch dieser Gebäude liegt bei rund 700 GWh pro Jahr. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden nur Gebäude betrachtet, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden. Dies ergibt einen Energiebedarf Wärme von 380 GWh/a, welcher zusätzlich mit Nutzung von Erdwärme gedeckt werden kann.
Unter Annahme der Verwendung von Wärmepumpen zur Nutzbarmachung der Erdwärme mit einer JAZ von ca. 3.3 entspricht dies einem zusätzlich ausschöpfbaren Energiepotenzial der Erdwärme von 265 GWh/a, ergänzend zur im Jahr 2024 bereits genutzten Erdwärme von ca. 93 GWh/a.</td></tr>
<tr><td>oberflächennahes Grundwasser in und ausserhalb Talsohlen</td><td>Verwendung der Studie: Amt für Umwelt des Kantons Zug (2019): Thermische Grundwassernutzung. Abschätzung des Nutzungspotenzials für thermische Grundwassernutzungen im Kanton Zug.
Basis der Studie bildet ein 3D-Grundwassermodell, welches die thermischen Auswirkungen von neuen Anlagen abschätzt. Die Studie liefert ein theoretisches Potenzial der gesamten Grundwasserleiter und eine Einschränkung auf das nutzbare Potenzial sowohl innerhalb von Bauzonen als auch im Gebiet bestehender Gebäude ausserhalb Bauzonen. Die Studie liefert ein theoretisches Potenzial von 520 GWh/a für Grundwasser in Talsohlen und 292 GWh/a für Grundwasser ausserhalb von Talsohlen. Das nutzbare Potenzial wird auf 137 GWh/a für Grundwasser in Talsohlen und 73 GWh/a für Grundwasser ausserhalb Talsohlen beziffert.
Zusätzliche GIS-Analyse: Die Aussagen der Studie aus dem Jahr 2019 wurden für die vorliegende Studie mit einer zusätzlichen GIS-Analyse geschärft, welche den Wärmebedarf der Gebäude berücksichtigt, die sich flächenmässig mit den Grundwasservorkommen überschneiden. Die betroffenen Gebäude weisen insgesamt einen Wärmeenergieverbrauch von 258 GWh/a auf, wobei 160 GWh/a aktuell mit fossilen Energieträgern (Heizöl und Gas) bereitgestellt werden. Unter Verwendung von Grundwasser-Wärmepumpen mit einer JAZ von 3.6 entspricht dies einem</td></tr>
</table>

	erwarteten Potenzial des oberflächennahen Grundwassers in und ausserhalb von Talsohlen von 130 GWh/a.
oberflächennahes «Tiefengrundwasser»	**Verwendung der Studie**: GEOTEST AG (2024): Abschätzung des Wärmenutzungspotenzials des Tiefengrundwasservorkommens Baar/Zug/Steinhausen. Studie im Auftrag des Kantons Zug. Die Studie modelliert das Energiepotenzial des Tiefengrundwassers innerhalb eines Untersuchungsperimeters von 11 Hektaren. Methodisch hat die Studie das Tiefengrundwasser in repräsentative Einheiten klassifiziert und unterschiedliche Energielastprofile simuliert. Bei der Potenzialerhebung wurde die gegenseitige Beeinflussung der Anlagen minimiert und unzulässige Temperaturveränderungen verhindert. Die Modellrechnungen zeigen, dass die bestehenden Anlagen mit weiteren 10 MW Leistung ergänzt werden können, bzw. das Gesamtpotenzial zwischen 20 und 40 GWh liegt. Dies entspricht dem maximalen technischen Potenzial, welches sowohl durch hydrogeologische Grundwassereigenschaften als auch die Brunnenanordnung und Energielastprofile bestimmt ist.
Tiefengeothermie	**Verwendung der Studie**: Geo Explorers AG (2026, noch nicht veröffentlicht). Potenzial der mitteltiefen und tiefen Geothermie im Kanton Zug. Studie im Auftrag des Kantons Zug.
KVA-Abwärme	**Verwendung der Studie**: Kanton Luzern (2024): Potenziale der erneuerbaren Energieproduktion im Kanton Luzern.
ARA-Abwärme	**Verwendung der Machbarkeitsstudie der Ryser Ingenieure AG**
Abwärme von Betrieben: Interviews (Ende 2025)	**Interview mit Multi Energy Zug AG:** Die Multi Energy Zug AG (MEZ) betreibt als Tochtergesellschaft der WWZ und der Tech Cluster Zug AG den Multi Energy Hub (MEH). Dieser ist an Circulago gekoppelt und versorgt das Areal und umliegende Liegenschaften mit einem separaten Energieverbund. Der Energieverbund besteht aus zwei Wärmenetzen unterschiedlichen Temperaturniveaus durch Aufbereitung der Wärme in zwei Energiezentralen mit je zwei Wärmepumpen sowie einem Kältenetz. Ein geringer Anteil der Wärme im Niedertemperaturnetz kommt zudem aus der Druckluft-Abwärme der V-Zug AG sowie ab 2026 der SHL. Die Nutzung der Wärme der grösseren Brenneröfen der V-Zug wurde schon mehrmals geprüft, aber als nicht lohnend eingeschätzt. Eine Quantifizierung der Abwärmemenge ist nicht verfügbar. Das Verbundnetz der MEH, und damit indirekt der WWZ, soll sich perspektivisch gen Osten erweitern. Nächste Etappe ist die Erschliessung der Baarermatte entlang der Grienbachstrasse. **Interview mit Unternehmen aus der Bauindustrie**: Aktuell erfolgt eine Umstellung der Produktion. Perspektivisch wird die anfallende Abwärme nur für das eigene Gebäude und eventuell auch für direkte Nachbargebäude genutzt werden können. In der Zwischenzeit wird die Nutzung von Erdwärme oder der Anschluss an einen Wärmeverbund geprüft. **Interview mit Kunsteisbahn Zug AG und Stadt Zug**: Beim Bau der Eissporthalle OYM hall (ehemals Bossard Arena) um das Jahr 2010 hat die Stadt Zug mit der Minergie-Zertifizierung auch die Abwärmenutzung realisiert. In einem kleinen Energieverbund werden seither drei umliegende Liegenschaften mit Abwärme der Eisproduktion versorgt. Dazu gehören das Uptown-Gebäude, die Sporthalle sowie die Überbauung Schutzengel. Eine ab dem Jahr 2027 geplante Ertüchtigung der Energiezentrale ermöglicht eine effizientere Eisproduktion. Ein geplanter Anschluss an Circulago ermöglicht eine grössere Flexibilität für den Wärmeverbund, überschüssige Wärme kann ins Netz von Circulago zurückgespiesen werden. **Interview mit CKW Fiber Services AG (CFS)**: Die CFS betreiben unter anderem ein Rechenzentrum in Rotkreuz. Abgesehen von der eigenen Raumwärmenutzung kann die Abwärme derzeit mangels Interessenten nicht genutzt werden. Ein konkretes Projekt zur Abwärmenutzung in der unmittelbaren Nachbarschaft wurde geprüft, jedoch trotz sehr tiefer Energiepreise sistiert. Ausschlaggebend waren die im Vergleich zu einem Ersatz der bestehenden Gasheizung zu hohen notwendigen Infrastrukturinvestitionen. Die CFS würde eine externe Abnahme der anfallenden Abwärme ausdrücklich begrüssen und steht potenziellen Partnern offen gegenüber, um gemeinsam nachhaltige Lösungen zur Nutzung dieser Energiequelle zu entwickeln. Die verfügbare Kapazität wird auf ca. 250 kW Wärmeleistung sowie ca. 2'200 MWh Wärmeenergie pro Jahr bei einer Medientemperatur von ca. 27°C geschätzt.
Abwärme von Betrieben: Hochrechnung Rechenzentren	Das nutzbare Abwärmepotenzial wird durch mehrere Faktoren des jeweiligen Rechenzentrums bestimmt: die installierte IT-Leistung, die Energieeffizienz, die jährliche Laufzeit, die IT-Auslastung sowie der Stromverbrauch. Das effektive Abwärme-Potenzial hängt davon ab, welcher Anteil der Abwärme ausgekoppelt werden kann. Dieser Anteil wird massgeblich durch das eingesetzte Kühlsystem beeinflusst. Im Durchschnitt beträgt der Anteil nutzbare Abwärme rund 81% des Stromverbrauchs eines Rechenzentrums. Die untenstehende Tabelle zeigt die potenziell auskoppelbare Abwärme anhand drei standardisierten Rechenzentrumstypen. Die Abwärme-Temperaturen von Rechenzentren befinden sich auf einem Temperaturniveau von rund 25–

<table>
<tr><td></td><td>30°C. Demzufolge erfordert die Auskoppelung an Niedertemperaturnetze geringere technische Infrastruktur als die Auskoppelung auf Hochtemperaturnetze. Um die Abwärme in Hochtemperaturnetzen zu nutzen, ist der zusätzliche Einsatz einer Wärmepumpe erforderlich, um den Temperaturhub auf ca. 65–80°C sicherzustellen.
Für das Rechenzentrum der CKW Fiber Services AG wurde ein Abwärmepotenzial von 2.2 GWh/a identifiziert. Dies ist am unteren Rand der in der Tabelle bezeichneten auskoppelbaren Abwärme. Als Annahme für eine konservative Hochrechnung werden diese 2.2 GWh/a pro Rechenzentrum auf die weiteren 9 identifizierten Rechenzentren im Kanton angewendet. Dies ergibt insgesamt ein erwartetes Potenzial von 22 GWh/a (inkl. RZ der CKW).
<table><tr><th>Grösse des Rechenzentrums (RZ)</th><th>IT-Leistung [MW]</th><th>Auskoppelbare Abwärme [MWh/a]</th></tr><tr><td>Kleines, älteres RZ</td><td>0.2</td><td>1’000</td></tr><tr><td>Mittleres, typisches RZ</td><td>2</td><td>8’000</td></tr><tr><td>Grosses, modernes RZ</td><td>20</td><td>80’000</td></tr></table>Auskoppelbare Abwärme von Rechenzentrumstypen (Quelle: Eicher und Pauli im Auftrag des BFE 2023)</td></tr>
<tr><td>Oberflächengewässer</td><td>Verwendung mehrerer Studien, insbesondere:
EWAG im Auftrag des Kantons Zug (2024). Energieverbund Zug Machbarkeitsstudie.
EAWAG im Auftrag des Kantons Zug (2014). Abschätzung des Potenzials des Ägerisees für die Wärme- und Kältenutzung.
Diese Studien weisen das ökologisch nutzbare Potenzial aus. Für das erwartete Potenzial wurde zusätzlich berücksichtigt, ob genügend Wärme- und Kältebedarf besteht, welcher durch die Umweltwärme der Oberflächengewässer gedeckt werden kann. Dafür wurde anhand der Gebäudedatenbank der Wärme- und Kältebedarf identifiziert, welcher sich (1) in geeigneten Gemeinden in Nähe der jeweiligen Quelle befindet und (2) welcher sich in Gebieten befinden, die aufgrund ihrer Bedarfsdichte sich für Wärme- und Energieverbunde eignen (oder sich in einem bestehenden Planungsperimeter eines Verbundes befinden).</td></tr>
<tr><td>Biomasse</td><td>Verwendung mehrerer Studien und Interviews, insbesondere:
Monitoring von Holzenergie Schweiz (https://www.holzenergie.ch/monitoring/karte)
CLB: Wald und Holz Zentralschweiz (2025)
Amt für Wald und Wild, Kanton Zug: Holzenergiepotenzial im Kanton Zug (2023)
Gemäss den kantonsübergreifenden Studien liegt die heutige Nutzung von Energieholz im Kanton Zug bei umgerechnet rund 130 GWh. Die Auswertung der Wärmedatenbank in dieser Studie mit Hilfe von Feuerungskontrolldaten und Angaben zu Wärmeverbunden ergeben einen Verbrauch von rund 180 GWh. Die tatsächliche Nutzung ist schwierig zu ermitteln. Wir vermuten einen realistischen Wert etwa in der Mitte beider Angaben.</td></tr>
<tr><td>Solarthermie</td><td>BFE-Potenzialgrundlage www.sonnendach.ch</td></tr>
<tr><td>Umgebungsluft</td><td>Abschätzung auf Basis der in diesem Projekt erhobenen Gebäudedatenbank</td></tr>
</table>

