

Energie aus Abwasser:

Das bislang unentdeckte Potential für die Wärmewende.

Dezember 2017

Eine enervis-Studie im Auftrag der
Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH

enervis energy advisors GmbH
Schlesische Str.29 - 30
10997 Berlin
Fon: +49 (0)30 69 51 75 - 0
Fax: +49 (0)30 69 51 75 - 20
kontakt@enervis.de
www.enervis.de



IMPRESSUM

Herausgeber

enervis energy advisors GmbH

Schlesische Str. 29-30

10997 Berlin

+49 (0)30 695 175 - 0

www.enervis.de

kontakt@enervis.de

Autoren

Julius Ecke

Leonard Göke

Eine Studie im Auftrag von:



Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH

Veröffentlichung: November 2017.

Hier: Aktualisierte Fassung von Dezember 2017. Anpassung erfolgte in Kapiteln 5 und 6 aufgrund einer Kommaverschiebung, der den Klimaschutz- und Systemkosteneffekt von Energie aus Abwasser versehentlich zu hoch ausgewiesen hatte.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Ergebniszusammenfassung	3
2 Einleitung und Zielstellung	7
3 Methodik des Projektes und Fokussierung.....	8
4 Technisches Potential von Energie aus Abwasser	9
4.1 Methodik zur Ableitung des technischen Potentials.....	9
4.2 Technisches Potential und zentrale Einflussfaktoren	13
4.3 Potentiale der Integration industrieller Abwärme	13
4.4 Potentiale der Bereitstellung von Klimakälte	14
4.5 Zwischenfazit.....	14
5 Wirtschaftliches Potential von Energie aus Abwasser	14
5.1 Entwicklungen im Strommarkt	15
5.2 Entwicklungen im Wärmemarkt	16
5.3 Erschließungskosten von Energie aus Abwasser.....	19
5.4 Spezifische Systemkostenreduktion	20
5.5 Wirtschaftliches Potential von Energie aus Abwasser	21
5.6 Zwischenfazit.....	22
6 Beitrag von Energie aus Abwasser zum Klimaschutz.....	23
6.1 Spezifische CO ₂ -Einsparung	23
6.2 Absolute Reduktion der CO ₂ -Emissionen.....	24
6.3 CO ₂ -Vermeidungskosten	25
6.4 Zwischenfazit.....	26
7 Erschließungsszenario	27
7.1 Mögliche Erschließungsgeschwindigkeit	27
7.2 Systemkostenreduktion	28
7.3 CO ₂ -Einsparung	28
7.4 Zwischenfazit.....	28
8 Fazit & Handlungsempfehlungen.....	29

1 Ergebniszusammenfassung

<p>Kern-Ergebnisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energie aus Abwasser (EaA) hat das Potential ca. 14% des Wärmebedarfs im Gebäudesektor zu decken. Das technische Potential liegt <ul style="list-style-type: none"> - heute bei 101,4 TWh/a - 2020 bei 100,9 TWh/a - 2030 bei 98,4 TWh/a <p>Der Rückgang des Potentials bis 2030 ist auf eine durch verstärkte Effizienzbemühungen rückläufige Raumwärmenachfrage zurück zu führen. Gerade in Ballungsgebieten ist das Verhältnis von Angebot zu Nachfrage für EaA besonders günstig. Das erschließbare Potential ist dort hoch und volkswirtschaftlich attraktiv.</p> • Das Potential von EaA ließe sich noch steigern. Wenn industrielle Abwärme in das Abwassersystem eingebunden wird, steigt das Potential zur Wärmebereitstellung um den Faktor 1,79. Darüber hinaus kann EaA nicht nur Heizen, sondern im Sommer zusätzlich auch Kühlen. Das Kühlpotential von EaA liegt bei ca. 14 TWh. • EaA kann einen erheblichen Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes leisten. Wird das Potential von EaA vollständig gehoben, so liegt dieser Beitrag in 2020 und 2030 bei 9,9 und 10,7 Mio. t CO₂. Somit ist das Potential von EaA signifikant in Relation zur deutschen Klimaschutzlücke (120 Mio. t in 2020). • Der Einsatz von EaA trägt zur Erreichung der Klimaschutzziele bei und ist bereits heute volkswirtschaftlich sinnvoll. Wird das Potential von EaA gehoben, so sinken die Systemkosten dadurch in 2020 um rd. 1,3 Mrd. Euro, beziehungsweise um rd. 128 €/t CO₂. Der Ausbau von EaA ist daher politisch anzustreben, beispielsweise durch einen Abbau der Umlagenlast auf den Strombezug der Anlagen. • Das Potential von EaA kann bis 2020 voraussichtlich nicht vollständig gehoben werden. Eine Erschließung im Rahmen möglicher Ausbaupfade bis 2030 führt jedoch zu einer substantiellen Reduktion der Systemkosten (1,4 Mrd. €) und der CO₂-Emissionen (rd. 3,9 Mio. t).
<p>Zielstellung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • EaA kann zur Wärmeversorgung genutzt werden, indem Wärmepumpen durch den Einsatz von Strom das Temperaturniveau der aus dem Abwasser gewonnen Wärme anheben. Eine solche Anwendung liegt nahe, weil im Abwasser ein konstant hohes Temperaturniveau besteht. Darüber hinaus steht Abwasser kontinuierlich in großen Mengen zur Verfügung. Analog zur Wärme kann EaA auch zur Bereitstellung von Kälte genutzt werden. • Ziel der Studie ist es, das Potential zur Wärme- und Kältebereitstellung von EaA zu untersuchen und zu analysieren, wie

	<p>sich die Hebung des Potentials im Energiesystem auswirken würde.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Methodische Grundlage ist hierbei eine Ausdifferenzierung des Potentials: Das übergeordnete theoretische Potential umfasst die gesamte erzeugbare Wärmemenge. Als technisches Potential gilt hingegen nur noch der Teil des theoretischen Potentials, der sinnvoll von Verbrauchern genutzt werden kann. Das volkswirtschaftliche Potential begrenzt wiederum das technische Potential, indem es nur die volkswirtschaftlich effizient nutzbaren Mengen umfasst. Das erschließbare Potential beschreibt, welche Mengen im Rahmen des Ausbaus in Zukunft tatsächlich genutzt werden könnten.
<p><i>Theoretisches & Technisches Potential</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das theoretische Potential liegt bei 156,5 TWh. • EaA hat das Potential ca. 14% des Wärmebedarfs im Gebäudesektor zu decken. In 2016, 2020 und 2030 beläuft sich das technische Potential auf 101,4, 100,9 und 98,4 TWh/a. Zur Deckung des technischen Potentials müssen im Schnitt ca. 22 TWh/a Strom eingesetzt werden. • In Ballungsgebieten ist das Verhältnis von Angebot und Nachfrage für EaA besonders günstig. In der Nähe von Kanälen mit hohem Abwasseraufkommen hat Energie aus Abwasser das Potential den gesamten Wärmebedarf von Haushalten und Gewerbe abzudecken.
<p><i>Kühlen und zusätzliche Abwärme</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • EaA kann nicht nur Heizen, sondern im Sommer auch Kühlen. Das gesamte angebotsseitige Kühlpotential von EaA liegt bei 14 TWh/a, wenn man annimmt, dass die wärmeseitig dimensionierten Anlagen im Sommer zum Kühlen ausgelastet werden. • Darüber hinaus steigt das Gesamtpotential von EaA durch die Zuleitung von industrieller Abwärme um den Faktor 1,79, wenn angenommen wird, dass die Zuleitung die Abwassertemperatur um 10 °C erhöht. Frühere Studien belegen das hierfür notwendige Abwärmepotential in der Industrie.
<p><i>Wirtschaftliches Potential</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Kosten/Nutzen-Bilanz von EaA ist positiv: EaA leistet einen signifikanten Beitrag zur Senkung der Systemkosten. Die Kosten für EaA (Strom und Erschließung) liegen deutlich unterhalb der Einsparungen durch die von EaA bereitgestellte Wärme. • Die Vorteile sind aus Systemsicht erheblich: Eine Nutzung von EaA führt zu spezifisch hochrelevanten Systemkosteneinsparungen. Jede MWh aus EaA hat eine positive „Systemmarge“.

	<ul style="list-style-type: none"> • Der Trend ist positiv: Die bereits heute festzustellende Vorteilhaftigkeit entwickelt sich weiter positiv unter dem Vorzeichen der Energiewende, EaA profitiert hier nicht nur von sinkenden Kosten und steigenden Effizienzen, sondern insbesondere davon, dass die Wertigkeit der Wärmebereitstellung weiter zunimmt. • Wenn das technische Potential von EaA weitgehend erschlossen wird, so können hiermit erhebliche wirtschaftliche Vorteile gehoben werden. Hier liegt ein unerschlossenes wirtschaftliches Potential von 1,27 Mrd. Euro in 2020 brach. • EaA leistet also einen Beitrag zur Senkung der Systemkosten. Politisch beeinflussbare Rahmenbedingungen für EaA sind so zu gestalten, dass eine Nutzung von EaA ermöglicht wird, mindestens aber so, dass EaA keine einseitigen wettbewerbsnachteile gegenüber anderen Wärmeerzeugungstechnologien ausgesetzt ist. • Die vorbenannten Effekte fallen noch deutlich größer aus, wenn auch Klimakälte aus EaA bereitgestellt wird. Der Kältemarkt wird bislang selten betrachtet, spielt aber im Gebäudebereich eine wachsende Rolle. EaA kann diesen Markt mit großem Potential bedienen.
<p>Klimaschutzbeitrag</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jede Megawattstunde Wärme aus EaA spart in einem relevanten Umfang CO₂-Emissionen ein. Der Reduktionseffekt liegt pro Megawattstunde bei etwa 100 kg CO₂. Damit werden mit jeder Megawattstunde Wärme aus EaA Emissionen im Äquivalent von etwa einer halben Megawattstunde Erdgas eingespart. • Das Potential zur Senkung der CO₂-Emissionen durch EaA liegt bei rund 9,9 Mio. t im Jahr 2020 und 10,7 Mio. t im Jahr 2030. Geht man davon aus, dass die deutsche Klimaschutzlücke im Jahr 2020 bei rund 120 Mio. t liegt, so ist das Potential zur Emissionsreduktion als signifikant einzustufen. • Während andere Klimaschutzmaßnahmen, die hierfür zu Verfügung stehen, mit Kosten verbunden sind, verbindet EaA Klimaschutz mit Systemkosteneffizienz. EaA senkt also Systemkosten und reduziert gleichzeitig CO₂-Emissionen. EaA weist daher keine CO₂-Vermeidungskosten auf, sondern „CO₂-Vermeidungserlöse“. • Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist daher eine Erschließung von EaA erstrebenswert und vorrangig. Energiepolitische Rahmenbedingungen sollten daher diesbezüglich ausgerichtet werden.

