



Whitepaper

Grundlagen

Nullemissionsplanung



Inhalt

1	Oberflächennahe Geothermie.....	3
2	Tiefe Geothermie (konventionell,.....	5
3	Tiefe Geothermie nach System Eavor-Loop™ (geschlossene Tiefen-Geothermie)	7
4	Abwasserwärme (Kanalnetz, Klärwerke, Gebäudeentwässerung).....	9
5	Solarthermie (Gebäude + Wärmenetze)	12
6	Nachhaltig nutzbare Bioenergie für Wärme im Gebäudesektor.....	14
7	Abwärme aus Rechenzentren	16
8	Eisspeicher / Erdeisspeicher (mit Wärmepumpe)	18
9	Weitere Umweltwärmequellen.....	20
	a) Umweltwärme aus Luft (Luft-Wasser-Wärmepumpen)	23
	b) Umweltwärme aus Oberflächengewässern (Flüsse, Seen, Küstengewässer)	23
	c) Industrielle und gewerbliche Niedertemperatur-Abwärme	23
	d) Abluft- und Lüftungswärme aus Gebäuden.....	23
10	Spezielle Liste: Erd- und Aquiferspeicher (sortiert nach typischer Größe)	23
	10.1 Kleine Speicher (Gebäude-/Grundstücksebene, typ. <0,5 GWh thermische Kapazität) 26	
	Kleine Erdsondenfelder als Speicher (BTES im Kleinsystem)	26
	Eisspeicher / Erdeisspeicher	26
	Erdregister / Erdreich-Luft-Wärmetauscher	26
	10.2 Mittlere Speicher (Quartiers-/Stadtteil-Ebene, typ. 0,5–50 GWh).....	26
	BTES-Felder (große Erdsondenparks)	26
	PTES – Erdbeckenwärmespeicher (Pit Thermal Energy Storage)	27
	LT-ATES (Aquifer Thermal Energy Storage im Flachbereich).....	27
	10.3 Große Speicher (Fernwärme- und Regions-Ebene, >50 GWh)	27
	Große Aquiferspeicher (HT-ATES) in Fernwärmenetzen	27
	Großskalige Erdbecken- und Multifunktionswärmespeicher	27
1 1	Kurz-Fazit zur Einordnung der Potenziale	28
	Sehr großes gesamtdeutsches Potenzial (>>100 TWh/a).....	29
	Hohes Potenzial (ca. 30–100 TWh/a)	29
	Mittleres/nachrangiges, aber lokal sehr wichtiges Potenzial (<~10 TWh/a)	30



1 Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie gehört zu den vielseitigsten und am weitesten ausgereiften Technologien der nachhaltigen Wärmeversorgung. Sie nutzt die im Erdreich gespeicherte Wärme, die – unabhängig von Wetter, Jahreszeit oder Tageszeit – konstant verfügbar ist. Diese Eigenschaft macht sie zu einer besonders verlässlichen Säule der Wärmewende. Während erneuerbare Stromerzeugung häufig starken tages- und saisonalen Schwankungen unterliegt, liefert das Erdreich über das ganze Jahr ein stabiles Temperaturniveau von rund 8 bis 12 Grad Celsius. Mit elektrischen Wärmepumpen lässt sich diese Energie effizient auf ein für Gebäude nutzbares Temperaturniveau anheben.

Das Potenzial der Technologie ist enorm: Laut Fraunhofer IEG könnten bis zu 75 Prozent des gesamten deutschen Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser – insgesamt etwa 600 TWh pro Jahr – theoretisch durch oberflächennahe Geothermie gedeckt werden. Die Technologie ist in nahezu allen Regionen Deutschlands einsetzbar, da keine außergewöhnlichen geologischen Voraussetzungen nötig sind. Gerade diese breite Verfügbarkeit macht sie zum zentralen Baustein einer umfassenden Strategie für klimaneutrale Wärme.

Die praktische Umsetzung erfolgt in verschiedenen Systemen. Am bekanntesten sind vertikale Erdsonden, die bis in Tiefen von 80 bis 150 Metern gebohrt werden. Sie eignen sich besonders für Mehrfamilienhäuser, öffentliche Gebäude und Quartiere, in denen größere Heiz- und Kühlleistungen benötigt werden. Grabenkollektoren und Flächenkollektoren sind eine flächigere Variante, die besonders im Einfamilienhausbereich eingesetzt wird. Sie nutzen die oberen zwei bis drei Meter des Bodens und lassen sich gut in Gärten oder unter zukünftigen Grünflächen integrieren. Energiepfähle wiederum verbinden die Fundamentbauweise neuer Gebäude mit geothermischer Nutzung: Betonpfähle dienen gleichzeitig als tragende Konstruktion und als Wärmetauscher. Auch innovative Lösungen wie Heizzäune oder kompakte Erdwärmekörbe erlauben die Nutzung des Bodens auf kleinen Grundstücken oder bei Gebäudenachrüstungen.

Ein wesentlicher Vorteil der oberflächennahen Geothermie ist ihre Fähigkeit, Systeme zu koppeln und saisonale Temperaturunterschiede auszugleichen. Sie funktioniert besonders effizient, wenn sie mit saisonalen Wärmespeichern kombiniert wird – etwa Erdbecken- oder Aquiferspeichern. Überschüssige Sommerwärme kann eingelagert und im Winter genutzt werden. Ebenso kann Abwärme aus Photovoltaik, Industrie

V 1 Jörg Lorenz, CO2zero e.V.



oder Gebäudetechnik in die Quelle eingespeist werden, um das Temperaturniveau des Erdreichs zu optimieren. Die Geothermie wirkt damit wie ein langfristiges thermisches Gedächtnis.

Die Technologie ist ausgereift, wartungsarm und äußerst langlebig. Erdsonden halten typischerweise 50 bis 80 Jahre, während die Wärmepumpen selbst etwa alle 20 bis 25 Jahre erneuert werden müssen. Durch die elektrifizierte Funktionsweise sinken die lokalen Emissionen auf null; der CO₂-Fußabdruck hängt fast ausschließlich vom verwendeten Strommix ab. Mit zunehmender Verbreitung erneuerbarer Energien steigt die Klimaneutralität des Gesamtsystems automatisch.

Bereits heute zeigen zahlreiche Praxisbeispiele, wie leistungsfähig diese Technologie ist. In Quartierslösungen versorgt ein Erdsondenfeld ganze Wohnanlagen mit Wärme und gleichzeitig auch mit Kühlung im Sommer – ein bedeutendes Argument angesichts steigender Temperaturen. Die Kühlung erfolgt oft nahezu ohne Stromverbrauch, da lediglich kühles Erdreich durch das Gebäude geleitet wird. Damit trägt die Technologie zugleich zur Klimaanpassung bei.

Zusammenfassend ist die oberflächennahe Geothermie ein zentraler Baustein eines klimaneutralen Wärmesystems: flächendeckend verfügbar, technisch erprobt, hoch skalierbar und ideal geeignet für die Kopplung mit Wärmepumpen und Speichern. Ihr Ausbau erfordert jedoch eine strategische Planung, die Bohrkapazitäten, Genehmigungsverfahren und die Netzintegration berücksichtigt. Mit dem richtigen Rahmen kann diese Technologie einen entscheidenden Anteil an der Wärmewende übernehmen.

Shortcut:

(Erdsonden, Grabenkollektoren, Energiepfähle, Flächenkollektoren, Heizzäune)

- **Potenzial:**
- Fraunhofer IEG „Roadmap Oberflächennahe Geothermie“:
- aktueller Nutzwärmebedarf Raumwärme+WW: bis zu **800 TWh/a**
- davon bis zu **75 %** technisch deckbar durch erdgekoppelte Wärmepumpen → **~600 TWh/a**. Fraunhofer IEG+2Fraunhofer IEG+2
- **Typische Ausprägungen:**
- **Vertikale Erdsondenfelder** (Mehrfamilienhäuser, Quartiere)
- **Grabenkollektoren / Flächenkollektoren** (Einfamilienhäuser, Reihenhäuser)



- **Energiepfähle** (Fundamente bei Neubauten)
 - **Heizzäune / Erdwärmekörbe** (kleine Grundstücke, Nachrüstung)
 - **Warum ganz oben?**
 - Sehr hohes flächenspezifisches Potenzial, nahezu flächendeckend nutzbar, technisch ausgereift, gute Synergie mit Wärmepumpen und saisonalen Speichern.
-

2 Tiefe Geothermie (konventionell, hydrothermal/petrothermal) – inkl. „mittlerer“ Geothermie

Die tiefe Geothermie erschließt Wärme aus Gesteinsschichten, die mehrere hundert bis mehrere tausend Meter unter der Erdoberfläche liegen. Im Unterschied zur oberflächennahen Geothermie, die mit relativ konstanten Temperaturen arbeitet, nutzt die tiefe Geothermie hohe natürliche Temperaturen von 60 bis über 180 Grad Celsius. Diese Hitze entsteht aus dem geothermischen Gradienten der Erde – also dem Umstand, dass die Temperatur pro Kilometer Tiefe um etwa 25 bis 35 Grad steigt. Damit wird die tiefe Geothermie zu einer der wenigen erneuerbaren Wärmequellen, die unabhängig vom Wetter und zu jeder Zeit große Energiemengen liefern kann.