A1.3 Methoden und Annahmen zu den Szenarien

Betrachtete Szenarien

Betrachtete Szenarien: Zero Basis und Weiter-wie-bisher

In diesem Projekt wurden zwei Szenarien einer möglichen künftigen Entwicklung betrachtet. Beide Szenarien stützten sich ab auf die Energieperspektiven 2050+. Das erste betrachtete Szenario ist Zero Basis. Dies ist ein *Zielszenario*. In diesem Szenario wird eine Entwicklung beschrieben, die zur Erreichung des Netto-Null-Ziels dient. Das Szenario macht keine konkreten Aussagen, welche Massnahmen zur Erreichung dieses Ziels nötig sind. Als zweites Szenario wird das Szenario Weiter-wie-bisher betrachtet. In diesem Szenario wird kein Ziel vorgegeben, sondern es wird abgeschätzt, welche

Entwicklung mit den heute umgesetzten Massnahmen erreicht wird. Im Folgenden wird beschrieben, welche Methoden und Annahmen eingesetzt wurden, um die künftige Entwicklung in den betrachteten Szenarien für den Kanton Zug abzubilden. Grundsätzlich orientiert sich die Abbildung der Szenarien an den Energieperspektiven 2050+ und deren Szenarien ZERO Basis und Weiter-wie-bisher. Im Vergleich zu den Energieperspektiven wurden für das Szenario Weiter-wie-bisher inzwischen umgesetzte Massnahmen beim Heizungsersatz berücksichtigt. Dadurch folgt auch in diesem Szenario ein deutlich stärkerer Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger für die Wärmeerzeugung. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick der Storylines in den beiden Szenarien:

Potenzialgebiete	Weiter-wie-bisher	Zero Basis
Wärme		
Komfortwärme: Energieeffizienz	– Sanierungsaktivität bei bestehenden Gebäuden verbleibt auf heutigem Niveau – Reduktion der Heizgradtage gemäss Schweizer Klimaszenarien CH2018, Szenario RCP 4.5 (Mittlere Entwicklung mit begrenztem Klimaschutz)	– Sanierungsaktivität (Sanierungsrate und -tiefe) nimmt zu – Reduktion der Heizgradtage gemäss Schweizer Klimaszenarien CH2018, Szenario RCP 2.6 (Konsequenter Klimaschutz)
Komfortwärme: eingesetzte Energieträger	– Heizöl: Deutlich rückläufig, längerfristig verlangsamt sich der Rückgang auf tiefem Niveau – Gas: Rückläufig; 2050 wird eine Menge von erneuerbarem Gas eingesetzt, die dem erwarteten Potenzial des Kantons entspricht. Die restliche Gasnachfrage wird fossil gedeckt. – Wärmepumpen: Starker Anstieg – Energie- und Wärmenetze: Ausbau, weniger stark als in Zero Basis. Nur bestehende und 2025 geplante Gebiete werden erschlossen.	– Heizöl: Stark rückläufig, Anteil in 2050 nahezu vernachlässigbar – Gas: Deutlich rückläufig; 2050 wird verbleibende Gasnachfrage vollständig mit erneuerbaren Gasen gedeckt. – Wärmepumpen: Starker Anstieg, insbesondere auch grössere Wärmepumpen in Nah- und Fernwärmenetzen. – Energie- und Wärmenetze: Starker und schneller Ausbau. Sowohl bestehende, 2025 geplante und weitere potenzielle Gebiete werden erschlossen.
Prozesswärme: Energieeffizienz	– Fortlaufende Steigerung der Energieeffizienz gemäss vergangener Entwicklung	– Alle verbleibenden Effizienzpotenziale auf Basis heute verfügbarer Technologien werden ausgeschöpft. – Verstärkte Elektrifizierung der Prozess-Wärmeerzeugung.
Kälte		
Klimakälte	– Deutlicher Anstieg der klimatisierten Wohnfläche. – Rund Verdoppelung der Anzahl Kühlgradtage (rund 250 in 2050). – Effizienzanstieg der Klimageräte, Einsatz von Wärmepumpen	– Deutlicher Anstieg der klimatisierten Wohnfläche, jedoch geringer als in WWB – Weniger starker Anstieg der Kühlgradtage (rund 200 in 2050) – Stärkerer Effizienzanstieg der Klimageräte, verbreiteter Einsatz von Wärmepumpen.
Prozesskälte	– Rückgang, insb. im Detailhandel	– Deutlich stärkere Effizienzsteigerungen im Vergleich zu WWB
Stromverbrauch		
Beleuchtung	– Weitere Durchdringung LED, Effizienzsteigerung	– Schnellere Durchdringung LEF, stärkere Effizienzsteigerungen
Geräte	– Kontinuierliche Effizienzsteigerungen	– Schnellere Durchdringung der Geräte mit den höchsten Effizienzklassen
Gebäudetechnik	– Effizienzsteigerungen, zwischen SIA Neubau und SIA Zielwerten	– Starke Effizienzsteigerungen, SIA Zielwerte oder noch besser
IKT	– Zuerst Zunahme, danach Verbesserung Effizienz und teilweise Auslagerung (Ausland). Kein starker Anstieg von Rechenzentren hinterlegt.	

Verkehr		
Einsatz E-Mobilität	– Gemäss EBP-Szenario «Business As Usual» – Starke Elektrifizierung des Strassenverkehrs bis 2050; Verbleibende Nutzung fossiler Treibstoff auch in 2050	– Gemäss EBP-Szenario ZERO-E – Vollständige Elektrifizierung des Strassenverkehrs bis 2050

Wärme: Entwicklung Energieeffizienz

Gebäudescharfe Modellierung des Wärmebedarfs, kalibriert an Energieperspektiven 2050+

Die Modellierung der Entwicklung des künftigen Wärmebedarfs erfolgte mit einer gebäudescharfen Modellierung. Diese kalibriert die Entwicklung des Wärmebedarfs des Gebäudebestands und von Neubauten schweizweit an den Resultaten der Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher der Energieperspektiven 2050+.

Entwicklung Neubauten: Annahmen für den Energiebedarf direkt abgeleitet aus den Energieperspektiven 2050+. Bautätigkeit von Neubauten direkt abgeleitet aus den Energieperspektiven 2050+. Verteilung der Bautätigkeit von Neubauten Wohnen und Nicht-Wohnen auf Gemeinden erfolgte anhand der Entwicklung der Bevölkerung und der Anzahl Beschäftigter.

Entwicklung bestehende Bauten: Die Steigerung der Energieeffizienz wurde direkt an der Entwicklung der Energieperspektiven 2050+ in den abgebildeten Szenarien kalibriert. Dabei wurden insbesondere unterschiedliche Effizienzpotenziale nach dem Baujahr der Gebäude berücksichtigt.

Wärme: Wechselraten bestehende Heizungen

Gebäudescharfe Modellierung des Heizungsersatzes

Die Modellierung der Entwicklung der für die Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger erfolgte mit einer gebäudescharfen Modellierung. Dabei ist mit Wechselraten die Dynamik im Heizungsersatz abgebildet. Diese Wechselraten beschreiben bspw. den Umstieg von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energieträgern und die Anschlussraten an Wärme- und Energieverbunde.

Wechselraten im Szenario Zero Basis

Im Szenario Zero Basis wurden die Wechselraten für Heizungen mit einer mittleren Lebensdauer von 22.5 Jahren angewendet. Dies entspricht einer Heizungsersatzrate von 4.4%. Zusätzlich wurden die Ersatzraten nach Gebäudegrösse unterschieden. In diesem Szenario wird praktisch jede fossile Heizung durch eine erneuerbare Heizung ersetzt. In den für Fernwärme vorgesehenen und geeigneten Gebieten findet eine hohe Anschlussrate statt. Zudem gehen signifikante Anteile von Holzheizungen zu anderen erneuerbaren Energieträgern. Elektroheizungen werden bis 2050 praktisch gänzlich ersetzt. Bei den restlichen erneuerbaren Energieträgern wird ein 1:1 Ersatz angenommen. Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen im Detail.