<p>Erschließungsszenario</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das Potential von EaA kann voraussichtlich nicht bis 2020 vollständig erschlossen werden, insbesondere da die Marktkapazitäten hierfür massiv ausgeweitet werden müssten. Geht man von einem realistisch erscheinenden Erschließungsszenario aus, kommt es in 2030 zu einer Wärmeerzeugung durch EaA von 35,9 TWh. • Dabei wird bis 2030 immerhin ein Drittel des gesamten technischen Potentials von EaA erschlossen. Hieraus ist bereits eine substanzielle Reduktion der Systemkosten von 1,4 Mrd. Euro und eine Reduktion von 3,86 Mio. t CO₂ zu erwarten.
<p>Handlungsempfehlungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • EaA ist in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ein schlafender Riese des Wärmemarktes und kann die in diesem Segment vermissten Impulse liefern. Diesem Potential ist angemessen Rechnung zu tragen. Hierfür wäre auf Bundesebene die Entwicklung einer Strategie und die Verzahnung mit anderen Strategiepapieren sinnvoll. • EaA sollte in allen relevanten ordnungsrechtlichen Rahmengesetzen (z.B. Gebäude-Energie-Gesetz) anderen CO₂-armen Technologien gleichgestellt werden, um ein level playing field zu schaffen. • Im Rahmen der Umgestaltung des Umlagensystems im Energiesektor, sollte die Strombezugskosten von EaA den tatsächlichen Kosten auf Systemebene angeglichen werden. Im Zuge der hier aktuell stattfindenden Diskussion ist EaA als Technologie mit negativen CO₂-Vermeidungskosten zu berücksichtigen. • In Publikationen von BMUB und BMWi zur Energiewende im Gebäudesektor, sollte stärker auf das Potential der EaA hingewiesen werden. Auf kommunaler Ebene ist die Kartierung der regionalen Potentiale zur Nutzung von EaA zu empfehlen. • Neben der Strategiediskussion sollte die Forschung vorangetrieben werden. Auf Grundlage neuer Veröffentlichungen zur Struktur kommunaler Abwassernetze, könnte die Potentialabschätzungen weiter präzisiert werden. Daneben wären detaillierte Untersuchungen zu indirekten Effekten von EaA im Strom- und Wärmesektor anzustellen.

2 Einleitung und Zielstellung

Deutschland hat sich weitreichende Dekarbonisierungsziele gesetzt. So ist es politisches Ziel, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2050 um mindestens 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu reduzieren (Bundesregierung, 2016). Jüngst wurden durch die Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 auch verbindliche Sektorziele für die Emissionsreduktionen festgelegt (Bundesregierung, 2016).

Während sich in Bezug auf den Strommarkt inzwischen ein recht weitreichender Konsens über die Leitlinien einer langfristigen Dekarbonisierungsstrategie herausgebildet hat, erscheinen die Strategien und Maßnahmen für die anderen Sektoren noch weniger klar. Aktuell steht unter dem Stichwort „Sektorkopplung“ die Nutzung erneuerbaren Stroms insbesondere im Wärme- und Verkehrssektor im Fokus des energiepolitischen und wirtschaftlichen Interesses. Dabei kommt der Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung eine besondere Wichtigkeit zu. Hier werden unterschiedliche Technologien und Strategien diskutiert, ein Fokus liegt auf elektrischen Wärmepumpen. Diese beziehen Wärme aus dem Erdreich oder der Luft und heben die Temperatur durch Stromeinsatz an. Dabei gilt: Je höher das Temperaturniveau der Wärmequelle, desto höher auch die Effizienz der Wärmepumpe.

Bisher noch nicht detailliert untersucht wurde dabei das Potential zur Wärme- und Kältebereitstellung von „Energie aus Abwasser“. In den Abwasserkanälen liegt das Temperaturniveau höher als in der Umgebung. Wärmepumpen (elektrisch oder auch gasbasiert) weisen eine höhere Effizienz auf. Die Überlegung liegt daher nahe, Abwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund hat die Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH die hier bestehenden Potentiale durch die enervis energy advisors GmbH untersuchen lassen. Die Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH ist Marktführer für Projektierung, Installation und Betrieb von EaA-Anlagen.

enervis ist eine unabhängige und auf energiewirtschaftliche Fragestellungen spezialisierte Beratung. Neben der Tätigkeit für Marktakteure begleitet enervis die energiewirtschaftliche Diskussion durch Projekte für Verbände, Institutionen und Unternehmen.

Die vorliegende Studie ist als Ergebnispapier konzipiert. Es wird daher der Schwerpunkt auf die Vorstellung von Projektergebnissen gelegt, die jeweilige Herleitung steht nicht im Fokus.

3 Methodik des Projektes und Fokussierung

Der Fokus des Projekts liegt auf der Ermittlung des technischen und wirtschaftlichen Potentials sowie des Klimaschutzbeitrages von EaA in der Wärmeversorgung. Zusätzliche Schätzrechnungen werden für die Bereitstellung von Klimakälte aus EaA durchgeführt.

Nachfolgende Abbildung zeigt die hierfür entwickelte Methodik. Diese Studie untergliedert sich in vier Abschnitte:

- Ausgehend vom theoretischen Potential, der insgesamt durch EaA erzeugbaren Wärmemenge, wird das technische Potential ermittelt. Dies geschieht, indem die räumliche und zeitliche Deckung zwischen theoretischem Potential und Wärmenachfrage analysiert wird. Hierauf aufbauend wird zusätzlich das Potential zur Bereitstellung von Klimakälte durch EaA und die Effekte einer zusätzlichen Abwärmeeinleitung ins Abwasser durch die Industrie abgeschätzt.
- Im Rahmen einer Kosten/Nutzen-Rechnung auf Systemebene wird bewertet, inwiefern eine Realisierung des technischen Potentials volkswirtschaftlich sinnvoll ist.
- Eng damit verbunden ist die im Anschluss analysierte Frage, welchen Klimaschutzbeitrag eine Realisierung des technischen Potentials leisten kann.
- Abschließend werden den berechneten theoretischen, technischen und volkswirtschaftlichen Potentialen Ausbaupfade der EaA gegenübergestellt.



Abbildung 1: Schaubild Methodik

Diese Studie legt den Fokus auf eine Ermittlung der Potentiale von EaA, dabei erfolgen keine detaillierten Energiesystemmodellierungen. Rückwirkungen im Energie- und insbesondere Stromsystem, werden daher basierend auf öffentlich verfügbaren Studien abgeschätzt und nicht detailliert modelliert. Weitere Untersuchungen wären daher ggf. notwendig, z.B. zu komplexen Effekten, die sich aus der Nutzung von Wärmepumpen, insbesondere im Stromsystem, ergeben können (z.B. durch Spitzenlasteffekte etc.).

Im Folgenden wird die elektrische Wärmepumpe fokussiert, jedoch ist EaA grundsätzlich energieträgeroffen, kann also sowohl von gasbasierten als auch von elektrischen Wärmepumpen erschlossen werden.

4 Technisches Potential von Energie aus Abwasser

Eine energetische Nutzung von Abwasser ist vor allem zur Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme für Haushalts- und Gewerbekunden sinnvoll. Hierbei nutzt eine an die Kanalisation angeschlossene Wärmepumpe das Abwasser als Wärmequelle. Gleichzeitig ist im Sommer, wenn keine Wärmenachfrage vorhanden ist, ein Kühlbetrieb möglich. Abwasser ist als Wärmequelle interessant, weil es ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau zu geringen Erschließungskosten zur Verfügung stellt. Das Abwasseraufkommen setzt sich aus Schmutz-, Fremd- und Regenwasser zusammen. Da das Aufkommen des Regenwassers sehr volatil ist, beschränkt sich das energetisch nutzbare Abwasseraufkommen auf Fremd- und Regenwasser.

Grundsätzlich wird im Rahmen der Studie zwischen verschiedenen Potentialbegriffen differenziert. Das theoretische Potential umfasst das gesamte aus Abwasser erzeugbare Angebot an Nutzenergie, unabhängig davon, ob diesem Angebot eine entsprechende Nachfrage gegenübersteht. Der Begriff des technischen Potentials hingegen umfasst den Teil des theoretischen Potentials, der auf Grund des Zeitpunktes und Ortes der Erzeugung auch genutzt werden kann. Die folgende Berechnung des technischen Potentials konzentriert sich auf die Jahre 2016, 2020 und 2030 und ist insgesamt als konservative Abschätzung zu betrachten. Im Falle von Unsicherheiten oder lückenhaften Ausgangsdaten wurden die entsprechenden Werte stets hin zum niedrigeren Potential abgeschätzt.

4.1 Methodik zur Ableitung des technischen Potentials

Während das theoretische Potential vergleichsweise einfach anhand der Daten zum jährlichen Abwasseraufkommen und der Jahresarbeitszahl der betreffenden Wärmepumpentechnologie berechnet werden kann, gestaltet sich die Bestimmung des technischen Potentials komplizierter. Im Rahmen der Studie wurde hierfür eine eigene Methodik entwickelt: In den ersten Schritten wird die Deckung zwischen Nachfrage und theoretischem Potential in räumlicher und im zweiten in zeitlicher Dimension bestimmt. Das Verfahren wird im Folgenden genauer beschrieben:

Im ersten Schritt wird mit Hilfe einer detaillierten Geoanalyse ermittelt, welcher Anteil des theoretischen Potentials da genutzt werden kann, wo auch eine entsprechende Wärmenachfrage vorhanden ist. Für die Warmwasser- und Raumwärmenachfrage auf Kreisebene von Haushalten und Gewerbe in den Jahren 2016, 2020 und 2030, konnte auf das im Rahmen

früherer Studien entwickelte enervis Wärmemarktmodell zurückgegriffen werden. Auf die verwendeten Daten zur Wärmenachfrage wird in Kapitel 5 näher eingegangen.¹ Innerhalb jedes Kreises wurden diese Mengen anhand öffentlich verfügbarer Geodaten auf die besiedelten Flächen verteilt.²

Ob die Wärmenachfrage der jeweiligen Fläche durch EaA abgedeckt werden kann, hängt von der Ausdehnung des bundesweiten Kanalisationsnetzes ab. Da hierfür keine Daten vorliegen, wurde auf ein detailliertes Verfahren zur Rekonstruktion des Kanalisationsnetzes zurückgegriffen. Im ersten Schritt wurde dazu analog zur Wärmenachfrage in jedem Kreis die nutzbare Abwassermenge auf die besiedelten Flächen verteilt. Diese Menge setzt sich aus kreisscharfen Angaben zum Schmutzwasser und einer pauschalen Abschätzung des Fremdwassers, als 1/3 des gesamten Abwasseraufkommens aus vorliegenden Quellen zusammen.³ Anhand von Geodaten, zur Position von Kläranlagen, wurde für jede besiedelte Fläche die nächstgelegene Kläranlage ermittelt.⁴ In einigen Fällen ergeben sich hierbei unrealistische hohe Distanzen, was wahrscheinlich darauf zurück zu führen ist, dass in diesen Fällen in den Ausgangsdaten nicht erfasste Kleinkläranlagen verwendet werden. In allen anderen Fällen dient die Verbindung zwischen Kläranlage und Siedlungsfläche als Rekonstruktion des Kanalisationsnetzes. Vorherige Studien, die sich mit der energetischen Nutzung von Abwasser beschäftigen, nennen für die energetische Nutzung einen Höchstabstand vom Kanal zwischen 100 und 300m.⁵ In dieser Studie ist ein Höchstabstand von 100m angesetzt. Damit kommen alle Flächen, die sowohl eine Wärmenachfrage aufweisen, als auch maximal 100m von einem Kanal entfernt sind, für die energetische Abwassernutzung in Frage. Jeder der Schnittflächen lässt sich individuell die Wärmenachfrage der Siedlungsfläche und das Abwasseraufkommen des jeweiligen Kanals zuordnen und die Ausdehnung der Fläche kann gemessen werden. Daraus ergibt sich jeweils die vor Ort zur Verfügung stehende und tatsächlich nutzbare EaA. Die Summe über alle Siedlungsflächen liefert das technische Potential unter Berücksichtigung räumlicher Einschränkungen. In der unteren Abbildung ist die Methodik am Beispiel Berlins und Umgebung beispielhaft dargestellt.

