

Wärmewende im ländlichen Bereich

Sonne speichern. Energie teilen. Zukunft gestalten.



Umwelt Management AG
Cuxhaven, September 2025

Heiko Roß
hro.umaag@
umwelt-management.de

Ansprechpartner:
Tobias Hasselmann
th.umaag@
umwelt-management.de

Medien: Christine Breeze
chb.umaag@
umwelt-management.de

Einleitung

Spricht man über die Wärmewende, so verfängt beim Blick in die einschlägigen Medien der Eindruck, dass es in den meisten Fällen um Wärmepumpen an Einfamilienhäusern mit mehr oder weniger hohen Wärmeverbräuchen geht. Wenig hört man in der Öffentlichkeit über kleine Kommunen im ländlichen Raum, deren Bausubstanz oftmals Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte alt und oftmals nur schwer oder zu hohen Kosten energetisch zu sanieren ist. Oftmals werden diese Häuser in Ortschaften im ländlichen Bereich durch Einzelheizungen auf Öl- oder Holzbasis geheizt. Der Einsatz neuer klimaschonender Technologie in solchen Einzelgebäuden kann die finanziellen Möglichkeiten der Eigentümer leicht überfordern und sorgt für Frustration – wollen doch auch diese Menschen einen Beitrag zur nachhaltigen Wärmeversorgung bei bezahlbaren Wärmepreisen leisten.

Neben Wärmelösungen mit grünen Brennstoffen (bspw. Biogas, Holz...) oder der elektrischen Lösung mittels Wärmepumpe, haben sich in den letzten Jahren in Deutschland erste Kommunen nach dem Beispiel Dänemarks oder Hollands aufgemacht, ihren Weg für eine klimafreundliche Wärmeversorgung auf Basis von Saisonspeichern und Nah- Wärmenetzen zu gehen. Gemeinden wie Meldorf¹ in Schleswig- Holstein und Bracht² in Nordhessen sind hier beispielhaft für solche Wärmeprojekte in Deutschland zu nennen. 16 km Luftlinie entfernt von Bracht soll in Rüdighelm ein weiterer Saisonwärmespeicher in Kürze umgesetzt werden³.

Mit der weiteren technischen Entwicklung der letzten Jahre im Bereich der Photovoltaik – Module mit Wärmeauskopplung („PV-T- Module“), Batteriespeichern und dem mit dem fortschreitenden Ausbau von Stromerzeugung aus Wind und Sonne erforderlichen Flexibilität in der Stromabnahme ergeben sich weitere Entwicklungen bei der sicheren, bezahlbaren und klimafreundlichen Versorgung von Ortschaften mit Wärme.

Stand der Technik – Wärmetechnologien

Zunächst ein kurzer Überblick, welche verfügbaren klimaschonenden bzw. klimaneutralen Möglichkeiten der Wärmeversorgung bestehen.

Grüne Gase / Wasserstoff

In Kommunen mit einem vorhandenen Gasnetz ist es eine Option, sogenannte „Grüne Gase“ wie auch Wasserstoff für die Wärmeversorgung einzusetzen. Dabei kann die existierende Infrastruktur zum Großteil weiter genutzt werden. An Standorten mit verfügbaren Biogasanlagen kann eine solche Lösung eine wirtschaftliche Option für die Wärmeversorgung sein. Erfolgt mehr Substitution von Erdgas durch Biogas, so werden mehr Energiepflanzen benötigt – mit der bekannten Diskussion „Teller oder Tank“. Zudem ist der Preis von Biogas aktuell von Subventionen abhängig und damit keine wirklich langfristige Perspektive für ein hohes Maß an Wärme in Deutschland.

Der Einsatz von Wasserstoff in Gasnetzen mit „Wasserstoff-ready“ Gasthermen ist eine weitere Option. Hier muss die technologische Entwicklung in der Elektrolyse weiter gehen, um Wasserstoff zu bezahlbaren Preisen zu produzieren. Wasserstoff in Wärme oder Mobilität/ Abwärme von

¹ [Ramboll baut ersten Erdbeckenspeicher](#)

² [Solarwärme Bracht | ein Dorf wird zukunftsfähig - Technik](#)

³ <https://swreg.de/>

Elektrolyseuren kann in Regionen mit einem hohen Maß an verfügbarem günstigen Windstrom eine Alternative sein⁴.

Holzheizungen

Viele ältere Gebäude in ländlichen, insbesondere walddreichen Gebieten, werden mit Holz beheizt. Allerdings steigt mit dem Wegfall vom billigen russischen Gas auch der Holzpreis an – Holz wird mehr und mehr als Ergänzung / Alternative zum Erdgas gesehen, was bei Schwankungen im Gaspreis mittlerweile auch Auswirkungen auf den Holzpreis hat. Dazu kommt die steigende Nachfrage nach Holz in den letzten Jahren, die den Preis für Holz in erheblichem Maße ansteigen lassen hat.

Energetisch und auch von der Umweltbelastung ist es allerdings sinnvoller, Holzreste in Biomasse Heizkraftwerken („BM HKW“) zur Wärme- und Stromversorgung einzusetzen. Diese Kraftwerke haben ggü. Scheitholtanlagen eine deutlich bessere Effizienz in der Brennstoffverwertung bei gleichzeitig um Größenordnung geringerem Schadstoffausstoß. Solche BM HKW kommen an Standorten mit hohen Anforderungen an die Wärmemengen und Temperaturen zum Einsatz. Ein Beispiel insbesondere in Sachen Luftreinhaltung ist unter anderem das BM HKW in Reit am Winkel in Bayern⁵.

Die Einsatzmöglichkeiten von BM HKW in Deutschland sind auf Grund der Verfügbarkeiten von Biomasse und der Wirtschaftlichkeit begrenzt auf Standorte mit hohen Wärmebedarfen (Industriegebiete) und Zugang zu holzartigen Brennstoffen in einem annehmbaren Umkreis.

Wärmepumpen

Die derzeit gebräuchlichste Form einer klimafreundlichen Wärmeversorgung von Ein- oder Mehrfamilienhäusern ist die Luft- Wärmepumpe, die mittlerweile mit guter Effizienz Vorlauftemperaturen bis zu 50°C erreicht.

Allerdings sind gerade in ländlichen Regionen Gebäude meist älteren Baujahres nur mit höherem Aufwand energetisch zu sanieren, so dass eine Luft- Wärmepumpe die benötigten Wärmemengen zu vertretbaren Kosten nur schwer liefern kann.

Zu beachten ist, dass bei hohem Ausbau eines Quartiers mit Wärmepumpen auf Grund der Anschlussleistungen der Wärmepumpen das Niederspannungsnetz ertüchtigt werden/ die Anschlusskabel des Niederspannungsnetzes gegen Kabel mit höherem Querschnitt ausgetauscht werden müssen. Ersetzen die Wärmepumpen ein vorhandenes Gasnetz, so kann ggf. mit der Ertüchtigung des Stromnetzes der Rückbau des Gasnetzes Zug um Zug erfolgen.

Zusätzlich sind Wärmepumpen nur klimaneutral, wenn sie 100% grünen Strom beziehen, allerdings ist es am Entnahmepunkt aus dem Netz schwer, grau und grün auseinander zu halten, insbesondere bei der sogenannten „Dunkelflaute“, der Nicht- Verfügbarkeit von Strom aus Wind und Sonne.