Die Technologie lässt sich grob in zwei Systeme einteilen: hydrothermale Anlagen nutzen natürlich vorhandenes Thermalwasser in tiefen Grundwasserleitern. Petrothermale Systeme hingegen erschließen heißes, aber trockenes Gestein, indem Wasser durch künstlich geschaffene oder bestehende Risse zirkuliert wird. Zwischen diesen beiden Extremen befindet sich die sogenannte „mittlere Geothermie“, die in Tiefen von 400 bis etwa 1.500 Metern arbeitet und in vielen Regionen Deutschlands bislang ungenutzte Potenziale bietet.

Die Relevanz für die Wärmewende ist erheblich: Laut der gemeinsamen Geothermie-Roadmap von Helmholtz-Zentren, Fraunhofer IEG und KIT könnten 100 bis 300 Terawattstunden Wärme pro Jahr aus tiefer Geothermie gewonnen werden. Das entspricht einem substantiellen Anteil am deutschen Wärmebedarf. Die realistischen Erschließungspotenziale liegen im zweistelligen bis niedrigen dreistelligen TWh-Bereich – genug, um ganze Metropolregionen und industrielle Zentren strukturell mit klimaneutraler Wärme zu versorgen.



Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig: Tiefe Geothermie wird vor allem in städtischen Wärmenetzen eingesetzt, wo ein hoher und ganzjähriger Wärmebedarf besteht. Sie kann große Wohnquartiere, Krankenhäuser, Gewerbegebiete und industrielle Prozesse versorgen. Ein besonderer Vorteil ist die Grundlastfähigkeit: Während andere erneuerbare Quellen schwanken oder saisonale Speicher erfordern, liefert tiefe Geothermie durchgehend hohe thermische Leistungen. Damit wird sie zu einem stabilisierenden Baustein moderner Wärmeinfrastrukturen.

Auch wirtschaftlich zeigt die Technologie großes Potenzial. Zwar sind die Investitionen hoch – insbesondere für Tiefbohrungen –, doch die laufenden Betriebskosten sind gering und die Anlagenlaufzeit reicht oft über mehrere Jahrzehnte. Zudem sinken die Kosten proportional zur Größe eines Wärmenetzes: Je größer der angeschlossene Wärmebedarf, desto wirtschaftlicher wird der Betrieb. Durch die Kopplung mit Wärmepumpen lässt sich das Temperaturniveau weiter flexibilisieren, sodass auch Gebäude mit mittlerem Temperaturbedarf effizient versorgt werden können.

Die aktuellen Herausforderungen liegen vor allem in Genehmigungsverfahren, Bohrkapazitäten, geologischen Unsicherheiten und einer bislang begrenzten Menge an Projekterfahrung in einigen Regionen. Gleichzeitig zeigen erfolgreiche Anlagen in München, Insheim, Landau, Paris und den Niederlanden, dass tiefe Geothermie technisch zuverlässig funktioniert und langfristig stabile Wärmepreise ermöglicht.

Langfristig kann die tiefe Geothermie – kombiniert mit großen Wärmenetzen, Wärmepumpen, Aquiferspeichern und intelligenter Netzsteuerung – eine der tragenden Säulen eines klimaneutralen Energiesystems werden. Ihr Potenzial ist noch längst nicht ausgeschöpft, doch die technologischen und geologischen Grundlagen sind vorhanden, um die Nutzung in den kommenden Jahren deutlich zu skalieren.

Shortcut:

- **Potenzial (Helmholtz/KIT/Fraunhofer):**
- Gemeinsame Geothermie-Roadmap von Helmholtz-Zentren, Fraunhofer IEG und KIT:
- **100–300 TWh/a** aus tiefer Geothermie in Deutschland als technisch nutzbares Wärmepotenzial.
- **Mittlere Geothermie:**



- „Drei Mal Geothermie“ (Helmholtz) unterscheidet explizit **oberflächennahe, mittlere und tiefe** Geothermie (mittlere ca. 400–1.500 m). Diese Tiefe ist teils in der „oberflächennah“-Roadmap, teils in tiefer Geothermie mit überdeckt; ein separates quantifiziertes Potenzial gibt es bislang kaum.
 - Realistisch liegt das erschließbare Potenzial **im zweistelligen bis niedrigen dreistelligen TWh-Bereich**, ist also im o.g. Rahmen von 100–300 TWh/a mit enthalten.
-

3 Tiefe Geothermie nach System Eavor-Loop™ (geschlossene Tiefen-Geothermie)

Das Eavor-Loop™-System gilt als eine der technologisch spannendsten Entwicklungen der jüngeren Zeit im Bereich der geothermischen Wärmeengewinnung. Im Gegensatz zu klassischen tiefergeothermischen Anlagen – bei denen Thermalwasser aus natürlichen tiefen Reservoirs gefördert und wieder verpresst wird – kommt dieses System vollkommen ohne Wasserströmung in tiefen Gesteinsschichten aus. Es handelt sich um ein geschlossenes, hydraulisch isoliertes Rohrschleifen-System, das in großer Tiefe durch heiße Gesteinsformationen geführt wird. Dadurch wird das Risiko geologischer Unsicherheiten erheblich reduziert. Eavor-Loop beschreibt kein technologisches Prinzip, sondern ist eine Firmenbezeichnung. Prinzipiell könnte die hier eingesetzte Technologie von beliebigen weiteren Marktteilnehmern entwickelt und angeboten werden. Wettbewerber sind bereits tätig. Doch die Fa. Eavor steht hier für ein aktuell noch vorhandenes Alleinstellungsmerkmal.

Das Grundprinzip ist einfach, aber wirkungsvoll: Ein Wärmeträgermedium zirkuliert durch ein weit verzweigtes Rohrnetz, das in rund drei bis fünf Kilometern Tiefe verläuft. Dort nimmt es die natürliche Wärme des Gesteins auf und transportiert sie an die Oberfläche. Da keine geologischen Reservoirstrukturen benötigt werden, kann das System auch in Regionen eingesetzt werden, die für konventionelle tiefe Geothermie ungeeignet sind. Diese Standortflexibilität eröffnet völlig neue Möglichkeiten für den Ausbau geothermischer Wärme.

Ein weiterer Vorteil ist die geringe technische Komplexität im Betrieb: Da keine wasserführenden Schichten erschlossen werden, entfallen viele der üblichen Risiken der tiefen Geothermie wie mineralische Ausfällungen, geochemische Reaktionen oder starke Druckschwankungen im Reservoir. Auch seismische Risiken sind deutlich geringer, da keine hydraulischen Stimulationen erforderlich sind.



Die potenzielle Energieleistung eines Eavor-Systems hängt maßgeblich von der Länge und Struktur des Rohrloops ab. Erste Modellierungen zeigen, dass einzelne Anlagen mehrere Megawatt thermischer Leistung bereitstellen können – genug, um große Quartiere oder städtische Wärmenetze zu versorgen. In Regionen mit besonders hoher geothermischer Gradienten kann sogar Stromproduktion möglich werden.

Die Anwendungsfälle sind breit: Wärmeversorgung für Fernwärmenetze, industrielle Prozesswärme, großskalige Wohnquartiere sowie hybride Systeme mit Wärmepumpen und saisonalen Speichern. Da das System eine extrem hohe Betriebsstabilität aufweist und praktisch rund um die Uhr planbare Wärme liefert, eignet es sich hervorragend als Grundlastquelle in modernen Wärmenetzen.

Die Technologie befindet sich aktuell im Übergang zur Kommerzialisierung. Ein erstes Projekt in Geretsried sowie weitere in Kanada, den USA und Europa zeigen, dass die Technologie marktreif wird. Gleichzeitig wird sie durch große Infrastrukturinvestoren – unter anderem die Europäische Investitionsbank – aktiv unterstützt. Sollten die erwarteten Skaleneffekte eintreten, könnte das Eavor-Prinzip in den nächsten Jahren eine wichtige Rolle bei der Erschließung tiefer geothermischer Potenziale spielen, insbesondere dort, wo klassische Systeme an Grenzen stoßen.