Potenzialgebiete	Zero Basis 2035	Zero Basis 2050
Grosse Gebäude (Energiebezugsfläche ≥ 1'000 m²)		
Bestehender Verbund	Ersatz HEL: 2% HEL, 80% FW, 18% WP Ersatz Gas: 15% Gas, 80% FW, 5% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 20% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 80% FW, 20% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 80% FW, 20% WP Ersatz Gas: 7.5% Gas, 80% FW, 12.5% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 20% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 80% FW, 20% WP
Geplanter Verbund	Ersatz HEL: 2% HEL, 70% FW, 28% WP Ersatz Gas: 15% Gas, 70% FW, 15% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 20% FW, 5% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 80% FW, 20% WP Ersatz Gas: 8% Gas, 80% FW, 13% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 20% FW, 5% WP

	Ersatz Elektroheizung: 70% FW, 30% WP	Ersatz Elektroheizung: 80% FW, 20% WP
Zusätzliche Potenzialgebiete Verbunde	Ersatz HEL: 2% HEL, 50% FW, 48% WP Ersatz Gas: 15% Gas, 50% FW, 35% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 15% FW, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 50% FW, 50% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 70% FW, 30% WP Ersatz Gas: 8% Gas, 70% FW, 23% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 15% FW, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 70% FW, 30% WP
Wärmepumpen bzw. restliche Gebiete	Ersatz HEL: 2% HEL, 98% WP Ersatz Gas: 15% Gas, 85% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 25% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 100% WP Ersatz Gas: 8% Gas, 93% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 25% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP
Kleine Gebäude (Energiebezugsfläche < 1'000 m²)		
Bestehender Verbund	Ersatz HEL: 2% HEL, 70% FW, 28% WP Ersatz Gas: 5% Gas, 70% FW, 25% WP Ersatz Holz: 50% Holz, 25% FW, 25% WP Ersatz Elektroheizung: 25% FW, 75% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 70% FW, 30% WP Ersatz Gas: 2% Gas, 70% FW, 28% WP Ersatz Holz: 50% Holz, 25% FW, 25% WP Ersatz Elektroheizung: 25% FW, 75% WP
Geplanter Verbund	Ersatz HEL: 2% HEL, 50% FW, 48% WP Ersatz Gas: 5% Gas, 50% FW, 45% WP Ersatz Holz: 60% Holz, 20% FW, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 20% FW, 80% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 70% FW, 30% WP Ersatz Gas: 2% Gas, 70% FW, 28% WP Ersatz Holz: 50% Holz, 25% FW, 25% WP Ersatz Elektroheizung: 25% FW, 75% WP
Zusätzliche Potenzialgebiete Verbunde	Ersatz HEL: 2% HEL, 33% FW, 65% WP Ersatz Gas: 5% Gas, 33% FW, 62% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 15% FW, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 15% FW, 85% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 50% FW, 50% WP Ersatz Gas: 2% Gas, 50% FW, 48% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 15% FW, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 15% FW, 85% WP
Wärmepumpen bzw. restliche Gebiete	Ersatz HEL: 2% HEL, 98% WP Ersatz Gas: 5% Gas, 95% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 35% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 0% HEL, 100% WP Ersatz Gas: 2% Gas, 98% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 35% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP

Abkürzungen: HEL = Heizöl (extra-leicht); FW = Fernwärme; WP = Wärmepumpen

Wechselraten im Szenario Weiter-wie-bisher

Im Szenario Weiter-wie-bisher wurden die Wechselraten für Heizungen mit einer mittleren Lebensdauer von 25 Jahren angewendet. Dies entspricht einer Heizungsersatzrate von 4%. Auch in diesem Szenario wird bei Ersatz fossiler Heizungen in vielen Fällen eine erneuerbare Heizung eingesetzt. Diese Werte stützen sich auf Erfahrungswerte der heutigen Entwicklung, insbesondere eine Studie zur Weiterentwicklung der MuKEn[52]. In den für Fernwärme vorgesehenen Gebieten findet eine Verdichtung und Ausbau statt, jedoch mit geringeren Anschlussraten als im Szenario Zero Basis. In zusätzlich geeigneten Gebieten werden keine zusätzlichen Fernwärmenetze umgesetzt. Für die meisten Holzheizungen findet ein Direktersatz statt. Elektroheizungen werden bis 2050 praktisch gänzlich ersetzt. Bei den restlichen erneuerbaren Energieträgern wird ein 1:1 Ersatz angenommen. Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen im Detail.

Potenzialgebiete	**Weiter-wie-bisher 2035**	**Weiter-wie-bisher 2050**
Grosse Gebäude (Energiebezugsfläche ≥ 1'000 m²)		
Bestehender Verbund	Ersatz HEL: 10% HEL, 60% FW, 30% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 60% FW, 15% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 5% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 30% FW, 70% WP	Ersatz HEL: 10% HEL, 60% FW, 30% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 60% FW, 15% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 5% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 30% FW, 70% WP
Geplanter Verbund	Ersatz HEL: 10% HEL, 30% FW, 60% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 30% FW, 45% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 5% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 15% FW, 85% WP	Ersatz HEL: 10% HEL, 30% FW, 60% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 30% FW, 45% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 5% FW, 5% WP Ersatz Elektroheizung: 15% FW, 85% WP

52 EBP 2022: Grundlagenstudie für die Weiterentwicklung der MuKEn.

Zusätzliche Potenzialgebiete Verbunde	Ersatz HEL: 10% HEL, 90% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 75% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 10% HEL, 90% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 75% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP
Wärmepumpen bzw. restliche Gebiete	Ersatz HEL: 10% HEL, 90% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 75% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 10% HEL, 90% WP Ersatz Gas: 25% Gas, 75% WP Ersatz Holz: 90% Holz, 10% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP
Kleine Gebäude (Energiebezugsfläche < 1'000 m²)		
Bestehender Verbund	Ersatz HEL: 7% HEL, 40% FW, 53% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 40% FW, 50% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 5% FW, 30% WP Ersatz Elektroheizung: 5% FW, 95% WP	Ersatz HEL: 7% HEL, 40% FW, 53% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 40% FW, 50% WP Ersatz Holz: 65% Holz, 5% FW, 30% WP Ersatz Elektroheizung: 5% FW, 95% WP
Geplanter Verbund	Ersatz HEL: 7% HEL, 20% FW, 73% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 20% FW, 70% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 5% FW, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 5% FW, 95% WP	Ersatz HEL: 7% HEL, 20% FW, 73% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 20% FW, 70% WP Ersatz Holz: 75% Holz, 5% FW, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 5% FW, 95% WP
Zusätzliche Potenzialgebiete Verbunde	Ersatz HEL: 7% HEL, 93% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 90% WP Ersatz Holz: 80% Holz, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 7% HEL, 93% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 90% WP Ersatz Holz: 80% Holz, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP
Wärmepumpen bzw. restliche Gebiete	Ersatz HEL: 7% HEL, 93% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 90% WP Ersatz Holz: 80% Holz, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP	Ersatz HEL: 7% HEL, 93% WP Ersatz Gas: 10% Gas, 90% WP Ersatz Holz: 80% Holz, 20% WP Ersatz Elektroheizung: 100% WP

Annahmen für den Anteil erneuerbarem Gas

Für den Energieträger Gas wurde angenommen, dass im Szenario Zero Basis in 2050 die gesamte Gasversorgung erneuerbar erfolgt. Dies ist nötig für das Netto-Null-Ziel. Dies bedeutet jedoch, dass der Einsatz von erneuerbarem Gas das verfügbare Potenzial deutlich übersteigt. Im Szenario Weiter-wie-bisher wird angenommen, dass erneuerbares Gas im Umfang des erwarteten Potenzials eingesetzt wird. Der Rest wird durch fossiles Erdgas abgedeckt.

Wärme: Energieträger Wärme- und Energieverbunde

Energieträgermix in Wärme- und Energieverbunden

Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen für die in 2035 und 2050 eingesetzten Energieträger in Wärme- und Energieverbunden. Im Szenario Zero Basis wird von einer starken Nutzung von Umweltwärme-Potenzialen ausgegangen. Die Verbunde insbesondere im Gebiet Zug-Steinhausen-Cham werden stark vernetzt, womit die grossen regionalen Potenziale KVA-Abwärme und die Wärme des Zugersees optimal genutzt werden können. Der Einsatz von Holz erfolgt nur in Kombination mit anderen Energieträgern. Das Szenario Weiter-wie-bisher richtet sich stärker am bestehenden Energieträgermix der Verbunde oder an bekannten Planungen aus.

Verbund	Zero Basis	Weiter-wie-bisher
Bestehende und geplante Verbunde		
Fernwärme (Circulago)	80% WP (Zugersee), 20% Gas	70% WP (Zugersee), 30% Gas
Fernwärme (EV Ägeribad)	70% WP (Ägerisee), 30% Holz	70% Holz, 30% WP (Ägerisee)
Fernwärme (EV Breiten-Ländli)	70% WP (Ägerisee), 30% Holz	70% Holz, 30% WP (Ägerisee)

Fernwärme (EV Hofmatt)	70% WP (Ägerisee), 30% Holz	100% Holz
Fernwärme (EV Lutisbach)	100% WP (Ägerisee)	100% WP (Ägerisee)
Fernwärme (Privater WV Alosen)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV Altstadt Zug)	80% WP (Zugersee), 20% Gas	50% WP (Zugersee), 50% Gas
Fernwärme (WV ARA Hagendorf)	100% WP (ARA)	100% WP (ARA)
Fernwärme (WV BiEAG Hünenberg)	50% Holz, 25% Biogas, 25% WP (Erdwärme)	75% Holz, 25% Biogas
Fernwärme (WV BiEAG Lindencham)	50% Holz, 25% Biogas, 25% WP (untere Lorze)	75% Holz, 25% Biogas
Fernwärme (WV Birst)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV Blegi)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV Ennetsee)	50% KVA, 15% Gas, je 10-15% WP (Untere Lorze, Tiefengrundwasser, Zugersee)	80% KVA, 20% Gas
Fernwärme (WV Inwil)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV KO Alosen)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV Lättich)	70% Holz, 30% WP (Luft)	100% Holz
Fernwärme (WV Menzigen)	70% Holz, 30% WP (Luft)	95% Holz, 5% Heizöl
Fernwärme (WV Steinhausen)	50% Holz, 50% KVA	40% Holz, 40% KVA, 20% Gas
Fernwärme (WV Unterägeri)	50% Holz, je 25% WP (Ägerisee, Obere Lorze)	75% Holz, 25% WP (Obere Lorze)
Fernwärme (WV Walchwil)	50% Holz, 50% WP (Zugersee)	100% Holz
Verbunde in zusätzlichen Potenzialgebieten		
Fernwärme (Baar)	50% WP (Grundwasser in Talsohlen), 25% (Obere Lorze), 25% Gas	50% WP (Grundwasser in Talsohlen), 25% (Obere Lorze), 25% Gas
Fernwärme (Cham)	70% WP (Untere Lorze), 30% Gas	70% WP (Untere Lorze), 30% Gas
Fernwärme (Hünenberg)	60% WP (Erdwärme), 30% Holz, 10% Biogas	75% Holz, 25% Biogas
Fernwärme (Menzingen)	50% Holz, 50% WP (Grundwasser auss. Talsohlen)	70% Holz, 30% WP (Grundwasser auss. Talsohlen)
Fernwärme (Neuheim)	80% WP (Grundwasser auss. Talsohlen), 20% Holz	70% Holz, 30% WP (Grundwasser auss. Talsohlen)
Fernwärme (Oberägeri)	50% WP (Ägerisee), 50% Holz	70% Holz, 30% WP (Ägerisee)
Fernwärme (Steinhausen)	50% Holz, 25% KVA, 25% WP (Zugersee)	40% Holz, 40% KVA, 20% Gas
Fernwärme (Unterägeri)	100% WP (Tiefengrundwasser)	75% Holz, 25% WP (Obere Lorze)
Fernwärme (Walchwil)	70% WP (Zugersee), 30% Holz	100% Holz
Fernwärme (Zug)	40% WP (Zugersee), 30% WP (Erdwärme), je 10% Gas und WP (Grundwasser auss. Talsohlen und Tiefengrundwasser)	30% WP (Zugersee), 25% WP (Erdwärme), 25% Gas, je 10% WP (Grundwasser auss. Talsohlen und Tiefengrundwasser)

Wärme: Energieträger Neubauten

Wärme: Energieträger Neubauten

Die folgende Tabelle zeigt, mit welchen Grundsätzen die Energieträger von Neubauten bestimmt wurden. Entscheidend ist insbesondere, in welchen

Potenzialgebieten diese Neubauten sich befinden. Zusätzlich wurde die Gebäudegrösse berücksichtigt.

