



Ein neuer Weg zu effizienten Wärmenetzen mit Nieder- temperaturwärmeströmen

Ein Leitfaden für Kommunen



45°C

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt

Autoren:

Matthias Sandrock, Christian Maaß, Simona Weisleder /
HIC Hamburg Institut Consulting GmbH
Christina Baisch, Geraldine Löschan, Horst Kreuter,
Dorothea Reyer / GeoThermal Engineering GmbH, Karlsruhe
Dirk Mangold, Mathieu Riegger, Christian Köhler /
Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunfts-
fähige thermische Energiesysteme, Stuttgart

Redaktion:

Andreas Bertram, Umweltbundesamt

Satz und Layout:

Sabine Mestars

Druck:

gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Adobe Stock; Stadtwerke München; BUKEA Hamburg;
Stadt Zürich; Aurubis; Stadtwerke Radolfzell GmbH;
GeoThermal Engineering GmbH / DMT GmbH & Co KG;
Stadtwerke München; Solites; Marstal Fjernvarme und
Solites

Stand: November 2020

ISSN 2363-832X



Ein neuer Weg zu effizienten Wärmenetzen mit Nieder- temperaturwärmeströmen

Ein Leitfaden für Kommunen

**„Nicht, weil es schwer ist,
wagen wir es nicht,
sondern weil wir es nicht wagen,
ist es schwer.“**

Seneca, römischer Philosoph

Inhalt

	CHANCEN UND ZIELE	6
1	Schritt 1: AKTEURE – Beteiligung und Akzeptanz	8
	PROJEKTBEISPIEL AKTEURE: Tiefe Geothermie Freiam.....	10
2	Schritt 2: GRUNDLAGEN – Klärung der Ausgangssituation	12
	PROJEKTBEISPIEL GRUNDLAGEN: Hamburger Wärmekataster.....	15
3	Schritt 3: POTENZIALE – Identifikation möglicher Niedertemperaturwärmequellen	17
	PROJEKTBEISPIEL POTENZIALE: Energieplan Zürich.....	19
4	Schritt 4: KONZEPT – Durchführung einer Machbarkeitsstudie	21
	PROJEKTBEISPIEL KONZEPT: HafenCity Ost.....	23
5	Schritt 5: UMSETZUNG – Realisierung des Projekts	25
	PROJEKTBEISPIEL UMSETZUNG: Solarenergiedörfer.....	27
	VERTIEFUNG: Tiefe Geothermie	29
	PROJEKTBEISPIEL TIEFE GEOTHERMIE: Freiam.....	33
	EXKURS: Wärmespeicherung	35
	PROJEKTBEISPIEL WÄRMESPEICHER: Marstal.....	37

CHANCEN UND ZIELE

Wozu dieser Leitfaden dient

Viel Potenzial, wenig Nutzung – so lässt sich der momentane Umgang mit der bislang unterschätzten Ressource erneuerbarer Niedertemperaturwärme zusammenfassen. Dabei ist sie eine vielfach verfügbare vielseitige Wärmequelle, die künftig große Anteile fossiler Energieträger ersetzen und Energie sparen fördern könnte. Aufgrund ihres niedrigen Temperaturniveaus von unter 90 °C eignen sich Niedertemperaturwärmeströme (NTWS) jedoch nicht ohne Weiteres für herkömmliche Systeme. Umso wichtiger sind daher innovative Wege, um ihre Nutzung aus technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht zu fördern.

Diverse Erfolgsbeispiele belegen, dass sich das Engagement lohnt. Eine Auswahl wird in diesem Leitfaden vorgestellt, zudem gibt er eine Übersicht über die notwendigen Schritte zur Integration von erneuerbaren Energiequellen in Wärmenetze – von der Grundlagenermittlung über Machbarkeitsstudien bis hin zur Umsetzung von konkreten Projekten. Auf diese Weise soll der Leitfaden Kommunen und lokale Akteure in der Projektprüfung und Entwicklung von Wärmenetzen mit NTWS unterstützen.

Was für die Nutzung von NTWS spricht

Nach wie vor dominieren fossile Energieträger den Wärmemarkt. Für die Umsetzung der Energiewende in Deutschland ist eine langfristige Umgestaltung des Wärmesektors hin zu erneuerbaren Energien jedoch dringend notwendig. Er spielt sogar eine Schlüsselrolle: Immerhin entfallen auf die Beheizung von Gebäuden und die Bereitstellung von Warmwasser und Prozesswärme mehr als die Hälfte des Endenergiebedarfs und etwa ein Drittel der Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Eine der wesentlichen energiepolitischen Aufgaben der kommenden Jahre besteht somit darin, den Anteil der erneuerbaren Energien in der Wärmeversorgung von derzeit rund 14 % möglichst schnell und deutlich zu erhöhen und dabei noch Energie einzusparen. Das Potenzial und die Vorteile von NTWS sollten hierbei genutzt werden.

- ▶ **Energie der kurzen Wege:** Die Planung und Installation von NTWS-Systemen finden in den Städten und Gemeinden statt.
- ▶ **Weniger CO₂:** In der Nutzung von Niedertemperaturwärme liegen – neben der energetischen Modernisierung des Gebäudebestands – erhebliche Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen.
- ▶ **Effiziente Ressourcennutzung:** Niedertemperaturwärmesysteme sind besonders effizient. Im Vergleich zu üblichen Systemen weisen Niedertemperaturwärmeströme zudem bei gleicher Versorgungsdichte geringere Wärmeverluste auf.
- ▶ **Kostenvorteil im Verbund:** In Niedertemperaturwärmenetzen lassen sich durch Skaleneffekte deutlich geringere Wärmegestehungskosten realisieren als bei Lösungen für einzelne Gebäude.
- ▶ **Einbindung von Wärmequellen:** Es sind verschiedene Wärmequellen zur Integration in Wärmenetzen, auch in Kombination miteinander nutzbar. Dabei können auch solche Wärmequellen wie etwa die tiefe Geothermie genutzt werden, die für eine gebäudebezogene Anwendung nicht geeignet sind.

Welche Rolle die Kommunen spielen

Kommunen werden sich in Zukunft auch der Verantwortung stellen müssen, dass ihre Bürgerinnen und Bürger Möglichkeiten haben werden, die Wärmeversorgung ihrer Wohnungen und Häuser mit erneuerbaren Energien bei sozialverträglichen Kosten sicherstellen zu können. Für die Kommunen als wichtige Initiatoren und Moderatoren der lokalen Klimaschutzaktivitäten wird es darauf ankommen, das Wissen um die Niedertemperaturwärmeströme in die Erarbeitung von Klimaschutzkonzepten und deren Umsetzung einzubeziehen. Den Transformationsprozess zur vermehrten Nutzung von Niedertemperaturwärme können Kommunen aktiv voranbringen – etwa, indem sie

- ▶ eine strukturierte, übergeordnete Wärmeplanung durchführen,
- ▶ Bestandsanalysen, Potenzialabschätzungen und Machbarkeitsstudien durchführen lassen – gefördert durch verschiedene EU-, Bundes- und Landesprogramme
- ▶ und Projekte initiieren.

Damit werden die unterschiedlichen Akteure in der Kommune motiviert und mobilisiert. So kann eine langfristig kostenstabile Wärmeversorgung für Quartiere oder die ganze Kommune aufgebaut werden – im Sinne eines zukunftsgerechten Umfelds für Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen.

Die möglichen Rollen der Kommunen sind vielfältig: Einerseits sind sie oft als kommunaler Eigenbetrieb oder Gesellschafterin von Stadtwerken für die Wärmeversorgung unternehmerisch verantwortlich. In dieser Funktion sind sie an Planung und Betrieb der Wärminfrastruktur maßgeblich beteiligt. Andererseits haben Kommunen auch durch ihre planerische und ordnungsrechtliche Verantwortung eine zentrale Rolle für die Marktausweitung von Wärmenetzen mit Niedertemperaturwärmeströmen. Sie können die Wärmeversorgung von Quartieren oder auch der gesamten Gemeinde oder Stadt entscheidend beeinflussen – auch wenn sie nicht selbst in die Wärmeversorgung involviert sind. Kommunen können ihre Handlungsspielräume somit bewusst zur Steuerung einsetzen.