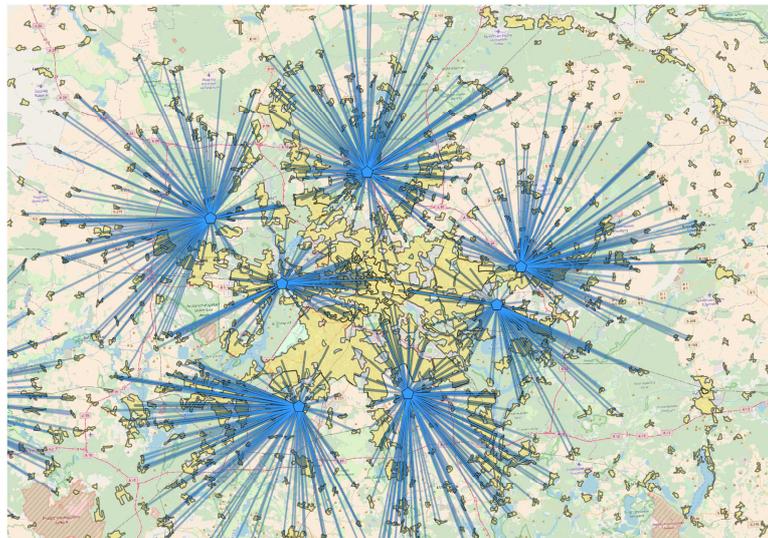
¹ enervis energy advisors GmbH (2017). Klimaschutz durch Sektorenkopplung: Optionen, Szenarien, Kosten

² Europäische Umweltagentur (2012). CORINE Land Cover. <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.

³ LUBW (2007). Fremdwasser in kommunalen Kläranlagen

⁴ Europäische Umweltagentur (2007). European Pollutant Release and Transfer Register, <http://prtr.ec.europa.eu/#/home>.

⁵ IER Stuttgart (2011). Nahwärmenetz Kanal



Legende

- ◆ Kläranlagen
- Abwasserkanäle
- Flächen mit maximal 100 m Abstand von Abwasserkanälen
- Siedlungsflächen
- Schnittflächen 100 m

Abbildung 2: Beispiel Geoanalyse für Berlin und Umgebung

Im zweiten Schritt wird geprüft, inwiefern das theoretische Potential der EaA zu den Zeitpunkten aufkommt, in denen tatsächlich eine Wärmenachfrage vorliegt. Wenn die Wärmenachfrage an einem Ort im Vergleich zur verfügbaren Abwassermenge klein ist, steht besonders im Sommer der möglichen Wärmebereitstellung aus Abwasser nur noch einer geringen Wärmenachfrage gegenüber. Um diesen Effekt abzubilden, wird das jährliche Profil der Wärmenachfrage im Gebäudesektor aufbauend auf Standardlastprofilverfahren und bundesweit gemittelten Wetterdaten von 2016 ermittelt. Dem gegenübergestellt wird ebenfalls aufbauend auf Wetterdaten von 2016 das Profil des Potentials der Wärmeherzeugung aus Abwasser.

Hierzu wurden Annahmen aus früheren Studien zur energetischen Abwassernutzung übernommen. Dies betrifft die Wärmekapazität von Abwasser und die Annahmen, dass die Abwassertemperatur 10°C nicht unterschreitet und sich entsprechend der Erdbodentemperatur entwickelt.⁵ Zusätzlich wurde eine Jahresarbeitszahl von 4,5 für die verwendeten Wärmepumpen angenommen. Dabei handelt es sich um ein in der Praxis von der Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH tatsächlich realisierten Wert. Für ein Verhältnis von Wärmenachfrage zu Abwasseraufkommen von 100 kWh/m³ sind beide normierten Profile in der unteren Grafik skizziert.

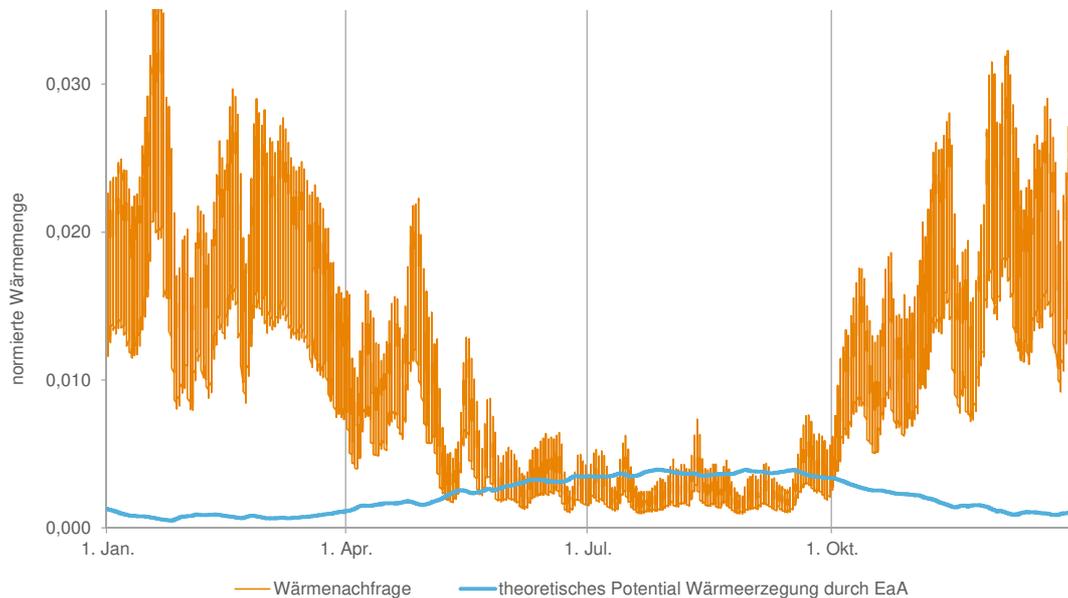


Abbildung 3: Deckung zwischen theoretischem Potential und Nachfrage

Es wird deutlich, dass in diesem Fall im Sommer das theoretische Potential in zeitlicher Hinsicht nicht vollständig technisch realisiert werden kann. Die nachfolgende Grafik stellt in Abhängigkeit des Verhältnisses von Wärmenachfrage zu Abwasseraufkommen dar, wieviel Prozent des theoretischen Potentials nutzbar sind. Im linken Teil der Kurve ist die Wärmenachfrage im Vergleich zum Abwasseraufkommen extrem klein, wodurch das theoretische Potential kaum ausgeschöpft wird. Bewegt man sich weiter nach rechts, verändert sich das Verhältnis, bis schließlich selbst im Sommer das theoretische Potential vollständig genutzt wird.

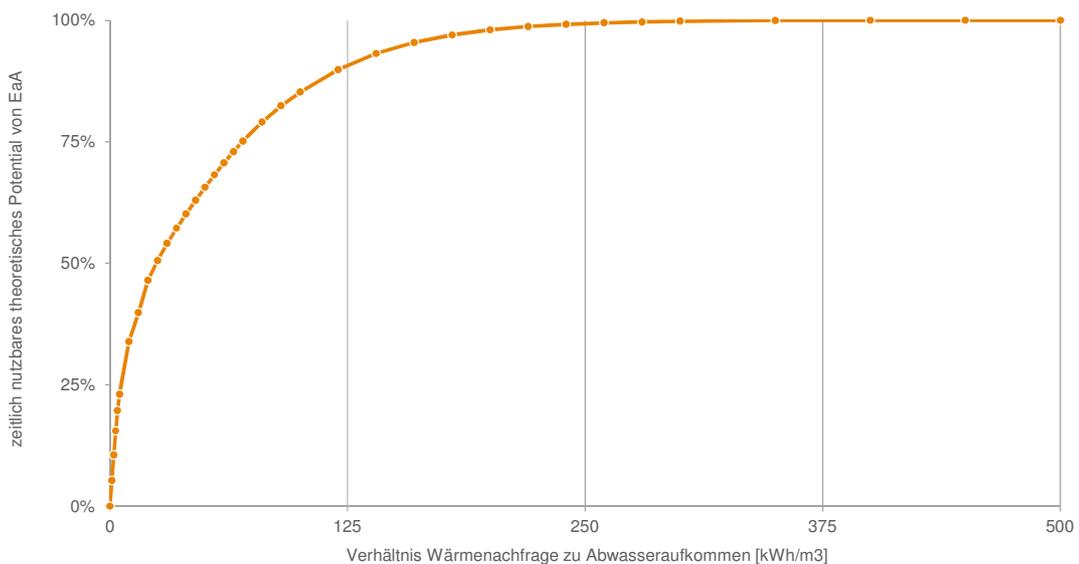


Abbildung 4: Nutzbarer Anteil in Abhängigkeit des Verhältnisses von Wärmenachfrage und Abwasserangebot

Für die im ersten Schritt ermittelten Schnittflächen kann für jede Fläche ein Verhältnis aus Wärmenachfrage und Abwasseraufkommen und davon ausgehend, der zeitlich nutzbare Anteil, bestimmt werden. Der Mittelwert des nutzbaren Anteils über alle Siedlungsflächen multipliziert mit dem zuvor ermittelten technischen Potential, unter Berücksichtigung räumlicher Einschränkungen, liefert das allgemeine technische Potential.

Zusätzlich wird das technische Potential im Falle zusätzlicher Einleitung von Abwärme aus industriellen Prozessen in das Kanalisationsnetz abgebildet, indem die Temperatur des Abwassers angehoben wird.

Darüber hinaus wird das theoretische Potential für Klimakälte durch eine angebotsseitige Abschätzung berechnet. Ausgangspunkt hierfür ist die EaA, die auf Grund mangelnder Nachfrage im Sommer nicht zur Wärmeversorgung genutzt werden kann. Dabei wird dieselbe Jahresarbeitszahl wie bei der Wärmeversorgung angesetzt, aber deren auf Grund des Anwendungsfalls geänderte Definition berücksichtigt.

4.2 Technisches Potential und zentrale Einflussfaktoren

Das gesamte theoretische Potential beläuft sich auf 156,5 TWh.

Das technische Potential liegt in 2016 bei 101,4 TWh, in 2020 bei 100,9 TWh und in 2030 bei 98,4 TWh. Der Rückgang von 2016 bis 2030 ist auf eine durch verstärkte Effizienzbemühungen rückläufige Raumwärmenachfrage zurück zu führen. Da der Warmwasserverbrauch unverändert bleibt, ändert sich das Energieangebot aus Abwasser nicht. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4,5 werden zur Deckung des Potentials ca. 22 TWh Strom benötigt. Das technische Potential entspricht in 2016 13,8 %, in 2020 14,2 % und in 2030 14,9 % der gesamten Wärmenachfrage im Gebäudebereich bzw. der Warmwasser- und Raumwärmenachfrage von Haushalten und Gewerbe.

Das technische Potential der EaA ist besonders in Ballungsräumen mit dichtem Kanalnetz und stark konzentrierter Wärmenachfrage hoch. Im Sommer, wenn die Wärmenachfrage gering ist, kann ein Teil des theoretischen Potentials nicht genutzt werden, stattdessen bietet sich in diesem Zeitraum die Nutzung der EaA zu Kühlzwecken an. Vor allem da, wo sich in dünn besiedelten Gebieten in der Nähe von Kläranlagen Abwassermengen konzentrieren, bleiben theoretische Potentiale ungenutzt.

4.3 Potentiale der Integration industrieller Abwärme

Das technische Potential der EaA kann weiter gesteigert werden, wenn Industriebetriebe einen Teil der im Rahmen ihrer Prozesse anfallenden Abwärme in die Kanalisation einleiten. Erwärmt sich das Abwasser hierdurch im Jahresdurchschnitt um 10 K, erhöht sich das technische Potential der EaA um den Faktor 1,79 auf 182,0 TWh in 2016. Dies entspricht 27% der gesamten Wärmenachfrage im Gebäudesektor. Frühere Studien zeigen, dass in der Industrie anfallende Abwärme mehr als ausreichend ist, um eine Erwärmung des Abwassers wie angenommen zu erreichen.⁶

⁶ IER Stuttgart (2011). Nahwärmenetz Kanal

4.4 Potentiale der Bereitstellung von Klimakälte

Das theoretische Potential für Klimakälte im Rahmen der energetischen Nutzung von Abwasser liegt bei ca. 14 TWh. Nicht detailliert geprüft wurde, wie sich die Nachfrage für Klimakälte entwickelt und räumlich verteilt. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Klimakälte dort benötigt wird, wo auch Wärmenachfrage entsteht. Darüber hinaus ist aufgrund der angewandten Methodik sichergestellt, dass dieses Potential im Sommer zu Zeitpunkten mit sehr geringer Wärmenachfrage anfällt.