Gebäudegrösse	Zero Basis	Weiter-wie-bisher
Grosse Gebäude (Energiebezugsfläche ≥ 1'000 m²)	– Fernwärme: wenn in bestehendem oder geplantem Perimeter (keine Wahl Fernwärme in zusätzlichen Potenzialgebieten für Fernwärme) – Wärmepumpe (Erdwärme): wenn in Gebiet, in welchem Erdwärmenutzung zulässig – Wärmepumpe (Grundwasser): wenn in entsprechendem Potenzialgebiet – Wärmepumpe (Luft): in allen anderen Gebieten	Identische Annahmen
Kleine Gebäude (Energiebezugsfläche < 1'000 m²)	– Wärmepumpe (Erdwärme): wenn in Gebiet, in welchem Erdwärmenutzung zulässig – Wärmepumpe (Luft): in allen anderen Gebieten	Identische Annahmen

Wärme: Energieträger Grossverbraucher

Wärme: Energieträger Grossverbraucher

Die grössten knapp 30 Verbraucher wurden individuell betrachtet und deren Entwicklung eingeschätzt. Diese Verbraucher wurden anhand grosser Gas- und Holzfeuerungen identifiziert. Die folgende Tabelle beschreibt die umgesetzten Annahmen. Entscheidend ist insbesondere eine Einschätzung, welche Verwendungszwecke überwiegen bzw. ob Prozesswärme relevant ist.

Verwendungszweck	Zero Basis	Weiter-wie-bisher
Substanzielle Prozesswärme-Nutzung	Gas wird 1:1 durch Gas ersetzt, Holz durch Holz	Gas wird 1:1 durch Gas ersetzt, Holz durch Holz
Grösstenteils Komfortwärme	Ersatz Gas: In bestehenden oder geplanten Fernwärmegebieten wird Fernwärme umgesetzt. Nur zwei Verbraucher befinden sich ausserhalb solcher Gebiete. Für diese wurde ein Umstieg auf Wärmepumpen angenommen (je einmal Grundwasser und Zugersee). Ersatz Holz: In bestehenden oder geplanten Fernwärmegebieten wird Fernwärme umgesetzt. Vier Verbraucher befinden sich ausserhalb solcher Gebiete. In einem Fall erfolgt ein Umstieg auf Wärmepumpe (Zugersee). In drei Fällen erfolgt ein Direktersatz mit Holz (wegen Mangel an Alternativen oder abgelegenem Standort)	Ersatz Gas: In bestehenden oder geplanten Fernwärmegebieten wird Fernwärme umgesetzt. Ansonsten erfolgt ein Direktersatz mit Gas. Ersatz Holz: In bestehenden oder geplanten Fernwärmegebieten wird Fernwärme umgesetzt. Ansonsten erfolgt ein Direktersatz mit Holz.

Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte

Kältebedarf und Stromverbrauch für Kälte

Die Prognose des künftigen Kältebedarfs basiert auf aggregierten Resultaten der Energieperspektiven 2050+ für die Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher und berücksichtigt die Entwicklung der Bevölkerung und Arbeitsplätze im Kanton Zug. Der Stromverbrauch für Kälte wurde mit Annahmen zu Leistungszahlen der Kältemaschinen, insbesondere aus den Energieperspektiven, hergeleitet. Die technischen Annahmen der Energieperspektiven 2050+ zu den eingesetzten Systemen und deren Effizienz können weiterhin als aktuell gelten. Die quantitative Entwicklung des Kältebedarfs dürfte jedoch unterschätzt und nur noch bedingt belastbar sein. Dies ergibt

insbesondere ein Vergleich mit den Ex-Post-Analysen des Bundesamts für Energie, welche die gleichen Sektormodelle anwenden wie die Energieperspektiven[53]. Die beobachteten Klimadaten deuten auf einen stärkeren Anstieg der Kühlgradtage hin, als in den Energieperspektiven 2050+ als Annahme zugrunde gelegt wurde. Der Kältebedarf scheint stärker zu steigen als insbesondere im Szenario ZERO Basis abgebildet, insbesondere im Dienstleistungssektor. Wichtige Treiber sind häufigere und intensivere Hitzeperioden, die wachsende Komfortkühlung in Dienstleistungsgebäuden sowie zusätzliche Kühllasten durch Rechenzentren und Serverräume.

Stromverbrauch weitere Verwendungszwecke

Stromverbrauch weitere Verwendungszwecke: Mobilität

Die Entwicklung des künftigen Stromverbrauchs stützt sich einerseits direkt auf die Entwicklungen des Wärme- und Kältebedarfs. Die Entwicklung des Stromverbrauchs für die Mobilität basiert auf dem EBP-Modell der Energieszenarien Mobilität Schweiz[54], welches u.a. die Grundlage für die Ladebedarfsszenarien[9] des Bundesamts für Energie bildet.

Weitere Verwendungszwecke Wohnen / Nicht-Wohnen

Der Stromverbrauch weiterer Verwendungszwecke in den Bereichen Wohnen und Nicht-Wohnen wurden aggregiert abgeleitet aus den Energieperspektiven 2050+, unter Betrachtung der Struktur im Kanton Zug bzw. der erwarteten Entwicklung der Bevölkerung und der Arbeitsplätze in den entsprechenden Sektoren.

Sankey-Diagramme zur Darstellung der Energieflüsse

Zur anschaulichen Darstellung der Energieflüsse im Kanton Zug wurden für die Ausgangslage im Jahr 2024 und für die beiden Szenarien Zero Basis und Weiter-wie-bisher jeweils für die Jahre 2035 und 2050 Sankey-Diagramme erstellt (vgl. Anhang A2). Diese basieren auf den jeweiligen Resultaten für die Ausgangslage und die Szenarien. Folgende Annahmen wurden für die Darstellung der Sankey-Diagramme zusätzlich getroffen:

Annahme	Beschreibung
Lokale Erzeugung von Energieträgern mit begrenzten Potenzialen	Die Energieträger Energieholz, Biogas und erneuerbare synthetische Gase weisen bzgl. der bestehenden und/oder künftig erwarteten Nutzung begrenzte erwartete Potenziale auf. Um im Sankey-Diagramm die Energieflüsse von «Erzeugung im Kanton» und «Erzeugung ausserhalb Kanton» zu unterscheiden, wurde eine Nutzung bis zum Schwellenwert des erwarteten Potenzials als «Erzeugung im Kanton» ausgewiesen. Jede weitere Nutzung wurde als «Erzeugung ausserhalb Kanton» ausgewiesen. Die Abwärme der KVA Renergia in Perlen (LU) wurde als «Erzeugung im Kanton» dargestellt, da der eingesetzte Energieträger (Abfall) aus dem Kanton Zug stammt.
Photovoltaik in beiden Szenarien	Folgende Annahmen wurden für die Erzeugung von Photovoltaik getroffen: Szenario Zero Basis: Erzeugung gemäss Variante 2, siehe Kapitel 0 Szenario Weiter-wie-bisher: Die Erzeugung wurde anhand der durchschnittlichen Entwicklung des Zubaus von Photovoltaik in den Jahren 2018–2024 auf die Jahre 2035 und 2050 extrapoliert. Im Jahr 2050 entspricht der damit erreichte Zubau knapp dem Zielwert in Variante 1.
Ganzheitliche Abbildung Mobilität	Grösstenteils wird im Bericht auf den Strombedarf der Mobilität fokussiert. Um die Mobilität in den Sankey-Diagrammen ganzheitlich abzubilden (d.h. insbesondere auch mit Verbrauch fossiler Treibstoffe) wurden die Verbräuche dieser Energieträger anhand der EBP «Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2050» und der Energieperspektiven 2050+ abgeschätzt.