Langfristig erscheint das System als möglicher dritter Pfeiler der geothermischen Wärmeversorgung: neben oberflächennaher und konventionell tiefer Geothermie. Es verbindet eine hohe technische Sicherheit mit großer Standortvielfalt und könnte damit einen wesentlichen Beitrag zu einem klimaneutralen Wärmesystem leisten.

Eine Kosten/Nutzenrechnung kann in Deutschland nach erfolgter positiver Umsetzung des ersten “Loops” – aktuell in Geretsried und Hannover projektiert – erstellt werden; aktuell liegen dazu nur Annahmen vor.

Shortcut:

- **Funktionsprinzip:** geschlossenes Rohrschleifen-System in heißem Gestein, ohne Förderung von Thermalwasser (kein klassisches Reservoir, keine Fracs). Eavor Deutschland+1
- **Potenziale (qualitativ, da noch wenige Studien):**



- Eavor selbst und die EIB sehen die Technologie als „**fast überall einsetzbar**“ in Deutschland; das System wird explizit für **Fernwärme und Strom** beworben.
 - Konkrete nationale TWh-Zahlen gibt es noch nicht.
 - Erste deutsche Projekte:
 - **Geretsried:** Eavor-Projekt soll Wärme und Strom liefern, potenziell Wärme für **bis zu ~36 000 Haushalte**. AP News+1
 - **Hannover:** zweites Projekt soll **15–20 %** des dortigen Fernwärmebedarfs decken. Europäische Investitionsbank
 - **Einordnung im Ranking:**
 - **Technologievariante innerhalb der tiefen Geothermie.**
 - Langfristig könnte ein bedeutender Anteil der o.g. **100–300 TWh/a** aus Eavor-ähnlichen Systemen kommen, sobald Skalierung und Kosten das erlauben.
-

Abwasserwärme (Kanalnetz, Klärwerke, Gebäudeentwässerung)

Abwasserwärme gehört zu den unterschätztesten, aber gleichzeitig vielversprechendsten erneuerbaren Wärmequellen im städtischen Raum. Sie entsteht überall dort, wo Menschen leben, arbeiten und Wasser nutzen: in Haushalten, Gewerbe, Industrie, Krankenhäusern und öffentlichen Einrichtungen. Das warme Wasser, das in die Kanalisation gelangt – sei es aus Duschen, Waschmaschinen, Spülprozessen oder industriellen Anwendungen –, führt kontinuierlich Wärme mit sich, die bisher größtenteils ungenutzt bleibt. Genau hier setzt die Nutzung von Abwasserwärme an.

Die zentrale Stärke dieser Quelle liegt in ihrer Verlässlichkeit: Abwasser fällt ganzjährig an und weist relativ stabile Temperaturen auf. Typischerweise liegt die Temperatur des Abwassers in Kanalnetzen zwischen 10 und 20 Grad Celsius – ein ideales Niveau für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen. Im Gegensatz zu Außenluftwärmepumpen unterliegt Abwasser kaum saisonalen Schwankungen, was die Effizienz insbesondere im Winter deutlich erhöht.



Das technische Potenzial ist beachtlich. Verschiedene Studien und Verbände schätzen, dass Abwasserwärme in Deutschland bis zu 15 Prozent des gesamten Gebäudewärmebedarfs decken könnte. Das Umweltbundesamt prognostiziert für 2045 einen Wärmebedarf von rund 391 TWh pro Jahr – davon könnten bis zu 60 TWh durch Abwasserwärme gedeckt werden. Dabei ist das Potenzial stark urban geprägt: In dicht bebauten Städten, in denen große Mengen warmen Wassers durch die Kanalsysteme fließen, sind die technischen Möglichkeiten besonders groß.

Die Nutzung kann auf zwei Wegen erfolgen: zentral und dezentral. Zentrale Systeme greifen auf große Abwasserkanäle oder Klärwerksausläufe zu. Hier lassen sich hohe Volumenströme erschließen, die sich ideal für Fernwärmenetze oder große Gebäudecluster eignen. Dezentrale Systeme hingegen nutzen Wärme aus der Gebäudeeigentümer-Grundstücksentwässerung oder direkt hinter dem Hausanschluss. Sie arbeiten meist im Leistungsbereich von wenigen Kilowatt bis einigen hundert Kilowatt und eignen sich für Wohnhäuser, kleinere Gewerbeeinheiten oder institutionelle Einrichtungen.

Der technische Aufbau ist vergleichsweise simpel: Wärmetauscher – entweder direkt im Kanal oder als externe Systeme – entziehen dem Abwasser die Wärme. Diese wird anschließend über eine Wärmepumpe auf ein für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau angehoben. Moderne Systeme arbeiten hygienisch sicher, wartungsarm und ohne negativen Einfluss auf den Abwasserfluss. Gerade in Städten, in denen oberflächennahe Geothermie schwieriger umzusetzen ist, stellt Abwasserwärme eine attraktive Alternative dar.

Auch ökologisch ist die Technologie hoch relevant. Die Nutzung von Abwasserwärme reduziert nicht nur CO₂-Emissionen, sondern verbessert auch die temperaturbezogene Entlastung von Gewässern. Da Klärwerke häufig warmes Wasser in Flüsse einleiten, kann die vorgelagerte Wärmeentnahme die thermische Belastung ökologisch sensibler Gewässer senken.

Aktuell gewinnt die Technologie zunehmend an Bedeutung. Kommunen entwickeln Abwasserwärmekataster, Versorger integrieren sie in die Wärmeplanung, und in einigen Bundesländern – wie etwa NRW – entstehen konkrete Ausbauziele. Die zunehmende Verfügbarkeit standardisierter Komponenten, sowie die Möglichkeit, Systeme modular aufzubauen, machen Abwasserwärme zu einer der praxistauglichsten urbanen Wärmequellen.

Mit Blick auf die Wärmewende ist die Abwasserwärme daher mehr als nur eine ergänzende Quelle: Sie ist ein strategischer Baustein für dicht besiedelte Städte, wo
V 1 Jörg Lorenz, CO2zero e.V.



andere erneuerbare Wärmequellen begrenzt verfügbar sind. Sie verbindet hohe Effizienz mit technischer Robustheit und bietet sowohl für bestehende Gebäude als auch für Neubauten ein enormes Potenzial. In Kombination mit saisonalen Speichern, Wärmepumpen und intelligenten Fernwärmenetzen kann sie einen wichtigen Beitrag zur klimaneutralen Wärmeversorgung der Zukunft leisten.

Die Wirtschaftlichkeit ist noch nicht mit ausreichenden best practice-Zahlen belegt, doch erste Großanwendungen lassen dies erwarten.

Shortcut:

- **Gesamtpotenzial Abwasserwärme (deutschlandweit):**
- Aktuelle Fachbeiträge und Verbände nennen **Abwasserwärme als Quelle für bis zu ~15 % des Gebäudewärmebedarfs**. Handelsblatt Live+1
- Die UBA-Analyse zur klimaneutralen Wärmeversorgung des Gebäudesektors 2045 rechnet mit einem Wärmebedarf von **~391 TWh/a**. Bei 15 % entspräche das **rund 60 TWh/a** Abwasserwärme. Umweltbundesamt+1
- **Landesbeispiel NRW:**
- NRW hat sich vorgenommen, bis 2045 **4 TWh/a** Wärme aus Abwasser zu nutzen (≈200 000 Haushalte). VdW Rheinland Westfalen+1
- **Aufteilung:**
- **Zentrale Abwasserwärme**
- große Kanäle, Kläranlagen, häufig für Fernwärmenetze geeignet.
- **Dezentrale Abwasserwärme / Gebäudeentwässerung**
- Wärmetauscher in Grundstücksentwässerung bzw. Hausanschluss; technisch eher **kW- bis wenige 100 kW-Klasse**, aber breit skalierbar.
- **Einordnung:**
- Realistisch mittleres Potenzial im Bereich **30–60 TWh/a**, regional hochkonzentriert in Städten.



5 Solarthermie (Gebäude + Wärmenetze)

Die Solarthermie ist eine der unmittelbarsten Formen erneuerbarer Wärme­gewinnung: Sonnenlicht wird direkt in nutzbare Wärme umgewandelt – ohne Umweg über Strom, ohne komplexe Umwandlungsketten und mit einer Effizienz, die photovoltaische Systeme im thermischen Bereich weit übertrifft. Gerade in einem künftigen, weitgehend elektrifizierten Energiesystem nimmt die Solarthermie daher eine strategische Rolle ein: Sie entlastet das Stromnetz, erzeugt Wärme genau dort, wo sie gebraucht wird, und ermöglicht zusammen mit saisonalen Speichern ein hohes Maß an lokaler Autarkie.

