

Räumliche Energieplanung, November 2024

# Modul 4: Energiepotenziale Abwärme und erneuerbare Energien

Werkzeuge für eine zukunftstaugliche Wärme- und Kälteversorgung  
Information für Fachpersonen

## **Impressum**

**Herausgeber:** EnergieSchweiz für Gemeinden

**Erstdruck:** Februar 2011; Revision Februar 2019; Revision 2024

**Auftragnehmer:** PLANAR AG für Raumentwicklung, 8055 Zürich;

**Unterstützung:** Brandes Energie AG, econcept AG; Planair

**Begleitgruppe Revision 2024:** Kantone Aargau, Kanton Bern, Kanton Zürich, Stadt Schaffhausen, Stadt Biel, Stadt Zürich, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bundesamt für Energie (BFE), Thermische Netze Schweiz

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

## **Modul 4 in Kürze**

### **Verfügbare Energiequellen**

Verschiedene erneuerbare Energieträger und Abwärmequellen können für die energetische Nutzung in einer Gemeinde infrage kommen.

Für die Analyse der ökologischen Potenziale – in Bezug auf die Wärme- und Kältenutzung und die Stromproduktion – werden sowohl die genutzten als auch die ungenutzten erneuerbaren Energieträger und Abwärmequellen erhoben.

### **Lokale Voraussetzungen**

Mit der räumlichen Energieplanung und den vorgeschlagenen Planungsprioritäten werden die lokalen Voraussetzungen für die sinnvolle Nutzung der ökologischen Potenziale auf dem Gemeindegebiet geschaffen.

### **Weiterführende Informationen und Links**

– Separates Beiblatt zu den Modulen 1 bis 10

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Potenziale für die Wärmenutzung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Nutzung erneuerbarer Energien .....	4
1.2	Erhebungsmethode.....	5
<b>2.</b>	<b>Potenziale zur Stromproduktion .....</b>	<b>12</b>
2.1	Abwärme aus Kehrlichtverwertung .....	12
2.2	Klärgas aus Abwasserreinigung .....	12
2.3	Sonnenenergie .....	12
2.4	Wind.....	12
2.5	Wasserkraft.....	12
2.6	Geothermie .....	13
27	Biomasse und Holz .....	13
<b>3.</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>15</b>

# 1. Potenziale für die Wärmenutzung

Zur Abschätzung der Energiepotenziale auf dem Gemeindegebiet ist das Erfassen des Angebots lokaler erneuerbarer Energieträger und Abwärmequellen notwendig.

Entsprechend den Planungsprioritäten für die Energieversorgung (siehe Modul 2 «Vorgehen») umfasst das Spektrum der möglichen Ressourcen folgende Quellen:

- Ortsgebundene hochwertige Abwärme und Umweltwärme
- Ortsgebundene niederwertige Abwärme und Umweltwärme
- Regional verfügbare erneuerbare Energieträger
- Nutzung örtlich ungebundener Umweltwärme
- Regional verfügbare erneuerbare Energieträger (knappe Ressourcen)

## 1.1 Nutzung erneuerbarer Energien

Die Energiequellen sind hinsichtlich des ökologischen Potenzials und der technischen Nutzungsvoraussetzungen zu überprüfen. Bei Kehrlichtverwertungsanlagen (KVA) und anderen ortsgebundenen Quellen ist beispielsweise darauf zu achten, ob sich im nahen Umfeld genügend Wärmeabnehmer befinden. Für die Nutzung von Wärme aus Abwasserkanälen ist hingegen zu beachten, dass die Abschätzung des Energieangebots auf maximal mögliche Abkühlung des Abwassers und Schwankungen der Abwassermengen im Tagesverlauf Rücksicht nimmt.

Die Kältenutzung gewinnt an Bedeutung. Einige erneuerbare Energiequellen (wie Grundwasser, Oberflächengewässer, Erdwärme) eignen sich unter Umständen nicht nur für den Wärmebezug, sondern auch für eine effiziente, direkte Rückkühlung.

Bezüglich den Potenzialabschätzungen sind folgende Begriffe zu unterscheiden (Abbildung 1):

- Das theoretische Potenzial basiert auf den physikalischen Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Ressourcen; z. B. Intensität der Sonneneinstrahlung.
- Das technische Potenzial umschreibt, welcher Anteil des theoretischen Potenzials tatsächlich genutzt werden kann; z. B. Wirkungsgrad von Sonnenkollektoren.
- Das ökologische Potenzial bezeichnet die mit verfügbaren Technologien nachhaltig nutzbaren erneuerbaren Ressourcen; z. B. Sonnenkollektoren auf überbauten Flächen.
- Das wirtschaftliche Potenzial bezeichnet die wirtschaftlich tragbare Realisierung zur Nutzung des Potenzials; z. B. rentabler Bau von Sonnenkollektoren.