Somit ist es in der längeren Frist nicht unrealistisch, dass ein relevanter Anteil des angebotsseitigen Potentials auch einer Nachfrage zugeführt werden kann. Eine solche Steigerung der Auslastung in einer bestehenden Erzeugungsinfrastruktur wäre darüber hinaus auch wirtschaftlich sinnvoll, da hierfür keine zusätzlichen Investitionen notwendig wären. In 2014 betrug die Nachfrage an Klimakälte 9 TWh. In Zukunft ist aber mit steigender Nachfrage zu rechnen.⁷

4.5 Zwischenfazit

- Theoretisches Potential liegt sehr hoch: 156,5 TWh.
- Schränkt man das theoretische Potential sinnvoll ein, so beläuft sich in 2016, 2020 und 2030 das technische Potential auf 101,4, 100,9 und 98,4 TWh.
- Dies stellt eine beeindruckende Größenordnung im Verhältnis zum Wärmemarkt dar. So hat EaA das Potential, ca. 14% des Wärmebedarfs im Gebäudesektor zu decken.
- Zur Deckung des technischen Potentials, müssen im Schnitt ca. 22 TWh Strom eingesetzt werden.
- In Ballungsgebieten ist das Verhältnis von Angebot und Nachfrage für EaA besonders günstig. In der Nähe von Kanälen mit hohem Abwasseraufkommen hat EaA das Potential den gesamten Wärmebedarf von Haushalten und Gewerbe abzudecken. Hier stehen kaum andere effiziente Heiztechnologien zur Verfügung, der Beitrag von EaA ist also besonders wichtig.
- EaA kann nicht nur Heizen, sondern gleichzeitig auch im Sommer Kühlen. Das gesamte theoretische Kühlpotential von EaA liegt schätzungsweise bei 14 TWh. Eine Steigerung der Auslastung in einer bestehenden Erzeugungsinfrastruktur, wäre wirtschaftlich sinnvoll.
- Darüber hinaus könnte das Gesamtpotential von EaA durch die Zuleitung von industrieller Abwärme um den Faktor 1,79 gesteigert werden, wenn angenommen wird, dass die Zuleitung die Abwassertemperatur um 10 °C erhöht.

5 Wirtschaftliches Potential von Energie aus Abwasser

Unter wirtschaftlichem Potential wird im Folgenden das Potential aus Perspektive des Energiesystems verstanden. Dies stellt eine volkswirtschaftliche Sicht dar und ist zu unterscheiden von der betriebswirtschaftlichen Perspektive („Lohnt eine Investition in EaA?“), die hier nicht geprüft wird. In einem energieökonomisch sinnvoll gestalteten energiepolitischen Rah-

⁷ AGEB (2016). Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2017.

men sollten beide Perspektiven aber in die gleiche Richtung zielen. Anders formuliert: Eine volkswirtschaftlich sinnvolle Investition sollte sich auch betriebswirtschaftlich lohnen.

Das wirtschaftliche Potential wird dabei anhand einer Kosten/Nutzen-Rechnung abgeprüft und hängt dabei zentral von drei Einflussfaktoren ab:

1. Den Kosten, die dem Energiesystem durch den Strombezug von EaA entstehen.
2. Den Vorteilen, die dem System dadurch entstehen, dass Wärme aus EaA bereitgestellt wird. Dies entspricht vermiedenen Kosten der Wärmeerzeugung durch andere Technologien, die der Wärme aus EaA gutgeschrieben werden.
3. Die Kosten, die durch die Erschließung von EaA selbst entstehen (Investitions- und Betriebskosten, exkl. Strom).

Diese drei Faktoren werden im Folgenden diskutiert, im Anschluss werden Schlussfolgerungen zum wirtschaftlichen Potential gezogen.

5.1 Entwicklungen im Strommarkt

In diesem Abschnitt wird diskutiert und definiert, welche Systemkosten- bzw. Emissionseffekte mit dem Strombezug von EaA einhergehen.

Relevant sind dabei die Kosten und Emissionen, die aus der Erzeugung des zusätzlichen Stromverbrauchs von EaA resultieren, sowie ggf. ausgelöste Effekte durch Ausbau und Erächtigung des Übertragungs- und Verteilnetzes.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung des mittleren Systemkostenfaktors und spezifischen Emissionsfaktors des Strombezugs aus einer aktuellen Studie für das Bundeswirtschaftsministerium.⁸ Es handelt sich dabei um die aktuellste durch öffentliche Mittel finanzierte Studie zur Langfristentwicklung des Energiesystems.

Ausgewählt wurde dabei das so genannte Basisszenario, welches eine an Kosteneffizienz orientierte Erreichung der deutschen Klimaschutzziele abbildet. Das Basisszenario ist das zentrale Zielszenario dieser Studie. Es untersucht eine Welt, in der die energie- und klimapolitischen Ziele zu möglichst geringen Kosten erreicht werden.

Dies stellt erst einmal eine konservative Betrachtung dar, die davon ausgeht, dass der Stromverbrauch von EaA solche Kosten und Emissionen verursacht, wie der durchschnittliche Stromverbrauch in Deutschland. Der Systemkostenfaktor beinhaltet dabei die Kosten der Stromerzeugung sowie des Netzes.

Erkennbar sinkt im Kontext der deutschen Klimaschutzanstrengungen die mittlere CO₂-Intensität ab, insbesondere durch den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung sowie einen Rückgang der Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken.

Die spezifischen Systemkosten sind ausgehend von 2013 gestiegen, bleiben aber zwischen 2020 und 2030 weitgehend stabil. Dies ist insbesondere auf Effekte durch Netzausbau und -betrieb zurückzuführen.

⁸ Fraunhofer ISE et al für das BMWi (2017). Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

Basierend auf diesen Daten kann somit effektiv ermittelt werden, welche Systemkosten der Strombezug von EaA verursacht. Dem gegenüber stehen die Einsparungen im Wärmemarkt, die im Folgenden Abschnitt thematisiert werden.

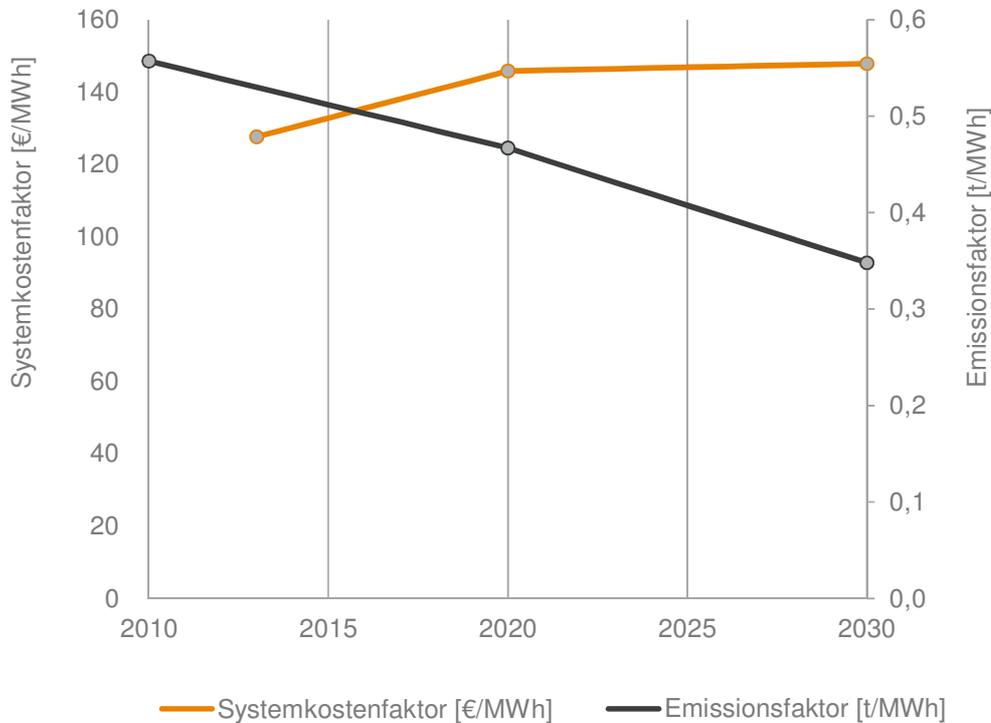


Abbildung 5: Entwicklung von Systemkostenfaktor und spezifischem Emissionsfaktor des Strombezugs⁹

5.2 Entwicklungen im Wärmemarkt

In diesem Abschnitt wird diskutiert und definiert, welches Technologieportfolio an Wärmeerzeugern durch EaA verdrängt wird und welche Systemkosteneinsparungen bzw. Emissionsvermeidung damit einhergeht.

Hierbei kann enervis auf aktuelle Modellierungen aus einer Langfriststudie zum Strom- und Wärmemarkt zurückgreifen.¹⁰

Das enervis-Wärmemarktmodell beschreibt den Wärme- und Endenergiebedarf sowie die CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung in Deutschland und ermöglicht Szenarioanalysen bis 2050. Dies geschieht in einer Mischung aus technoökonomischen Bottom-up-Modellen und, wo sinnvoll, robuster Top-down-Modellierung. Das Wärmemarktmodell bildet im Haushalts- und GHD-Segment die Wärmesenken im Gebäudebestand basierend auf einer Typisierung und Gebäudealtersklassen ab. Dabei erfolgt eine Zuordnung von Wärmebedarf, Alter und Erzeugungstechnologie der Wärmesenken zu den einzelnen Typen. Für die Erfassung des Bestandes kommen etablierte Datenquellen zum Wärmemarkt zur Anwendung.

⁹ Zwischen Datenpunkten wurde interpoliert

¹⁰ enervis (2017). Klimaschutz durch Sektorenkopplung: Optionen, Szenarien, Kosten

Es werden jährliche Sanierungsquoten für verschiedene Alterscluster exogen vorgegeben und sanierte Gebäude mit einem entsprechend reduzierten Wärmebedarf versehen. Daneben werden Bestandsabgänge und Neubauten abgebildet. Weiterhin werden Heizungstechnologien im Bestand ersetzt und im Neubau verwandt. Hier kommt eine Auswahl an Wärmeerzeugungstechnologien unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zur Anwendung. Dabei können politische Vorgaben (z.B. in Bezug auf Effizienzbenchmarks als auch für EE-Wärme, EnEV, EEWärmeG etc.) oder auch Förderzahlungen (MAP) berücksichtigt werden.

Über alle Segmente hinweg kann somit eine sukzessive Entwicklung des Gebäude-, Produktions- und Erzeugungsbestandes analysiert werden. Daraus ergeben sich wiederum der Energiebedarf nach Brennstoffen und die Emissionen sowie wirtschaftliche Kenngrößen für die Effizienz der Wärmeversorgung insgesamt.