Solarthermische Anlagen gibt es in zwei Grundformen: Kleine bis mittelgroße Gebäudesysteme, die Warmwasser und Heizungsunterstützung bereitstellen, und großflächige Solarthermieranlagen, die in Wärmenetze einspeisen. Während erstere bereits seit Jahrzehnten auf privaten Dächern und Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden, erleben große Freiflächenanlagen derzeit einen Innovationsschub in Europa. Länder wie Dänemark, Österreich oder Spanien demonstrieren, wie Solarthermie in Kombination mit großen Erdbeckenspeichern ganze Städte über mehrere Monate mit Wärme versorgen kann.

Das technische Potenzial ist erheblich. Das Umweltbundesamt geht für 2045 von 33 Terawattstunden solarthermischer Wärme aus, davon rund 20 TWh dezentral auf Gebäuden und 13 TWh in Wärmenetzen. Die Solarbranche selbst schätzt ein technisch erschließbares Potenzial von bis zu 100 TWh pro Jahr.

Genug, um einen signifikanten Teil des gesamten deutschen Wärmebedarfs zu bedienen – insbesondere im Sommerhalbjahr, wenn der Verbrauch niedrig, die solare Einstrahlung jedoch hoch ist.

Die Funktionsweise ist einfach: Sonnenkollektoren – meist Flachkollektoren oder Vakuumröhren – erhitzen ein Wärmeträgermedium, das in einen Wärmespeicher oder direkt ins Heizsystem geleitet wird. Moderne Kollektoren erreichen hohe Wirkungsgrade, selbst bei diffusen Lichtverhältnissen.

Die Kombination mit Wärmepumpen, die das Temperaturniveau bei Bedarf anheben, ermöglicht auch den Einsatz in Niedrigtemperatur-Wärmenetzen, die zunehmend in Neubauquartieren und Städten geplant werden.

Besonders interessant ist die Kopplung mit saisonalen Speichern. Große Erdbecken- oder Aquiferspeicher können Sommerüberschüsse einlagern und in der Heizperiode



wieder bereitstellen. Beispiele aus Skandinavien zeigen, dass solarthermische Anlagen in solchen Systemen im Sommer teils mehr als den gesamten Wärmebedarf decken und die gespeicherte Energie über Monate hinweg nutzbar bleibt. Der Einsatz in Deutschland wird aktuell über neue Wärmenetze, kommunale Planungspflichten und Förderprogramme weiter vorangetrieben.

Solarthermie bietet zudem ökologische Vorteile: Die Technologie arbeitet nahezu wartungsfrei, ist geräuschlos, erzeugt keinerlei Emissionen im Betrieb und hat eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren. Da Kollektoren häufig auf bereits versiegelten Flächen installiert werden – etwa auf Dächern oder neben bestehenden Infrastrukturen – ist ihr Flächenbedarf gering. In Freiflächenanlagen können die Kollektorfelder sogar landwirtschaftlich kompatibel gestaltet werden, indem zwischen den Reihen Vegetation erhalten bleibt oder extensiv gepflegt wird.

Wirtschaftlich zeigt sich ein klares Bild: Sobald Solarthermie in großem Maßstab eingesetzt wird, sinken die Wärmegestehungskosten deutlich. Großanlagen in Wärmenetzen erreichen heute teils Kosten von unter 30 Euro pro Megawattstunde – und damit Werte, die fossile Wärmeherzeugung bei weitem unterbieten. Für Kommunen, Stadtwerke und Wohnungsunternehmen entsteht so ein planbarer, langfristig stabiler Preisrahmen.

Insgesamt gilt die Solarthermie als unterschätzter, aber unverzichtbarer Bestandteil eines klimaneutralen Wärmesystems. Sie liefert geräuscharme, günstige und lokal erzeugte Wärme. In Kombination mit Wärmepumpen, Speichern und intelligenten Netzen kann sie zu einem zentralen Baustein der Wärmeversorgung in Deutschland werden – besonders in Quartieren, ländlichen Räumen und Städten mit hohem Dachflächenpotenzial.

Shortcut:

1. **Potenziale laut Studien:**
2. **UBA 2025:** in einem klimaneutralen 2045-Szenario könnten **33 TWh/a** durch Solarthermie bereitgestellt werden (20 TWh dezentral + 13 TWh in Wärmenetzen). Umweltbundesamt
3. **Fraunhofer ISE / Solarbranche:**
4. sprechen von **45–60 TWh/a** solarthermischer Wärme bis 2045 aus Kraftwerken und Großanlagen. Solarserver+1



5. **Branchenfactsheet:** nennt ein „gut erschließbares“ Potenzial von **~100 TWh/a** Solarthermie in Deutschland (alle Anwendungen). Gesellschaft für Klima und Demokratie
 6. **Einordnung:**
 7. konservativ: **30–60 TWh/a**, langfristig **bis ~100 TWh/a** möglich, wenn Dächer/Fassaden und Freiflächen intensiv genutzt werden.
 8. Besonders stark in Kombination mit **saisonalen Speichern (Erdbecken, Aquifer)** und **Niedertemperatur-Netzen**.
-

Nachhaltig nutzbare Bioenergie für Wärme im Gebäudesektor

Bioenergie spielt seit Jahrzehnten eine zentrale Rolle in der erneuerbaren Wärmeversorgung Deutschlands. Trotz der zunehmenden Elektrifizierung des Wärmesektors bleibt sie auch in einem zukünftigen, klimaneutralen Energiesystem ein relevanter Baustein – allerdings in veränderter Form. Ihr Potenzial ist groß, aber nicht unbegrenzt. Die Herausforderung liegt darin, die Biomasse ressourcenschonend, effizient und dort einzusetzen, wo sie den höchsten Nutzen hat.

Heute stammt mehr als 80 Prozent der erneuerbaren Wärme in Deutschland aus Biomasse – vor allem aus Holz, Pellets, Hackschnitzeln sowie Biogas und biogenen Abfällen. Sie wird in Einfamilienhäusern ebenso genutzt wie in Nahwärmenetzen, kommunalen Heizwerken und industriellen Prozessen.

Doch die Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse ist begrenzt. Wälder stehen unter zunehmendem Klimastress, landwirtschaftliche Flächen konkurrieren mit Nahrungsmittelproduktion und Biodiversität, und der Materialbedarf in der Industrie steigt. So wäre z.B. ein flächendeckender Einsatz im kommunalen und genossenschaftlichen Wohnungsbau undenkbar, da die dafür benötigten Kapazitäten nicht ausreichen.

Vor diesem Hintergrund verschiebt sich die Rolle der Bioenergie: Sie wird künftig weniger als flächendeckende Heizoption in Gebäuden dienen, sondern vielmehr als strategische Ressource für Anwendungen mit hohen Temperaturanforderungen oder schwierigen Alternativen. Die aktuelle Forschung zeigt, dass Biomasse vor allem dort wirken sollte, wo Elektrifizierung oder Umweltwärme an technische oder wirtschaftliche Grenzen stoßen – etwa in bestimmten industriellen Prozessen,



regionalen Wärmenetzen und ländlichen Bestandsgebäuden.

Im Gebäudesektor bleibt die Bioenergie dennoch bedeutsam – insbesondere im ländlichen Raum, wo andere erneuerbare Quellen schwer zu erschließen sind. Moderne Holz- und Pelletheizungen sind heute deutlich effizienter, emissionsärmer und komfortabler als ältere Systeme. Dennoch bleibt ihr Einsatz unter strengen Nachhaltigkeitskriterien zu betrachten. Auch die Nutzung von Biogas in dezentralen Heizsystemen wird zunehmend durch Power-to-Gas-Konzepte und den wachsenden Strombedarf der Wärmepumpen überlagert.

Ein besonders interessanter Bereich ist die Kombination von Bioenergie mit Wärmenetzen. Biomasseheizwerke können Spitzenlasten decken oder als flexible Ergänzung dienen, wenn Wärmepumpen und Solarthermie nicht ausreichen. Durch die Kopplung mit Großwärmepumpen und saisonalen Speichern lassen sich Synergien heben, die weit über die klassische Wärmeerzeugung hinausgehen. Zudem wird zunehmend Abfallbiomasse genutzt – darunter Restholz, Landschaftspflegegut, Klärschlamm und industrielle Nebenprodukte. Diese Stoffströme konkurrieren nicht mit der Nahrungsmittelproduktion und haben einen hohen energetischen Nutzen.

Langfristige Energieszenarien – etwa jene des Umweltbundesamts – gehen allerdings davon aus, dass die Bioenergie im Gebäudesektor abnehmen wird. Nicht, weil sie technisch unattraktiv wäre, sondern weil ihre Potenziale in Industrie, Schiffsverkehr oder chemischen Prozessen dringender benötigt werden. Bioenergie ist gewissermaßen die „Universalwaffe“ der Energiewende – aber genau deshalb eine begrenzte Ressource, die gezielt eingesetzt werden muss.