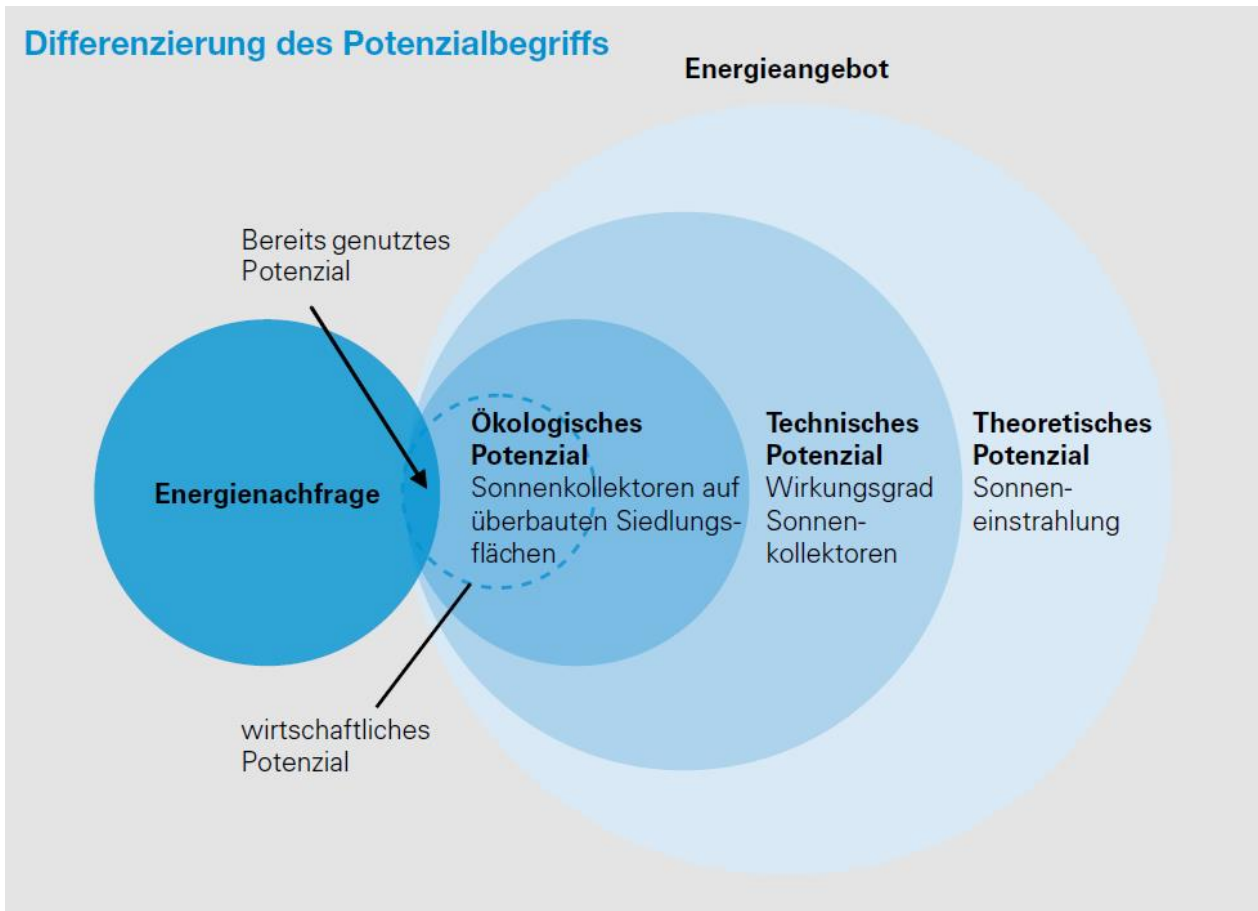


Abbildung 1: Die Unterschiede zwischen theoretischem, technischem, ökologischem und wirtschaftlichem Potenzial am Beispiel der Sonnenenergie.

### Best-Practice-Beispiel: Effiziente Grundlagenerarbeitung für kleine Gemeinden

#### Region Zürichsee-Linth (SG)

Der Verein Region Zürichsee-Linth hat in enger Zusammenarbeit mit seinen Gemeinden und den regionalen Wärmeversorgern eine umfassende Wärmeplanung entwickelt. Durch die koordinierte regionale Herangehensweise ist es dem Verein gelungen, eine effiziente und tragfähige Grundlage für weiterführende Aktivitäten in sämtlichen Gemeinden zu schaffen. Dieses Vorgehen zeigt, wie durch gemeinsame Anstrengungen und eine übergreifende Planung Synergien genutzt und Ressourcen optimal eingesetzt werden können (EBP 2024a).