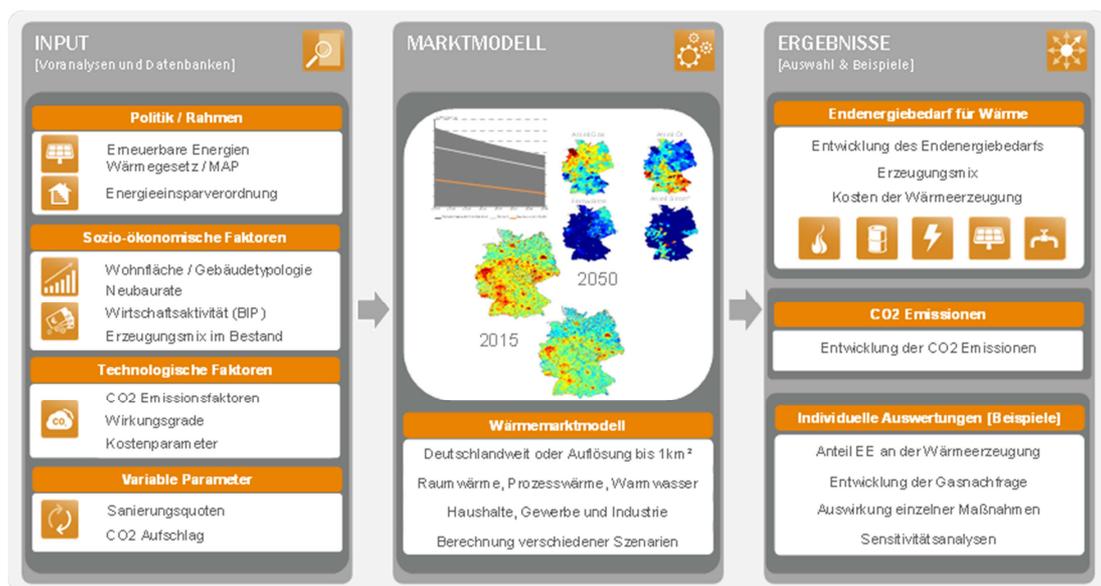


Abbildung 6: Übersicht enervis-Wärmemarktmodell

Für die Zwecke dieser Studie wurde ein ambitioniertes Szenario mit einem Rückgang des Wärmebedarfes von 25% bis 2050 gegenüber 2016 gewählt. Größten Anteil an dem Rückgang haben die Segmente Haushalte und GHD mit jeweils ca. 30%. Dies ergibt sich zum größten Teil aus der Annahme einer Effizienzsteigerung im Gebäudesektor. Im Gebäudebestand wird dabei eine ambitionierte Sanierungsrate von über 1 % p.a. angenommen. Neubauten entsprechen den jeweils zutreffenden Effizienzstandards.

In nachfolgender Abbildung ist die Entwicklung des Nettowärmebedarfes dargestellt, wie sie sich aus dem enervis-Wärmemarktmodell ergibt.

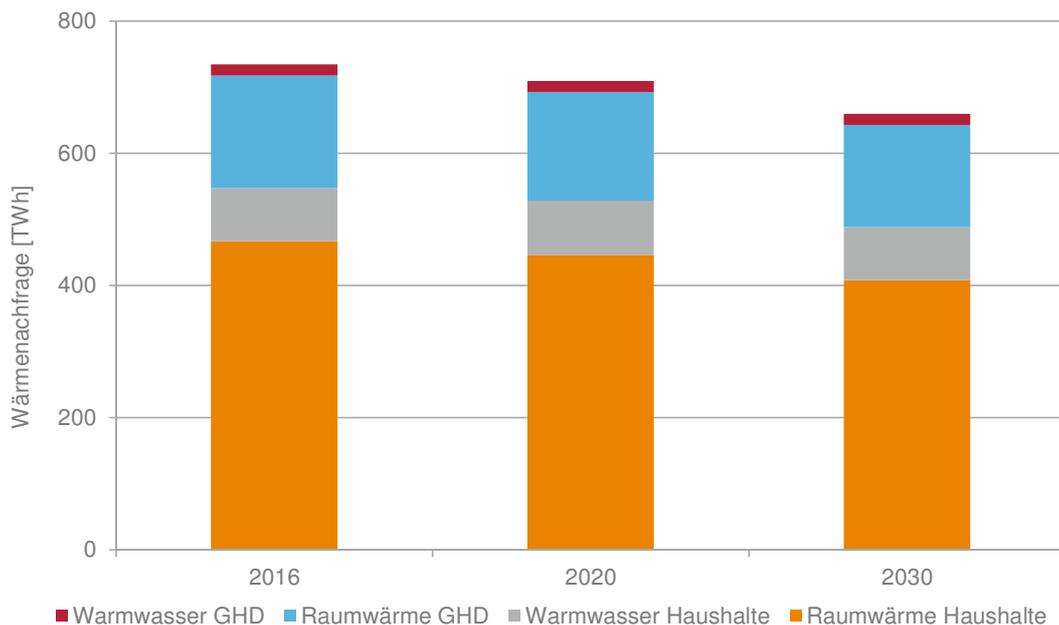


Abbildung 7: Zusammensetzung der Wärmenachfrage im Gebäudebereich

Nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung des mittleren Systemkostenfaktors und des spezifischen Emissionsfaktors der Wärmeerzeugung, wie in dieser Untersuchung angenommen. Hierbei wurde angenommen, dass EaA einen Wärmemix verdrängt, der primär aus gasbasierten Heizsystemen besteht. In den Modellierungen wurde ausgeschlossen, dass Fernwärme oder strombasierte Wärmeerzeugung verdrängt wird. Berücksichtigt sind hier insbesondere vermiedene Investitions- und Betriebskosten sowie Brennstoffkosten. Die staatlich bedingten Gaspreisbestandteile (insbesondere Energiesteuer und Konzessionsabgaben) wurden bereinigt, Gasnetzkosten wurden approximativ mit berücksichtigt.

Erkennbar steigt der Systemwert der Wärme an, insbesondere aufgrund steigender Erdgaspreise, während die spezifischen Emissionen der Wärmeerzeugung langsam zurückgehen.

Die Brennstoff- und CO₂-Preise richten sich zwischen 2030 und 2040 nach den aktuellen Prognosen des New Policy Szenarios des World Energy Outlooks 2016. Bis 2030 erfolgt eine Überführung vom aktuellen Marktpreisniveau. Beim World Energy Outlook handelt es sich um eine breit am Markt und bei Investoren etablierte Energiemarktstudie und, insgesamt, um den Branchenstandard.

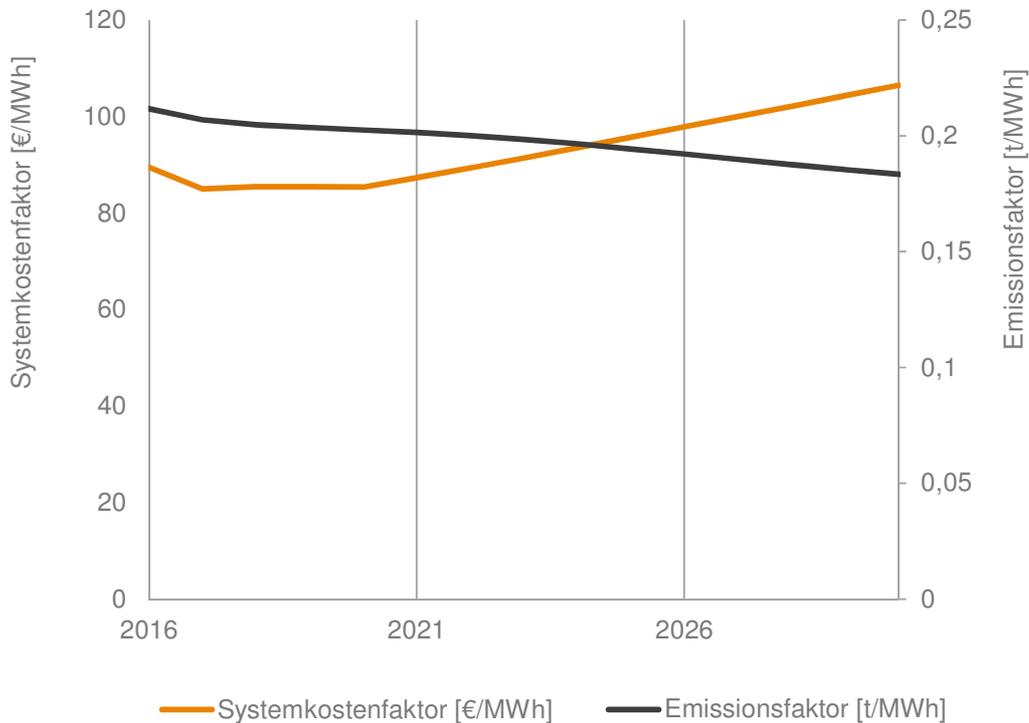


Abbildung 8: Entwicklung von Systemkostenfaktor und spezifischem Emissionsfaktor der Wärmeerzeugung

5.3 Erschließungskosten von Energie aus Abwasser

Zusätzlich zu den Systemkosteneffekten des Strombezugs und den Kostenreduktionen durch Wärmebereitstellung, sind die Kosten der EaA-Anlagen sowie der damit einhergehenden Erschließung zu berücksichtigen.

Hierbei wurden, basierend auf Daten der Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH, die aus der Auswertung der bislang installierten EaA-Anlagen stammen, praxisnahe Annahmen zusammengestellt. Somit kann diese Studie auf bestätigte und durch die Projekterfahrungen erhärtete Kostenannahmen zurückgreifen.

Nachfolgende Abbildung zeigt die abgeleitete Entwicklung der spezifischen Systemkosten in Bezug auf die bereitgestellte Wärme. Hier gehen die Kosten der Wärmepumpe, des Wärmetauschers, der Erschließung sowie die damit verbundenen Betriebskosten ein.

Die Kosten des Strombezugs sind exkludiert, da diese an anderer Stelle separat berücksichtigt werden. In Bezug auf die zeitliche Entwicklung wird ein leichter Rückgang der Kosten angenommen. Für die zeitliche Entwicklung wurde dabei auf Annahmen aus öffentlichen Studien zurückgegriffen.¹¹

¹¹ DRL et al (2011): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.

Vergleichend gegenübergestellt ist auch die zeitliche Entwicklung der Anlagen Effizienz (COP = Coefficient of Performance). Auch hier wurde auf den heutigen und im Betrieb bestätigten Daten aufgesetzt, die der Entwicklung nach an eine öffentliche Studie angelegt wurden.¹²

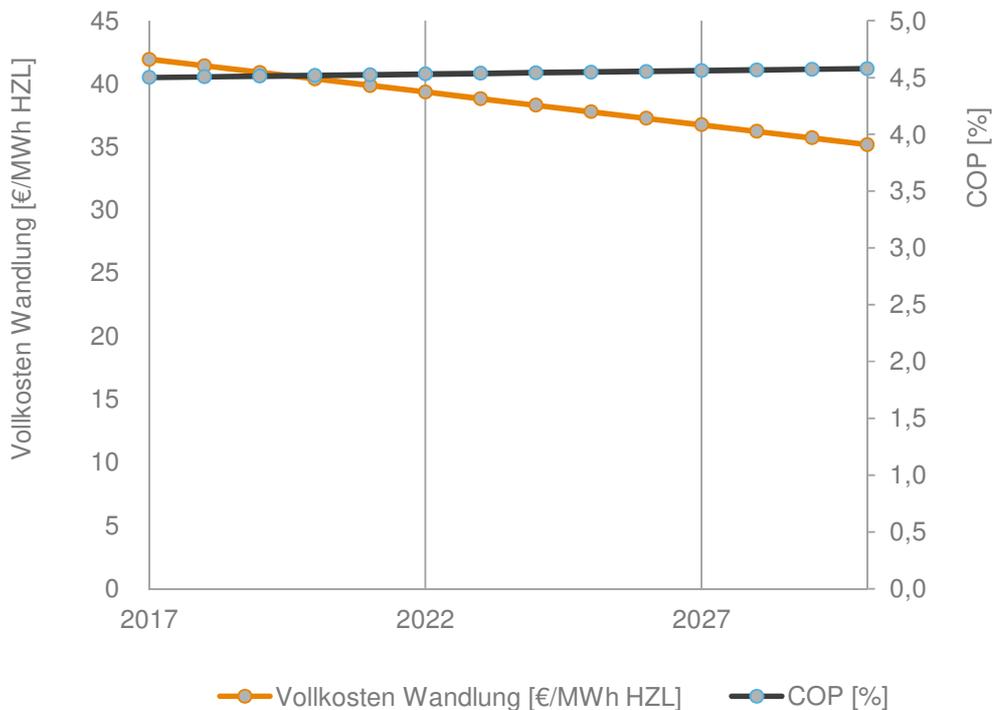


Abbildung 9: Vollkosten der Wärmewandlung (exkl. Strominput) und Effizienz von Energie aus Abwasser (bezogen auf eine MWh Wärmelieferung)

5.4 Spezifische Systemkostenreduktion

Verrechnet man die stromseitig entstehenden Kosten mit den wärmeseitigen Einsparungen sowie den Kosten für Investition in bzw. Betrieb von EaA, so ergibt sich ein spezifischer Systemkosteneffekt, der eine zentrale Maßgröße für die spezifische Vorteilhaftigkeit von EaA darstellt.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der spezifischen Systemkostenreduktion bezogen auf eine MWh Wärmeerzeugung (schwarze Linie). Erkennbar ist der spezifische Systemkosteneffekt positiv. Es werden also durch jede MWh, die mit EaA erzeugt wird, Systemkosten eingespart.