Insgesamt bleibt die Bioenergie ein wichtiges Instrument in der Wärmeversorgung – jedoch mit klarer Priorisierung. Ihr größter Nutzen liegt künftig in der Ergänzung anderer erneuerbarer Quellen, im Ausgleich saisonaler Schwankungen und in der Versorgung von Bereichen, die schwer elektrifizierbar sind. Richtig gesteuert, kann sie weiterhin einen bedeutenden Beitrag zur Klimaneutralität leisten – ohne dabei die natürlichen Ressourcen zu überlasten.

Streng genommen ist die Bioenergie keine „neue“ Technologie – aber **nichtfossil** und heute schon die dominante erneuerbare Wärmequelle.

Shortcut:

1. Heutige Rolle:



2. Erneuerbare Wärme in Deutschland wird aktuell zu **>80 % von Biomasse** (v.a. Holz, Pellets, Biogas) gestellt. Umweltbundesamt+1
 3. **Szenarien:**
 4. Studie „**Neue Wärmewelt**“ rechnet mit **~160 TWh/a** Wärme aus Bioenergie (Biomasse, Biogas, Abfall) in einem ausgebauten Wärmesystem. unendlich-viel-energie.de
 5. Neuere Klimaneutralitäts-Studien (z.B. UBA „Treibhausgasneutrales Deutschland 2050“, Oeko-Institut) reduzieren Bioenergie im Gebäudesektor stark oder setzen langfristig sogar **auf Null**, weil Biomasse in Industrie/Flugverkehr höherwertig gebraucht wird. oeko.de+2Umweltbundesamt+2
 6. **Einordnung:**
 7. **Technisches Potenzial hoch (100+ TWh/a)**, aber **politisch/ökologisch stark gedeckelt** → langfristig eher **Nischenrolle** (Bestandsgebäude, ländliche Räume).
-

7 Abwärme aus Rechenzentren

Rechenzentren gehören zu den am schnellsten wachsenden Energieverbrauchern unserer Zeit. Sie bilden das Rückgrat der Digitalisierung:

Cloud-Dienste, Streaming, künstliche Intelligenz, Büro-IT, Logistiksysteme, Kommunikationsdienste – all das funktioniert nur, weil weltweit eine riesige Infrastruktur aus Servern dauerhaft in Betrieb ist. Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahren erheblich verstärken. Insbesondere KI-Anwendungen und das Training großer Modelle treiben den Energiebedarf rasant nach oben.

In Deutschland verbrauchten Rechenzentren bereits im Jahr 2020 rund 16 Terawattstunden Strom – Tendenz stark steigend. Ein beträchtlicher Teil dieser Energie wird letztlich in Wärme umgewandelt. Server erzeugen kontinuierlich Abwärme, die bislang in vielen Anlagen ungenutzt über Kühlsysteme abgeführt wird. Genau hier liegt ein enormes Potenzial für die Wärmeversorgung der Zukunft.

Abwärme aus Rechenzentren weist mehrere entscheidende Vorteile auf: Sie ist ganzjährig verfügbar, praktisch kontinuierlich und besitzt ein Temperaturniveau, das sich hervorragend für Wärmepumpensysteme eignet. In modernen Rechenzentren



liegen die Ablufttemperaturen meist zwischen 25 und 40 Grad Celsius – ein idealer Bereich, um sie effizient auf Heiztemperatur anzuheben. Anders als bei erneuerbaren Quellen wie Solar- oder Windenergie gibt es keine tageszeitlichen oder saisonalen Schwankungen. Rechenzentren liefern rund um die Uhr planbare Wärme.

Die Potenziale sind regional sehr unterschiedlich verteilt. In großen Städten mit hoher Rechenzentrumsdichte – etwa Frankfurt, Berlin, Hamburg oder München – können einzelne Anlagen mehrere Tausend Haushalte versorgen. Bitkom schätzt, dass allein die Abwärme deutscher Rechenzentren bis zu 350.000 Wohnungen beheizen könnte. Annahmen gehen von einem theoretischen Potenzial von 3,5 bis 5 Terawattstunden – eine Zahl, die angesichts wachsender Rechenkapazitäten in Zukunft sogar steigen dürfte.

Technologisch ist die Nutzung der Abwärme vergleichsweise einfach. Die Wärme kann über Wärmetauscher aus der Abluft oder dem Kühlkreislauf entnommen werden. Moderne Konzepte basieren zunehmend auf wassergekühlten Serverracks, die noch höhere Temperaturniveaus und effizientere Wärmerückgewinnung ermöglichen. Über Wärmepumpen wird die Energie auf das erforderliche Temperaturniveau für Gebäude oder Fernwärmenetze angehoben. Besonders effektiv ist die Einspeisung in Niedertemperatur-Wärmesysteme, wie sie in modernen Quartieren oder kommunalen Netzen vermehrt geplant werden.

Ein zentraler Erfolgsfaktor ist die räumliche Nähe. Rechenzentren erzeugen Wärme punktuell, und diese kann nur wirtschaftlich genutzt werden, wenn sich Verbraucher oder Wärmenetze in unmittelbarer Umgebung befinden. Daher wird in vielen Städten bereits die verpflichtende Prüfung oder Integration von Abwärmenutzung in Neubaugebieten diskutiert. Einige Länder setzen regulatorische Maßnahmen ein, um Rechenzentren zur Nutzung oder Bereitstellung ihrer Abwärme zu verpflichten.

Ökologisch bietet die Abwärmenutzung erhebliche Vorteile. Sie senkt nicht nur den Gesamtenergieverbrauch, indem Abwärme nicht länger ungenutzt verpufft, sondern reduziert auch die Notwendigkeit zusätzlicher erneuerbarer Erzeuger im Winter. Damit entlastet sie das Stromsystem und trägt zu einer stabileren, resilienteren Wärmeversorgung bei.

Die Zukunft der Abwärme aus Rechenzentren ist eng verknüpft mit der Transformation der digitalen Infrastruktur. Wenn Server zunehmend wassergekühlt, modular aufgebaut und in energieoptimierten Campusstrukturen betrieben werden, wird die Abwärmequalität weiter steigen. In Kombination mit Wärmepumpen, Quartiersnetzen, saisonalen Speichern und intelligenten Steuerungssystemen kann die Abwärme ein bedeutender Bestandteil der städtischen Wärmeplanung werden.



Insgesamt betrachtet ist die Abwärme aus Rechenzentren ein unverzichtbarer Baustein für die klimaneutrale Wärmeversorgung urbaner Räume. Sie verbindet Verfügbarkeit, Planbarkeit und Effizienz – und bietet insbesondere in deutschen Metropolregionen ein bislang weitgehend ungehobenes Potenzial.

Shortcut:

1. **Energiemengen:**
2. Stromverbrauch deutscher Rechenzentren 2020: **~16 TWh/a** (Tendenz steigend). Gesellschaft für Klima und Demokratie+1
3. **Potenzialabschätzungen:**
4. Bitkom schätzt, dass mit der Abwärme deutscher Rechenzentren **ca. 350 000 Wohnungen** beheizt werden könnten. datacenter-group.com+3Bitkom e. V.+3Bitkom e. V.+3
5. Nimmt man grob 10–15 MWh/a Wärmebedarf pro Wohnung, entspräche das **~3,5–5 TWh/a** nutzbarer Wärme. (Das ist eine **Rechnung**, keine eigene Studie.)
6. **Einordnung:**
7. **Gesamtpotenzial: niedriger einstelliger TWh-Bereich**, aber hohe Relevanz in Ballungsräumen mit vielen RZ und Fernwärmenetzen (Frankfurt, Berlin, neue KI-Rechenzentren etc.). bundeswirtschaftsministerium.de+2DIE WELT+2

Eisspeicher / Erdeisspeicher (mit Wärmepumpe)

Eisspeicher gehören zu den technisch faszinierendsten und zugleich unterschätzten Komponenten moderner erneuerbarer Wärmesysteme. Ihre Besonderheit liegt darin, dass sie nicht nur als Wärmespeicher dienen, sondern gleichzeitig eine Umweltwärmequelle darstellen – und das mit einer physikalischen Besonderheit, die ihre Leistungsfähigkeit deutlich erhöht: dem Phasenwechsel von Wasser zu Eis.

Wenn Wasser gefriert, wird sogenannte Kristallisationswärme freigesetzt. Diese



Energiefreisetzung entspricht etwa 93 Kilowattstunden pro Kubikmeter Wasser – ein enormer Wert, der Eisspeicher besonders attraktiv macht. Statt Wärme einfach nur zu speichern, können sie also zusätzlich Wärme abgeben, während sie sich abkühlen und Eis bilden.