### 1.2 Erhebungsmethode

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die potenziellen Energieträger, ergänzt mit Informationen, aus welchen Grundlagen die ökologischen Potenziale erhoben bzw. abgeleitet werden können. Aufgeführt sind daher die wesentlichen Kenn- und Erfahrungswerte. Und weiter wird erwähnt, wo die relevanten Informationen über die Energiequellen und die verschiedenen Arten der Wärme- und Kälteerzeugung jeweils erfragt werden können.



## Ortsgebundene hochwertige Abwärme und Umweltwärme

Ressourcen	Bezug von Informationen zum ökologischen Potenzial	Nutzungsmöglichkeiten
<b>Abwärme Kehrichtverwertungsanlage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– KVA- und Wärmenetzbetreiber (bei Abwärmenutzung)</li><li>– Abfallstatistik des Bundes</li></ul> Zukünftige Abfallentwicklung (KVA-Planung, Bevölkerungsentwicklung, Bewirtschaftung des Abfalls, saisonale Lagerung von Abfall, Kreislaufwirtschaft)  Bemerkungen <ul style="list-style-type: none"><li>– Nutzung von Strom und Wärme oder Wärmedirektnutzung möglich (WKK mit Abfall)</li><li>– Eigenbedarf an Wärme und Strom berücksichtigen (insbesondere unter Beachtung der kommenden Verpflichtung zu Carbon-Capture-and-Storage (CCS))</li></ul>	Wärme und Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz erforderlich und möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden (vgl. Modul 7)</li></ul> Wärme: <ul style="list-style-type: none"><li>– Ganzjährige Wärmenachfrage bzw. Prozesswärme- oder Grossbezüger sind interessant</li></ul> Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Kälteproduktion in Absorptionskältemaschinen möglich; relativ schlechter Wirkungsgrad</li></ul>
<b>Industrielle Abwärme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Grössere Gewerbe- und Industriebetriebe aus der produzierenden Branche</li><li>– Carbon-Capture-Anlagen</li></ul> Bemerkung <ul style="list-style-type: none"><li>– Eigenbedarf berücksichtigen (insbesondere bei evtl. zukünftigem CCS)</li></ul>	Wärme und Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz erforderlich und möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden</li></ul> Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Kälteproduktion in Absorptionskältemaschinen möglich; relativ schlechter Wirkungsgrad</li></ul>
<b>Mitteltiefe und tiefe Geothermie</b> (ab 500 m)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Geologische Verhältnisse abklären</li></ul> Bemerkung <ul style="list-style-type: none"><li>– Nutzung von Strom und Wärme oder Wärmedirektnutzung möglich</li></ul>	Wärme und Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz erforderlich und möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden</li><li>– Wärmenetz bei kombinierter Strom- und Wärmeproduktion erforderlich</li></ul> Kälte: <ul style="list-style-type: none"><li>– Kälteproduktion in Absorptionskältemaschinen möglich; relativ schlechter Wirkungsgrad</li></ul>