⁴ <https://www.gp-joule.com/de/newsroom/detail/pressemitteilung-wasserstoff-mobilitaet/>

⁵ <https://naturwaerme-reit-im-winkl.de/heizwerk>

Wärmenetze und Saisonspeicher

Für Kommunen im ländlichen Bereich haben sich in Deutschland in den letzten Jahren erste Kommunen auf den Weg gemacht, ihre Wärmeversorgung nach dem Vorbild von Saisonwärmespeichern in Dänemark und Holland zu planen und umzusetzen. Die Beispiele für eine kommerzielle Umsetzung von Wärmespeichern in Meldorf, Bracht und Rüdigheim wurden in der Einleitung genannt.

Haupt- Elemente einer solchen Wärmespeicherlösung sind die Wärmequelle, der Wärmespeicher und das Wärmenetz. Ergänzt werden kann eine solche Lösung durch Wärmepumpen, Heizkraftwerke zur Absicherung der Wärmeverfügbarkeit, Batteriespeicher und oder Elektroheizkessel als Flexibilität im Stromsystem (Stichwort: Sektorenkopplung).

Mit einem solchen Wärmespeichersystem kann über ein vorhandenes oder zu errichtendes Nahwärmenetz Wärme mit Temperaturen bis zu 80 Grad zu den Wärmeabnehmern gebracht werden. Damit können Umbauten an den existierenden Heizsystemen vermieden und / oder optimiert werden.

Eine detaillierte Beschreibung der Elemente eines Saisonspeichersystems ist in der [Anlage](#) aufgeführt.

Vergleich der Wärmekosten

Eine über die KI „perplexity AI“ initiierte Abfrage liefert folgende Werte für die Wärmekosten für ein vergleichbares Wohnobjekt mit einer definierten Wärmeklasse.

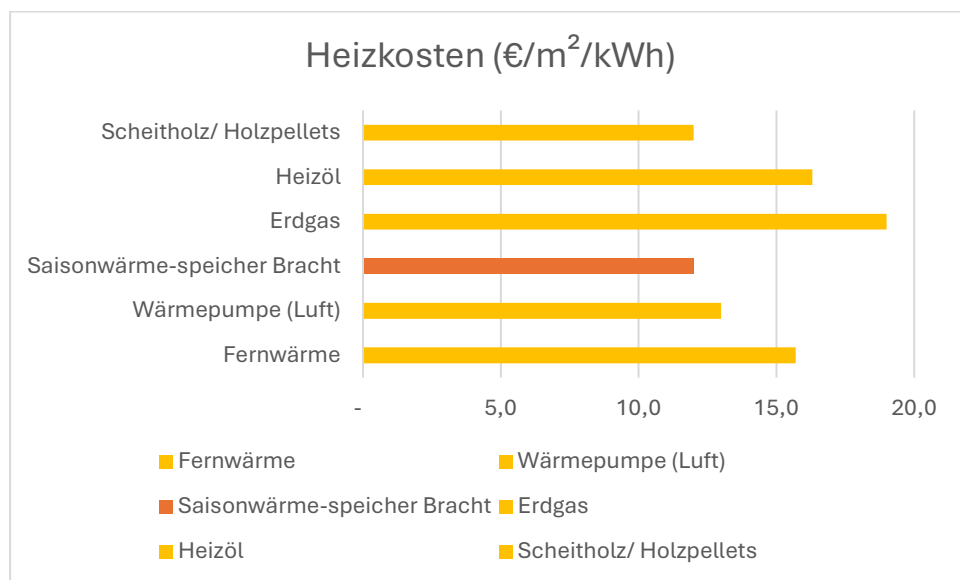


Abbildung 1 „Vergleich von Wärmekosten unterschiedlicher Wärmelösungen

Die günstigsten Wärmekosten haben in dieser Auswertung das Vorhaben Bracht, Scheitholz und die Luft- Wärmepumpe. Relevant ist darüber hinaus noch die Preissicherheit, die bei Scheitholz der Nachfrage unterliegt. Auch ist die Effizienz bei der Scheitholzverbrennung am geringsten. Bei der Wärmepumpe bestimmt den Wärmepreis der Strompreis, der auf Grund des weiteren Ausbaus erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung als relativ stabil angenommen werden kann im

Gegensatz zu Wärme aus Biogas, Biomasse oder fossilen, die Nachfrage- oder regulatorischen Risiken ausgesetzt sind. Die preisstabilste Lösung wäre der Saisonwärmespeicher, insbesondere, wenn seine Wärme im Sommer aus Sonne (PV- T) geliefert wird.

Zu erwähnen ist, dass insbesondere bei den Lösungen Wärmepumpe/ Saisonwärmespeicher aber auch Biogas in erheblichem Maße Fördermittel zu diesen niedrigen Kosten beitragen. Ohne Fördermittel wären die Kosten für die vorgenannten Lösungen in etwa im Bereich von Erdgas.

Kurze Beschreibung 1 MW PVT- Saisonwärmespeicher

Auf Basis von Literatur- und Internet- Recherchen wurden folgende Kosten für Bau- und Betrieb eines Saisonwärmespeichers ermittelt.

Elemente der Wärmeversorgung Projekt X (Kurzbeschreibung)

Im Folgenden eine kurze Vorstellung der Elemente eines Saisonspeichersystems, eine detaillierte Beschreibung der Komponenten ist als Anlage beigelegt.

- Wärmequelle PV- T- Modul

PV-T- Module sind eine Kombination aus PV- Modulen und einer integrierten Kühlung des Moduls. Die Kühlung verbessert zum einen die Effizienz der Stromproduktion (ca. 10% zusätzlichen Ertrag), zum anderen kann die abgeführte Wärme direkt genutzt (Warmwasser im Sommer) oder in Wärmespeicher zwischengespeichert werden. PV-T- Module haben eine Effizienz von über 80% und erwirtschaften gegenüber reinen PV- Systemen 60% mehr Energie aus gleicher Fläche

- Wärmespeicher

Wasser ist ein sehr guter Wärmespeicher, insbesondere, wenn das Volumen des Wasserspeichers ausreichend groß gewählt wird. Im Ausland werden mittlerweile Wasserspeicher mit bis zu 380.000 m³ Wasser geplant (Hyvinkää/ Finland), im Gegensatz dazu muten die aktuellen Wasserspeicher in Meldorf (45.000 m³) und Bracht (20.500 m³) eher klein an. Großwärmespeicher erreichen auf Grund der Grösse eine Effizienz von weit über 90%!

- Wärmepumpe

Großwärmepumpen sind verfügbar bis in den MW- Bereich. Je nach Temperaturdifferenz zwischen Temperatureingang (Wärmespeicher) und Temperaturexit (Wärmenetz) erreichen diese Anlagen Jahresarbeitszahlen von deutlich über 4. Das bedeutet, dass eine Kilowattstunde (kWh) Strom aus dem Netz mehr als 4 kWh Wärme produziert. Für die Wärmepumpe in Bracht rechnet man mit einer Jahresarbeitszahl von 4,5.

Eine interessante Option ist die Anbindung der Wärmepumpe an einen Netzanschluss mit Wind- und PV- Einspeisung. Die Wärmepumpe kann hier den Strom zur Wärmeproduktion direkt aus Wind und PV beziehen – mit einem Batteriespeicher dann auch während einer Dunkelflaute und damit zu jeder Zeit des Jahres 100% grün!