Der Grundaufbau eines Eisspeichers ist vergleichsweise schlicht: Ein unterirdischer Behälter – häufig aus Beton oder Kunststoff – wird mit Wasser gefüllt. Rohrregister transportieren Wärme hinein und hinaus. Im Winter entnimmt eine Wärmepumpe dem Speicher Wärme und führt diese dem Heizsystem zu. Dabei sinkt die Wassertemperatur im Speicher, bis Eis entsteht. Im Sommer oder in Übergangszeiten wird der Speicher durch Umweltwärme regeneriert – etwa durch Solarthermie, Abwärme von Wärmepumpen oder direkte Wärmeaufnahme aus der Umgebungsluft und dem Erdreich.

Die Effizienz eines Eisspeichersystems hängt besonders stark von seiner Einbindung in ein Gesamtsystem ab. Optimal funktioniert er in Kombination mit großflächigen Solarthermieranlagen oder Luftwärmepumpen, die ihre Abwärme in den Speicher leiten können. Auch Photovoltaik kann zu einer indirekten Effizienzsteigerung beitragen, da die notwendige elektrische Energie für die Wärmepumpe erneuerbar bereitgestellt werden kann.

In der Praxis zeigen zahlreiche Projekte, dass Eisspeicher eine erstaunliche Leistungsfähigkeit besitzen. Sie ermöglichen es Gebäuden und Quartieren, sowohl Wärme als auch Kälte bereitzustellen – und dies mit geringem Stromverbrauch. Die „kostenlose“ Kühlung im Sommer, bei der kaltes Wasser aus dem Speicher direkt durch das Gebäude geleitet wird, gewinnt angesichts steigender Temperaturen zunehmend an Bedeutung. Gerade bei Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Gewerbeimmobilien eröffnen sich dadurch ökonomisch attraktive Betriebsmodelle.

Auch in der Quartiersversorgung spielt die Technologie eine wachsende Rolle. Mehrere Kommunen und Wohnungsunternehmen setzen inzwischen auf Eisspeicher als zentralen Baustein lokaler Wärmenetze. Sie sind modular skalierbar, relativ einfach zu installieren und lassen sich gut mit anderen Wärmequellen wie Geothermie oder Abwasserwärme kombinieren. Ihre Fähigkeit, die Lastspitzen im Winter abzufedern und gleichzeitig Wärmeüberschüsse im Sommer aufzunehmen, macht sie zu einem wichtigen Element saisonaler Wärmesysteme.

Zudem sind Eisspeicher ökologisch besonders vorteilhaft: Sie benötigen nur Wasser, Beton oder Kunststoff, und es entstehen keine Emissionen im Betrieb. Auch die Eingriffe in die Umwelt sind gering, da die Speicher vollständig unterirdisch liegen und

V 1 Jörg Lorenz, CO2zero e.V.



keine Lärmemissionen verursachen. Sie eignen sich daher gut für dicht bebaute Stadtgebiete und sensible Umgebungen.

Insgesamt betrachtet bieten Eisspeicher eine intelligente Ergänzung zu anderen erneuerbaren Wärmequellen. Sie verbinden Speicherkapazität, Wärmeerzeugung und Kühlung in einem System – und ermöglichen damit eine außergewöhnliche Flexibilität im Wärmesektor. In Kombination mit Wärmepumpen, Solarthermie und Abwärmequellen können sie einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung von Gebäuden und Quartieren leisten.

Shortcut:

1. **Charakter:**
2. Eisspeicher sind **keine Primärquelle**, sondern **Kombi aus Speicher und Umweltwärmequelle** (Erdreich, Luft, Solar).
3. Praxisbeispiele (z.B. Erdeisspeicher Schleswig, diverse Quartiere) zeigen hohe Effizienz im Zusammenspiel mit Solarthermie und Wärmepumpen. Energiewechsel+1
4. **Potenzial:**
5. Es gibt **keine konsistente nationale TWh-Potenzialstudie**.
6. Sie sind v.a. interessant auf **Quartiersebene** (einige 100 MWh bis wenige GWh/Jahr je Speicher).
7. **Einordnung:**
8. **Gesamtdeutsches Potenzial eher im einstelligen TWh-Bereich**, aber sehr wertvoll als Baustein, um Solarthermie und Umweltwärme stärker saisonal nutzbar zu machen.

Weitere Umweltwärmequellen

Unter den weiteren Umweltwärmequellen werden zentrale Bausteine verstanden, die in einem modernen, diversifizierten Wärmesystem eine zunehmend wichtige Rolle spielen.



Sie ergänzen Geothermie, Solarthermie, Bioenergie und Abwasserwärme und schaffen zusätzliche Flexibilität, insbesondere in urbanen Räumen oder in Regionen, in denen klassische erneuerbare Wärmequellen nur eingeschränkt verfügbar sind.

Diese Kategorie umfasst vier wesentliche Bereiche: Umweltwärme aus der Luft, aus Oberflächengewässern, industrielle und gewerbliche Abwärme sowie Abluft- und Lüftungswärmerückgewinnung. Gemeinsam haben sie, dass sie weit verbreitet, technisch erschließbar und besonders gut mit Wärmepumpen kombinierbar sind.

a) Umweltwärme aus Luft

Luft-Wasser-Wärmepumpen sind aktuell die am schnellsten wachsende Technologie im Gebäudesektor. Sie nutzen die in der Außenluft gespeicherte Wärme – selbst bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt – und machen sie über einen Wärmepumpenprozess nutzbar. Ihr größter Vorteil liegt in ihrer nahezu universellen Einsetzbarkeit. Nahezu jedes Gebäude kann mit einer Luft-Wärmepumpe ausgestattet werden, weshalb diese Technologie auch in dicht bebauten Städten eine Schlüsselrolle spielt.

Die Effizienz der Geräte ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Moderne Systeme arbeiten bereits bei winterlichen Temperaturen sehr effizient und können sowohl für Heizung als auch Warmwasser eingesetzt werden. Durch die Elektrifizierung der Wärmeerzeugung wird jedoch das Stromsystem stärker belastet – ein Punkt, der in der Systemplanung berücksichtigt werden muss. In Kombination mit Photovoltaik, Batteriespeichern oder Hybridlösungen ergeben sich jedoch hervorragende Synergien.

Für die Wohnungswirtschaft zeichnen sich bedeutende Kostensenkungs-Potenziale ab, wenn alte Gas- oder Ölerzeuger sowie dezentrale Mietergeräte durch ein zentrales System auf Wärmepumpenbasis ersetzt werden. Erste best-practice-Ergebnisse belegen Einsparungen von bis zu 30% der jährlich abgerechneten warmen Betriebskosten. Dies ist aber abhängig vom energetischen Grundzustand der Gebäude.

b) Umweltwärme aus Oberflächengewässern

Flüsse, Seen und Küstengewässer bieten ein enormes, aber bislang wenig genutztes Potenzial. Die Wassertemperaturen sind über das Jahr relativ stabil, und selbst im Winter herrschen oft höhere Temperaturen als in der Außenluft. Dadurch können Großwärmepumpen besonders effizient betrieben werden.

Die Technologie wird vor allem für Wärmenetze interessant: Über



Wärmeentnahmeverrichtungen am Ufer oder unter Wasser wird Energie gewonnen und in das Wärmenetz eingespeist. Städte mit großen Gewässern – wie Hamburg, Berlin, München oder Köln – prüfen oder nutzen bereits entsprechende Konzepte. Wichtig sind ökologische Rahmenbedingungen: Eingriffe müssen schonend erfolgen, um Flora und Fauna nicht zu beeinträchtigen.

c) Industrielle und gewerbliche Niedertemperatur-Abwärme

Industrie und Gewerbe erzeugen große Mengen ungenutzter Abwärme – etwa aus Kühl- und Produktionsprozessen, Rechenzentren, Druckluftanlagen oder Kühlhäusern. Diese Wärme weist oft ein für Wärmepumpen sehr gut nutzbares Temperaturniveau auf. Studien zeigen, dass in Deutschland zweistellige Terawattstundenpotenziale bestehen, von denen ein erheblicher Teil wirtschaftlich erschließbar wäre.