Der Trend ist dabei leicht positiv, da die Kosten der Erschließung von EaA leicht zurückgehen (orange Linie) und die Wärme, die aus EaA bereitgestellt wird darüber hinaus den leichten Anstieg der Systemkosten des Strombezugs überkompensiert (graue Linie).

¹² DRL et al (2011): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.

Festzuhalten ist also, dass eine Erschließung von EaA aus Systemsicht positiv ist. EaA leistet einen Beitrag zur Senkung der Systemkosten. Politisch beeinflussbare Rahmenbedingungen für EaA sind also so zu gestalten, dass eine Nutzung von EaA ermöglicht wird, mindestens aber so, dass EaA keinem einseitigen Wettbewerbsnachteil gegenüber anderen Wärmeerzeugungstechnologien ausgesetzt ist.

Es schließt sich die Frage an, ob die hier ermittelten Werte hoch oder eher niedrig sind. Bewertet man den Systemkostenvorteil relativ zu den Vollkosten (Stromkosten und Vollkosten EaA), so liegt der Systemkostenvorteil bei anfänglich 17 % und steigt dann stetig auf bis zu 55 % in 2030. Insgesamt sind die Vorteile aus Systemsicht somit also erheblich in Bezug auf die Kosten („Systemmarge“). Eine Nutzung von EaA führt also zu spezifisch hochrelevanten Systemkosteneinsparungen.

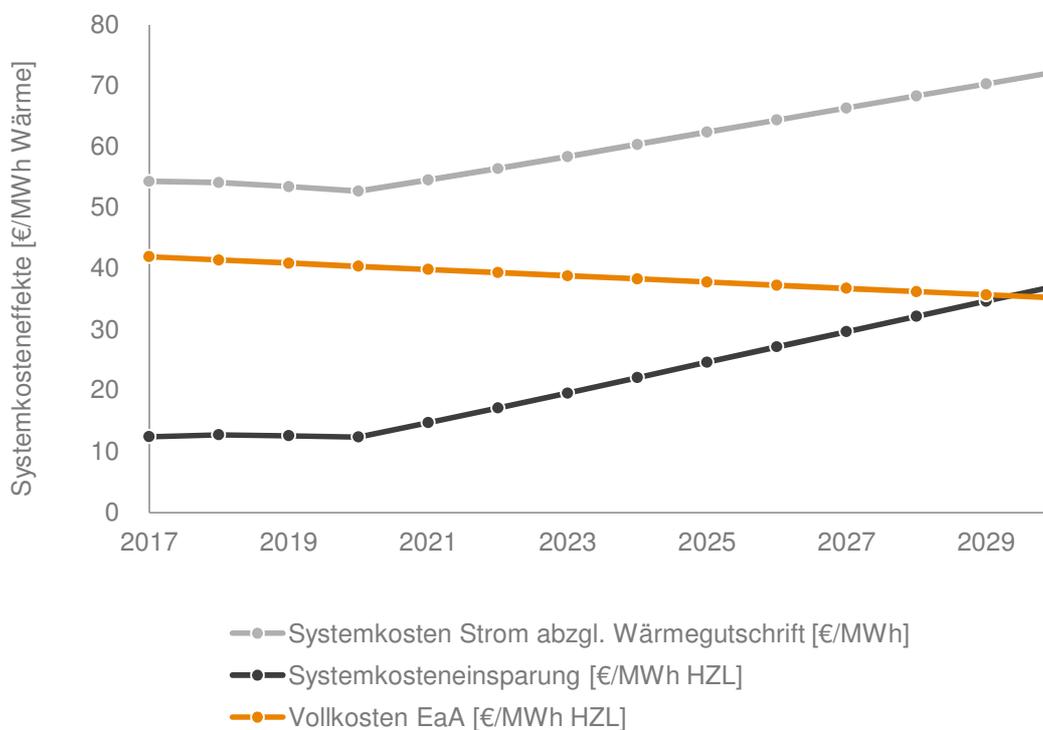


Abbildung 10: Spezifische Systemkostenreduktion in €/MWh (Wärmelieferung)

5.5 Wirtschaftliches Potential von Energie aus Abwasser

Bewertet man das abgeleitete technische Potential (Abschnitt 4) mit dem zuvor ausgewiesenen Systemkostenvorteil, so ergibt sich eine Abschätzung des absoluten wirtschaftlichen Potentials für EaA.

Hier ergibt sich das folgende Bild:

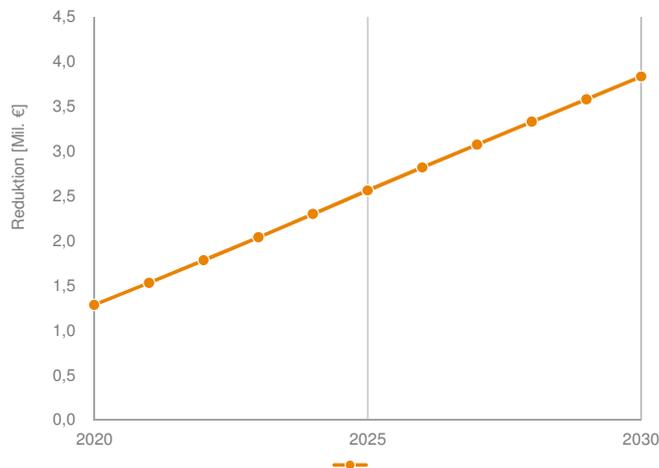


Abbildung 11: Entwicklung des Potentials zur Kostensenkung durch EaA

Das Potential zur Senkung der Systemkosten durch EaA liegt bei rund 1,27 Mrd. Euro in 2020 und somit in einer äußerst relevanten Größenordnung.¹³ Dies repräsentiert das Potential zur Systemkostensenkung, wenn das gesamte technische Potential erschlossen werden könnte.

Voraussichtlich wird nicht das ganze volkswirtschaftliche Potential auch gehoben werden können. Für eine Abschätzung einer realistischen Größenordnung siehe Abschnitt 7.

5.6 Zwischenfazit

- Die Kosten/Nutzen-Bilanz von EaA ist deutlich positiv: EaA leistet einen signifikanten Beitrag zur Senkung der Systemkosten. Die Kosten für EaA (Strom und Erschließung) liegen deutlich unterhalb der Einsparungen durch die von EaA bereitgestellte Wärme.
- Die Vorteile sind aus Systemsicht erheblich: Eine Nutzung von EaA führt zu spezifisch hochrelevanten Systemkosteneinsparungen. Jede MWh aus EaA hat eine positive Systemmarge.
- Der Trend ist positiv: Die bereits heute festzustellende Vorteilhaftigkeit entwickelt sich weiter positiv unter dem Vorzeichen der Energiewende, EaA profitiert hier nicht nur von sinkenden Kosten und steigenden Effizienzen, sondern insbesondere davon, dass die Wertigkeit der Wärmebereitstellung weiter zunimmt.
- Wenn das technische Potential von EaA weitgehend erschlossen wird, so können hiermit erhebliche wirtschaftliche Vorteile gehoben werden. Hier liegt ein unerschlossenes wirtschaftliches Potential von 1,27 Mrd. Euro in 2020 brach.

¹³ Hier wurde eine Aktualisierung gegenüber der ursprünglichen Fassung vorgenommen, in der durch eine Kommaverschiebung versehentlich eine höhere Zahl ausgewiesen wurde. Siehe Hinweis im Impressum.

- EaA leistet also einen Beitrag zur Senkung der Systemkosten. Politisch beeinflussbare Rahmenbedingungen für EaA sind so zu gestalten, dass eine Nutzung von EaA ermöglicht wird, mindestens aber so, dass EaA keinem einseitigen Wettbewerbsnachteil gegenüber anderen Wärmeerzeugungstechnologien ausgesetzt ist.
- Die vorbenannten Effekte fallen noch deutlich größer aus, wenn auch Klimakälte aus EaA bereitgestellt wird. Der Kältemarkt wird bislang selten betrachtet, spielt aber im Gebäudebereich eine wachsende Rolle. EaA kann diesen Markt mit großem Potential bedienen.
- Gleiches gilt für die Nutzung und Einspeisung industrieller Abwärme in das Kanalnetz. Das bereits bestehende Potential der EaA könnte so um den Faktor 1,79 erhöht werden.

6 Beitrag von Energie aus Abwasser zum Klimaschutz

In diesem Kapitel werden die mit dem Ausbau von EaA verbundenen Klimaschutzeffekte analysiert.

6.1 Spezifische CO₂-Einsparung

Für eine erste Einschätzung der Klimaschutzwirkung wird in diesem Abschnitt die spezifische Emissionsreduktion betrachtet, die mit der Erzeugung einer Wärmeeinheit (MWh) aus EaA verbunden ist.

Die nachfolgende Abbildung illustriert die Ergebnisse dieser Berechnungen. Die CO₂-Emissionen des Strombezugs von EaA¹⁴ (orange Linie) liegen vom Niveau her deutlich unterhalb der CO₂-Emissionen der Wärmeerzeugung, die durch EaA verdrängt wird (graue Linie). EaA reduziert also mehr Emissionen als durch EaA verursacht werden und es kommt in Summe zu einer CO₂-Reduktion (blaue Linie).

Sowohl die Emissionen der Strom- als auch der Wärmeerzeugung gehen in einem immer stärker von EE dominierten System zurück, insgesamt überwiegt jedoch der Rückgang der Emissionen des Stromsektors, so dass die Emissionseinsparung durch EaA über den Betrachtungszeitraum weiter steigt.

Festhalten lässt sich, dass jede Megawattstunde Wärme aus EaA in einem relevanten Umfang CO₂-Emissionen einspart und dieser Effekt weiter zunimmt. Der Reduktionseffekt liegt pro Megawattstunde etwa bei 100 Kilogramm CO₂. Damit werden mit jeder Megawattstunde Wärme aus EaA Emissionen im Äquivalent von etwa einer halben Megawattstunde Erdgas eingespart.