Aufbau des Leitfadens

Im Leitfaden ist der Weg zur Einbindung unterschiedlicher Niedertemperaturwärmequellen in Wärmenetze beschrieben und mit realisierten Beispielen illustriert. Die Praxis folgt meist keinem starren Ablauf, sondern zeigt, dass oft (Teil-)Schritte parallel durchgeführt werden oder manche Schritte mehrfach angepasst werden müssen. Weiterhin werden Fördermöglichkeiten angesprochen.¹

Auf zwei Themen geht der Leitfaden schließlich noch gesondert ein: die bedeutsame Niedertemperaturquelle Tiefengeothermie und die gerade für innovative Wärmenetze wichtige Wärmespeicherung. Detaillierte Informationen finden sich in dem Bericht zum Forschungsvorhaben „Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefengeothermischer Ressourcen“ (FKZ 3715 41 112 0)².

¹ Die Förderung der Transformation der Wärmeversorgung ist teilweise jedoch noch im Aufbaustadium und wird laufend angepasst, als zentrale Förderdatenbank öffentlicher Stellen gibt „foerderdatenbank.de“ Auskunft über die jeweils aktuellen Fördergramme).

² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/effiziente-fernwaermeversorgung-mit-niedertemperaturwaerme>



Schritt 1: AKTEURE – Beteiligung und Akzeptanz

Die Wärmewende an sich und die Nutzung der Niedertemperaturwärmeströme ist eine komplexe Aufgabe für die Kommune. Auslöser für die Beschäftigung mit diesem Thema kann z. B. ein städtebaulicher Erneuerungsprozess in der Kommune sein: ein Neubaugebiet oder die Sanierung einer größeren Siedlung und die Frage, wie wird die zukünftige Wärmeversorgung unter Klimaschutzgesichtspunkten aussehen? Oder welcher Energiestandard wird in einem Wettbewerbsverfahren für die Neubauten festgeschrieben?

Die Neuinstallation oder der Umbau eines Wärmenetzes muss mit der Gebäudesanierung oder entsprechenden Energiestandards der Neubauten abgestimmt werden. Viele Kommunen haben die Wichtigkeit der lokalen Klimaschutzmaßnahmen erkannt und gehen die Aufgaben proaktiv an. Eine der Grundlagen dafür, die notwendigen Prozesse lokal zum Erfolg zu führen ist die Aktivierung und Einbindung wichtiger Akteure, zu denen immer auch die Bürgerinnen und Bürger zählen.

Ziele

- ▶ Identifizierung und Einbindung der Akteure vor Ort
- ▶ Vermittlung von Informationen und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger
- ▶ Vermeidung von späteren Konflikten und Stärkung der Akzeptanz

Leitfragen

- ▶ Welche Schlüsselakteure gibt es für die Transformation der Wärmeversorgung und die Integration der Niedertemperaturströme?
- ▶ Wie können die Bürgerinnen und Bürger beteiligt werden?

- ▶ Welche Hemmnisse sind zu erwarten und wie können diese überwunden werden?

Vorgehen

Die **systematische Analyse und Aktivierung der lokalen Schlüsselakteure** ist ein wesentlicher Baustein für eine erfolgreiche Entwicklung von Wärmenetzen auf der Basis von Niedertemperaturwärmeströmen. Die anstehenden Aufgaben sind dabei sehr unterschiedlich. Entsprechend unterschiedlich können auch die jeweiligen Schlüsselakteure vor Ort sein:

- ▶ Geht es um ein bereits bestehendes Wärmenetz, das auf klimafreundliche Energiequellen optimiert werden soll, dann ist der Betreiber des Netzes (meist das Stadtwerk) der wichtigste Akteur.
- ▶ Geht es um die Erschließung eines Neubauquartiers mit leitungsgebundener Wärme, so ist die Kommune selbst als Planungsträger in einer zentralen Rolle.
- ▶ Wenn sich eine Bürger- oder Energiegenossenschaft in einer Kommune für eine gemeinschaftliche Wärmeversorgung engagiert, liegt die treibende Kraft oft bei Privatpersonen.

In der Praxis sind noch viele andere Fälle denkbar. Wichtig ist dabei, dass die Kommune eine übergeordnete Funktion wahrnimmt, um das unternehmerische oder private Engagement zu stützen, durch eigenes Handeln zu flankieren und dabei die Interessen der Bürgerinnen und Bürger sowie des Wirtschaftsstandortes wahr. In den Kommunen können Kommunalpolitik und Verwaltung mit den jeweils betroffenen Fachbereichen eine zentrale Position einnehmen. Sie können ordnungsrechtliche Instrumente, kommunale Förderinstrumente und kommunikative Maßnahmen

zur Koordination lokaler Akteure einsetzen und den Gesamtprozess steuern.

Oftmals gibt es in einer Kommune bereits engagierte Schlüsselakteure, wie z. B. ein Energiestammtisch oder ein innovatives Stadtwerk mit guten Ideen. Diese gilt es zu stärken und einzubinden. Weitere wichtige Akteursgruppen müssen mit einbezogen werden: Dies können große Wärmeverbraucher aus Industrie, Handel und Gewerbe, die Wohnungswirtschaft oder auch Privateigentümerinnen und Privateigentümer, die Energieversorger, das Schornsteinfegerhandwerk, Installateure, Ingenieurinnen und Ingenieure, Architektinnen und Architekten, Umwelt- und Naturschutzverbände, Energieberaterinnen und Energieberater sein. Moderne Niedertemperaturwärmesysteme nutzen oft mehrere Energiequellen, insofern hat man es auch hier regelhaft mit mehreren Akteuren zu tun.

Bürgerinnen und Bürger wollen zum einen informiert werden, haben aber auch den Anspruch, angemessen an den örtlichen Entscheidungsprozessen teilhaben zu können. Schließlich kann auch eine finanzielle Teilhabe der Bürgerinnen und Bürger an den Investitionen und den Erlösen ein sinnvoller Weg bei der Projektumsetzung sein. Teilweise ist auch ein konkretes Handeln der Bürgerinnen und Bürger für den Erfolg des Projektes erforderlich, etwa bei der Anschlussbereitschaft an eine leitungsgebundene Wärmeversorgung oder bei Maßnahmen zur Absenkung der Heiztemperatur.

Wird frühzeitig ein strukturierter Beteiligungsprozess angeboten, mit Möglichkeiten der Einflussnahme und Information, schafft dies Vertrauen in konkrete Projekte und den gesamten Prozess der Transformation der Wärmeversorgung in der Kommune und die Akzeptanz sowie die Bereitschaft zur Mitwirkung steigt.

Die Form der **Akteursbeteiligung** variiert. Sie sollte auf die jeweilige Zielgruppe und den Anlass abgestimmte Methoden verwenden, dazu zählen: Bildung von Arbeitsgruppen, Befragungen, Bürgerforen, Kampagnen, individuelle Beratungen, Workshops, Informationsveranstaltungen und Konferenzen. Neben den formellen Beteiligungsformen können informelle, innovative und kreative Ansprache- und Informationsformate genutzt werden, wie z. B. webbasierte Tools oder praxisbezogene Angebote wie Exkursionen zu realisierten Projekten und Erfahrungsaustausch mit anderen Kommunen. Zur Planung und

Umsetzung der jeweils passenden Beteiligungsformate stehen gut ausgearbeitete Leitfäden zur Verfügung.³

Ein oft benannter **hemmender Faktor** ist das Misstrauen gegenüber den zentral organisierten Strukturen bei einer Versorgung über Wärmenetze. Ein eigener Heizkessel vermittelt das Gefühl von Unabhängigkeit und Verfügungsgewalt, auch wenn hier tatsächlich eine hohe Abhängigkeit des Kunden vom Brennstofflieferanten gegeben ist. Zudem werden von einigen Verbrauchern die Strukturen der Fernwärmeversorgung als intransparent und überteuert bewertet. Hier sollte die Kommune bei einer etwaigen Ausschreibung von neuen Wärmenetzen, wie auch als Gesellschafterin von Stadtwerken auf eine größtmögliche Transparenz und kundenfreundliche Preisgestaltung hinwirken.

Für die lokale Wärmewende sprechen nicht nur die Argumente des Klimaschutzes. Sie kann auch zur **regionalen Wertschöpfung** beitragen durch Aufträge für Handwerksbetriebe und energiespezifische Dienstleistungen. Je nach lokaler Wirtschaftsstruktur können zudem Gewerbe- und Industriebetriebe als Abnehmer von Wärme oder über die Bereitstellung von Abwärme profitieren. Förderlich ist es, die Wärmewende vor Ort und die Rolle von Wärmenetzen darin als Chance zu verstehen und entsprechend zu kommunizieren.