- Nahwärmenetz

Fern- und Nahwärmenetze werden in Deutschland seit vielen Jahren eingesetzt – hier ist viel Erfahrung vorhanden. Bei einem Anstieg von umzusetzenden Nah- oder Fernwärmeprojekten ist allerdings auch hier ein Engpass bei Fachkräften als Risiko zu sehen.

- Energiemanagement- System

Ein Energiemanagement – System steuert Einspeisungen und Verbraucher nach Wetter-, Markt und Abnahmesituation. Ein hohes Maß an fluktuierender Einspeisung kann durch Flexibilitäten wirtschaftlicher betrieben werden. Gerade kleinere kommunale Netze können mit 100% intelligenten Messsystemen so „Reallabore“ für die nächsten Schritte der Energiewende werden. Gerade bei der Verbindung der Hauptelemente des Wärmenetzes kann das Energiemanagementsystem Energiemarkt- und Wettersignale zum Vorteil des Gesamtsystems steuern.

Das Energiemanagementsystem kann einer Kommune darüber hinaus die Möglichkeit geben, als „Energiezelle“ mit einem Direktvermarkter zusammen zu arbeiten und damit weitere Optimierungsmöglichkeiten in der Energiebeschaffung für die Kommune zu generieren.

- Batteriespeicher (optional)

Große Freiflächen- PV- Projekte werden heute (fast) immer mit einem Batteriespeicher errichtet, der Gesetzgeber hat solche Vorhaben im EEG als „Innovationausschreibung“ angereizt. PV-T- Projekte als Bestandteil einer großen Freiflächen- PV- Anlage können den Speicher zur Absicherung des Strombedarfs der Wärmepumpe bei „Dunkelflaute“ eine interessante Ergänzung.

- Elektrodenheizkessel (optional)

Wärmeproduktion bei niedrigen/ negativen Preisen an der Strombörse. Ausgleich jahreszeitlicher Schwankungen bei der Lieferung von Wärme aus den PV-T- Modulen. Elektrodenheizkessel haben eine hohe Effizienz nahe 100% bei niedrigen Betriebskosten. Größere Elektrodenheizkessel können ergänzend im Regelenergiemarkt eingesetzt werden.

Eine solche Lösung haben die Stadtwerke Bremen (swb) mit dem Vorhaben HyReK⁶ umgesetzt.

- Fördermittel

Ohne geht es (noch) kaum, da die fossilen Energieträger erst über die Zeit teurer werden. Dem hat trägt auch das Koalitionspapier der Regierung 2025 Rechnung, indem es die Wärmewende und dabei Wärmeplanung und Wärmenetze weiter im Fokus hat.

Grober Projektablaufplan und Verantwortlichkeiten

Am Anfang steht die Wärmeplanung, die im Regelfall bis zu einem Jahr in Anspruch nehmen kann. Parallel müssen die Wärmelieferverträge mit den möglichen Nutzern der Wärme in der Kommune geschlossen werden. Auf diese gesicherten Wärmebedarfe kann die Auslegung des Wärmesystems erfolgen und damit die Kosten des Systems für die Finanzierung abschließend bestimmt

⁶ <https://www.swb.de/ueber-sw/unternehmen/nachhaltigkeit/hyrek>

werden. Mit der Finanzierungszusage erfolgt der Baubeginn, die Umsetzung des Vorhabens kann in einem Jahr erfolgen.

Für die Dauer von der Planung bis zur Inbetriebnahme können ca. 3- 5 Jahre veranschlagt werden, je nach Datenstand der Wärmeplanung und Begeisterung der Beteiligten. Diesen Zeitraum zeigen auch die Vorhaben Meldorf und Bracht.

Kostenaufteilung

Abbildung 2 zeigt die überschlägige Kostenaufteilung eines Saisonwärmespeichers mit einer installierten PV-T- Leistung von 1 MW. Die Anlage kann ca. 6 GWh Wärme liefern für über 300 Standard-Haushalte (ca. 6.250 MWh Wärmebedarf pro Jahr). Die Wärmegestehungskosten liegen bei ca. 12 ct/kWh, wobei ein Industriestrompreis angenommen wurde und hier keine detaillierten Untersuchungen zu dem Nutzen der Flexibilität eines Batteriespeichers und Elektrodenheizkessels eingeflossen sind. Diese können das Ergebnis noch positiv beeinflussen und den Wärmepreis weiter senken.

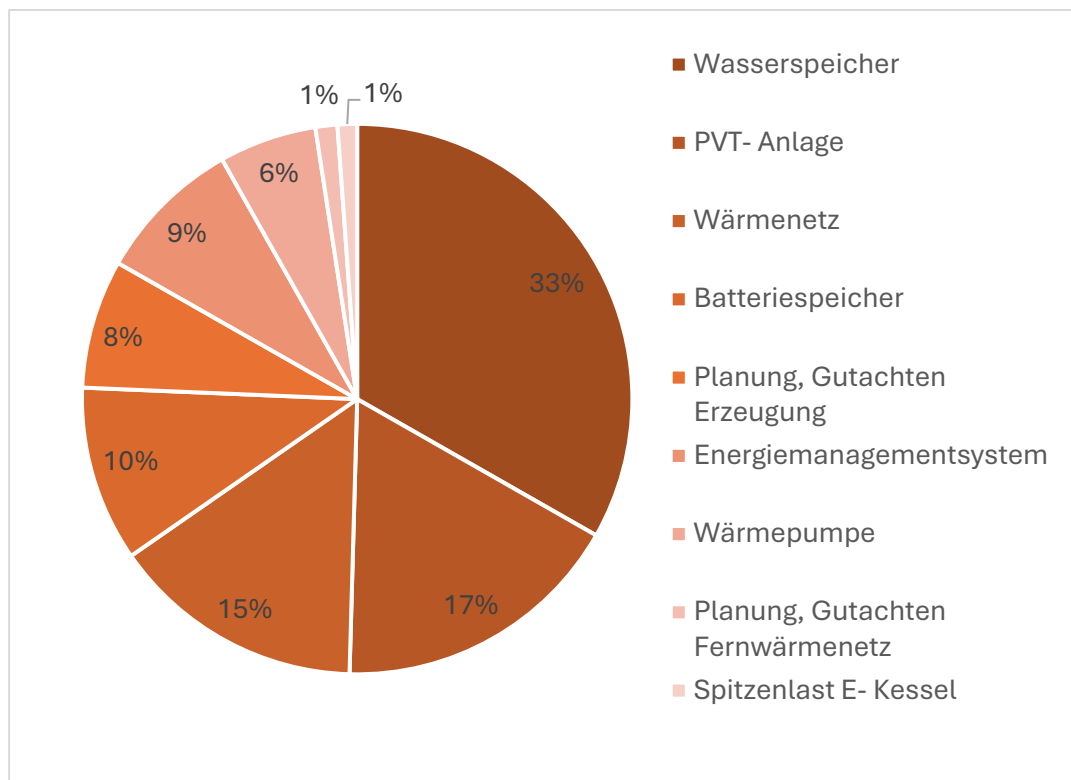


Abbildung 2 Kostenbestandteile Saisonwärmespeicher 1 MW PV-T

Fazit

Die Lösung „Saisonwärmespeicher“ kann eine interessante Alternative für Kommunen im ländlichen Bereich sein, um in kurzer Zeit ihre Wärmebedarfe auf zuverlässige und günstige Weise auf einem klimaneutralen Wege umzustellen. Dabei liegen die Investitionskosten auf Seiten der Parteien, die die Wärmeerzeugung und den Wärmetransport umsetzen und nicht bei den Besitzern der Immobilie. Allerdings zeigt sich, dass auf Grund der guten Wirtschaftlichkeit sich oftmals

lokale Energiegenossenschaften bilden, um hier mit in diese Wärmelösung zu investieren und damit den langfristigen Erfolg des Vorhabens zu sichern.