## Ortsgebundene niederwertige Abwärme und Umweltwärme

Ressourcen	Bezug von Informationen zum ökologischen Potenzial	Nutzungsmöglichkeiten
<b>Betriebliche Abwärmequellen<sup>1</sup></b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Industriebetriebe</li><li>– Energieumwandlung</li><li>– Kälteproduktion</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Grössere produzierende Betriebe</li><li>– Trafostationen oder andere Energieumwandlungsanlagen (Gemeinde, Energieversorgungsunternehmen (EVU))</li><li>– Rechenzentren</li><li>– Carbon-Capture-Anlagen</li></ul> <p>Bemerkung:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Eigenbedarf berücksichtigen</li></ul>	<p>Wärme und Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz erforderlich und möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden</li></ul> <p>Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Niedertemperaturnetze sind für Kälteproduktion interessant (Aufbereitung mit Wärmepumpen<sup>2</sup>) (vgl. Modul 7)</li></ul>
<b>Abwärme aus gereinigtem Abwasser (ARA)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– ARA-Betreibende (Temperaturkurve; Trockenwetterabfluss)</li><li>– Abschätzung Kenngrössen vgl. Abwärme aus Abwasserkanälen</li></ul> <p>Bemerkung</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Eigenbedarf berücksichtigen</li></ul>	
<b>Abwärme aus Abwasserkanälen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Gemeinde/ARA: Informationen über den durchschnittlichen mittleren Trockenwetterabfluss, mittlere Temperatur und Durchmesser der Kanäle</li><li>– Abschätzung mit folgenden Kenngrössen:<ul style="list-style-type: none"><li>– Durchschnittlicher mittlerer Trockenwetterabfluss mindestens 10 l/s</li><li>– Durchschnittliche Temperatur von über 10 °C nach der Wärmenutzung nötig, sofern keine Wiedererwärmung bis ARA</li><li>○ max. Entzugsleistung (kW) = Tagesmittelwert Trockenwetterabfluss (m<sup>3</sup>/h) x spezifische Wärmekapazität Wasser c<sub>p</sub> (kWh/m<sup>3</sup> K) x Abkühlung dT (K)</li></ul></li></ul> <p>Bemerkungen</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Genügend lange und grosse (Minstdurchmesser 80 cm) Kanalabschnitte müssen vorhanden sein (Alternative Bypass-Leitung)</li><li>– Benötigte Mindesttemperatur und Reserve bei ARA überprüfen</li><li>– Sanierungszeitpunkt der Kanäle berücksichtigen</li></ul>	<p>Wärme und Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz erforderlich und möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden</li></ul> <p>Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Kälteverteilung über Niedertemperaturnetze möglich (Aufbereitung mit Wärmepumpen)</li></ul>
<b>Wärmenutzung aus Gewässern</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Grundwasser</li><li>– Seewasser</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Kantonale Wärmenutzungskarten (GIS-/Geoportale: Grundwasser/Erdbwärme, Gewässerschutzkarten)</li></ul>	<p>Wärme und Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden</li></ul>

<sup>1</sup> Weitere Informationen finden sich in folgender Quelle: Energie Schweiz 2023: Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden. *eicher + pauli*.

<sup>2</sup> Weitere Informationen zu Wärmepumpen finden sich in BFE (2018b)



---

## Ortsgebundene niederwertige Abwärme und Umweltwärme

---

- Fließgewässer
- Trinkwasser (Reservoir oder Quellüberlauf)
- Abschätzung des Potenzials aufgrund gemeindespezifischer Gegebenheiten (z. T. Kenntnisse bei Brunnenmeister):
  - See
  - Fließgewässer
  - Kanäle
    - Grundwasservorkommen
    - Trinkwasserreservoir
  - Quell- und Grundwasserfassungen
- Kälte:
  - Dezentrale Anlagen für Einzelobjekte: direkte Kältenutzung unter Beachtung des Wärmeeintrags in die Gewässer möglich

### Bemerkung

- Einzelne Kantone fordern eine minimale Kälteleistung zur Erteilung einer Konzession.

---

## Untiefe Geothermie (50 m bis 500 m)

- Kantonale Erdwärmekarten (GIS-/Geoportale)
- Strombedarf für Wärmepumpen vom Temperaturhub abhängig (COP: 4 bis 5)
- Wärme und Kälte:
  - Dezentrale Anlagen für Einzelobjekte
  - Nutzung als Saisonspeicher möglich (Regeneration der Sonden im Sommer via Kühlung oder Solarwärme)
- Bemerkungen
  - Für eine nachhaltige Nutzung sollten die Sonden ab einer Wärmebedarfsdichte von ca. 150 MWh/ha\*a regeneriert werden.
  - Berücksichtigung Grundwasser- und Gewässerschutzzonen
- Wärme:
  - Sondenfelder können auch als Saisonspeicher in thermische Netze eingebunden werden
- Kälte:
  - Direkte Kältenutzung möglich

---

## Spezialfälle

- Abluft Tunnel
  - Entwässerung Tunnel
  - Spezifische Gegebenheiten im Gemeindegebiet abklären
  - Wirtschaftlichkeit abklären
  - Wärme und Kälte:
    - Thermisches Netz möglich Gebiete mit mittlerer bis hoher Energienachfragedichte nötig
  - Kälte:
    - Kälteproduktion bedingt möglich
-