Fazit

Die Transformation der Wärmeversorgung hin zu erneuerbaren Energien ist eine umfassende Aufgabe, daher ist auch die Vielfalt der beteiligten und zu beteiligenden Akteure komplex. Die Wärmewende vor Ort kann nur auf der Basis eines **Multi-Akteurs Prozesses** gelingen. Dafür braucht es treibende und aktive Kräfte in der Kommune. Eine **kommunale Wärmeplanung**, die gemeinsam mit den vielfältigen Akteuren erarbeitet wird, kann eine wichtige Grundlage sein, um eine Nutzung von Niedertemperaturwärmeströmen in Wärmenetzen umzusetzen. Einen praxisnahen Leitfaden zur kommunalen Wärmeplanung hat die Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen entwickelt.⁴

3 Weitere Informationen dazu:
<https://difu.de/publikationen/2015/klimaschutz-partizipation.html>
https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/Difu_SKKK_Broschuere_Beteiligungsprozesse_barrierefrei.pdf

4 <https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/zielgruppen/kommunen/kommunale-waermeplanung.php>

PROJEKTBEISPIEL AKTEURE: Tiefe Geothermie Freiham

München will als erste deutsche Großstadt ab 2040 Fernwärme zu 100 % aus regenerativen Energien bereitstellen. Das Geothermie-Heizwerk Freiham ist ein wichtiger Schritt zur Umsetzung dieser Vision. Das Konzept der Wärmebereitstellung für das Versorgungsgebiet wurde von den Stadtwerken München maßgeblich entwickelt und umgesetzt, es basiert auf der Nutzung der tiefen Geothermie zur Bereitstellung der Grundlast.

Gebäude festgelegt sowie ein hoch effizientes Fernwärmenetz auf Niedertemperaturbasis aufgebaut.

Bereits vor der Ausschreibung des städtebaulichen Wettbewerbs wurde für Freiham der Aufbau eines Niedertemperatur-Fernwärmenetzes mit dem innovativen Geothermie-Heizwerk als Wärmequelle unmittelbar westlich des künftigen Quartierzentrums beschlossen. Somit konnten die Vorgaben zur Opti-

Tiefengeothermie in Freiham



Quelle: Stadtwerke München

Bereits zu Beginn der städtebaulichen Planungen für Freiham wurde vom Stadtrat der Landeshauptstadt München 2007 ein ambitioniertes Energiekonzept beschlossen, das Eckpunkte für die Entwicklung des neuen Stadtteils definiert. Nach diesem Konzept sollte sich Freiham durch einen geringen Energiebedarf und einen niedrigen CO₂-Ausstoß auszeichnen und Vorbildcharakter haben. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden ehrgeizige Mindestenergiestandards für die

mierung des Netzaufbaus sowohl bei der Entwicklung als auch der Prüfung des städtebaulichen Konzeptes berücksichtigt werden. Für die Gestaltung der Energiezentrale wurde ein europaweiter Architektenwettbewerb durchgeführt.

Parallel zur Erstellung des Bebauungsplans forschten im Jahr 2013 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Hochschule für Technik Stuttgart am

Projekt „Energiegerechte Stadtentwicklung“ in Kooperation mit der Landeshauptstadt und den Stadtwerken München. Die Frage, welche Entscheidungen von welchen Akteuren in welcher zeitlichen Abfolge getroffen werden, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität und Geschwindigkeit des Planungs- und Bauprozesses. An der langjährigen und komplexen Planung von Freiham waren Akteure aus zahlreichen Fachrichtungen beteiligt: Artenschutz, Stadt- und Verkehrsplanung, Marketing und Werbung, Trendforschung, Stadtsoziologie, Stadtpsychologie und Energieberatung. Auch Wohnungsbau- und Immobilienentwicklungsgesellschaften, Politikerinnen und Politiker, Expertinnen und Experten aus anderen Kommunen sowie externe (Landschafts-)Architekturbüros leisteten wesentliche Beiträge. Dieses breite Akteursspektrum ermöglichte es, mehrdimensionale und nachhaltige Lösungsansätze zu entwickeln.⁵

Für ein integriertes Planungskonzept ist die Expertise der Bevölkerung unverzichtbar. Anstatt sie nur über die beschlossenen Maßnahmen zu informieren, entschied sich die Landeshauptstadt München, ihre Bürgerinnen und Bürger zum aktiven Mitgestalten einzuladen.

Seit 2015 ist Freiham Teil des „Leuchtturmprojektes Smarter Together“. Die EU-Kommission hat München zusammen mit Lyon und Wien ausgewählt, um richtungsweisende Smart City Lösungen zu erproben. Die Bewohnerinnen und Bewohner nehmen in einem breit aufgestellten Ko-Gestaltungsprozess unmittelbar Einfluss auf die Maßnahmen. In Workshops sollen alltagstaugliche Anwendungen entstehen, die sich an ihren Bedarfen orientieren und ihre Lebensqualität verbessern.

Kontakt

- ▶ Stadt München
<https://www.muenchen.de/>
- ▶ Stadtwerke München
<https://www.swm.de/>

⁵ <https://www.ris-muenchen.de/RII/RII/DOK/SITZUNGSVORLAGE/3083160.pdf>,
<https://www.muenchen.de/rathaus/Freiham/download.html>,
<https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Arbeit-und-Wirtschaft/Europa/Smart-Cities/Leuchtturm-Smarter-Together.html>

2

Schritt 2: GRUNDLAGEN – Klärung der Ausgangssituation

Am Anfang der Bemühungen zur Realisierung einer Nutzung von Niedertemperaturwärmeströmen steht eine belastbare Analyse des Wärmebedarfs und der bestehenden Wärmeversorgungsstruktur.

Aus kommunaler Sicht ist es sinnvoll, den örtlichen Erneuerungs- und Modernisierungsprozess sowohl des Gebäudebestands als auch der Wärmeversorgungsstruktur zu gestalten und mit der Stadtplanung eng zu verzahnen. Effiziente und flexible Infrastrukturen sind das Rückgrat einer vorausschauenden kommunalen Energiepolitik. Durch die Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung wird ein Zielraum für die erforderliche Wärmeversorgungsstruktur aufgespannt.

Ziele

- ▶ Überblick über die Ausgangsbasis anhand des gegenwärtigen Wärmebedarfs und den Bestand der Netzinfrastrukturen gewinnen
- ▶ Abschätzung des zu erwartenden Wärmebedarfs
- ▶ Abschätzung der Entwicklungspotenziale bestehender und ggf. neuer Wärmenetze

Leitfragen

- ▶ Wie ist die Wärmebedarfsstruktur bei den verschiedenen Nutzungen (Wohnen, Gewerbe, Industrie...)?
- ▶ Welche übergeordnete kommunale Strategie der städtebaulichen und demografischen Entwicklung gibt es?
- ▶ Wie ist die vorhandene Wärmeversorgungsstruktur?
- ▶ Wie kann Niedertemperaturwärme in das Wärmesystem integriert werden?

Vorgehen

Viele **Energieverbrauchsdaten** liegen den zentralen Akteuren wie Energieversorgern, der Wohnungswirtschaft und der Kommune vor oder können unter Zuhilfenahme weiterer Akteure beschafft werden. Die Praxis zeigt jedoch, dass bei der Datenbeschaffung und -aufbereitung größere Herausforderungen zu bewältigen sind. Nicht in jedem Fall sind Energieversorger oder Wohnungswirtschaft bereit, detaillierte Daten bereit zu stellen. In einigen Bundesländern werden die Energieversorger jedoch zur Lieferung von Daten verpflichtet, wenn die Kommune eine Wärmeplanung erstellen will.⁶

Im Rahmen der weiteren Planung müssen die zur Verfügung gestellten Daten häufig aggregiert werden, um Rückschlüsse auf einzelne Verbraucherinnen und Verbraucher zu unterbinden. Die Erhebung bzw. Beschaffung und Strukturierung der Daten erfolgt inzwischen in vielen Fällen mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS).