Weitere interessante/ weiterführende Links auf Berichte zu Saisonwärmespeichern:

<https://info-de.scientists4future.org/waermewende-auf-dem-dorf/>

<https://sunmaxx-pvt.com/de/loesung/>

<https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/ueberblick-fakten-und-antworten-zu-fernwaerme>

https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Presse/Pressemitteilungen/2024/Perspektive_der_Fernw%C3%A4rme_-_2024.pdf

Anlage „Elemente eines Saisonwärmespeichers“

1. Wärmeerzeugung aus PVT- Modulen
2. Wärmespeicherung in Erdbeckenspeichern
3. Wärmeerzeugung über Stromwärmepumpen
4. Wärmeverteilung über Fernwärmenetz
5. Energiemanagementsystem
6. Option 1 - Batteriespeicher als Flexibilität und Sicherheit
7. Option 2 - Elektroheizkessel als Flexibilität

1. Anlage: Wärmeerzeugung aus PV-T Modulen

PV-T Module, auch als Photovoltaik-Thermie-Module bekannt, sind eine innovative Technologie, die die Erzeugung von Strom und Wärme in einem einzigen Modul kombiniert. Diese Hybridmodule nutzen die Sonnenenergie effizient und bieten eine platzsparende Lösung für die Energiegewinnung.

Funktionsweise

PV-T Module bestehen aus einer Kombination von Photovoltaikzellen und thermischen Kollektoren. Die Photovoltaikzellen wandeln Sonnenlicht in elektrischen Strom um, während die thermischen Kollektoren die überschüssige Wärme aufnehmen und für Heizzwecke nutzen. Diese Dualfunktion ermöglicht es, sowohl elektrische als auch thermische Energie aus der Sonnenstrahlung zu gewinnen[1].

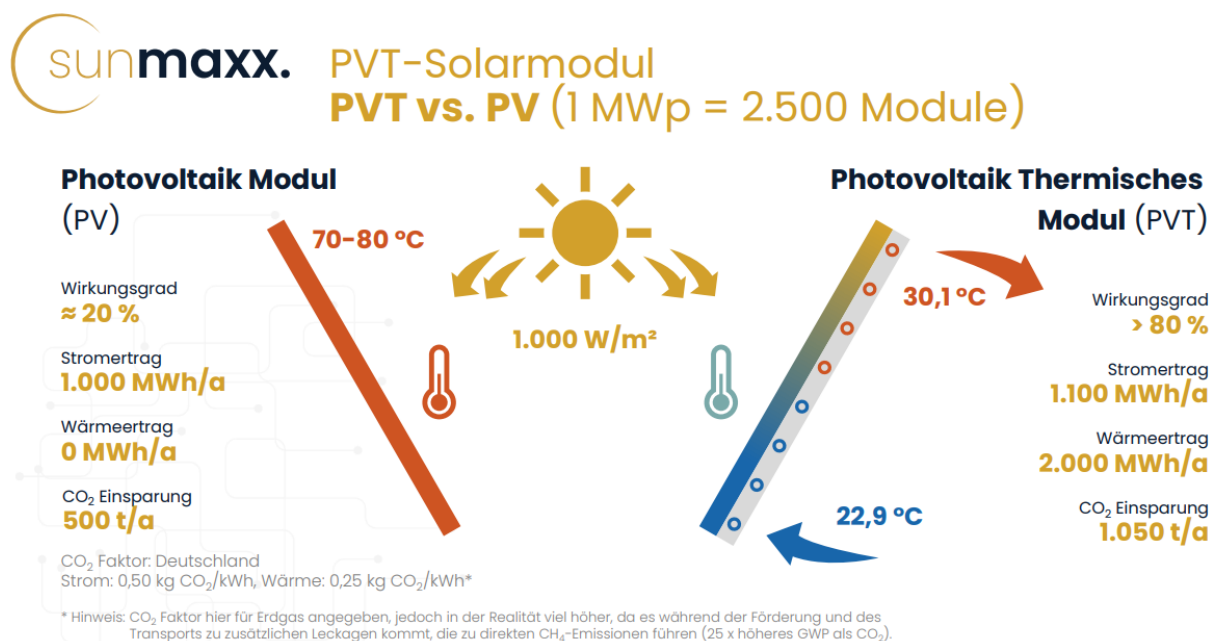


Abbildung 3: Vergleich und Funktionsweise PV-Modul zu PV-T-Modul [2]

Die thermischen Kollektoren bestehen aus einem Absorber, der die Wärme aufnimmt und an ein Wärmeträgermedium, wie Wasser oder eine spezielle Solarflüssigkeit, weiterleitet. Diese Flüssigkeit zirkuliert durch das Modul und wird in einem Solarwärmespeicher gesammelt, wo sie das Heizsystem unterstützt [3].

Geschichte und Projekte

1970er Jahre: Erste PV-T Module wurden entwickelt, um die Effizienz von Solaranlagen zu steigern, indem die Abwärme der PV-Module genutzt wurde [4].

2000er Jahre: Anfang der 2000er Jahre lag der Wirkungsgrad von PV-Modulen bei etwa 10-20%. Moderne PVT-Module erreichen heute Wirkungsgrade von rund 20% für die elektrische Energieerzeugung [4].

Vorteile von PV-T Modulen

1. **Hohe Energieeffizienz:** PV-T Module erreichen einen Wirkungsgrad von bis zu 80%, da sie sowohl Strom als auch Wärme erzeugen [5]. Dies macht sie besonders effizient im Vergleich zu herkömmlichen Solarmodulen, die nur Strom produzieren.
2. **Platzsparend:** Durch die Kombination von Photovoltaik und Solarthermie in einem Modul wird die verfügbare Dachfläche optimal genutzt [1]. Dies ist besonders vorteilhaft für Gebäude mit begrenztem Platzangebot.
3. **Kosteneffizienz:** Obwohl die Anschaffungskosten für PV-T Module höher sind als für herkömmliche Solarmodule, können sie durch staatliche Förderungen und Einsparungen bei den Energiekosten langfristig wirtschaftlich sein [3].
4. **Umweltfreundlichkeit:** PV-T Module tragen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei, indem sie erneuerbare Energiequellen nutzen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringern [3].

Herausforderungen und Lösungen

Trotz ihrer vielen Vorteile stehen PV-T Module auch vor einigen Herausforderungen. Eine der größten Herausforderungen ist die technische Komplexität der Module. Die Kombination von Photovoltaik und Solarthermie erfordert eine sorgfältige Planung und Installation, um die maximale Effizienz zu gewährleisten [3].

Ein weiteres Problem ist die Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen. In Regionen mit geringer Sonneneinstrahlung kann die Effizienz der PV-T Module beeinträchtigt werden. Eine Lösung hierfür ist die Kombination der Module mit anderen erneuerbaren Energiequellen, wie Windenergie oder Geothermie, um eine kontinuierliche Energieversorgung sicherzustellen [5].