Insbesondere in Regionen mit bestehenden Fern- oder Nahwärmenetzen ist die Integration solcher Abwärmequellen technisch vergleichsweise einfach. Moderne Wärmenetze – insbesondere Niedertemperaturnetze – können solche Quellen flexibel einbinden und damit die Abhängigkeit von fossilen Backup-Systemen weiter reduzieren.

d) Abluft- und Lüftungswärmerückgewinnung

Gebäude verlieren einen erheblichen Teil ihrer Wärme über Lüftung. Moderne Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung können 30 bis 80 Prozent dieser Verluste vermeiden. Sie sind heute Standard im Neubau und werden auch zunehmend in Bestandsgebäuden nachgerüstet. Während sie keine eigenständige primäre Wärmequelle darstellen, reduzieren sie den Wärmebedarf erheblich und erhöhen die Effizienz eines Gesamtsystems – insbesondere in Verbindung mit Wärmepumpen.

Integrierte Systeme erlauben außerdem die Nutzung der Abluftwärme als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Besonders bei Mehrfamilienhäusern, Hotels oder Verwaltungsgebäuden eröffnen sich dadurch erhebliche Einsparpotenziale.

Insgesamt zeigen diese weiteren Umweltwärmequellen, dass die Wärmewende nicht auf einige wenige Technologien beschränkt ist. Vielmehr handelt es sich um ein Mosaik aus Lösungen, das erst im Zusammenspiel seine volle Stärke entfaltet. Luft, Wasser, Abwärme und Lüftungstechnik tragen dazu bei, die erneuerbare Wärmeversorgung breiter, flexibler und resilienter zu gestalten. Sie ergänzen die großen Haupttechnologien und sorgen dafür, dass lokale Ressourcen effizient genutzt werden können – unabhängig von Standortbedingungen und baulichen Einschränkungen.



Shortcut:

a) Umweltwärme aus Luft (Luft-Wasser-Wärmepumpen)

1. **Faktisch heute der größte Wachstumsmarkt** bei Wärmepumpen.
2. UBA und BMWK-Gebäudestrategien gehen davon aus, dass ein großer Teil des verbleibenden Wärmebedarfs 2045 über **elektrische Wärmepumpen (v.a. Luft/Wasser)** gedeckt wird; explizite TWh-Potenziale werden meist nicht getrennt von Geothermie/Umweltwärme angegeben.
dena.de+2Umweltbundesamt+2
3. **Potenzial:** technisch **sehr hoch** (im Prinzip überall nutzbar); begrenzender Faktor ist eher Stromsystem, Lärmschutz, Gebäudeeffizienz.

b) Umweltwärme aus Oberflächengewässern (Flüsse, Seen, Küstengewässer)

1. In UBA-Fernwärme-Studien werden Flüsse/Seen als wichtige Quellen für **Großwärmepumpen** identifiziert, insbesondere für Wärmenetze („Grüne Fernwärme“ etc.). FfE+1
2. Potenziale liegen je nach Region **im zweistelligen TWh-Bereich**, sind aber sehr lokal abhängig (Wassertemperatur, Ökologie, Schifffahrt).

c) Industrielle und gewerbliche Niedertemperatur-Abwärme

1. Studien zu Abwärmepotenzialen (z.B. Berlin) zeigen relevante Beiträge aus Industrie & Gewerbe; für Deutschland gesamt werden häufig **zweistellige TWh-Potenziale** diskutiert. BUND+2DWA e. V.+2
2. Für den Gebäudesektor relevant, wenn Fern- oder Nahwärmenetze vorhanden sind.

d) Abluft- und Lüftungswärme aus Gebäuden

1. Wärmerückgewinnung aus Lüftungsanlagen kann **30–80 %** der Lüftungswärmeverluste zurückgewinnen; im Neubau heute Standard, aber eher **Effizienzmaßnahme** als eigenständige „Quelle“.
2. Auf Gebäudeebene aber sehr wichtig, um den Restwärmebedarf zu senken.

10 Spezielle Liste: Erd- und Aquiferspeicher (sortiert nach typischer Größe)



Erd- und Aquiferspeicher zählen zu den wichtigsten Bausteinen eines vollständig erneuerbaren Wärmesystems. Während erneuerbare Wärmequellen wie Solarthermie, Geothermie, Abwasserwärme und Umweltwärme oft saisonalen Schwankungen unterliegen, ermöglichen Erd- und Aquiferspeicher die effektive Überbrückung dieser zeitlichen Diskrepanz. Damit bilden sie das Rückgrat einer ganzjährigen, stabilen und klimaneutralen Wärmeversorgung. Diese Speichertechnologien sind sowohl im Gebäudebereich als auch für städtische und regionale Wärmenetze relevant und in der Lage, große Wärmemengen mit sehr geringen Verlusten über Monate hinweg bereitzuhalten.

Die Speicher lassen sich grob in drei Größenkategorien einteilen:

10.1 Kleine Speicher (typ. <0,5 GWh thermische Kapazität)

Kleine Speicher werden häufig auf Gebäude- oder Grundstücksebene eingesetzt und dienen als kompaktes saisonales Speichersystem. Dazu gehören:

Kleine Erdsondenfelder (BTES – Borehole Thermal Energy Storage): Mehrere Sonden werden im Verbund betrieben, um Wärme über den Sommer einzuspeisen und im Winter zu entnehmen.

Typische Kapazitäten: 10–500 MWh pro Jahr. Sie eignen sich für Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und kleine Quartiere.

Eisspeicher / Erdeisspeicher:

Nutzen den Phasenwechsel von Wasser zu Eis zur effizienten Lagerspeicherung.

Kapazitäten liegen häufig zwischen 50 und 300 MWh.

Erdregister / Erdreich-Luft-Wärmetauscher:

Speichern Wärme und Kälte über kurze Zeiträume (Tage bis Wochen).

Sie dienen oft zur verbesserten Effizienz von Lüftungsanlagen und Wärmepumpen.

Diese kleinen Systeme ermöglichen trotz geringer Volumen hohe Flexibilität und eignen sich besonders im Gebäudebestand sowie in Neubauquartieren mit begrenztem Platzangebot.

10.2 Mittlere Speicher (typ. 0,5–50 GWh)

Mittlere Speicher sind das Herzstück moderner Quartiers- oder Stadtteilwärmenetze.

Sie erlauben die saisonale Speicherung großer Wärmemengen aus Solarthermie, Großwärmepumpen, Abwärme oder Power-to-Heat-Anlagen. Zu den wichtigsten Technologien zählen:



BTES-Felder (große Erdsondenparks):

Bestehen aus mehreren hundert Erdsonden, die gemeinsam als riesiger saisonaler Speicher betrieben werden.

Kapazitäten: 1–20 GWh.

Sie eignen sich besonders für neue Stadtquartiere, Universitätscampusse oder Gewerbegebiete.

PTES – Erdbeckenwärmespeicher (Pit Thermal Energy Storage):

Große, versiegelte Erdbecken mit Wassereinlagerung.

Kapazitäten: typischerweise 0,5–5 GWh in deutschen Projekten, in skandinavischen Anlagen sogar deutlich darüber. Sie sind kostengünstig und technisch einfach zu errichten.

LT-ATES (Aquifer Thermal Energy Storage, Niedertemperatur):

Speichern Wärme und Kälte in flachen Grundwasserleitern. Studien zeigen, dass über 50 % der Fläche Deutschlands für ATES geeignet sind. ATES kann saisonale Wärmespeicherung mit hoher Effizienz leisten und wird zunehmend auch in Deutschland geplant.

Mittlere Speicher bilden die Grundlage für eine kommunale Wärmewende, da sie Schwankungen in der Erzeugung ausgleichen und erneuerbare Wärme in großem Maßstab nutzbar machen.

10.3 Große Speicher (typ. >50 GWh)

Großspeicher sind strategische Infrastrukturen für urbane Fernwärmenetze oder regionale Energiesysteme. Sie ermöglichen die saisonale Verschiebung riesiger Energiemengen und spielen eine entscheidende Rolle für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ganzer Städte.

Große Aquiferspeicher (HT-ATES – High Temperature ATES):

Arbeiten mit höheren Temperaturen, teilweise über 60 °C.

Kapazitäten: 30–100+ GWh pro Speicher.

Sie sind ideal für urbane Fernwärmesysteme und können große Mengen Solarthermie oder industrielle Abwärme saisonal speichern.

Großskalige Erdbecken- und Multifunktionswärmespeicher:

Werden für die Kopplung von Solarthermie, Großwärmepumpen, Power-to-Heat und Abwärme genutzt.

Kapazitäten reichen bis in den dreistelligen GWh-Bereich.

Sie gelten als zentrale Technologie für ein vollständig erneuerbares Fernwärmesystem.

V 1 Jörg Lorenz, CO2zero e.V.



Diese Großspeicher sind nicht nur saisonale Energiespeicher, sondern fungieren als Knotenpunkte eines flexiblen und resilienten Wärmesystems. In Städten, in denen der Wärmebedarf hoch und die Verfügbarkeit erneuerbarer Quellen begrenzt ist, leisten sie einen entscheidenden Beitrag zur Sicherheit und Stabilität der Versorgung.