53 BFE: Energieverbrauch nach Verwendungszweck, Ex-Post-Analysen

54 EBP 2024: Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2050

A2 Energieflussdiagramme des Kantons

Energieflussdiagramm 2024

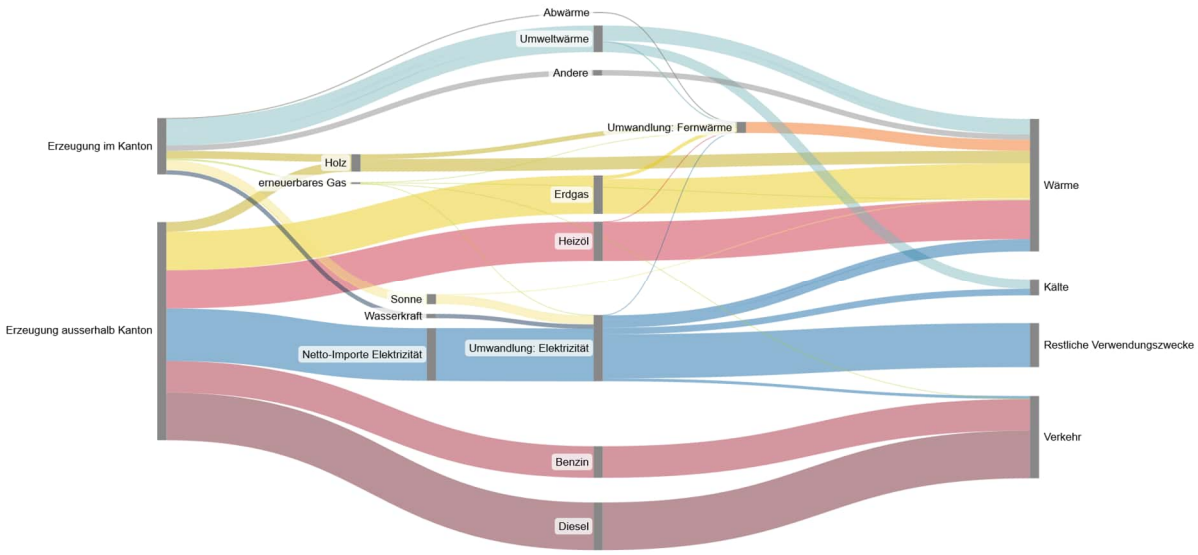


Abbildung 57 Energieflüsse im Kanton im Jahr 2024

Energieflussdiagramme 2035 für die beiden Szenarien

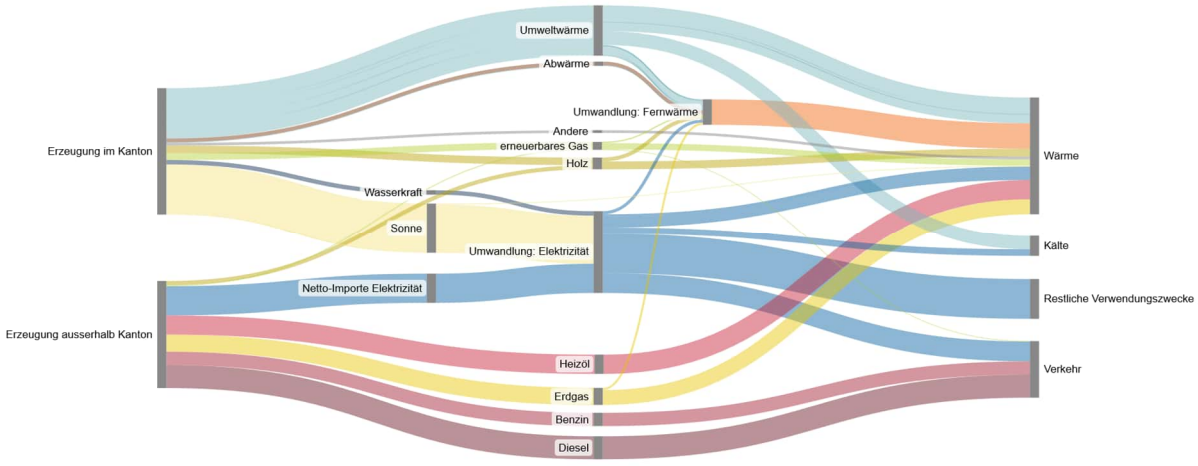


Abbildung 58 Energieflüsse im Kanton im Jahr 2035 für das Szenario Zero Basis

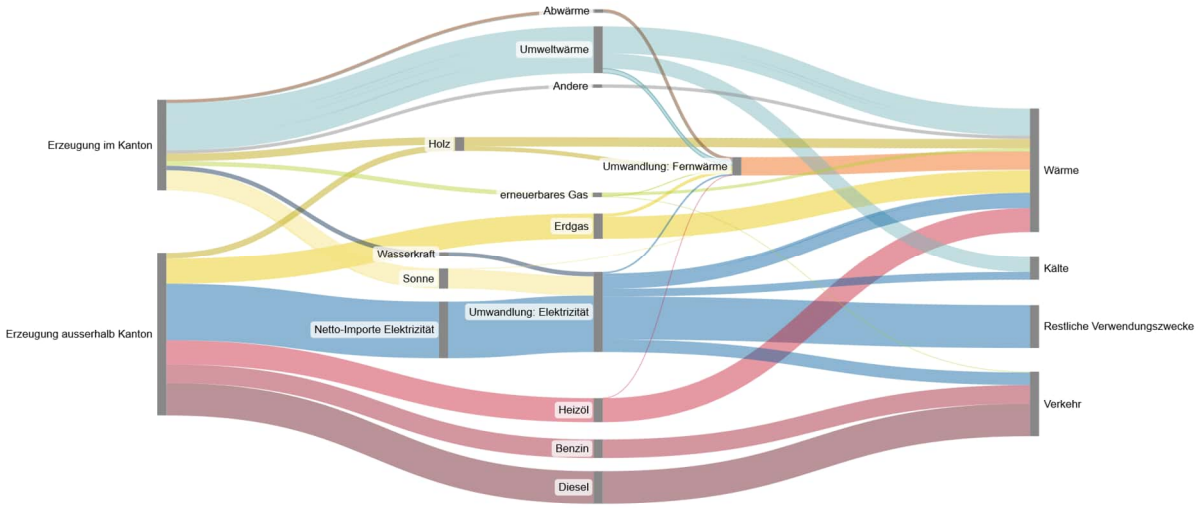


Abbildung 59 Energieflüsse im Kanton im Jahr 2035 für das Szenario Weiter-wie-bisher

Energieflussdiagramme 2050 für die beiden Szenarien

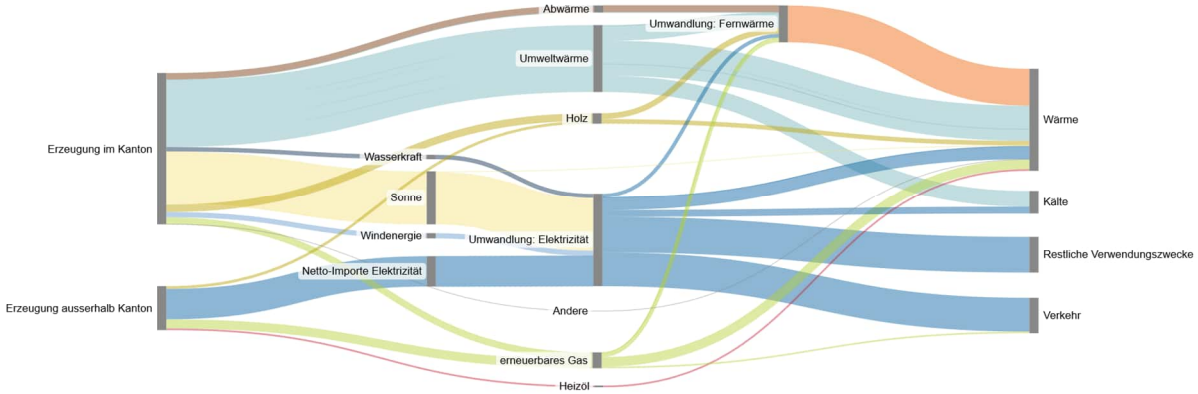


Abbildung 60 Energieflüsse im Kanton im Jahr 2050 für das Szenario Zero Basis

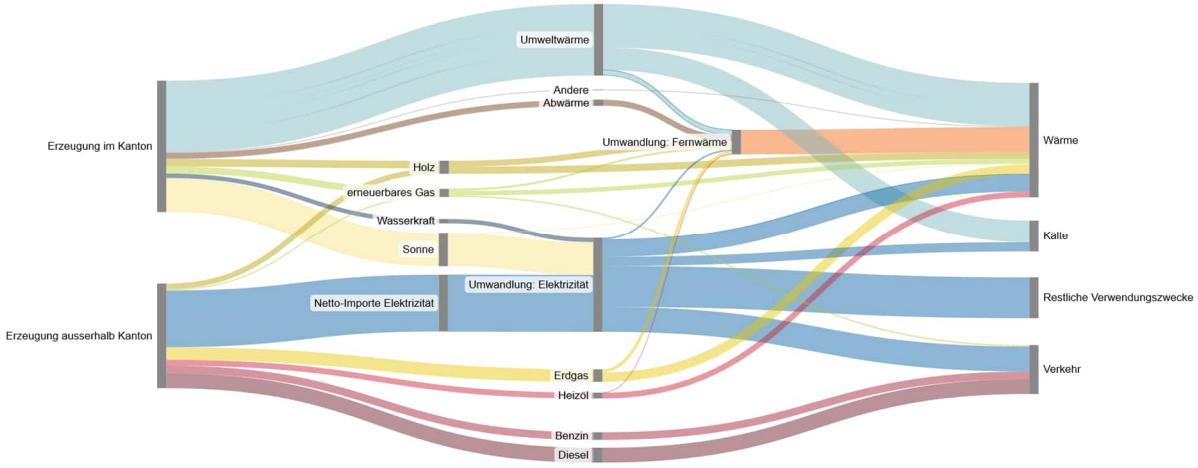
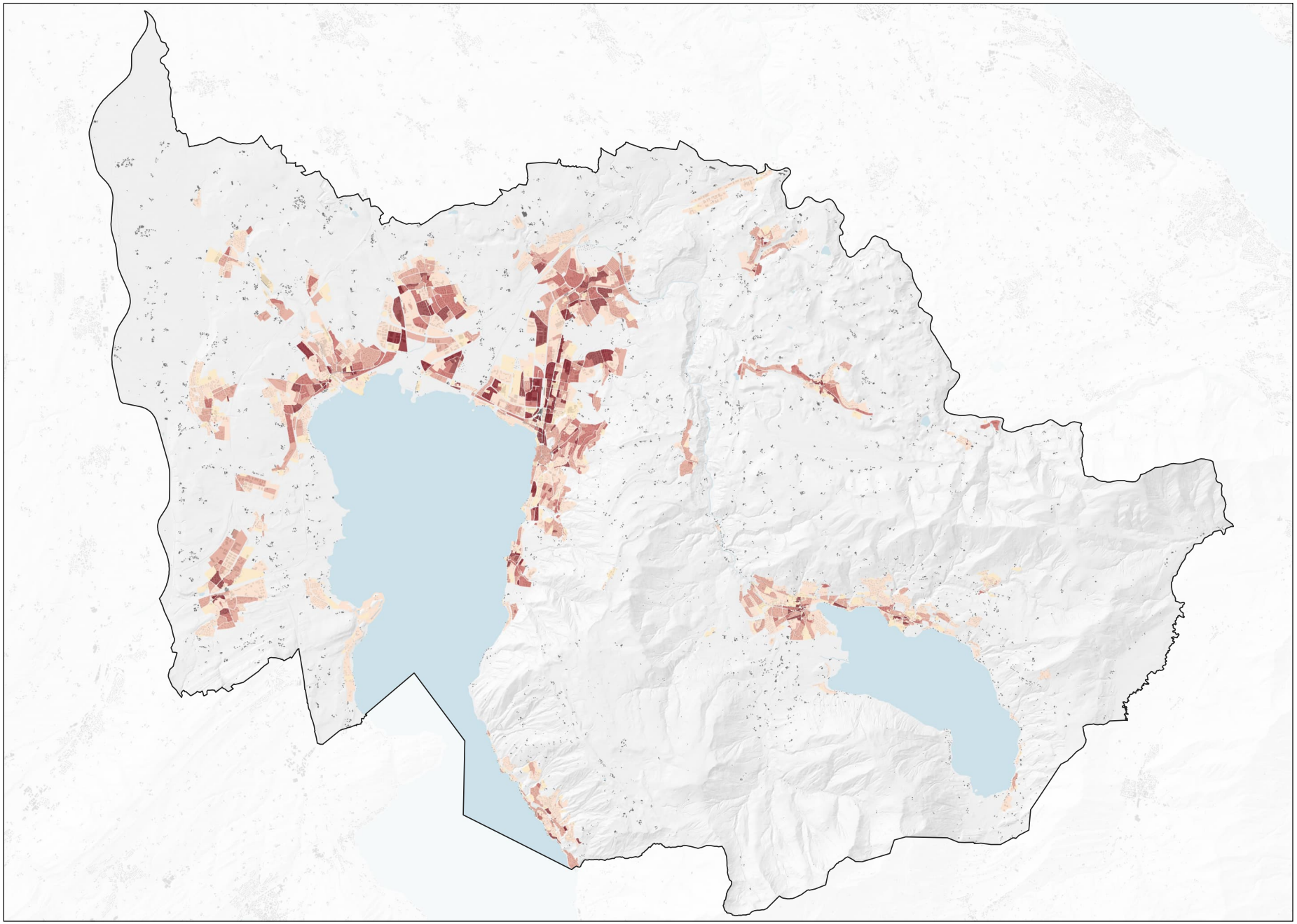