Bei der Bestandsanalyse ist die Ausgangslage – und damit auch die spätere Belastbarkeit der Daten – oft sehr unterschiedlich ausgeprägt. Ist bereits ein Wärmenetz vorhanden, liegen bei dem Betreiber die entsprechenden Daten vor – sowohl die Absatzmenge an Wärme wie auch der jeweilige Verlauf im Jahresgang. Auch Daten zu der Wärmeerzeugung und den Parametern des Verteilnetzes (z. B. Vor- und Rücklauftemperaturen) sind bekannt. In diesem Fall sollte die Bestandsanalyse in enger Kooperation mit dem Wärmenetzbetreiber erfolgen.

⁶ Entsprechende landesgesetzliche Regelungen existieren beispielsweise in Schleswig-Holstein (Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein 2017) sowie in Thüringen (Thüringer Klimagesetz 2018) und Baden-Württemberg (Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg 2020)

Im Fall einer dezentralen Versorgung des Gebäudebestandes auf der Basis von Erdgas verfügen die jeweiligen Betreiber des örtlichen Verteilnetzes über Absatzdaten, die für die Analyse sehr hilfreich sind.

Wenn keine Versorgerdaten vorliegen oder nicht bereitgestellt werden, gibt es bewährte Instrumente, die eine **Abschätzung** des bestehenden Energieverbrauchs ermöglichen. Relativ homogen bebaute Gebiete werden in Siedlungstypen eingeteilt. Einzelne Gebäude werden nach Wohngebäudetypen (Einfamilienhaus, Doppelhaushälfte, Reihen- und Mehrfamilienhaus bzw. Nicht-Wohngebäude) sowie nach dem Baualter kategorisiert. Nicht-Wohngebäude werden nach Gebäuden für Gewerbe-, Handel- und Dienstleistung (GHD) und Industrie unterschieden. Diesen Siedlungs- und Gebäudetypen werden spezifische **Wärmeverbrauchskenne**werte zugeordnet, die auf das Gesamtgebiet der Kommune hochgerechnet werden können.

Neben der Höhe des Wärmebedarfs ist auch der **zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs** von Interesse. So ist bei Wohngebäuden der Wärmebedarf nur in der Heizperiode stark ausgeprägt, während gewerbliche und industrielle Abnehmer oft einen über das Jahr gleichmäßigen Wärmebedarf aufweisen. Dies kann für die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen mit Niedertemperaturwärmesystemen vorteilhaft sein.

Wichtig ist neben der Aufnahme des Ist-Zustandes die Abschätzung der **Entwicklung der Wärmebedarfe**. Ziel ist es, einen Abgleich mit den zu erwartenden städtebaulichen, sozialräumlichen und demografischen Entwicklungen zu erreichen. Hier zeigt sich zum einen, dass das Thema Wärmeplanung eine Querschnittsaufgabe ist und zum anderen, dass ein Umbau der Wärmeversorgung mit Wärmenetzen langfristig zu betrachten ist. Die oft erheblichen Investitionen in Wärmenetze und Energieerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien wie z. B. die tiefe Geothermie brauchen einen langfristigen Betrachtungshorizont und möglichst hohe Abnahmesicherheit.

Abschließend werden aus den ermittelten Wärmebedarfen die **Wärmebedarfsdichten** errechnet und räumlich und in der zu erwartenden zeitlichen Entwicklung dargestellt. Die Wärmedichte ist ein entscheidender Faktor für die Option eines Wärme-

netzausbaus. Je höher der mögliche Wärmeabsatz je Meter Trassenlänge ist, desto besser stellt sich die wirtschaftliche Situation für den Wärmenetzinvestor dar. Allerdings zeigt das Beispiel Dänemark, dass auch in wenig verdichteten Siedlungsräumen eine leitungsgebundene Wärmeversorgung wirtschaftlich umgesetzt werden kann.

Auch beim Thema der **Wärmeversorgungsstruktur** zeigt die Praxis, dass die Datenerhebung und -auswertung mitunter komplex ist. Ziel der Analyse ist es, die verschiedenen Netzinfrastrukturen der Energieträger zu erfassen und räumlich zu verorten.

Wenn bereits eines oder mehrere Wärmenetze in der Kommune vorhanden sind, sollten die jeweils abgedeckten Versorgungsgebiete räumlich abgebildet werden. Angaben zu **Wärmenetzkarten** und den damit verbundenen **Erzeugungsanlagen** sowie den hier eingesetzten Brennstoffen, sowie den **Vor- und Rücklauftemperaturen im Netz** sollten bei den Wärmenetzunternehmen abgefragt werden. Kommunale Abwassernetze können in Bezug auf Nutzung der Abwärme einbezogen werden.

Neben bereits vorhandenen Wärmenetzen ist es hilfreich, die **mit Erdgas versorgten Gebiete** in der Kommune zu lokalisieren. Oftmals liegen auch Wärmenetz und Erdgasnetz als parallele Infrastrukturen vor, wenngleich dies aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht optimal erscheint. Für den Neubau von Wärmenetzen oder die Netzausweitung bestehender Wärmenetze kann die wettbewerbliche Situation gegenüber einem vorhandenen Gasnetz bedeutsam sein. Während manche Investoren das Vorhandensein eines Gasnetzes als Ausschlusskriterium für die Realisierung eines Wärmenetzes einschätzen, ersetzen andere Investoren bestehende Gasnetze durch neue Wärmenetze. Als kostensenkend kann sich die Bündelung mit Maßnahmen aus verschiedenen Bereichen der Infrastruktur, etwa Digitalisierung oder Straßenbau erweisen.

Einige Kommunen haben in den letzten Jahren ein kartenbasiertes Datenangebot zu Wärmeherzeugung, -verteilung und -verbrauch, ein sogenanntes **Wärme-kataster** (GIS-basiert) aufgebaut, wie z. B. die Freie und Hansestadt Hamburg. Im Rahmen des Programms EnEff:Wärme ist der „**Bundesweite**

Wärmeatlas 2.0⁷ entstanden – ein Bottom-Up-GIS-Modell zur räumlich hochauflösenden Simulation der Wärmebedarfsentwicklung im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand. Der **Pan-European Thermal Atlas**⁸ geht das Thema auf europäischer Ebene sehr anschaulich an.

Bundesweit kann u. a. **Förderung** von Konzepten zur klimafreundlichen Wärmenutzung in Kommunen sowie eines Klimaschutzmanagements durch die Kommunalrichtlinie der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)⁹ in Anspruch genommen werden. Zusätzlich bietet sich für Kommunen auf Quartiersebene das mittlerweile etablierte Instrument eines Konzepts nach dem KfW-Förderprogramm 432 „Energetische Stadtsanierung – Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement“¹⁰ an.

Fazit

Die Datenerhebung für den Wärmebedarf und die Versorgungsstruktur stellt oft eine Herausforderung dar und sollte mit Sorgfalt erfolgen. Wichtig für die nächsten Schritte ist die Festlegung, ob ein **Bestandsnetz** umgebaut oder ob **neue Wärmenetze für Bestands- oder Neubauquartiere** realisiert werden sollen. Hierauf aufbauend kann dann das Potenzial für die Integration von Niedertemperaturquellen ermittelt werden

7 https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Modellbeschreibung_Waermeatlas_2.0.pdf

8 <https://heatroadmap.eu/peta4.php>

9 <https://www.klimaschutz.de/foerderlotse/de>

10 [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Quartiersversorgung/Förderprodukte/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-\(432\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Quartiersversorgung/Förderprodukte/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-(432)/)