Fazit

PV-T Module sind eine vielversprechende Technologie zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme aus Sonnenenergie. Sie bieten eine effiziente, platzsparende und umweltfreundliche Lösung für die Energiegewinnung. Trotz einiger technischer Herausforderungen zeigen erfolgreiche Projekte, dass diese Technologie das Potenzial hat, einen bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung zu leisten.

Quellen

[1] PVT-Module: Funktion, Preise & Förderung 2025 - energie-experten.org

[2] PVT Technologie – made in Europe | Sunmaxx PVT

[3] PVT-Module: Funktionsweise und Kostenvergleich

[4] Photovoltaisch-thermischer Sonnenkollektor – Wikipedia

[5] PVT-Module: Lohnt sich die Investition? - Enpal

2. Anlage: Wärmespeicherung in Erdbeckenspeichern

Die Wärmespeicherung in Erdbeckenspeichern ist eine innovative und nachhaltige Methode, um große Mengen an Wärmeenergie über längere Zeiträume zu speichern. Diese Technologie spielt eine entscheidende Rolle bei der Energiewende, da sie es ermöglicht, überschüssige Wärme aus erneuerbaren Energiequellen wie Solarthermie oder industrieller Abwärme effizient zu nutzen.

Funktionsweise

Ein Erdbeckenspeicher, auch als Pit Thermal Energy Storage (PTES) bekannt, besteht aus einer großen, mit einer Kunststoffdichtungsbahn ausgekleideten Grube, die mit Wasser oder einem Kies-Wasser-Gemisch gefüllt ist. Die Grube wird mit einer wärmeisolierten Abdeckung verschlossen, die auf der Wasseroberfläche schwimmt. Diese Abdeckung minimiert den Wärmeverlust und sorgt für eine effiziente Speicherung der Wärmeenergie. [1]

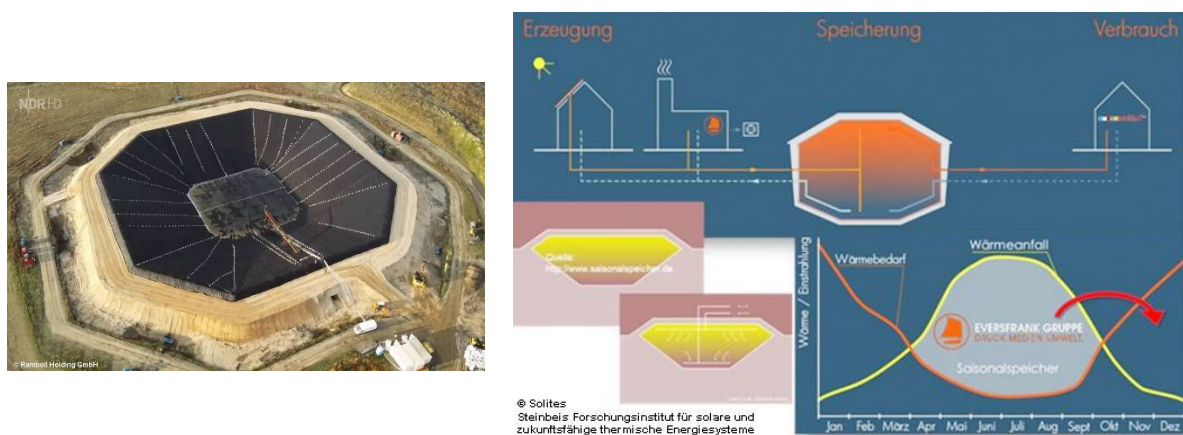


Abbildung 4: Erdbecken-Wärmespeicher (links), Prinzip saisonale Wärmespeicherung (rechts) [2]

Die Wärme wird in den Sommermonaten in den Speicher eingeleitet, wenn die Produktion von Solarthermie oder industrieller Abwärme am höchsten ist. Während der Heizperiode im Winter wird die gespeicherte Wärme dann wieder entnommen und in das Fernwärmenetz eingespeist [2]. Dies ermöglicht eine kontinuierliche und zuverlässige Wärmeversorgung, unabhängig von den saisonalen Schwankungen der Energieproduktion [1].

Geschichte und Projekte [3]

1980er Jahre: erste Test- und Demonstrationsprojekte in Schweden, Deutschland, Dänemark mit kleinen Volumina ($<10.000 \text{ m}^3$), z.T. mit Kiesfüllung

1990er Jahre: kleine PTES mit kommerzieller Nutzung in Deutschland (Jülich, Augsburg, Steinfurt, Chemnitz)

2000er Jahre: erster PTES mit $>10.000 \text{ m}^3$ in Marstal, Dänemark, als Teil einer integrierten Nahwärmeversorgung mit Solarthermie

2010er Jahre:

- Erweiterung des PTES in Marstal auf ca. 75.000 m^3
- Bau weiterer PTES in Dänemark (Dronninglund, Gram, Vojens, Toftlund) mit bis zu ca. 200.000 m^3

- Bau des ersten PTES in China (Langkazi/Tibet)

2020er Jahre:

- Bau eines weiteren Speichers in Dänemark (Raum Kopenhagen)
- erste PTES-Projekte in großem Maßstab auch in Deutschland

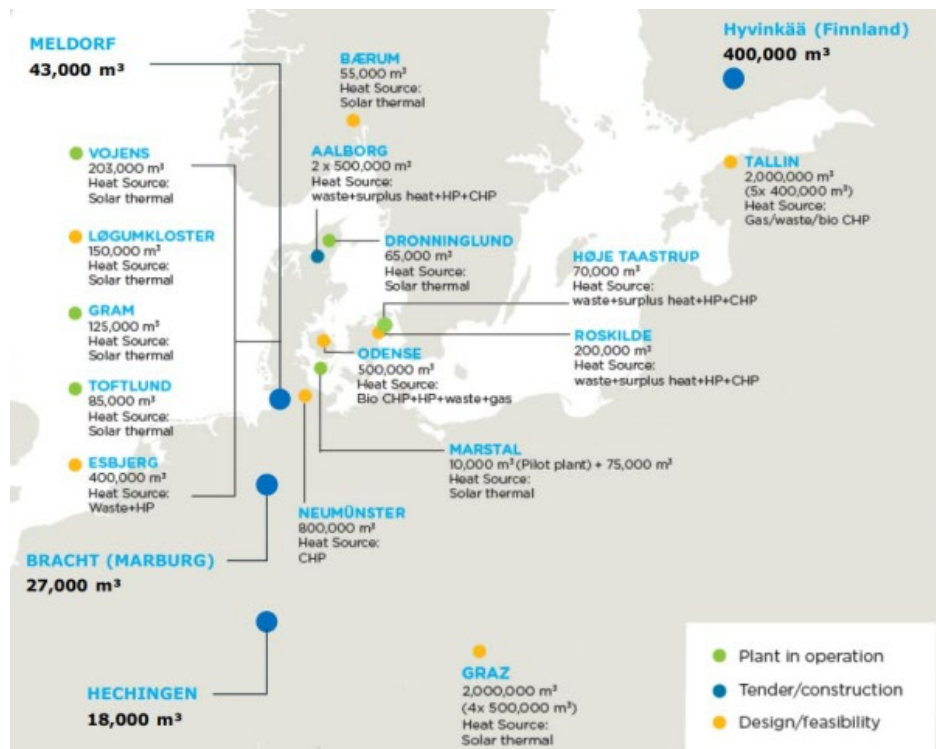


Abbildung 5: Übersicht der Projekte in Nordeuropa [3]