Abbildung 61 Energieflüsse im Kanton im Jahr 2050 für das Szenario Weiter-wie-bisher

A3 Karten-Sammlung



0 2 4 km

N

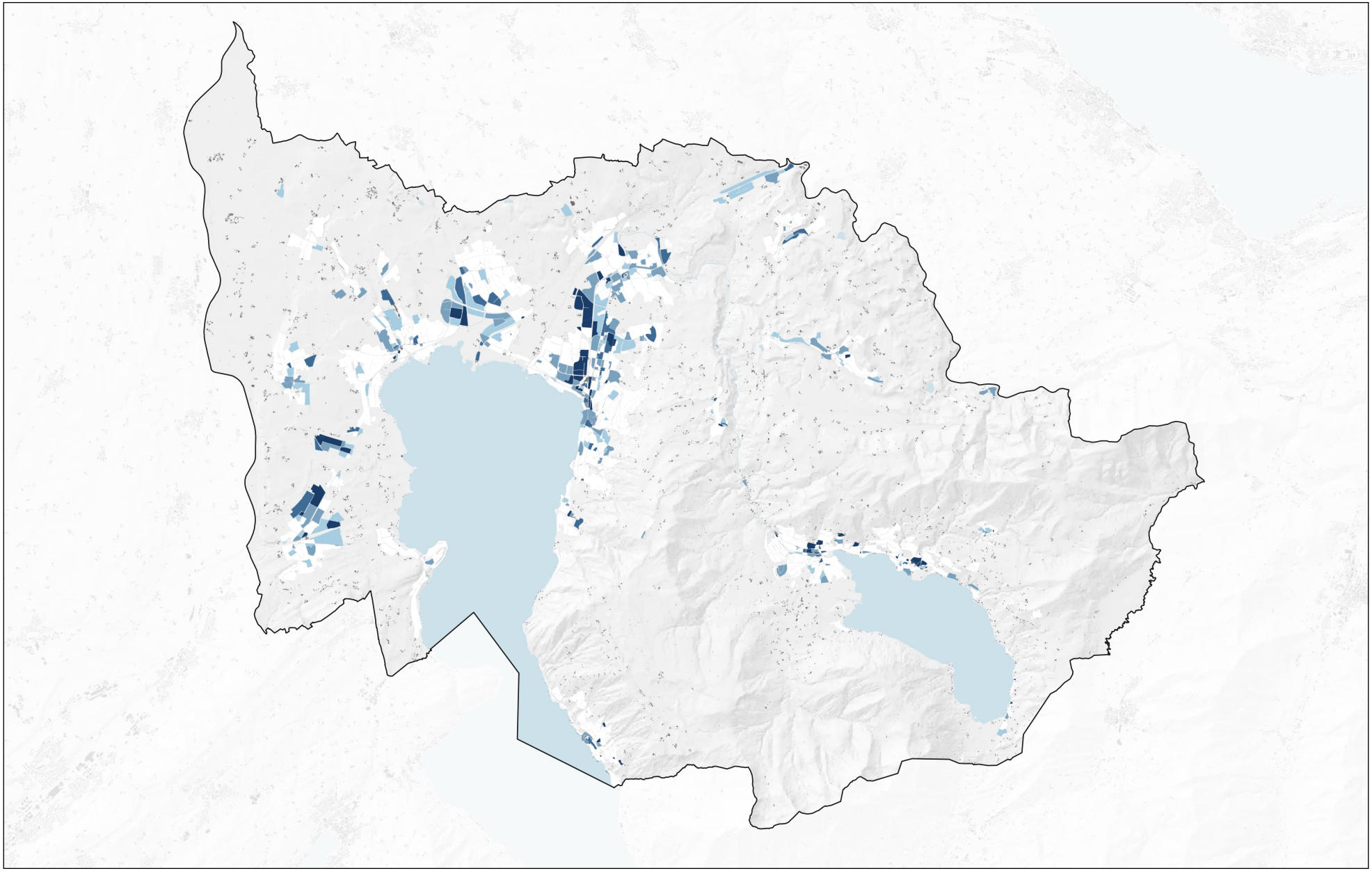
Energiebedarf Komfortwärme

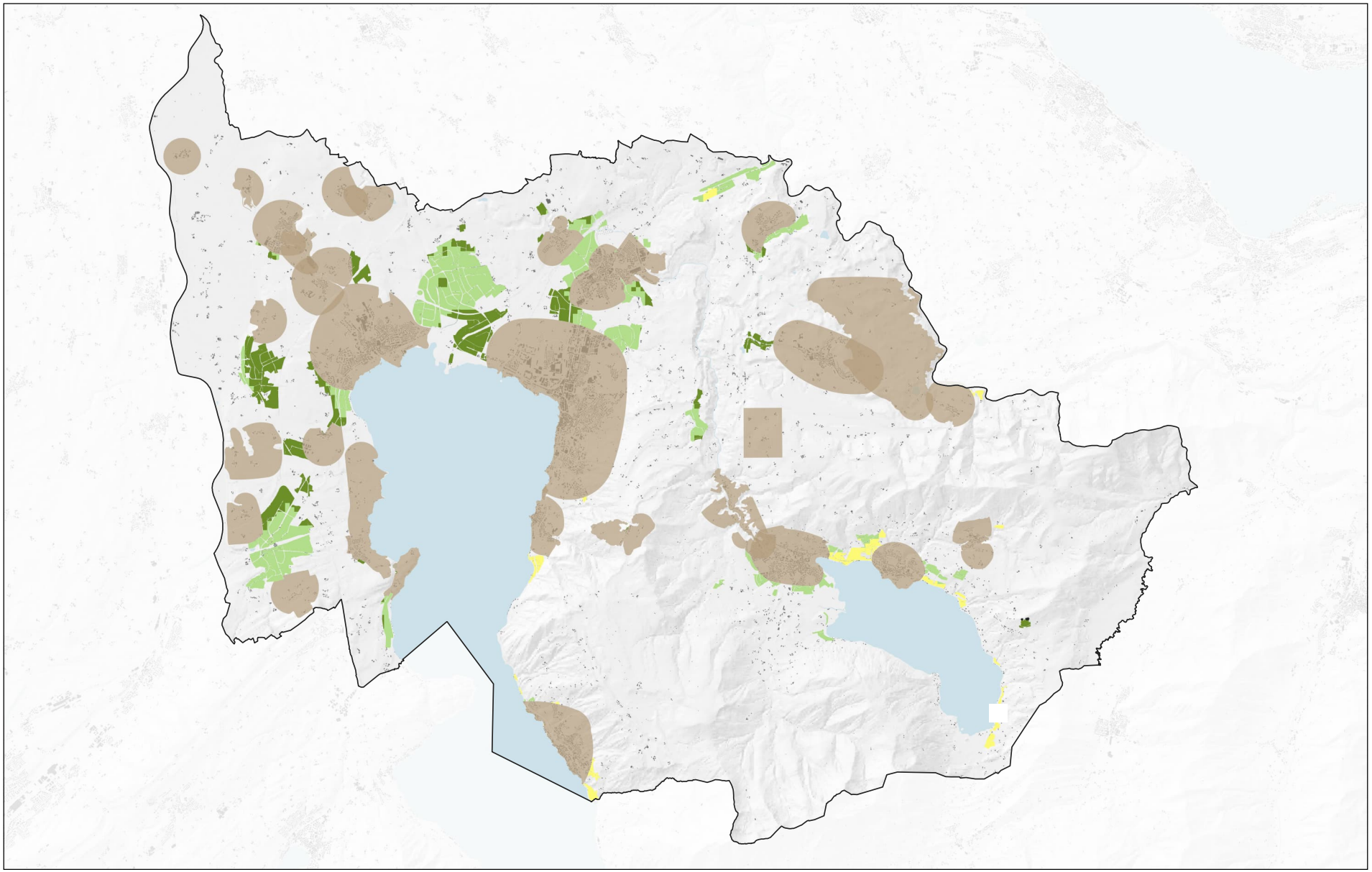
MWh pro Hektare und Jahr; Nicht erneuerbare Energieträger