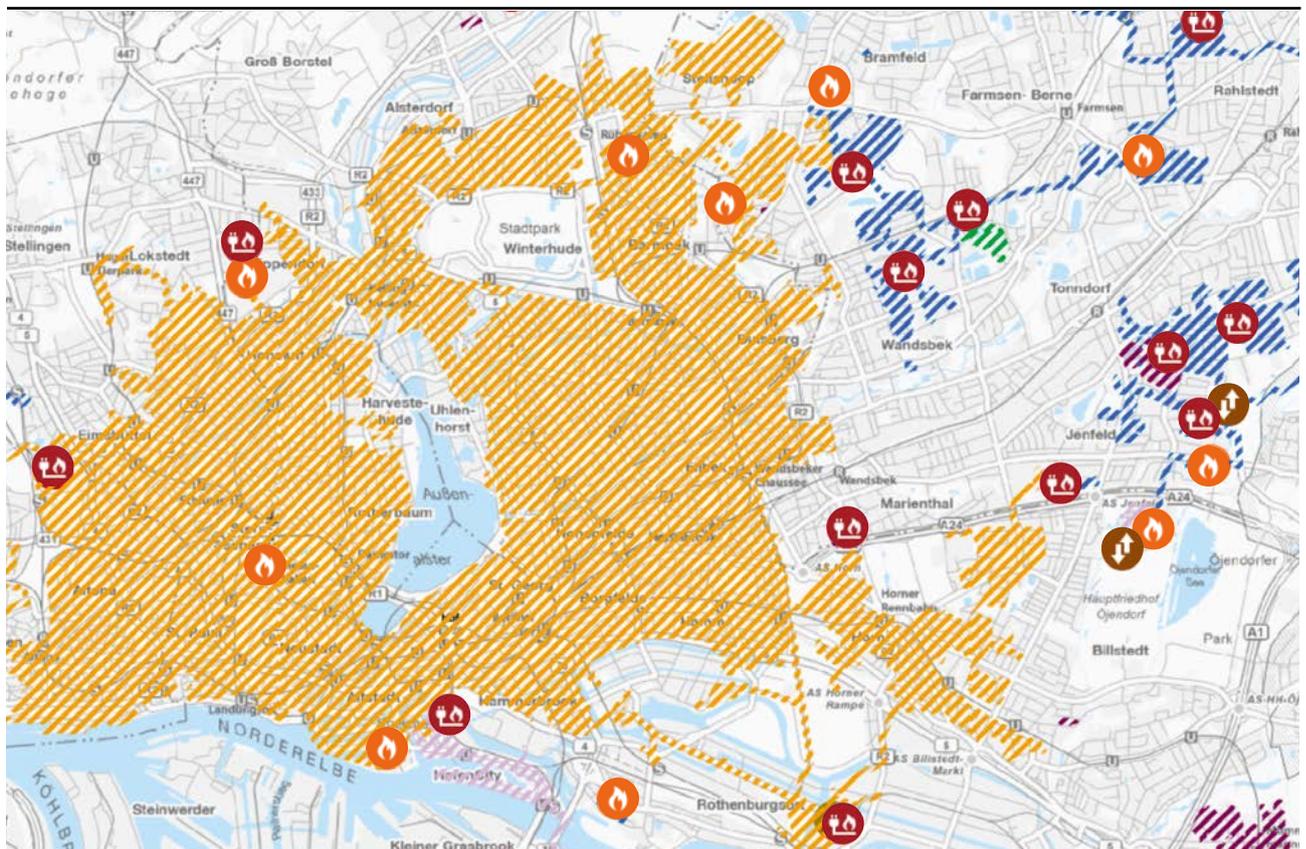
PROJEKTBEISPIEL GRUNDLAGEN: Hamburger Wärmekataster

Seit 2017 ist in Hamburg das Wärmekataster veröffentlicht. Damit werden relevante Informationen zu der Wärmeversorgungs- und Wärmebedarfssituation in Hamburg zur Verfügung gestellt.

Das Wärmekataster ist eine interaktive Karte, die aus Datenschutzgründen aggregierte Informationen zu Wärmenachfrage, -erzeugung und -verteilung in

ihrer geographischen Verteilung darstellt. Diese Informationen können Bedarfs- und Potenzialanalysen unterstützen, mit denen beispielsweise Entscheidungsalternativen für effiziente und kostengünstige Wärmeversorgungslösungen aufgezeigt werden. Das Wärmekataster richtet sich an Akteure aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft, die sich in der Freien und Hansestadt Hamburg mit

Wärmekataster der Freien und Hansestadt Hamburg Ausschnitt



Energieerzeugungsanlagen

- Heizkraftwerk
- Heizwerk
- Kraftwerk
- Wärmetauscheranlage

Fernwärmeversorgte Gebiete

- Wärme Hamburg GmbH
- HanseWerk Natur GmbH
- URBANA Energiedienste GmbH
- enercity AG
- Hamburg Energie GmbH
- innogy SE
- EAM EnergiePlus GmbH
- Vattenfall Energy Solutions GmbH

Quelle: BUKEA Hamburg

Fragen der Wärmeplanung beschäftigen. Die hinterlegten Daten werden in einem iterativen Prozess fortlaufend fortgeschrieben.

Im August 2018 wurde seitens der Hamburger Bürgerschaft das Hamburgische Gesetz zu Aufbau und Pflege eines Wärmekatasters (Hamburgisches Wärmekatastergesetz – HmbWktG)¹¹ beschlossen. Das Gesetz leistet einen wichtigen Beitrag, um das Wärmekataster als Instrument der nachhaltigen gesamtstädtischen Wärme- und Kälteplanung zu etablieren. Dort werden auch Pflichten zur Bereitstellung von Daten geregelt. Da für den Aufbau des Wärmekatasters auch personenbezogene Daten verarbeitet werden, müssen entsprechende datenschutzrechtliche Bestimmungen aufgestellt werden – dies erfolgt im genannten Gesetz. Aktuelle Ergänzung: Die Regelungen aus dem Wärmekatastergesetz wurden 2020 in das novellierte Hamburgische Klimaschutzgesetz integriert.

Kontakt:

- ▶ Freie und Hansestadt Hamburg,
Behörde für Umwelt, Klimaschutz,
Energie und Agrarwirtschaft

¹¹ https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/62445/aufbau_und_pflege_eines_waermekatasters_fuer_die_freie_und_hansestadt_hamburg_hamburgisches_waermekatastergesetz_hmbwktg.pdf
<https://www.hamburg.de/energiewende/waermekataster/>

3

Schritt 3: POTENZIALE – Identifikation möglicher Niedertemperaturwärmequellen

Bei der Integration von Wärme in Niedertemperaturnetzen bieten sich emissionsarme Wärmequellen an, die mit einer passenden Temperatur zur Verfügung stehen, deren Ausgangstemperatur also kleiner als ca. 90 °C ist. Ihre Verfügbarkeit ist teilweise lokal unterschiedlich, so dass die Potenziale von Niedertemperaturwärmequellen standortbezogen betrachtet werden müssen. Einige solcher emissionsarmen Wärmequellen können allerdings auch ein höheres Temperaturniveau aufweisen, vor der Einspeisung in ein Niedertemperaturnetz kann dann eine anderweitige energetische Erstnutzung erfolgen. Die lokal verfügbaren Niedertemperaturpotentiale sind in Relation zu den technischen Notwendigkeiten des möglichen Wärmenetzes zu betrachten. In diesem 3. Schritt kann ein erster grober Abgleich des im vorherigen Schritt prognostizierten Wärmebedarfs des Netzes und der zu erwartenden Versorgungsbedingungen (Temperaturen, Wärmemengen, Jahressganglinien etc.) helfen, nutzbare potentielle Niedertemperaturwärmequellen unter den verfügbaren auszuwählen und, ggf. unter Einbeziehung von Wärmespeichern, mögliche Quellenkombinationen zu ermitteln. Hierbei sind zudem mögliche Energieeinspar- und Effizienzpotentiale auf Seiten der Wärmeverbraucher zu berücksichtigen.

Ziel

- ▶ Abschätzung der nutzbaren Potenziale der lokal verfügbaren Niedertemperaturwärmequellen unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten

Leitfragen

- ▶ Welche Arten von Niedertemperaturwärmequellen sind lokal verfügbar?

- ▶ Wie hoch sind die nutzbaren Potenziale der lokal verfügbaren Niedertemperaturwärmequellen?
- ▶ Wie ist die zeitliche Verfügbarkeit/Flexibilität der jeweiligen Quellen?
- ▶ Ist zur Nutzung der verfügbaren Niedertemperaturwärmequellen ein Anheben der Temperatur (exergetische Aufwertung) z. B. durch Wärmepumpen oder eine Nachheizung erforderlich oder kann die notwendige Vorlauftemperatur abgesenkt werden?

Vorgehen

Zunächst ist zu prüfen, welche Niedertemperaturwärmequellen lokal verfügbar sind (z. B. industrielle Abwärme) oder verfügbar gemacht werden können (z. B. Solarthermie).

Hierbei sind für jede Wärmequelle spezifische Aspekte zu berücksichtigen:

Für eine **Abwärmennutzung** sind für die Abwärmequelle deren Verfügbarkeit, der Wärmeleistungsverlauf, das Temperaturniveau, die Schwankungen im Angebot (Volatilität), deren Entfernung zum Wärmenetz und die grundsätzliche Möglichkeit zur Auskoppelbarkeit zu klären.