¹⁴ Hier umgelegt auf die Wärmeerzeugung der EaA, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

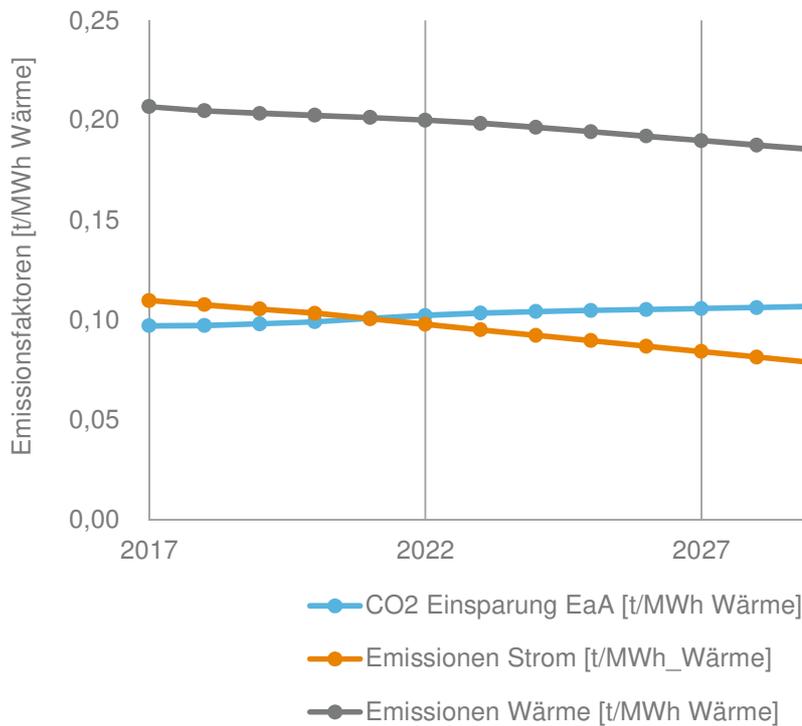


Abbildung 12: Spezifische CO₂-Effekte

6.2 Absolute Reduktion der CO₂-Emissionen

Bewertet man das abgeleitete technische Potential (Abschnitt 4) mit den zuvor ausgewiesenen spezifischen CO₂-Einsparungen, so ergibt sich eine Abschätzung des durch EaA möglichen Klimaschutzbeitrages.

Nachfolgende Abbildung zeigt die zeitliche Entwicklung des Klimaschutzpotentials durch EaA.

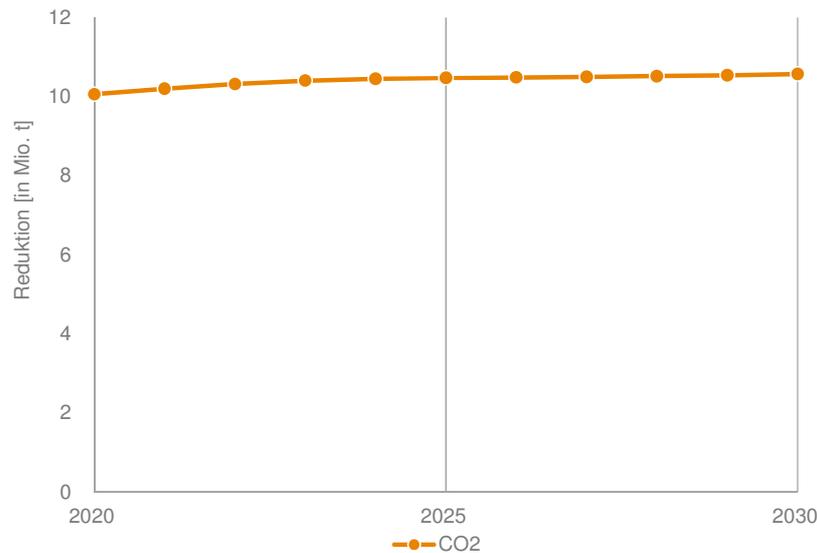


Abbildung 13: Entwicklung des Potentials zur CO₂-Reduktion durch EaA

EaA kann somit einen erheblichen Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmemarktes leisten. Wird das Potential von EaA vollständig gehoben, so liegt dieser Beitrag in den Jahren 2020 und 2030 bei 9,9 und 10,7 Mio. t. CO₂.¹⁵

Die vorgenannten Werte repräsentieren das Potential zur Emissionsenkung, wenn das gesamte technische Potential erschlossen werden könnte. Voraussichtlich wird jedoch nicht das ganze Potential auch gehoben werden können. Für eine Abschätzung einer realistischen Größenordnung siehe Abschnitt 7.

6.3 CO₂-Vermeidungskosten

Zur energie- und umweltökonomischen Bewertung von Strategien und Maßnahmen zum Klimaschutz hat sich die Kennzahl der CO₂-Vermeidungskosten etabliert. Hierbei werden die Kosten einer Klimaschutzmaßnahme in Relation zu den erreichten Emissionseinsparungen gesetzt.

So weist beispielsweise die verstärkte Nutzung von Erdgas in der Verstromung CO₂-Vermeidungskosten in einer Größenordnung von 30 €/t auf und Sektorkopplungstechnologien können CO₂-Vermeidungskosten in der Größenordnung von einigen 100 €/t aufweisen.¹⁶

In Bezug auf EaA liegt jedoch eine Technologie vor, bei der Klimaschutz- und Systemkosteneffizienz richtungsgleich wirken. EaA senkt also Systemkosten und reduziert gleichzeitig CO₂-Emissionen. Vor diesem Hintergrund weist EaA auch keine CO₂-Vermeidungskosten im

¹⁵ Hier wurde eine Aktualisierung gegenüber der ursprünglichen Fassung vorgenommen, in der durch eine Kommaverschiebung versehentlich eine höhere Zahl ausgewiesen wurde. Siehe Hinweis im Impressum.

¹⁶ enervis 2017: Klimaschutz durch Sektorkopplung

klassischen Sinne auf bzw. negative CO₂-Vermeidungskosten die im Folgenden als „CO₂-Vermeidungserlöse“ bezeichnet werden.

Folgende Abbildung zeigt diese „CO₂-Vermeidungserlöse“ in der zeitlichen Entwicklung. Die CO₂-Vermeidungserlöse sind bereits am aktuellen Rand positiv und steigen weiter an. Der Anstieg erklärt sich dabei durch den im Zeitverlauf ansteigenden Systemkostenvorteil (siehe Abschnitt 5.4) in Kombination mit dem ansteigenden Klimaschutzeffekt (siehe Abschnitt 6.1). Insgesamt steigen die CO₂-Vermeidungserlöse daher von 128 auf 362 €/t an.

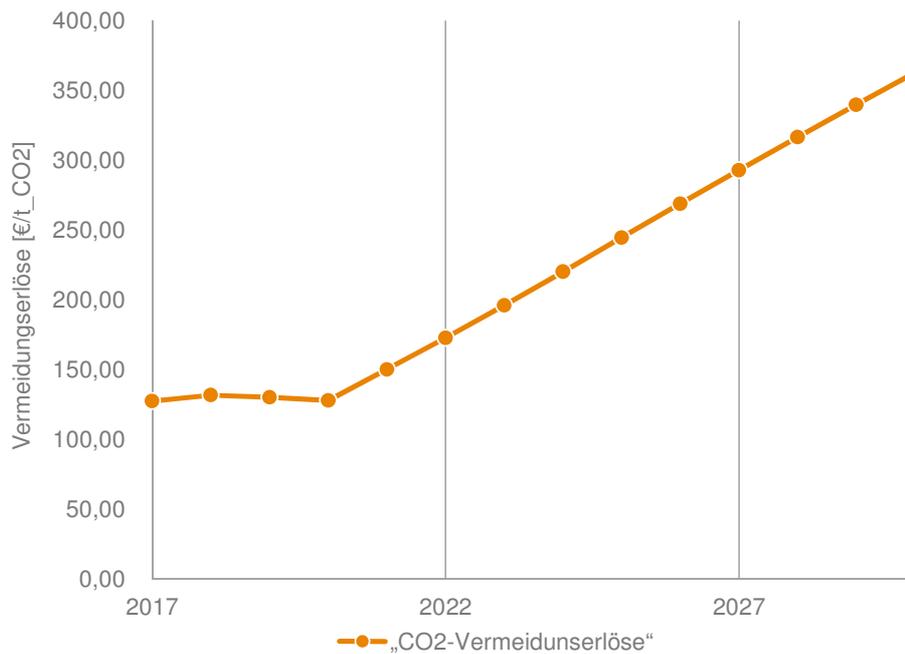


Abbildung 14: „CO₂-Vermeidungserlöse“ im Zeitverlauf

Während andere Klimaschutzmaßnahmen mit Kosten verbunden sind, verbindet EaA Klimaschutz mit Systemkosteneffizienz. Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist daher eine Erschließung von EaA erstrebenswert und vorrangig. Energiepolitische Rahmenbedingungen sollten daher diesbezüglich ausgerichtet werden.

6.4 Zwischenfazit

- Jede Megawattstunde Wärme aus EaA spart in einem relevanten Umfang CO₂-Emissionen ein. Der Reduktionseffekt liegt pro Megawattstunde bei etwa 100 Kilogramm CO₂. Damit werden mit jeder Megawattstunde Wärme aus EaA Emissionen im Äquivalent von etwa einer halben Megawattstunde Erdgas eingespart.
- Das Potential zur Senkung der CO₂-Emissionen durch EaA liegt bei rund 9,9 Mio. t im Jahr 2020 und 10,7 Mio. t im Jahr 2030. Geht man davon aus, dass die deutsche Klimaschutzlücke im Jahr 2020 bei rund 120 Mio. t liegt, so ist das Potential zur Emissionsreduktion als signifikant einzustufen.
- Während andere Klimaschutzmaßnahmen, die hierfür zu Verfügung stehen, mit Kosten verbunden sind, verbindet EaA Klimaschutz mit Systemkosteneffizienz. EaA

senkt also Systemkosten und reduziert gleichzeitig CO₂-Emissionen. EaA weist daher keine CO₂-Vermeidungskosten auf, sondern „CO₂-Vermeidungserlöse“.

- Aus energiewirtschaftlicher Sicht ist daher eine Erschließung von EaA erstrebenswert und vorrangig. Energiepolitische Rahmenbedingungen sollten daher diesbezüglich ausgerichtet werden.

7 Erschließungsszenario

Die vorgenannten Werte repräsentieren das Potential zur Emissionssenkung, wenn das gesamte technische Potential erschlossen werden kann. Kurz- bis mittelfristig wird ein vollständiges Erschließen des technischen Potentials jedoch nicht möglich sein. Dies gilt insbesondere aufgrund von Kapazitätsbeschränkungen in der Produktion, Projektierung und Installation. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Kapitel eine Einschätzung des möglichen Ausbaupfades von EaA vorgenommen.

7.1 Mögliche Erschließungsgeschwindigkeit

Das Erschließungsszenario baut auf Schätzungen der aktuell installierten Heizleistung und der jährlich möglichen Ausbaumenge auf.

Zentral ist dabei die Fragestellung, in welcher Geschwindigkeit sich die Produktions- und Umsetzungskapazität des Marktes erhöhen lässt. Hier wird aufsetzend auf der heutigen Kapazität angenommen, dass sich die Kapazität in den ersten Jahren verdoppeln lässt (jeweils gegenüber dem Vorjahr). Danach sinkt die Steigerungsrate leicht ab und konvergiert in 2020 auf eine jährliche Steigerung von 20 %, wie man sie von Technologien wie Biogas, Windkraft und Photovoltaik kennt.

In Verbindung mit einer Volllaststundenzahl von 2000 h, die von der Helmut UHRIG Straßen- und Tiefbau GmbH stammt und in der Praxis realisierten Werten entspricht, kann die jährliche Wärmeerzeugung durch EaA im Rahmen des Erschließungsszenarios berechnet werden. Es ergibt sich eine Steigerung der Wärmeerzeugung durch EaA auf 0,8 TWh in 2020 und 35,9 TWh in 2030, wie in der unteren Abbildung dargestellt.