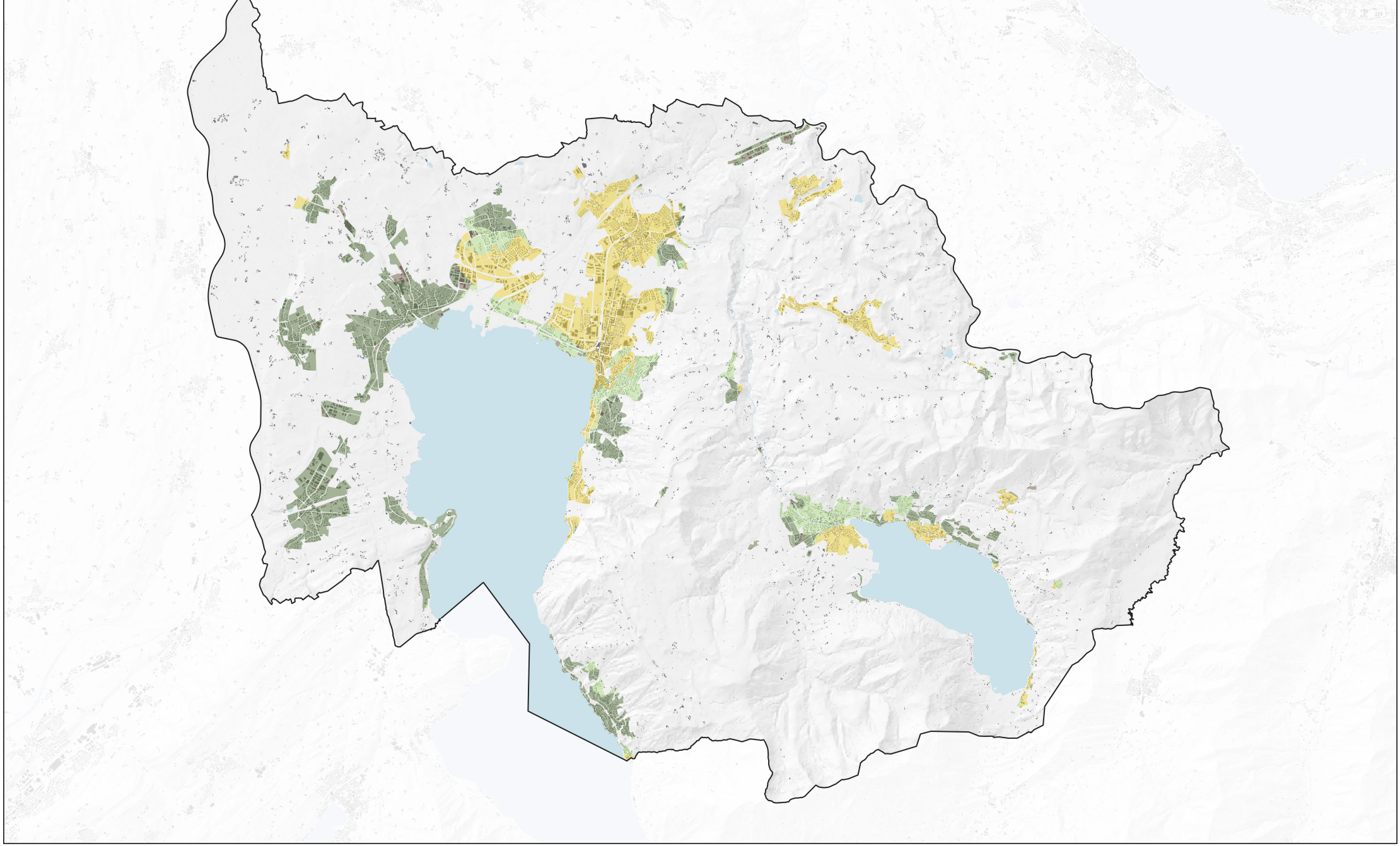
- < 250
- 250 - 500
- 500 - 750
- 750 - 1'000
- > 1'000

EBP

Datengrundlagen:
©swisstopo, GWR, Amt für Umwelt Kanton Zug


0
2
4 km
N
Energiebedarf für Kältebedarf
MWh pro Hektare und Jahr
< 50
50 - 100
100 - 200
200 - 300
> 300
Datengrundlagen:
©swisstopo, GWR
EBP


0
2
4 km
N
Windgeschwindigkeit in 50m Höhe in Bauzonen [m/s]
ausschliesslich der Gebiete mit Ortsbildschutz
< 3
3 - 4
4 - 5
> 5
Ortsbildschutz
Datengrundlagen:
©swisstopo, Geoportal Kanton Zug
EBP

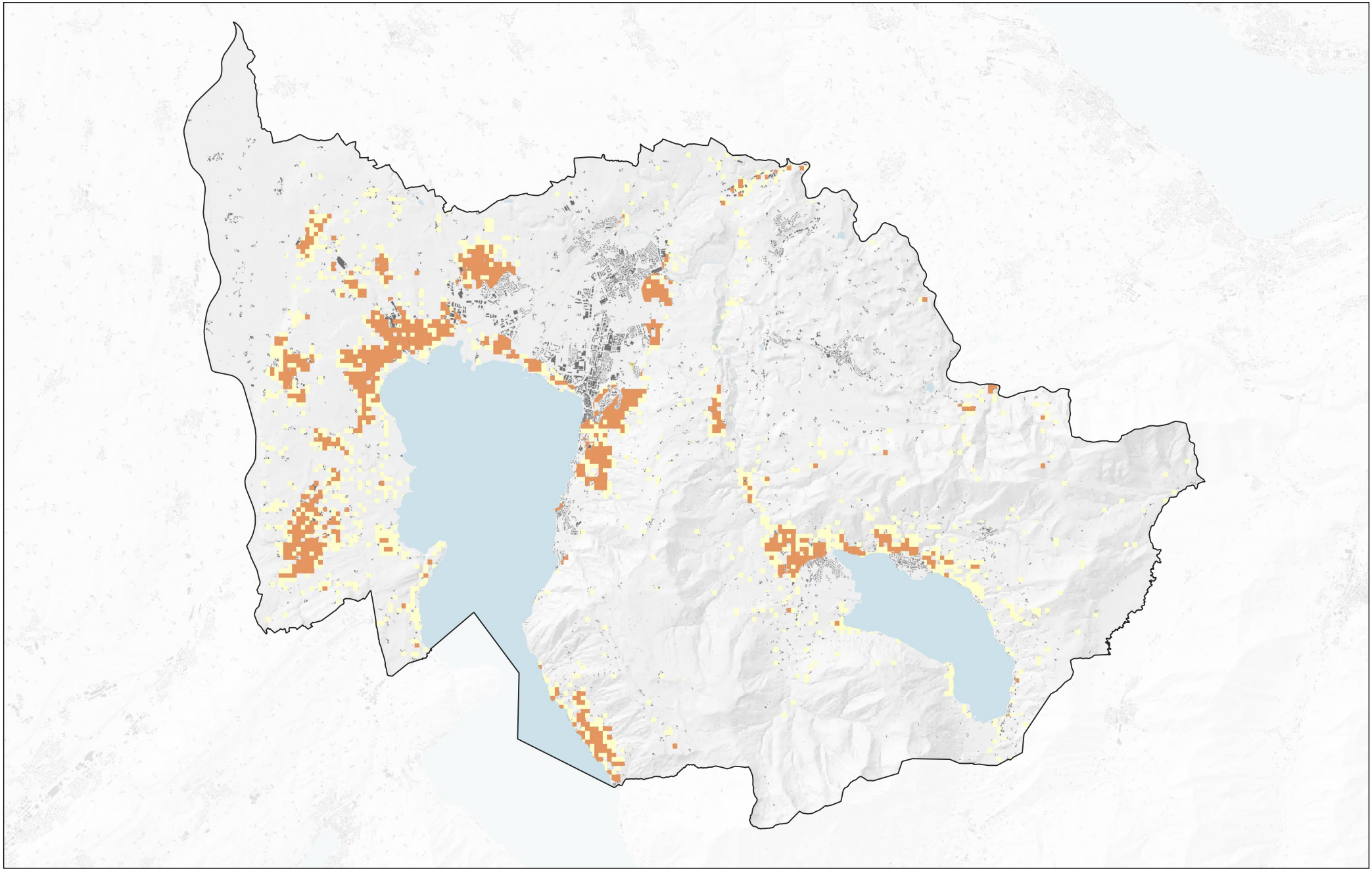


Zulässigkeitsbereiche Erdwärmenutzung in Bauzonen

- mit Standardauflagen zulässig
- mit spezifischen Auflagen zulässig
- unzulässig aufgrund Altlastenstandort