Entscheidend für die Nutzung des grundsätzlich überall verfügbaren solaren Strahlungsangebots durch **Solarthermie** ist die Verfügbarkeit von Flächen zur Installation solarthermischer Anlagen. Die Flächenkonkurrenz ist in vielen Kommunen ein wichtiges Thema und sollte im Sinne einer integrierten Wärmeplanung betrachtet werden. Besonders wirtschaftlich ist die Nutzung von großflächigen

Solarthermieranlagen mit mehreren Tausend Quadratmetern Kollektorfläche, die auf dem Boden aufgeständert sind. Abhängig von der Kollektorbauart und der mittleren Netztemperatur des Wärmenetzes können solare Erträge bis zu 550 kWh je m² Bruttokollektorfläche bzw. bis zu 220 kWh je m² Landfläche erreicht werden. Ohne eine saisonale Speicherung von Solarwärme können etwa 15–20 % des jährlichen Wärmeabsatzes eines durchschnittlichen Wärmenetzes solar abgedeckt werden. Mit Hilfe einer saisonalen Wärmespeicherung können Solaranteile von mehr als 50 % erreicht werden.

Um **Umweltwärme** für Wärmenetze nutzbar zu machen, ist eine exergetische Aufwertung z. B. mit Hilfe von Wärmepumpen erforderlich. Diese Wärmepumpen können entweder zentral in einer Heizzentrale oder dezentral in jedem der an das Wärmenetz angeschlossenen Gebäude realisiert werden und können in Abhängigkeit vom erforderlichen Temperaturhub und ggf. weiteren Faktoren insbesondere in der Heizperiode erhebliche Strommengen für ihren Betrieb benötigen. Während die Nutzung von **Umgungsluft** als Wärmequelle überall möglich ist, ist die Verfügbarkeit von **Oberflächenwasser** als Wärmequelle an das Vorhandensein von Flüssen, Seen oder eines Meeres und die Zulässigkeit deren geringfügiger Abkühlung gebunden.

Bei der Potenzialabschätzung der **Geothermie** ist zu unterscheiden zwischen der **tiefen Geothermie** (> 400 m Tiefe) und der **oberflächennahen Geothermie** (0 bis 400 m Tiefe). Im Gegensatz zur tiefen Geothermie erfordert die Nutzung der oberflächennahen Geothermie eine exergetische Aufwertung, wie bei Umweltwärme. Oberflächennahe Geothermie kann mit **Erdwärmesonden** oder **Erdwärmekollektoren** genutzt werden. Auch Brunnenanlagen zur Nutzung von **Grundwasser** zählen zur oberflächennahen Geothermie. Insbesondere bei der Erstellung von Erdwärmesonden und Brunnenanlagen sind lokale Gegebenheiten wie Trinkwasserschutzgebiete zu berücksichtigen. Die lokal zuständigen unteren Wasserbehörden können hierzu Auskunft geben. In Bergbaugebieten kann die Nutzung von **Grubenwässern** sinnvoll sein, diese weisen oft gegenüber den anderen Systemen der oberflächennahen Geothermie erhöhte Temperaturniveaus auf.

Fazit

Als Ergebnis der Potenzialabschätzung der Niedertemperaturwärmequellen wird deutlich, welche Niedertemperaturwärmequellen für eine **lokale Nutzung** zur Verfügung stehen und folglich im Rahmen der Machbarkeitsstudie weiter betrachtet werden können.

Hierbei gilt es zu bedenken, dass diejenigen Niedertemperaturwärmequellen energetisch besonders vorteilhaft sind, die **ohne eine exergetische Aufwertung oder eine Nachheizung** zur Deckung der Wärmeleistungs- und Temperaturanforderungen des zu versorgenden Wärmenetzes genutzt werden können. Diese Anforderungen können insbesondere durch industrielle und gewerbliche Abwärme, Solarthermie und Tiefe Geothermie erfüllt werden.

Sofern lediglich Niedertemperaturwärmequellen zur Verfügung stehen, die eine exergetische Aufwertung erfordern, ist zu berücksichtigen, dass die Effizienz der Aufwertung (z. B. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe) umso besser ist, je geringer der zu überwindende Temperaturhub zwischen der Niedertemperaturwärmequelle und dem Zieltemperaturniveau ist. Dies verdeutlicht, dass in solchen Fällen auf Seite der Wärmeabnehmer verstärkt Einspar- und Effizienzpotentiale untersucht werden sollten, die eine Absenkung der notwendigen Vorlauftemperatur des Wärmenetzes ermöglichen. Oder umgekehrt formuliert: auch Wärmequellen, die zunächst nicht geeignet erscheinen, können unter Umständen nutzbar gemacht werden.

Dies zeigt, dass schon für die Potenzialermittlung die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchzuführende **Gesamtsystembetrachtung** aus Niedertemperaturwärmequellen, Wärmeerzeugung und -verteilung über das Wärmenetz sowie Wärmeübergabe an die Gebäude eine Rolle spielt. Es muss zudem ein Betrachtungsgegenstand sein, durch Anpassungen in den Gebäuden die maximal notwendige Netzvorlauftemperatur zu reduzieren, was zu energetischen und ökonomischen Vorteilen in der Wärmeversorgung führen kann.

PROJEKTBEISPIEL POTENZIALE: Energieplan Zürich

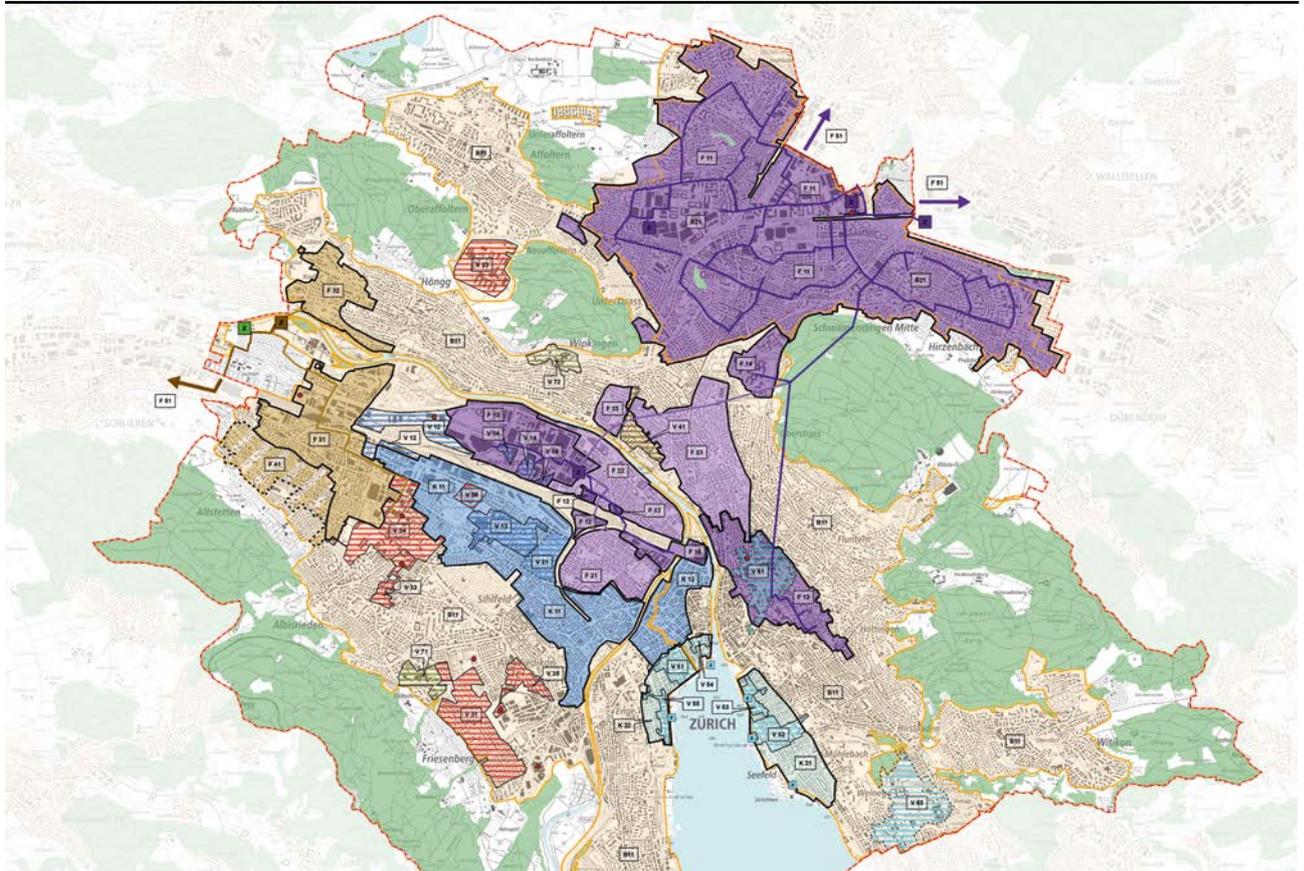
Ein Blick ins Nachbarland Schweiz zeigt, welche Vorteile ein planmäßiges Vorgehen bietet. In der Schweiz ist in den meisten Kantonen die Energieplanung verbindlich geregelt. Hier arbeiten der Kanton selbst, die Region und die jeweilige Kommune auf verschiedenen Planungsebenen zusammen. In übergeordneten kantonalen Energie-Richtplänen werden u. a. die energierelevanten Gemeinden festgelegt, die kommunale Energie-Richtpläne erstellen müssen. Die dort entstehenden Kosten werden hälftig vom Kanton getragen. Weiterhin werden die „Interessensgebiete“ für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen bestimmt.