Vorteile

1. **Hohe Speicherkapazität:** Erdbeckenspeicher können große Mengen an Wärmeenergie speichern. Ein Beispiel ist der Erdbeckenspeicher in Meldorf, der ein Fassungsvermögen von 43.000 m³ hat, was etwa 17 Olympia-Schwimmbecken entspricht. [1].
2. **Kosteneffizienz:** Die Baukosten für Erdbeckenspeicher sind im Vergleich zu anderen Speichermethoden relativ gering. Dies liegt daran, dass der Erdaushub für den Bau eines Damms um das Erdbecken herum verwendet werden kann, wodurch kein Erdreich an- oder abtransportiert werden muss [4].
3. **Umweltfreundlichkeit:** Erdbeckenspeicher tragen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei, indem sie überschüssige Wärme aus erneuerbaren Energiequellen speichern und nutzen. Dies unterstützt die Dekarbonisierung und die Erreichung der Klimaziele [1].
4. **Flexibilität:** Die gespeicherte Wärme kann je nach Bedarf genutzt werden, was zu einer hohen Versorgungssicherheit führt. Dies ist besonders wichtig in Zeiten hoher Nachfrage oder bei Ausfällen anderer Energiequellen [1].

Herausforderungen und Lösungen

Trotz ihrer vielen Vorteile stehen Erdbeckenspeicher auch vor einigen Herausforderungen. Eine der größten Herausforderungen ist die technische Komplexität des Baus und der Betrieb solcher Speicher. Beispielsweise kann ein hohes Grundwasserniveau den Bau erschweren und verteuern [4]. Auch die Lebensdauer der verwendeten Materialien, wie die Kunststoffdichtungsbahn, kann begrenzt sein und muss regelmäßig überprüft und gewartet werden [1].

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, arbeiten Forschende kontinuierlich an der Verbesserung der Materialien und Konstruktionen von Erdbeckenspeichern. Neue Technologien und innovative Ansätze sollen die Effizienz und Langlebigkeit dieser Speicher weiter erhöhen [5].

Fazit

Erdbeckenspeicher sind eine vielversprechende Technologie zur Speicherung von Wärmeenergie und spielen eine wichtige Rolle bei der Energiewende. Sie bieten eine kosteneffiziente, umweltfreundliche und flexible Lösung zur Nutzung überschüssiger Wärme aus erneuerbaren Energiequellen. Trotz einiger technischer Herausforderungen zeigen erfolgreiche Projekte wie der Erdbeckenspeicher in Meldorf, dass diese Technologie das Potenzial hat, einen bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung zu leisten.

Für interessierte Bürger bieten Erdbeckenspeicher eine spannende Möglichkeit, sich aktiv an der Energiewende zu beteiligen und die Vorteile erneuerbarer Energien zu nutzen.

Quellen

[1] Erdwärmespeicher: Prinzip, Techniken & Nutzung - energie-experten.org

[2] Erdbeckenspeicher - SHKwissen

[3] Aktuelle Projekte zur Wärmewende (Storage&H2), Rambøll

[4] Erdbecken - Wärmespeicher BigStoreDH Faktenblatt 4: Wärmespeicher in ...

[5] „Efficient Pit“: Wärmespeicherung im Erdbecken - solare-waermenetze.de

3. Anlage: Wärmeerzeugung über Stromwärmepumpe

Die Wärmeerzeugung über Stromwärmepumpen ist eine effiziente und umweltfreundliche Methode, um Gebäude zu heizen und zu kühlen. Diese Technologie nutzt die in der Umwelt vorhandene Wärmeenergie und wandelt sie in Heizwärme um.

Funktionsweise

Stromwärmepumpen arbeiten nach dem Prinzip der thermodynamischen Umwandlung. Sie entziehen Wärme aus der Umgebungsluft, dem Erdreich oder dem Grundwasser und bringen sie auf ein höheres Temperaturniveau. Dies geschieht durch den Einsatz eines Kältemittels, das in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert. Der Prozess erfordert elektrische Energie, um den Kompressor zu betreiben, der das Kältemittel verdichtet und die Wärmeübertragung ermöglicht [1].

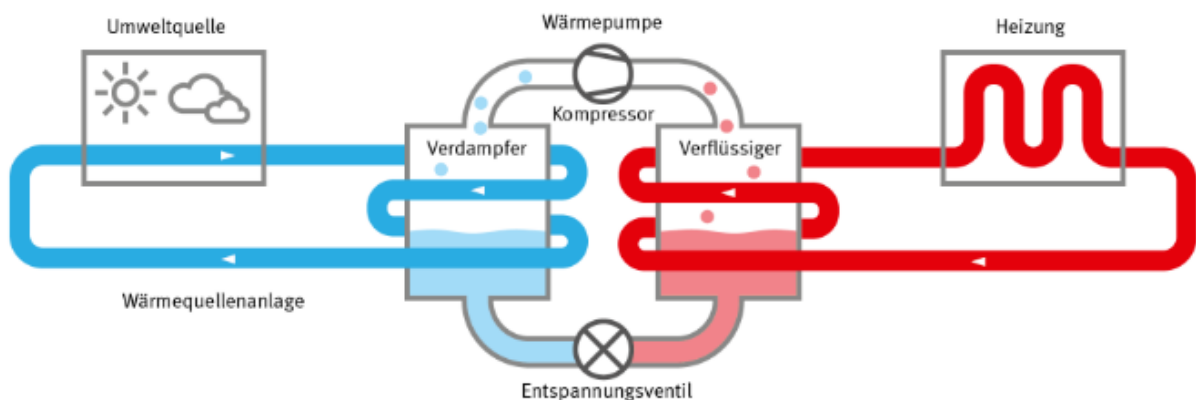


Abbildung 6: Prinzipbild - Die Wärmepumpe ist ein umgekehrter Kühlschrank [1]

Geschichte und Projekte

1852: Lord Kelvin formuliert das theoretische Konzept der Wärmepumpe[2].

1930er Jahre: Erste kommerzielle Anwendungen von Wärmepumpen in der Gebäudebeheizung [3].

1970er Jahre: Ölkrise führt zu verstärktem Interesse an alternativen Heiztechnologien, einschließlich Wärmepumpen [3].

1980er Jahre: Fortschritte in der Technologie und Effizienz von Wärmepumpen[4].

2000er Jahre: Wärmepumpen werden zunehmend als umweltfreundliche Heizlösung anerkannt und verbreiten sich weltweit [4].

Vorteile

1. **Umweltfreundlichkeit:** Stromwärmepumpen nutzen erneuerbare Energiequellen und tragen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei. Sie sind eine nachhaltige Alternative zu fossilen Brennstoffen [5].
2. **Effizienz:** Die Leistungszahl (COP) und die Jahresarbeitszahl (JAZ) sind entscheidende Kenngrößen, die die Effizienz einer Wärmepumpe beschreiben. Ein höherer COP-Wert bedeutet, dass weniger Strom benötigt wird, um die gewünschte Heizleistung zu erzielen [6].

3. **Kosteneffizienz:** Obwohl die Anschaffungskosten für Wärmepumpen höher sein können als für herkömmliche Heizsysteme, sind die Betriebskosten aufgrund der hohen Effizienz und der Nutzung erneuerbarer Energiequellen niedriger [7].
4. **Flexibilität:** Stromwärmepumpen können sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen von Gebäuden verwendet werden. Sie sind vielseitig einsetzbar und bieten eine ganzjährige Lösung für die Klimatisierung [8].