Datengrundlagen:
©swisstopo, Geoportal Kanton Zug

EBP

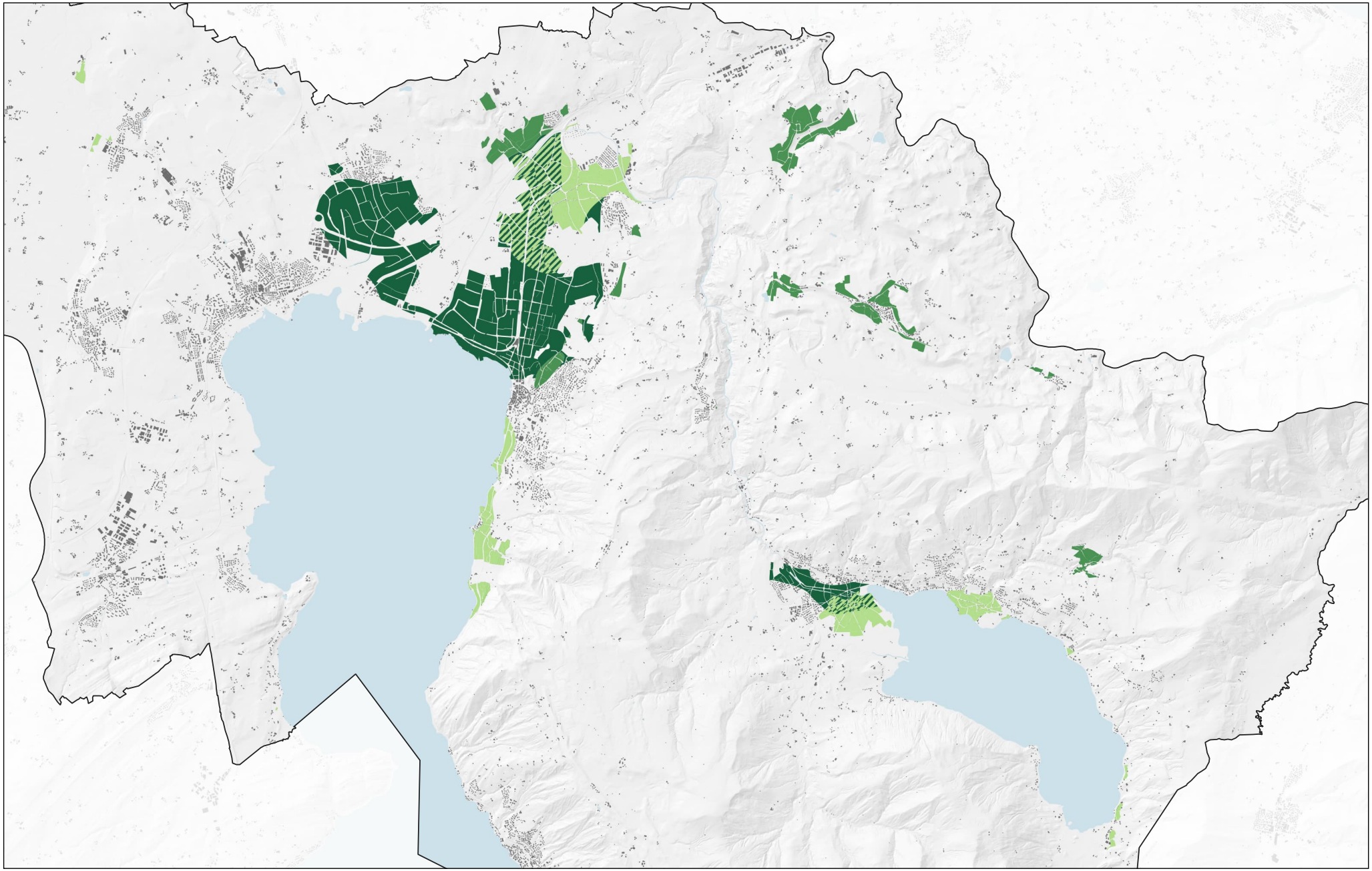


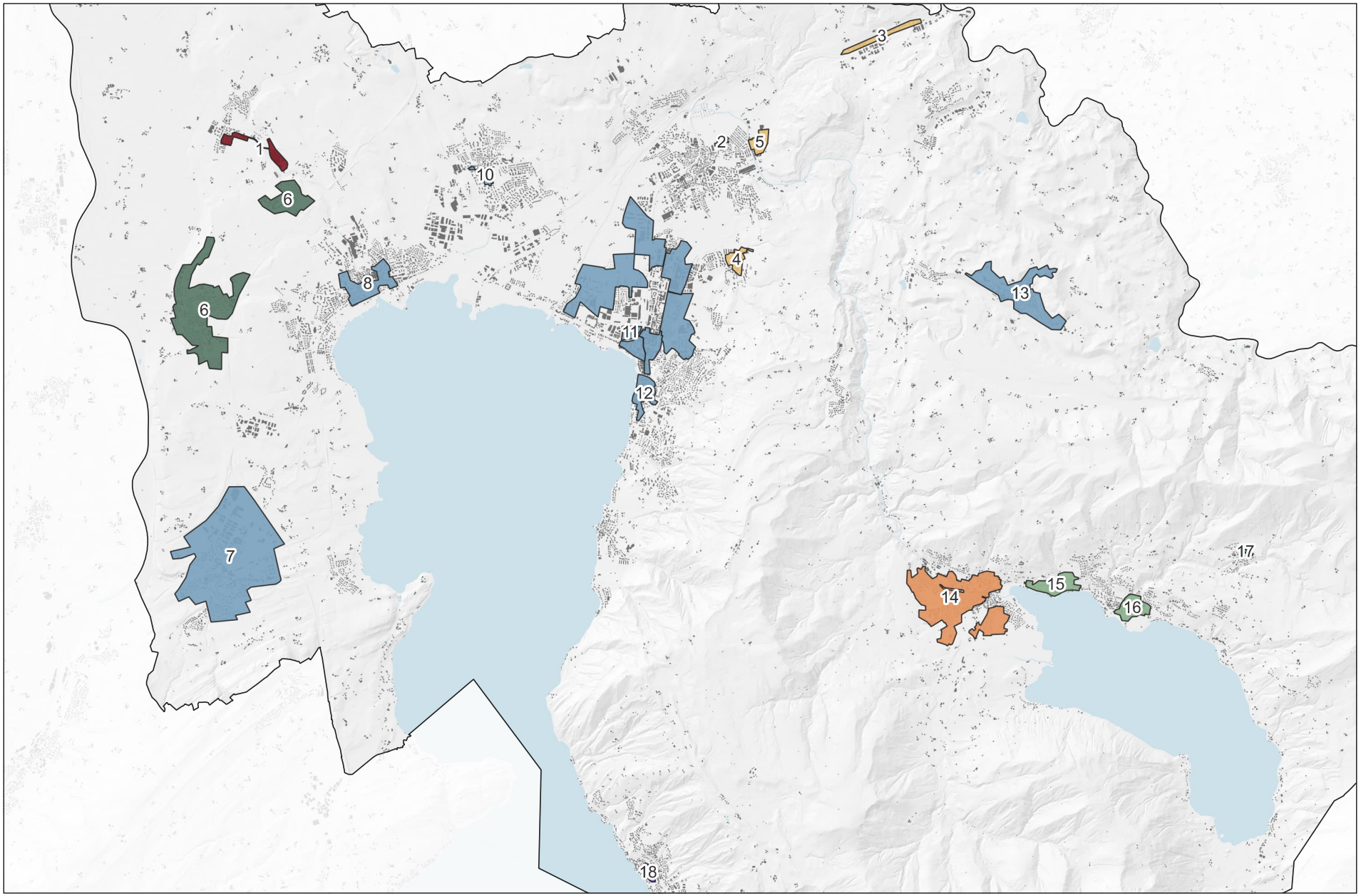
Datengrundlagen:
©swisstopo, GWR

Energiebedarf für Komfortwärme
MWh pro Hektare und Jahr; Fossile und unbekannte Energieträger, Elektroheizungen und Erdwärmepumpen

1 - 150
> 150

EBP


0 1 2 km
N
Vorkommen von Grundwasser in Bauzonen
Grundwasser innerhalb von Talsohlen
Grundwasser ausserhalb von Talsohlen
Tiefengrundwasser
Datengrundlagen:
©swisstopo, Kanton Zug
EBP



0 1 2 km

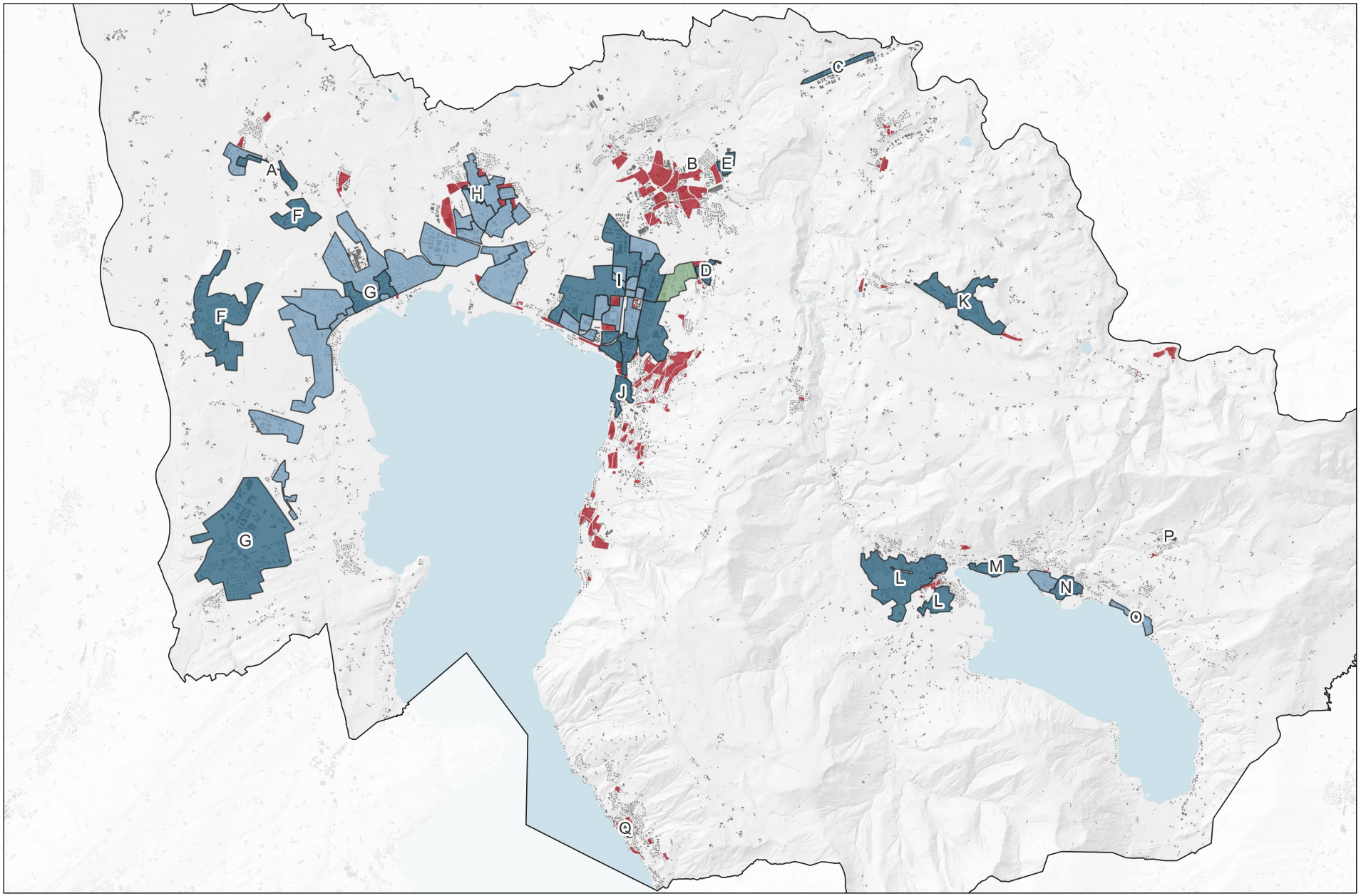
N

Betreiber erschlossener Energieverbunde

- BiEAG
- Energie Aegerital
- Korporation Oberägeri
- Korporation Unterägeri
- Korporation Baar-Dorf
- Gemeinde Walchwil
- WWZ
- Gemeinde Cham / privat

Datenquellen:
swisstopo, WWZ, BiEAG, GVRZ, Korporation Baar-Dorf, Energie Aegerital, Amt für Umwelt Kanton Zug

EBP



0 1 2 km

N

Bestehende und geplante Energieverbunde

- Erschlossen
- In Planung
- In Prüfung

Bauzonen mit attraktiver Wärmebedarfsdichte für Verbunde

- Wärmebedarfsdichte >500 MWh/ha

EBP

Datenquellen:
swisstopo, WWZ, BiEAG, GVRZ, Korporation Baar, Energie Aegerital, Amt für Umwelt Kanton Zug, GWR, Feuerungskontrolldaten, FWS