Dies stellt naturgemäß nur eine erste Abschätzung dar, zeigt aber bereits, relativ zum Wärmemarkt, ein beeindruckendes Potential von 5,5 % in 2030. Unter anderem setzt ein solches Szenario eine geeignete energiepolitische Rahmensezung voraus, die einen solchen Ausbau dann ermöglichen würde.

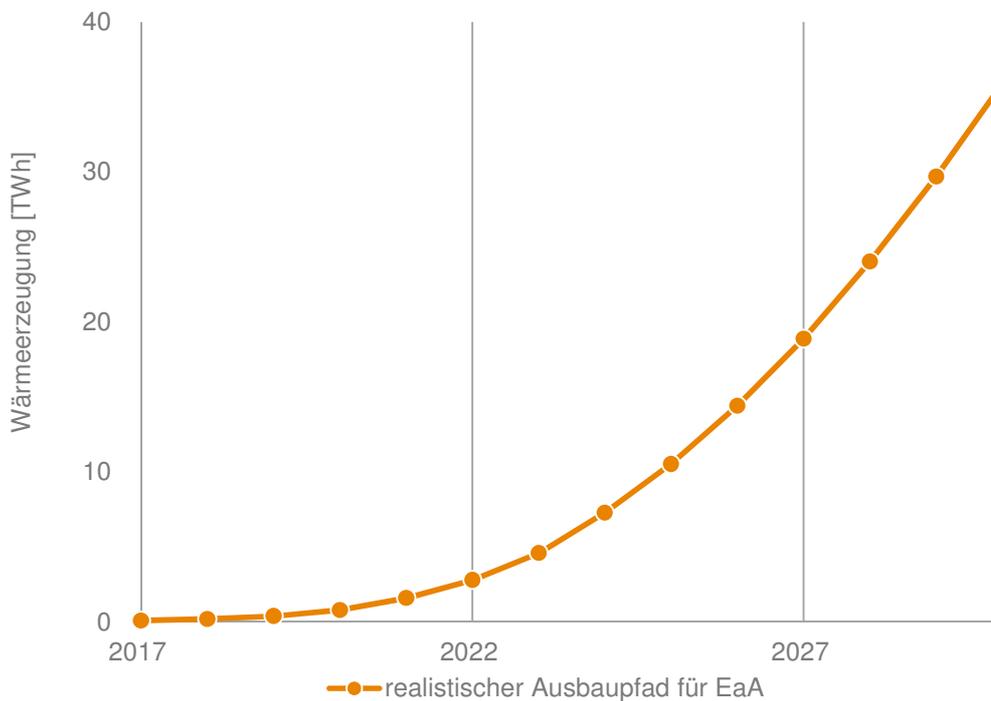


Abbildung 15: erschließbares Potential zur Wärmeerzeugung

7.2 Systemkostenreduktion

Das oben beschriebene Erschließungsszenario führt zu einer Reduktion der Systemkosten um rd. 1,4 Mrd. Euro in 2030. Der starke Anstieg der Systemkostensparnis spiegelt vor allem den exponentiellen Verlauf der Ausbaukurve wieder. Die Zunahme der spezifischen Einsparung von Systemkosten je Wärmeerzeugung spielt eine untergeordnete Rolle.

7.3 CO₂-Einsparung

Im Erschließungsszenario führt der Ausbau der EaA in 2030 zu einer Reduktion von 3,86 Mio. t CO₂. Zum Vergleich: Das Ziel im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung liegt bei 47-49 Mio. t CO₂ im Gebäudebereich bis 2030.

Dies macht deutlich, welche relevanten Beiträge EaA zu den deutschen Klimazielen leisten kann. Voraussetzung dafür ist, dass entsprechende politische Rahmenbedingungen gesetzt werden.

7.4 Zwischenfazit

- Eine kurzfristige Erschließung des ermittelten technischen und wirtschaftlichen Potentials ist nicht wahrscheinlich. In einem realistischen Erschließungspfad kommt es in 2030 im Erschließungsszenario zu einer Wärmeerzeugung durch EaA von 35,9 TWh. Unter anderem setzt ein solches Szenario eine geeignete energiepolitische Rahmensetzung voraus, die einen solchen Ausbau ermöglichen würde.

- Obwohl bis 2030 nur ein Drittel des gesamten technischen Potentials von EaA erschlossen werden kann, ist hierdurch eine substantielle Reduktion der Systemkosten von 1,4 Mrd. Euro und eine Reduktion von 3,86 Mio. t CO₂ zu erwarten.

8 Fazit & Handlungsempfehlungen

In diesem Abschnitt wird das Gesamt-Potential von EaA zusammenfassend beschrieben, im Anschluss werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Die verschiedenen Potentiale sind für 2030 in der folgenden Grafik dargestellt.

- Das theoretische Potential der Energie aus Abwasser beläuft sich auf 156,5 TWh. Dies entspricht der maximal erzeugbaren Wärmemenge durch Wärmepumpen, die Abwasser als Wärmequelle nutzen. Davon können rund 100 TWh sinnvoll technisch genutzt werden, was ca. 14 % Wärmenachfrage im Gebäudesektor entspricht.
- Bei zusätzlicher Abwärmenutzung aus der Industrie kann dieser Anteil auf 27 % gesteigert werden. Neben der energetischen Nutzung zur Wärmebereitstellung besteht auch großes Potential im Bereich der Erzeugung von Klimakälte.
- Die Erschließung des Potentials ist auch volkswirtschaftlich sinnvoll und führt zudem zu beträchtlichen CO₂-Einsparungen. Daher entspricht das wirtschaftliche Potential hier dem technischen Potential.
- Im Rahmen eines Erschließungsszenarios kann kurz- und mittelfristig ein Teil des wirtschaftlichen Potentials erschlossen werden. In 2030 wären dies 36 TWh oder etwa 5,5% der Wärmenachfrage im Gebäudesektor.

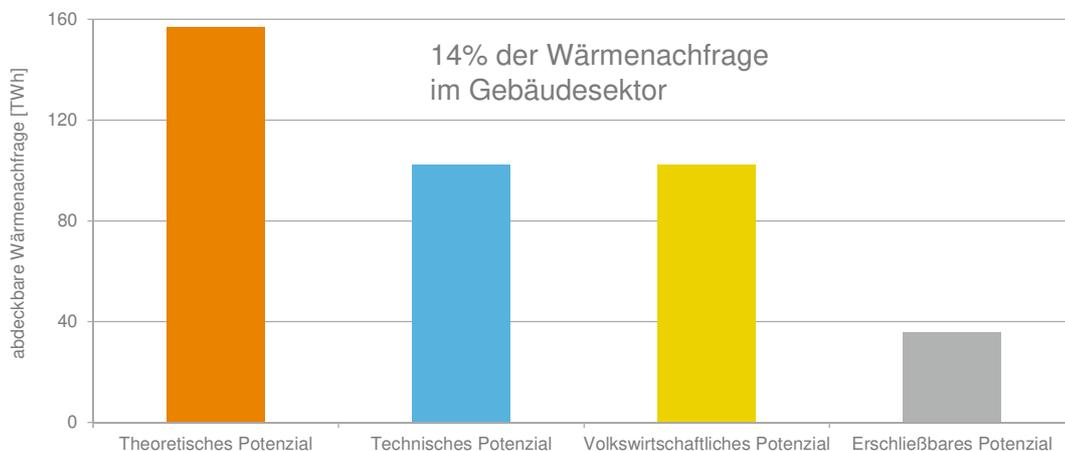


Abbildung 16: Überblick Potentialmengen 2030

Dieses beeindruckende Potential in Verbindung mit den Kostenvorteilen und der möglichen CO₂-Einsparung wirft die Frage auf, warum die Potentiale der EaA nicht schneller gehoben werden.

Hierfür lassen sich drei Gründe identifizieren:

1. EaA ist ordnungsrechtlich anderen Formen der CO₂-armen Wärmeerzeugung nicht gleichgestellt. Dies führt zu ungleichen Wettbewerbsbedingungen und verhindert ei-

nen fairen Wettbewerb der Lösungen und führt nicht dazu, dass sich EaA auf Grund seiner ökonomischen und ökologischen Vorteile noch schneller durchsetzt.

2. Die Endkundenstrompreise im Energiesektor reflektieren nicht, wie hier angenommen, die real verursachten Systemkosten im Energiesektor. Während der Verbrauch von Heizgas beispielsweise steuerlich nur vergleichsweise schwach belastet wird, sind auf den Strombezug eine Reihe von Steuern, Abgaben und Umlagen zu entrichten. Diese Umlagen repräsentieren keine Kosten, die dem Stromsystem aus Stromverbrauch erwachsen, sondern stehen für andere Finanzierungsaufgaben zur Verfügung. Dieser Mangel an Verursachungsgerechtigkeit betrifft insbesondere die Stromsteuer, die Konzessionsabgaben und große Teile der EEG-Umlage.¹⁷ Auf diese Weise schafft das heutige Umlagensystem im Energiesektor Verzerrungen zu Lasten von Technologien wie EaA.
3. Den relevanten Akteuren fehlen Informationen zur Nutzung der EaA. Entweder ist die Möglichkeit Wärmepumpen hocheffizient zu betreiben, indem die Kanalisation als Wärmequelle genutzt wird, an sich nicht bekannt oder die Umsetzung wird erschwert, weil notwendige Informationen, wie Abwasseraufkommen und Lage von Abwasserkanälen, auf kommunaler Ebene nicht veröffentlicht werden.

Folgende Handlungsempfehlungen lassen sich ableiten, um den Ausbau der EaA auf den vorgestellten Erschließungspfad oder ambitioniertere Pfade zu lenken:

1. EaA ist ein schlafender Riese des Wärmemarktes und kann die in diesem Segment so schmerzlich vermissten Impulse liefern. Diesem Potential ist angemessen Rechnung zu tragen. Hierfür wäre auf Bundesebene die Entwicklung einer Strategie und die Verzahnung mit anderen Strategiepapieren sinnvoll.
2. Energie aus Abwasser sollte in allen relevanten ordnungsrechtlichen Rahmengesetzen (z.B. Gebäude-Energie-Gesetz) anderen CO₂-armen Technologien gleichgestellt werden. Durch diese Gleichstellung wird ein level playing field geschaffen und ein fairer Wettbewerb zwischen den Technologien ermöglicht.
3. In Rahmen der Umgestaltung des Umlagensystem im Energiesektor sollten die Kosten für EaA den tatsächlichen Kosten auf Systemebene angeglichen und damit im Vergleich abgesenkt werden. Im Zuge der hier aktuell stattfindenden Diskussion ist EaA als Technologie mit negativen CO₂-Vermeidungskosten zu berücksichtigen.
4. In Publikationen von BMUB und BMWi zur Energiewende im Gebäudesektor, sollte stärker auf das Potential der EaA hingewiesen werden. Auf kommunaler Ebene ist die Kartierung der regionalen Potentiale zur Nutzung von EaA zu empfehlen, wie sie einige Kreise bereits vornehmen.¹⁸
5. Neben der Strategiediskussion sollte die Forschung vorangetrieben werden. Auf Grundlage neuer Veröffentlichungen zur Struktur kommunaler Abwassernetze, könnten die Potentialabschätzungen weiter präzisiert werden. Daneben wären detaillierte Untersuchungen zu indirekten Effekten von EaA im Strom- und Wärmesektor anzustellen.
- 6.

¹⁷ enervis energy advisors (2017). Verteilungseffekte im Stromsektor: Entwicklung, Ausblick, Handlungsbedarf. Friedrich-Ebert-Stiftung.

¹⁸ Stadt Stuttgart (2014). Abwassernutzung, <http://www.stuttgart-stadentwaesserung.de/de/unternehmen/kanalbetrieb/abwasserwaermenutzung/>.