## Regional verfügbare erneuerbare Energieträger

Ressourcen	Bezug von Informationen zum ökologischen Potenzial	Nutzungsmöglichkeiten
<b>Biomasse</b> (ohne Holz), Vergärung	<b>Gewerbliche Biogasanlagen</b> >10'000 t Grüngut pro Jahr <ul style="list-style-type: none"><li>– Betreiber Grüngutsammlung</li><li>– Organische Abfälle aus Lebensmittelindustrie sowie Gastronomie</li><li>– Abfallstatistik des Bundes</li><li>– Pro Tonne organische Abfälle: 100 m<sup>3</sup> Biogas (WKK: 200 kWh<sub>el</sub> resp. 200 kWh<sub>th</sub>)</li></ul> <b>Landwirtschaftliche Biogasanlagen:</b> Nutzung in grösseren Anlagen (regional): geeignet ab 80 bis 100 Grossvieheinheiten (GVE) bzw. 3'000 – 4'000 t Gülle und Mist: <ul style="list-style-type: none"><li>– Kantonale Statistiken für Tierbestand in Gemeinden</li><li>– Umrechnung des Tierbestandes in GVE gemäss «Verordnung über landwirtschaftliche Begriffe und die Anerkennung von Betriebsformen», Anhang (Art. 27)</li><li>– Pro GVE entstehen rund 1,5 m<sup>3</sup> Biogas pro Tag</li></ul>	Wärme- und Strom- oder Treibstoffproduktion (Biogas) <ul style="list-style-type: none"><li>– Thermisches Netz möglich, sofern genügend Energienachfragedichte vorhanden (mittlere bis hohe Energienachfrage nötig)</li><li>– Abwärme WKK</li><li>– Alternativ Einspeisung von Biogas ins Gasnetz</li></ul>



## Nutzung örtlich ungebundener Umweltwärme

Ressourcen	Bezug von Informationen zum ökologischen Potenzial	Nutzungsmöglichkeiten
<b>Sonnenenergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– In der Regel basiert die Potenzialabschätzung im Wärmebereich auf der nutzbaren Dachfläche (<a href="http://www.sonnendach.ch">www.sonnendach.ch</a>) oder Fassadenfläche (<a href="http://www.sonnenfassade.ch">www.sonnenfassade.ch</a>) und dem lokalen Wärmebedarf</li> <li>– Der solare Deckungsgrad sowie die Jahreserträge im Mittelland und im Alpenraum sind im Modul 5 eingehend beschrieben.</li> </ul> <p>Bemerkung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dachflächen, die nicht für die Wärmenutzung benutzt werden, können zur Stromproduktion verwendet werden (etwa Turnhallen, Mehrzweckhallen, Scheunendächer)</li> </ul>	<p>Wärme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dezentrale Anlagen in Einzelobjekten zur Warmwassererwärmung mit oder ohne Heizungsunterstützung</li> <li>– Einbindung in thermische Netze für Sommerbetrieb interessant</li> <li>– Überschusswärme für Regeneration von Erdsonden nutzbar</li> </ul>
<b>Wärmenutzung aus Umgebungsluft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Top-Down-Ansatz zur Deckung des Wärmebedarfs</li> </ul> <p>Bemerkungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nutzung von Erdwärme sowie Wärme aus Gewässern sind der Nutzung der Umgebungsluft vorzuziehen (bessere COP)</li> <li>– Die Nutzung in energetisch sanierten oder neu erstellten Bauten ist der Nutzung in schlecht gedämmten Altbauten vorzuziehen (bessere COP)</li> <li>– Lärmschutzthematik ist zu berücksichtigen (z. B. Mehrfamilienhäuser)</li> </ul>	<p>Wärme und Kälte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dezentrale Anlagen, primär in Einzelobjekten</li> </ul>



## Regional verfügbare erneuerbare Energieträger

Ressourcen	Bezug von Informationen zum ökologischen Potenzial	Nutzungsmöglichkeiten
<b>Holz</b>	<p><b>Restholz und Altholz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Holzverarbeitende Betriebe</li> <li>– Restholz aus Wald und Landwirtschaft</li> <li>– Regionale Sammelstellen für Altholz</li> </ul> <p><b>Energieholz und Landschaftsholz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lokale und regionale Holzkooperationen</li> <li>– Kantonale Studien und Planungen</li> <li>– <a href="http://www.map.geo.admin.ch">www.map.geo.admin.ch</a> &gt; verholzte Biomasse</li> <li>– GIS: Waldfläche der Gemeinde</li> </ul> <p>Bemerkung: Holz ist gut lagerbar. Das freie Potenzial an Holz ist schweizweit knapp. Holz sollte deshalb für neue Anlagen nicht mehr für Raumwärme eingesetzt werden (vgl. Kasten).</p>	<p>Wärme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Heizwerk oder Heizkraftwerk (mit Stromerzeugung) mit thermischen Netzen bei vorhandener hoher Energienachfragedichte (bei fehlenden Alternativen und gesicherter Verfügbarkeit)</li> <li>– Bei fehlenden Alternativen geeignet für einen Gebäudebestand, der hohe Vorlauftemperaturen erfordert.</li> </ul>

Tabelle 2: Potenziale für die Wärmenutzung

### Energieholzpotenzial Schweiz

Zum Energieholzpotenzial gehören folgende Kategorien: Waldholz, Restholz, Landschaftsholz, Altholz. Diese werden in den Sortimenten Stückholz, Schnitzel und Pellets angeboten.