Insgesamt zeigen Erd- und Aquiferspeicher, dass die Wärmewende nicht allein durch Erzeugung, sondern vor allem durch intelligente Speicherung möglich wird. Sie ermöglichen das volle Ausschöpfen erneuerbarer Quellen, gleichen saisonale Schwankungen aus und bilden die Voraussetzung für jedes großskalige, klimaneutrale Wärmenetz der Zukunft.

Hier geht es um **Speicher**, nicht um Primärquellen – sie machen insbesondere Solarthermie, Abwärme und Geothermie besser nutzbar.

Shortcut:

10.1 Kleine Speicher (Gebäude-/Grundstücksebene, typ. <0,5 GWh thermische Kapazität)

Kleine Erdsondenfelder als Speicher (BTES im Kleinsystem)

1. Mehrere Bohrungen (z.B. 5–20 Sonden à 80–150 m) können saisonal Wärme speichern.
2. Kapazitäten im Bereich **10–500 MWh** je Anlage. Umweltbundesamt+1

Eisspeicher / Erdeisspeicher

3. Typische Volumina von einigen 10–100 m³, Kapazitäten **zig bis einige 100 MWh**. Energiewechsel+1

Erdregister / Erdreich-Luft-Wärmetauscher

4. Wärmespeicherwirkung eher über **kurze Zeiträume (Tage/Wochen)**, thermische Masse des Bodens unter und um das Gebäude.

10.2 Mittlere Speicher (Quartiers-/Stadtteil-Ebene, typ. 0,5–50 GWh)

BTES-Felder (große Erdsondenparks)

1. Mehrere 100 Sonden → saisonale Speicher von **1–20 GWh** möglich. Umweltbundesamt+1



PTES – Erdbeckenwärmespeicher (Pit Thermal Energy Storage)

2. Beispiel: Erdbecken-Wärmespeicher in deutschen Solarthermieprojekten mit **bis zu ~1,5 GWh** Kapazität.
ramboll.com+2aalborgcsp.de+2
3. In Dänemark existieren Speicher (z.B. Gram) mit Volumina von 125.000 m³ und mehreren GWh Kapazität, als Referenz für mögliche deutsche Größenordnungen. Saisonalspeicher

LT-ATES (Aquifer Thermal Energy Storage im Flachbereich)

4. Studie zu LT-ATES in Deutschland:
 1. 54 % der Fläche Deutschlands sind „**gut oder sehr gut geeignet**“.
SpringerOpen+1
 5. Einzelprojekte erreichen Speichergrößen von **einigen GWh bis ~30 GWh** (größte geplante ATES in Deutschland mit 30 GWh Kapazität).
SpringerLink
-

10.3 Große Speicher (Fernwärme- und Regions-Ebene, >50 GWh)

Große Aquiferspeicher (HT-ATES) in Fernwärmenetzen

1. Aktuelle Projekte und Studien (Öko-Institut, Hamburg Institut, GeoTHERM) zeigen, dass **einzelne Speicher bis zu 30 GWh** und mehr erreichen können; mehrere solcher Speicher in einem System wären möglich. geotherm-offenburg.de+2Hamburg Institut+2

Großskalige Erdbecken- und Multifunktionswärmespeicher

2. BVES und dena betonen die Rolle großvolumiger saisonaler Speicher für die „Wärmespeicherstrategie“. bves.de+2dena.de+2
 3. Perspektivisch sind Speicher im **zweistelligen bis niedrigen dreistelligen GWh-Bereich** denkbar, die Solarthermie, Großwärmepumpen, Power-to-Heat und Abwärme koppeln.
-



1 1 Kurz-Fazit zur Einordnung der Potenziale

Die Analyse der erneuerbaren Wärmequellen zeigt deutlich, dass die Wärmewende nicht auf einer einzigen Technologie fußt, die “auf einen Schlag” fossile Quellen ersetzen kann. Vielmehr ist sie das Ergebnis eines fein austarierten Zusammenspiels zahlreicher Lösungen, die je nach Standort, Gebäudestruktur und Netzsituation unterschiedliche Stärken besitzen.

Damit entsteht ein Mosaik aus Wärmequellen, das in Summe ein robustes, skalierbares und klimaneutrales Gesamtsystem ermöglicht.

Sehr großes gesamtdeutsches Potenzial (>>100 TWh/a)

In diese Kategorie fallen vor allem die geothermischen Technologien.

Oberflächennahe Geothermie ist nahezu flächendeckend einsetzbar, technisch ausgereift und besonders stark im Zusammenspiel mit Wärmepumpen und saisonalen Speichern.

Tiefe und mittlere Geothermie – einschließlich Innovationen wie dem Eavor-Loop™ – können deutschlandweit großskalige Wärmemengen bereitstellen, insbesondere für Fernwärme und urbane Wärmenetze.

Bioenergie besitzt zwar ein hohes technisches Potenzial, ist jedoch ökologisch und politisch begrenzt. Ihr langfristiger Einsatz wird eher in Nischen und in schwer elektrifizierbaren Bereichen liegen.

Hohes Potenzial (30–100 TWh/a)

Solarthermie kann – insbesondere in Kombination mit großen Erdbecken- oder Aquiferspeichern – erhebliche Beiträge leisten.

Abwasserwärme zeigt stark urban konzentrierte Potenziale, die in vielen Städten heute noch kaum erschlossen sind.

Umweltwärme aus Luft und Wasser, erschlossen über Wärmepumpen, ist technisch nahezu überall verfügbar und gehört bereits jetzt zu den wichtigsten erneuerbaren Wärmequellen. Hier sind bereits erfolgreiche Ansätze zur Sicherstellung sozialverträglicher Wärmekosten aus HKVo-Abrechnungen der Wohnungswirtschaft erkennbar (**vergleiche: WBG Werdohl**)

Mittleres bis lokales Potenzial (<~10 TWh/a)

Diese Quellen sind zwar in ihrer Gesamtleistung begrenzt, spielen jedoch lokal häufig eine entscheidende Rolle:

Abwärme aus Rechenzentren wird vor allem in Metropolregionen ein wichtiger



Baustein städtischer Wärmeplanung.

Industrielle Niedertemperatur-Abwärme ergänzt Fernwärmesysteme und kann Versorgungslücken schließen.

Eisspeicher, Erdregister und andere kompakte Speicherlösungen verbessern die Effizienz von Quartierssystemen und ermöglichen ganzjährig steuerbare, flexible Wärmesysteme.

Zentrale Erkenntnis:

Die Wärmewende gelingt nicht durch eine einzelne „Leittechnologie“, sondern durch eine Kombination von Quellen, die intelligent miteinander verknüpft werden.

Speicher spielen dabei eine zentrale Rolle – ohne sie können erneuerbare Wärmequellen ihr volles Potenzial nicht entfalten. Besonders Erd- und Aquiferspeicher bilden die Brücke zwischen Sommerüberschüssen und Winterbedarfen und ermöglichen die großflächige Nutzung von Solarthermie, Geothermie und Abwärme.

Fazit:

Deutschland verfügt über ein enormes, bislang unvollständig genutztes Potenzial erneuerbarer Wärmequellen. Die Herausforderung besteht weniger in der Verfügbarkeit der Technologien als vielmehr in ihrer systematischen Integration: kommunale Wärmeplanung, intelligente Netze, Wärme- und Speicherkopplung sowie klare politische Rahmenbedingungen sind entscheidend. Gelingt dies, kann die Wärmeversorgung nicht nur klimaneutral, sondern auch kosteneffizient, resilient und langfristig stabil gestaltet werden.

Shortcut:

Sehr großes gesamtdeutsches Potenzial (>>100 TWh/a)

1. Oberflächennahe Geothermie (inkl. Grabenkollektoren, Erdsonden, Heizzäune)
2. Tiefe/mittlere Geothermie (inkl. Eavor & Co.)
3. Nachhaltig denkbare Bioenergie (technisch hoch, politisch/ökologisch gedeckelt)

Hohes Potenzial (ca. 30–100 TWh/a)

1. Solarthermie (Dächer, Fassaden, Freiflächen, Wärmenetze)
2. Abwasserwärme (Kanal, Klärwerke, Grundstücke)
3. Umweltwärme aus Luft/Wasser über Wärmepumpen (je nach Abgrenzung noch deutlich höher)



Mittleres/nachrangiges, aber lokal sehr wichtiges Potenzial (<~10 TWh/a)

1. Abwärme aus Rechenzentren
2. Gewerbliche/industrielle Niedertemperaturabwärme für Quartiers-/Fernwärmenetze
3. Eisspeicher / Erdeisspeicher, Erdregister etc. (v.a. als **Enabler** für andere Quellen)