Herausforderungen und Lösungen

Trotz ihrer vielen Vorteile stehen Stromwärmepumpen auch vor einigen Herausforderungen. Eine der größten Herausforderungen ist die Sicherstellung ihrer Energieeffizienz. Die sorgfältige Planung und Installation sind entscheidend, um die Effizienz zu maximieren und die Betriebskosten zu senken.

Ein weiteres Problem ist die Abhängigkeit von elektrischer Energie. In Regionen mit hohen Strompreisen kann dies die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe beeinträchtigen. Eine Lösung hierfür ist die Kombination der Wärmepumpe mit einer Photovoltaikanlage, um den benötigten Strom selbst zu erzeugen.

Fazit

Stromwärmepumpen sind eine vielversprechende Technologie zur Wärmeerzeugung und spielen eine wichtige Rolle bei der Energiewende. Sie bieten eine umweltfreundliche, effiziente und kosteneffektive Lösung zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Trotz einiger technischer Herausforderungen zeigen erfolgreiche Projekte, dass diese Technologie das Potenzial hat, einen bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung zu leisten.

Quellen

- [1] Wärmepumpe: Alles, was Sie wissen müssen, im Überblick
- [2] Die Geschichte der Wärmepumpe - Enpal
- [3] Die Wärmepumpe und ihre Geschichte - heizung.de
- [4] Wärmepumpe – Wikipedia
- [5] Wärmepumpe – Wikipedia
- [6] Strom-Wärmepumpe: Funktionsweise und Vorteile
- [7] Stromverbrauch von Wärmepumpen: Berechnung & Tipps - Finanztip
- [8] Stromkosten einer Wärmepumpe - GASAG

4. Anlage: Wärmeverteilung über Fernwärmenetze

Fernwärmenetze sind ein wesentlicher Bestandteil moderner Energieversorgungssysteme. Sie ermöglichen die effiziente Verteilung von Wärmeenergie über große Entfernungen und tragen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei.

Funktionsweise von Fernwärmenetzen

Fernwärmenetze transportieren Wärmeenergie von zentralen Erzeugungsanlagen zu den Endverbrauchern. Die Wärme wird in Form von heißem Wasser oder Dampf durch isolierte Rohrleitungen geleitet. Diese Netze können verschiedene Wärmequellen nutzen, darunter fossile Brennstoffe, Biomasse, Abwärme aus Industrieprozessen und erneuerbare Energien wie Geothermie und Solarthermie [1]

Vorteile von Fernwärmenetzen

1. **Effizienz:** Fernwärmenetze nutzen die Abwärme von Kraftwerken und Industrieprozessen, die sonst ungenutzt bliebe. Dies erhöht die Gesamteffizienz der Energieerzeugung [2]
2. **Umweltfreundlichkeit:** Durch die Nutzung erneuerbarer Energien und die Reduzierung von Einzelfeuerstätten tragen Fernwärmenetze zur Senkung der CO₂-Emissionen bei [3]
3. **Kosteneffizienz:** Obwohl die Anfangsinvestitionen hoch sein können, sind die Betriebskosten aufgrund der effizienten Nutzung von Energiequellen oft niedriger [4]

Herausforderungen

1. **Wärmeverluste:** Trotz guter Isolierung kommt es bei der Wärmeverteilung zu Verlusten. Diese Verluste hängen von der Länge und dem Zustand der Rohrleitungen ab [5]
2. **Hohe Anfangsinvestitionen:** Der Aufbau eines Fernwärmenetzes erfordert erhebliche finanzielle Mittel, was die Umsetzung in weniger dicht besiedelten Gebieten erschwert [6]
3. **Abhängigkeit von zentralen Erzeugern:** Fernwärmenetze sind auf zentrale Erzeugungsanlagen angewiesen, was bei Ausfällen zu Versorgungsengpässen führen kann [7]

Zukunftsperspektiven

Die Weiterentwicklung von Fernwärmenetzen konzentriert sich auf die Integration erneuerbarer Energien und die Verbesserung der Effizienz. Niedrigtemperaturnetze, die mit geringeren Vorlauftemperaturen arbeiten, ermöglichen die Nutzung von Niedertemperaturquellen wie Solarthermie und Abwasserwärme. Zudem wird die Digitalisierung der Netze vorangetrieben, um den Betrieb zu optimieren und Verluste weiter zu minimieren.

Fazit

Fernwärmenetze bieten eine nachhaltige und effiziente Möglichkeit der Wärmeversorgung. Sie tragen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei und nutzen vorhandene Energiequellen optimal aus. Trotz der bestehenden Herausforderungen bieten sie großes Potenzial für die zukünftige Energieversorgung, insbesondere in urbanen Gebieten.

Quellen

[1] Dimensionierung von Fernwärmenetzen

- [2] Vorausberechnung der Wärmeverluste von Fernwärmenetzen
- [3] Wärmenetze für eine nachhaltigere Wärmeversorgung
- [4] Thermische Netze (Nahwärme, Fernwärme, Fernkälte)
- [5] Wärmenetze: klimaneutral, wirtschaftlich und bezahlbar
- [6] Wikipedia: Fernwärme
- [7] Aspekte der Transformation von Fernwärmesystemen: Verteilung, Quellen und Senken

5. Anlage: Energiemanagementsystem (EMS)

Das Energiemanagementsystem ist

Funktionsweise von Energiemanagementsystemen (EMS)

Ein Energiemanagementsystem (EMS) in einer Energiezelle oder Kommune ist eine zentrale Steuerungseinheit, die dafür sorgt, dass Energie effizient, nachhaltig und kostengünstig genutzt wird. Unter Nutzung von intelligenten Zählersystemen koordiniert das EMS die Erzeugung, Speicherung, Verteilung und den Verbrauch von Energie unter Einbindung erneuerbarer Energien wie Solar- und/ oder Windkraft, im Optimalfall automatisch ohne Aktivitäten der Nutzer.

Warum ein EMS?

1. **Effizienz:** Insbesondere in Verbindung mit Kurzzeitspeichern (Batterien, auch Fahrzeugbatterien) und Mittel- und Langfristspeichern (hauptsächlich Wärmespeicher stellt das EMS ein Optimum aus Erzeugung und Verbrauch her.
2. **Umweltfreundlichkeit:** Abschaltmengen zu Zeiten von hoher Einspeisung aus Wind und Sonne werden verringert, der Bezug von Netzstrom vermindert.
3. **Versorgungssicherheit:** Das EMS kann bei Netzausfällen reagieren und bei Ausfall helfen, die Versorgung der Energiezelle auch bei Ausfall des externen Netzes aufrechterhalten.

Herausforderungen

1. **Umsetzung intelligenter Messsysteme:** Ist in Deutschland leider noch nicht etabliert. Deutschland ist unter den letzten 3 Ländern in Europa bei der Umsetzung von intelligenten Zählern. Für kleine Energiezellen / Kommunen bieten sich hier allerdings Möglichkeiten einer schnellen Umsetzung.
2. **Komplexe Regulatorik:** Der regulierte Strommarkt erschwert die Bildung von Energiezellen auf Strombasis. Allerdings ist der Wärmemarkt nicht in dem Maße reguliert wie auch die E- Mobilität.
3. **Verfügbarkeit der Erzeugung:** Je mehr lokale Energieerzeugung vorhanden ist, desto besser kann das Energiemanagementsystem die Flexibilitäten ko-ordinieren.