Das Energieholzpotenzial in der Schweiz ist bereits zu 7/8 genutzt und die Tendenz ist steigend. Das Potenzial von Energieholz ist somit knapp. Die Reserven stehen regional unterschiedlich zur Verfügung. Daher wird den Investierenden von grösseren Anlagen mit Energieholz empfohlen, ihre benötigte Energieholzmenge vorgängig zu sichern (BAFU 2023).

Der Einsatz der Kategorien nach Sortimenten wird wie folgt empfohlen:

	Stückholz	Schnitzel	Pellets
<b>Stückholz-Öfen</b>	Waldholz Landschaftsholz		
<b>Stückholz-Kessel</b>	Waldholz Landschaftsholz		
<b>Automatische Feuerungen &lt; 300 kW</b>		Waldholz Restholz	Restholz Importe (Waldholz)
<b>Automatische Feuerungen 300 kW – 1'000 kW</b>		Waldholz Landschaftsholz Restholz Neue Biomasse (Altholz)	Restholz Neue Biomasse Importe (Waldholz)
<b>Automatische Feuerungen 1'000 – 10'000 kW</b>		Waldholz Landschaftsholz Restholz Altholz Neue Biomasse	(Waldholz)
<b>Automatische Feuerungen &gt; 10'000 kW</b>		(Restholz) (Altholz) (Neue Biomasse)	

Tabelle 1: Eignung der Holz kategorien nach Sortiment und Anlagengrösse (Quelle: Energieholz-Versorgung Grundlagen und Strategie, Energieholz Schweiz 2022) In Klammern ist die Verwendung in zweiter Priorität aufgeführt, die dritte Priorität wurde zugunsten der Lesbarkeit weggelassen.

Unabhängig von obiger Zuteilung sollte Holz in erster Linie stofflich verwendet werden. Neue Heiz-Anlagen für Komfortwärme sollten, wenn immer möglich, auf die Verwendung von Holz verzichten.

In bestehenden thermischen Netzen ist zu prüfen, inwiefern alternative Energiequellen Holz ersetzen können.

## 2. Potenziale zur Stromproduktion

Die Potenzialanalyse für die räumliche Energieplanung kann die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen auf dem Gemeindegebiet miteinschliessen. Grundsätzlich sind folgende Quellen für die Stromproduktion geeignet:

### 2.1 Abwärme aus Kehrrechtverwertung

Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA) liefern hochwertige Abwärme, die für die Stromerzeugung nutzbar ist; die Restwärme wird in ein thermisches Netz eingespeist. Eigenbedarf an Wärme und Strom ist zu berücksichtigen (insbesondere bei Beachtung der kommenden Verpflichtung zu CCS).

### 2.2 Klärgas aus Abwasserreinigung

Optimalerweise nutzen die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) das Klärgas in der Regel für den Betrieb eigener Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK), um einen Teil des Stromeigenbedarfs zu decken und geben die Abwärme an einen Wärmeverbund ab. Falls keine der beiden Möglichkeiten für die weitere Nutzung des Klärgases umgesetzt wird, sollte die Einspeisung ins Gasnetz geprüft werden. Das Einspeisen von Klärgas ins Erdgasnetz ist bei mittleren und grossen Anlagen möglich.

### 2.3 Sonnenenergie

Dachflächen und Fassaden mit entsprechender Neigung und Exposition können für die Wärme- oder Elektrizitätsproduktion genutzt werden. Das Potenzial zur Stromproduktion ist primär durch die vorhandenen Flächen begrenzt und beträgt 67 TWh/a ([www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch)).

Grundsätzlich kann mit einem jährlichen Stromertrag pro Solarzellenmodul zwischen 150 und 230 kWh/m<sup>2</sup> gerechnet werden (BFE 2023d). Genauere Aussagen zum Potenzial für die Photovoltaikanwendung in einer Gemeinde können für Dächer und Fassaden pro Gebäude oder pro Gemeinde unter: [www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch), [www.sonnenfassade.ch](http://www.sonnenfassade.ch)) abgefragt werden.

### 2.4 Wind

Die Nutzung von Windenergie ergänzt die Sonnenenergie ideal, da Windenergie zu 2/3 im Winter anfällt und auch in der Nacht verfügbar ist, wenn die Sonnenenergie knapp ist. In der Schweiz sollen bis ins Jahr 2050 über 4 TWh/a mit Wind erzeugt werden. Das Gesamtpotenzial beläuft sich auf 29.5 TWh/a (BFE 2023).