Zukunftsperspektiven

Mit der Änderung der Stromeinspeisung weg von der Stromproduktion über Grosskraftwerke hin zu Einspeisung auf allen Netzebenen gewinnen zellulare Energieversorgungsstrukturen an Bedeutung. Diese Erkenntnis ist seit über 10 Jahren bekannt, so hat z. B. die Energietechnische Gesellschaft des VDE hier 2015 und in den Folgejahren Papiere zur Zukunft der Energieversorgung veröffentlicht.

Fazit

Die Zukunft gehört den Energiezellen. Um diese effizient zu führen, bedarf es lokaler Energiemanagementsysteme, die die Energiezellen intelligent führen.

Quellen:

V 2.4. Zellulare Energiesysteme

6. Anlage: Option 1 - Batteriespeicher als Flexibilität und Sicherheit

Batteriespeicher sind ein Schlüsselement in einem Energieversorgungssystem, dass seine Endenergie aus fluktuierenden Quellen wie Wind und Sonne bezieht. Batteriespeicher helfen, stündliche Schwankungen in der Energiebereitstellung mit den Schwankungen der Abnahme auszugleichen und damit das Energieübertragungssystem zu entlasten.

Funktionsweise von Batteriespeichern

Batteriespeicher sind sogenannte chemische Speicher. Die erste funktionierende Batterie wurde bereits 1800 vom italienischen Physiker Alessandro Volta entwickelt. Die weitere Entwicklung führte zu den heute in fast allen Grossspeichern verwendeten Lithium- Ionen- Batterien, wo in den USA um 1970/ 1980 die Grundlagen für die heutigen Speicher entwickelt wurden. Moderne Speicher garantieren heute einen Energiedurchsatz von bis zu 15 (!) Jahre.

Warum Batteriespeicher?

1. **Effizienz:** Moderne Batteriespeichersysteme in Verbindung mit Wechselrichtern, die aus dem Batteriegleichstrom Drehstrom entwickeln, haben Effizienzen am Anschlußpunkt von ca. 90%.
2. **Umweltfreundlichkeit:** Schon heute weisen Recycling- Unternehmen Rückführungsquoten beim Recycling von Batterien von über 90% auf.
3. **Kosteneffizienz:** Batteriespeicher helfen schon heute, das Netz zu stabilisieren sowie Strompreise sowohl in positiver (Strom einspeisen, wenn hohe Preise verlangt werden) als auch negativer Richtung (Überangebote einspeichern) zu dämpfen.

Herausforderungen

1. **Der regulatorische Rahmen...** ist für Stromspeicher noch immer ungünstig und wird von Fachverbänden wie dem BVES seit über 10 Jahren angemahnt. Immerhin hat die Bundesnetzagentur am 12. Mai ein Diskussionspapier zu dem Thema veröffentlicht.

Zukunftsperspektiven

Speicher und Flexibilitäten sind ein essentielles Element einer zukünftigen bezahlbaren, sicheren und nachhaltigen Energieversorgung.

Quellen

[Recycling lithium-ion batteries delivers significant environmental benefits | Stanford Report](#)

[Battery Recycling in Europe - Battery-News](#)

[WD-5-077-24-pdf.pdf](#)

[Bundesnetzagentur - Presse - Bundesnetzagentur veröffentlicht Diskussionspapier zur Bildung der Stromnetzentgelte](#)

7. Anlage Option 2 - Elektroheizkessel als Flexibilität

Elektroheizkessel sind eine moderne und flexible Lösung zur Wärmeerzeugung, die zunehmend an Bedeutung gewinnt. Sie bieten eine emissionsfreie Alternative zu konventionellen Heizsystemen und können besonders gut in Kombination mit erneuerbaren Energien eingesetzt werden.

Funktionsweise von Elektroheizkesseln

Elektroheizkessel wandeln elektrische Energie direkt in Wärme um. Dies geschieht entweder durch Widerstandsheizungen oder Elektrodenheizkessel. Bei Widerstandsheizungen wird ein elektrischer Heizleiter unter Spannung gesetzt, wodurch er sich erhitzt und die Wärme an das Heizungswasser abgibt [1]. Elektrodenheizkessel nutzen zwei Elektroden, durch die Wechselstrom fließt und das Wasser im Kessel erhitzt [2].

Vorteile von Elektroheizkesseln

1. **Emissionsfreiheit:** Elektroheizkessel erzeugen keine lokalen Emissionen, da sie keine fossilen Brennstoffe verbrennen [3]. Dies trägt zur Verbesserung der Luftqualität bei und reduziert den CO₂-Ausstoß.
2. **Flexibilität:** Elektroheizkessel können schnell auf schwankende Anforderungen reagieren und sind daher ideal für den Einsatz in Kombination mit erneuerbaren Energien [2]. (Sie können überschüssigen Strom aus Wind- oder Solarenergie nutzen und helfen, das Stromnetz zu stabilisieren.
3. **Kompakte Bauweise:** Da keine Verbrennung stattfindet, benötigen Elektroheizkessel keinen Schornstein und sind besonders platzsparend [3]. Dies erleichtert die Installation und reduziert die Wartungskosten.

Einsatzmöglichkeiten

Elektroheizkessel finden in verschiedenen Bereichen Anwendung:

1. **Wohngebäude:** Sie bieten eine zuverlässige und umweltfreundliche Heizlösung für Einfamilienhäuser und Wohnungen [4].
2. **Industrie:** In der Industrie können Elektroheizkessel zur Erzeugung von Prozesswärme und Dampf eingesetzt werden [1]. Sie sind besonders geeignet für Anwendungen, bei denen schnelle Lastwechsel erforderlich sind.
3. **Fernwärmenetze:** Elektroheizkessel können als Ergänzung zu bestehenden Fernwärmenetzen dienen und helfen, die Netzstabilität zu erhöhen [2].

Herausforderungen

1. **Stromkosten:** Der Betrieb von Elektroheizkesseln kann teuer sein, insbesondere wenn der Strom aus nicht erneuerbaren Quellen stammt [3].
2. **Netzkapazität:** Die Integration von Elektroheizkesseln in das Stromnetz erfordert eine ausreichende Netzkapazität und intelligente Steuerungssysteme [2]. Dies stellt eine Herausforderung dar, insbesondere in Regionen mit schwacher Netzinfrastruktur.

Zukunftsperspektiven

Die Zukunft von Elektroheizkesseln sieht vielversprechend aus. Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und der Weiterentwicklung intelligenter Netzsteuerungssysteme können Elektroheizkessel eine zentrale Rolle in der nachhaltigen Energieversorgung spielen [\[1\]](#). Ihre Fähigkeit, flexibel auf Energieüberschüsse zu reagieren, macht sie zu einem wichtigen Bestandteil der Energiewende.

Fazit

Elektroheizkessel bieten eine flexible und umweltfreundliche Lösung zur Wärmeerzeugung. Sie sind besonders geeignet für den Einsatz in Kombination mit erneuerbaren Energien und tragen zur Stabilisierung des Stromnetzes bei. Trotz der bestehenden Herausforderungen bieten sie großes Potenzial für die zukünftige Energieversorgung.

Quellen

[1] Elektroheizkessel: 50 kW bis 30 MW für Gewerbe und Industrie

[2] Elektrodenheizkessel: Power-to-Heat Systeme kaufen

[3] Elektroheizkessel: Einsatz, Vorteile & Kosten

[4] Elektroheizkessel