Das lokale Potenzial ist, basierend auf der Windpotenzialkarte von Bund und Kanton, im Einzelfall anhand folgender Kriterien abzuklären: minimale durchschnittliche Windstärke von 4,5 m/s; genügende Distanz zum Siedlungsgebiet unter Beachtung der Lärmschutzverordnung und Landschaftsschutz (regionale Eignungskarten: [www.windatlas.ch](http://www.windatlas.ch)). Zusätzlich gelten nationale Einschränkungen, die unter [map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch) im Bereich "Wind: Bundesinteresse" eingesehen werden können. Gemäss dem Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien (Art. 10 Abs. 1-1<sup>ter</sup>) sind die Kantone verpflichtet, in ihrem Richtplan Wind und Wasserkraft geeignete Gebiete im Richtplan festzulegen. In den meisten Kantonen sind im Richtplan bereits Gebiete oder Kriterien zur Windstromproduktion ausgeschieden.

### 2.5 Wasserkraft

Für eine Wasserkraftnutzung fallen Fliessgewässer und die Trinkwasserversorgung in Betracht. Letztere ist unter Ausnützung des Gefälles machbar, aber für jeden Einzelfall abzuklären. Eine nähere Abklärung lohnt sich, wenn eine Quelle mindestens 500 l/min ausschüttet und die Höhendifferenz mindestens 50 m

beträgt (EnergieSchweiz 2003). Ausserdem sind für bestehende Wasserkraftanlagen mögliche Erweiterungen bzw. bei Neuanlagen nicht mehr genutzte Wasserrechte oder -konzessionen zu betrachten. Dies unter Berücksichtigung, dass das ökologische Potenzial bis auf wenige Ausnahmen ausgeschöpft ist.

Der Bund stellt auf [maps.admin.ch](http://maps.admin.ch) Daten zum Potenzial von Wasserkraftwerken zur Verfügung. Weiter verfügen gewisse Kantone über eine Potenzialbetrachtung der Gewässer (z. B. Kt. Bern, Kt. Zürich) und publizieren diese in Studien und/oder im Geoportal.

## 2.6 Geothermie

Die Nutzung der tiefen Geothermie zur Erzeugung von Elektrizität ist grundsätzlich möglich. In der Schweiz werden immer wieder Erkundungen durchgeführt. Erfolgreiche Projekte liegen noch keine vor.

## 27 Biomasse und Holz

Effiziente Technologie zur Nutzung von erneuerbaren Brennstoffen für die Stromerzeugung bei vollständiger Abwärmenutzung sind die Wärmekraftkopplungs-Anlagen (siehe Modul 5 «Wärmeerzeugung»). Solche Anlagen besitzen einen hohen Wirkungsgrad, sofern auch die Wärme vollständig genutzt werden kann. WKK-Anlagen sind daher wärmegeführt zu betreiben und in unmittelbarer oder naher Umgebung sollten genügend Wärmeabnehmer vorhanden sein. Werden sie fossilfrei betrieben, dann sind sie ein wichtiges Element der Sektorkopplung.

WKK-Anlagen mit Biomasse und Holz setzen eine Anlagegrösse im Megawattbereich voraus; die Wärme ist für die Versorgung in einem Wärmeverbund abzugeben. Die Anlage sollte wärmegeführt betrieben werden. Als Richtwerte für die Anteile erzeugter Energie gelten bei Strom: 25 % bis 40 %, und bei Wärme: 50 % bis 65 %. Dabei werden nur Anlagen nach Energieförderungsverordnung genehmigt (EnFV 730.03).

### Energienetz der Zukunft

Mit zunehmender Stromproduktion aus Quellen mit schwankendem Angebot, beispielsweise Sonnen- oder Windenergie, steigen die Anforderungen an die Regelung der Stromversorgung. Mit der Wasserkraft besitzt die Schweiz ein grosses Mass an Regelenergie (Speicherkraftwerke). Mit neuen Technologien lässt sich das Zusammenspiel von schwankendem Angebot und Steuerung der Nachfrage verbessern, auch auf kommunaler Ebene.

- Der Eigenverbrauch (in Gemeinschaften oder Quartieren) von Strom aus dezentraler Erzeugung entlastet das Stromnetz und erhöht die Wirtschaftlichkeit von Anlagen.
- Mit Smart Grids als Stromnetze der Zukunft lassen sich dezentrale Energieproduktion, schwankende Nachfrage und dezentrale Speicherung, beispielsweise mit den Batterien von Elektrofahrzeugen, optimal und energieeffizient koordinieren. In einem Smart Grid kann die Stromnachfrage teilweise dem Angebot angepasst werden.
- Eine Überproduktion von erneuerbarem Strom kann künftig evtl. zur Produktion von synthetischem Gas genutzt werden, das erneuerbare Gas kann dann gespeichert werden (Power-to-Gas-Technologie vgl. Modul 6)

### **Effizienzpotenziale**

Neben der Nutzung von regionalen Potenzialen für die Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung aus Abwärme und erneuerbaren Energien sind auch die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz zu beachten. Diese ermöglichen zum einen eine Senkung der Treibhausgasemissionen und zum anderen eine Reduktion der Energiekosten.

**Wärme:** Im Bereich der Gebäude sieht der Bund eine Senkung des Energiebedarfes von etwa 90 TWh im Jahr 2023 auf rund 65 TWh im Jahr 2050 vor (BFE 2023e). Der Bund setzt im Rahmen der Energiestrategie 2050 verschiedene Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz um. Im Bereich Wärme ist dies die Förderung von energetischen Sanierungen von Gebäuden über das Gebäudeprogramm und steuerliche Anreize (BFE 2020). Für die Verbesserung der Energieeffizienz im Wärmebereich gibt es noch weitere Handlungsmöglichkeiten wie den Einsatz smarter Heizsysteme oder die optimale Einstellung der Heizungstemperatur (EnergieSchweiz 2024d).

**Strom:** Im Strombereich sind die Umrüstung auf effiziente Geräte (Beachtung der Energieetikette) oder die vollständige Umstellung der Beleuchtung auf effiziente Leuchtmittel (LED) wichtige Handlungsmöglichkeiten. Zusätzlich können intelligente Stromzähler und Energiemanagementsysteme eingesetzt werden, um den Stromverbrauch zu optimieren und weitere Einsparpotenziale zu identifizieren.

**Kälte:** Durch die steigenden Temperaturen aufgrund des Klimawandels wird die Kälteeffizienz in der Zukunft an Bedeutung gewinnen. Um in der Zukunft möglichst kühle Wohnungen ohne Kälteanlagen zu ermöglichen, ist die Bauweise des Gebäudes bedeutend (klimaresilientes Bauen). So spielen unter anderem die Grösse, Lage und Ausrichtung von Fenstern eine zentrale Rolle (Hochschule Luzern 2021). Daneben wird aber auch die aktive Kühlung wichtiger werden. Um effiziente Systeme oder sogar Fernkühlsysteme via thermische Netze rechtzeitig zur Verfügung stellen zu können, sind diese bereits heute mitzudenken.

### 3. Quellen

- Bundesamt für Energie (BFE) (2018b): Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Bundesamt für Energie, <http://faktor.ch/faktor-buecher/waermepumpen-planung-optimierung-betrieb-wartung.html>
- Bundesamt für Energie (BFE) (2020): Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energiestrategie-2050/erstes-massnahmenpaket/massnahmen-zur-steigerung-der-energieeffizienz.html> (Zugriff am [25.07.2024]).
- Bundesamt für Energie (BFE) (2023a). Wärmestrategie 2050. Bern, Schweiz. Verfügbar unter: <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/74920.pdf> (Zugriff am [17.07.2024]).
- Bundesamt für Energie (BFE) (2023d): Energieperspektiven 2050+. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>. (Zugriff am [17.07.2024]).
- Bundesamt für Energie (BFE) (2023e): Gebäude Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/effizienz/gebaeude.html> (Zugriff am [25.07.2024]).
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2023): Holzenergie. Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/fachinformationen/holzverwendung/holzenergie.html> (Zugriff am [17.07.2024]).
- EBP (2024a): Empfehlungen für Energieplanungen. Best Practice Beispiele. Zürich, Schweiz.
- EnergieSchweiz (2003): Im Trinkwasser schlummert Ökostrom. Bundesamt für Energie (BFE). Bern, Schweiz.
- EnergieSchweiz (2024d): Energieeffizient und erneuerbar Heizen. Verfügbar unter: <https://www.energieschweiz.ch/haushalt/heizen/> (Zugriff am [25.07.2024]).
- Hochschule Luzern (HSLU) (2021): Klimagerecht bauen. Verfügbar unter: <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/medien/medienmitteilungen/2021/08/16/klimagerecht-bauen/> (Zugriff am [25.07.2024]).
- Holzenergie Schweiz (2022): Energieholz-Versorgung. Grundlagen und Strategie. Zürich, Schweiz