Auf der regionalen Ebene werden konkrete Potenzialuntersuchungen z. B. für die Nutzung von Windenergie oder Biomasse erstellt. Der kommunalen Ebene obliegt mit dem Richtplan Energie die räumliche

Koordination des vorhandenen Energieangebots mit der Energienachfrage.

Als Fallbeispiel für die Wärmeplanung auf der Ebene einer Kommune kann die Stadt Zürich dienen. Ziel der Energieplanung in Zürich ist eine sichere, wirtschaftliche und umweltfreundliche Wärme- und Kälteversorgung. Eine zentrale Aufgabe ist hierbei, die vor Ort vorhandenen Potenziale an klimafreundlichen Energiequellen zu analysieren und diese räumlich mit der vorhandenen und künftig zu erwartenden Nachfrage an Energie in Einklang zu bringen. Schließlich soll auch der Aus- und ggfls. Rückbau der netzgebundenen Infrastruktur (Fernwärme, Nahwärme und Gas) räumlich koordiniert werden. Hierbei soll die parallele Erschließung mit unterschiedlichen leitungsgebundenen Energiesystemen (wie Wärmenetzen und Gas) vermieden werden.

Energieplankarte der Stadt Zürich



Quelle: Stadt Zürich

Im Ergebnis fixiert die Energieplankarte für den gesamten Züricher Stadtraum abgegrenzte Areale mit der dort vorzugsweise zu installierenden Wärmeversorgungsart. Diese betrifft beispielsweise die Nutzung von See- oder Grundwasser über Wärmepumpen oder die Nutzung der Wärme aus der Abfallverbrennung. Ebenso werden räumliche Bereiche festgelegt, in denen die heute vorhandene Gasversorgung künftig rückgebaut und durch Wärmenetze ersetzt werden soll.

Die Energieplanung hat einen Zeithorizont von 15 Jahren. Sie ist in den jeweiligen Kantonen für den Stadtrat, die Verwaltung und die städtischen Energieversorgungsunternehmen verbindlich.

Die auf dem Richtplan Energie aufbauende Nutzungsplanung (Zonenplan / Sondernutzungsplan / Baureglement) ist dann auch für die Grundeigentümer verbindlich. Hier kann beispielsweise festgelegt werden, in welchen Bereichen die Gebäude an eine Fernwärmeinfrastruktur anzuschließen sind, sofern nicht ein unverhältnismäßig hoher zusätzlicher Aufwand nachgewiesen wird. Auch ein Höchstanteil nicht erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung kann fixiert werden. Die Praxis-Erfahrungen aus der Schweiz können vorteilhaft auch für die Umsetzung von Projekten in Deutschland genutzt werden. Die Einführung einer verbindlichen Wärmeplanung wird in Deutschland von verschiedenen Seiten angemahnt. Das Land Baden-Württemberg hat diese bereits in seinem novellierten Klimaschutzgesetz fixiert¹².

Kontakt

- ▶ Stadt Zürich:
<https://www.stadt-zuerich.ch/dib/de/index/energieversorgung/energiebeauftragter/publikationen/energieplankarte-der-stadt-zuerich.html>

¹² <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/>

4

Schritt 4: KONZEPT – Durchführung einer Machbarkeitsstudie

Im Anschluss an die Grundlagenermittlung und die Identifikation möglicher Niedertemperaturwärmequellen in der Kommune wird die Möglichkeit effiziente Wärmenetze zu errichten üblicherweise für prospektive Gebiete anhand einer Machbarkeitsstudie geprüft. Die Machbarkeitsstudie stellt die wesentliche Grundlage für eine Investitionsentscheidung dar. Ebenso kann sie die Basis für das Einwerben staatlicher Fördermittel bilden.

Ziele

- ▶ Untersuchung von Varianten
- ▶ Optimierung von Einzelkomponenten und Gesamtsystem mittels Simulationen
- ▶ Erstellung eines Finanzierungskonzeptes
- ▶ Klärung der technisch-wirtschaftlichen Realisierbarkeit
- ▶ Empfehlungen für den weiteren Prozess bzw. für eine Investitionsentscheidung

Leitfragen

- ▶ Gibt es genehmigungsrechtliche Bedenken?
- ▶ Wie wird das Vorhaben finanziert und welche Fördermittel können dabei eingesetzt werden?
- ▶ Ist das Vorhaben technisch und wirtschaftlich darstellbar?
- ▶ Welche nächsten Schritte sind notwendig?

Vorgehen

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie ist über Wärmeerzeugung und -verteilung hinaus eine **Gesamtsystembetrachtung** von den Niedertemperaturwärmequellen bis hin zur Wärmeübergabe an die Gebäude in Verbindung mit Speicheroptionen vorzunehmen.

Im Regelfall werden Machbarkeitsstudien durch sogenannte „geeignete Dritte“ erstellt, die z. B. von der Kommune oder vom Wärmenetzbetreiber mit der Erstellung der Studie beauftragt werden. Dafür kommen grundsätzlich alle Unternehmen, Institutionen oder Sachverständige mit der notwendigen energietechnischen Fachexpertise in Frage. Der Auftraggeber sollte darauf achten, dass die Auftragnehmer über fundierte Fachkenntnisse und vor allem Erfahrungen mit der Erstellung von Machbarkeitsstudien zur Integration von Niedertemperaturquellen in Wärmenetzen, aber auch der Planung und Realisierung von Projekten verfügen.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die vorliegenden Ergebnisse aus der Grundlagenermittlung und der Potenzialabschätzung konkretisiert und vertieft. In der Regel werden verschiedene **Versorgungsvarianten** für ein als prinzipiell geeignet identifiziertes Gebiet entwickelt und auf der Grundlage verschiedener Kriterien verglichen, um hieraus die optimale Zielvariante zu entwickeln. Um das Gesamtsystem sowie einzelne Komponenten zu optimieren, empfiehlt es sich, dynamische **Simulationen** durchführen zu lassen.

Die Machbarkeitsstudie muss Aussagen über die **wirtschaftliche Tragfähigkeit** geben. Dabei sind wichtige Parameter:

- ▶ Art und Anteil verschiedener Niedertemperaturwärmequellen, und deren zeitliche Verfügbarkeit
- ▶ Wärmeabsatz, Anzahl der Anschlussnehmer, und die dafür erforderlichen Energiemengen sowie deren zeitlichen Verläufe unter Berücksichtigung von Entwicklungsperspektiven

- ▶ Art der Bebauungsstruktur (Neubau- oder Bestandsquartiere, Wohn- oder Gewerbenutzung)
- ▶ Energieeinspar- und Effizienzpotentiale mit Einbezug möglicher begleitender Gebäudesanierungen
- ▶ Eigenschaften der Wärmenetzstruktur (neues Wärmenetz oder Bestandsnetz, Temperaturniveaus im Vor- und Rücklauf)
- ▶ ggf. Transformationsbedarf an der bestehenden Infrastruktur und bei Anschlussnehmern
- ▶ Integration von Wärmespeichern zur optimalen Ausnutzung der Niedertemperaturwärmeströme im Erzeugungsmix
- ▶ Erste Investitionskostenschätzung einschließlich Überblick über Fördermittel und daraus ggf. erwachsende Anforderungen
- ▶ Wärmeerkzeugungskosten und ggf. möglicher Wärmelieferpreis
- ▶ Prüfen rechtlicher Aspekte und Fragen der Genehmigung
- ▶ Betreiberkonzept

In der Machbarkeitsstudie sollte ein **Finanzierungskonzept** erarbeitet werden. Die Einbindung von Niedertemperaturquellen in Wärmenetze erfordert in der Regel einen hohen Investitionsaufwand bei geringen Betriebskosten, aus diesem Grund ist ein hierauf angepasstes Finanzierungskonzept für die spätere Realisierung sehr wichtig.

Sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene stehen **Fördermittel** für derartige Machbarkeitsstudien zur Verfügung¹³. Das seit 2017 existierende Förderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0“¹⁴ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie bietet neben Zuschüssen für Machbarkeitsstudien auch Mittel für den Umbau der Wärmeversorgungsstruktur. Die Machbarkeitsstudie in diesem Förderprogramm soll innovative Techniken und Systemkonzepte zur Erreichung möglichst kostengünstiger, hocheffizienter Wärme- und Kältenetzsysteme auf Basis möglichst brennstoffarmer, multivalenter und kaskadierender Infrastrukturen und mit möglichst hohen Anteilen erneuerbarer Energien und Abwärme untersuchen und Aufschluss über die wirtschaftliche und technische Realisierbarkeit im Einzelfall vor Ort geben.

Fazit

Das Durchführen einer Machbarkeitsstudie ist ein wichtiges Instrument, um anschließend die ersten Schritte für die konkrete Umsetzung zu gehen. Sind hier **klare und valide Argumente** gesammelt worden zur Integration von Niedertemperaturquellen in ein Wärmenetz, kann die Überzeugungsarbeit in der Kommune, bei Fördermittelgebern, Investoren und der Bevölkerung auf einer soliden Grundlage fortgesetzt werden.

¹³ <https://www.foerderdatenbank.de/>

¹⁴ https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html

PROJEKTBEISPIEL KONZEPT: HafenCity Ost

Mit der HafenCity entsteht in Hamburg bis 2030 durch die Konversion ehemaliger Hafentflächen ein 157 Hektar großer Stadtteil, der Wohnraum für rund 14.500 Menschen sowie Büro- und Dienstleistungsflächen für rund 45.000 Arbeitsplätze bieten soll.

Erreichung des Ziels den Bietern überlassen wurden. Die Ausschreibung gewonnen hatte die Vattenfall Europe Wärme AG mit einem auf Kraft-Wärme-Kopplung basierendem Konzept.¹⁵ Die Umsetzung ist weitestgehend abgeschlossen.

Integration industrieller Abwärme in die Hamburger Fernwärmeversorgung



Quelle: Aurubis

Um die ökologische Zukunftsfähigkeit der HafenCity zu sichern, hatte die HafenCity Hamburg GmbH schon 2003 im Namen der Freien und Hansestadt Hamburg ein europaweites öffentliches Vergabeverfahren zur Versorgung der westlichen HafenCity mit Wärme durchgeführt. In der Ausschreibung der HafenCity Hamburg GmbH wurde gefordert, dass in der HafenCity pro Kilowattstunde Heizenergie nicht mehr als 200 Gramm CO₂ freigesetzt werden dürfen, während die technischen Lösungen zur

Bis 2029 soll sich nun die östliche HafenCity entwickeln mit einer Wärmeleistung von rund 28 MW Wärmeabnahme und einem Wärmebedarf von jährlich rund 70.000 MWh/a. Für die Wärmeversorgung hat die HafenCity Hamburg GmbH wieder auf das Mittel des europaweiten öffentlichen Wettbewerbsverfahrens zurückgegriffen. Gemäß den weiter

¹⁵ https://www.hafencity.com/upload/files/files/Waermeverorgung_HafenCity.pdf

gestiegenen Anforderungen an den Klimaschutz und der mittlerweile fortgeschrittenen technisch-energetischen Möglichkeiten wurden für die Wärmeversorgung der östlichen Hafencity die ökologischen Standards verschärft. Das Wettbewerbsverfahren wurde ohne technische Vorgaben, aber mit einem deutlich niedrigeren CO₂-Grenzwert von maximal 120 g/kWh (zu erreichen bis 2020) ausgeschrieben.

Gewinner der Ausschreibung für dieses Versorgungsgebiet ist die enercity Contracting Nord GmbH, ein Tochterunternehmen der Stadtwerke Hannover. Für das dezentrale und modulare Wärmeversorgungsnetz garantiert enercity eine maximale CO₂-Emissionskennzahl von 70 Gramm pro Kilowattstunde für die an die Kunden gelieferte Wärme im Gebäude. Aufgrund der dezentralen Struktur kann das Versorgungssystem gemeinsam mit dem Stadtteil sukzessive wachsen. Das Wärmekonzept zeichnet sich durch eine maßgebliche Vermeidung fossiler Brennstoffe aus: Mit 92 % wird nahezu die gesamte eingesetzte Energie regenerativ erzeugt – lediglich die Spitzenlast bleibt ausgenommen. Der Primärenergiefaktor liegt bei 0,11.

Für die Wärmegrundlastherzeugung ist seit 2014 ein Blockheizkraftwerk mit Biomethaneinsatz in der Energiezentrale „Oberhafen“ in Betrieb. Darüber haben enercity und Europas größte Kupferhütte Aurubis ein Projekt zur industriellen Abwärmenutzung realisiert. Ab der Heizperiode 2018/2019 wird die östliche Hafencity mit Wärme aus der Produktion von Aurubis und einer thermischen Leistung bis zu 20 MW versorgt. Dazu wurde eine neue, 2,7 km lange Fernwärmetrasse errichtet, die vom Werksgelände auf der Peute unter den Hamburger Elbbrücken entlang zum Wärmenetz in der Zweibrückenstraße verläuft. Das Projekt wurde von der Deutschen Energieagentur (dena) als einer von zehn Leuchttürmen der industriellen Abwärmenutzung ausgewählt.¹⁶ Gefördert wurde die Investition von rund 41 Millionen Euro über das KfW-Energieeffizienzprogramm „Abwärme“ (294) und aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).

Enercity liefert im Versorgungsgebiet ganzjährig Heizwasser mit einer Vorlauftemperatur von max. 90 °C. In der Übergangszeit und im Sommer wird die

Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur bis auf 70 °C reduziert. Der Anteil an erneuerbaren Energien und Abwärme an der Versorgung der östlichen Hafencity liegt über 90 %. Nur die Spitzenlast wird über fossil betriebene Heizkessel bereitgestellt.

Mit der Versorgung der östlichen Hafencity ist das Potenzial an Abwärme bei der Aurubis AG noch nicht ausgeschöpft. Weitere 40 MW Abwärmeleistung könnten bereitgestellt werden. Hier bietet es sich an, diese klimafreundliche Wärme künftig im innerstädtischen Fernwärmenetz der Stadt Hamburg einzusetzen.

Kontakt

- ▶ enercity Contracting Nord GmbH
<https://www.enercity-contracting.de/index.html>
- ▶ Aurubis AG
<https://www.aurubis.com/de>
- ▶ Hafencity GmbH
<https://www.hafencity.com/>

¹⁶ <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/energiesysteme/leuchtturm-abwaerme/>

5

Schritt 5: UMSETZUNG – Realisierung des Projekts

Hat die im vorherigen Schritt erstellte Machbarkeitsstudie ergeben, dass Niedertemperaturwärmequellen für Wärmenetze genutzt werden sollen, kann die Projektumsetzung begonnen werden.

Systeme zur Nutzung von Niedertemperaturwärme in Wärmenetzen sind noch nicht weit verbreitet. Es werden aber zunehmend neue Projekte realisiert, so dass das Know-how und die Erfahrungen aus realisierten Anlagen stetig wachsen. Es zeigt sich jedoch bereits, dass die Konzepte tragfähig sind und in ihrer Umsetzung häufig nicht komplexer als vergleichbare konventionelle Maßnahmen. Gerade für Kommunen bedeuten neue Ansätze häufig dennoch einen Mehraufwand bei den ihnen zufallenden Aufgaben.

Ziele

Aktivierung und Beteiligung der betroffenen Bürgerinnen und Bürger

- ▶ Klärung der Zuständigkeiten und der notwendigen Schritte in der Kommunalverwaltung
- ▶ Beantragung aller zur Verfügung stehender Fördermittel
- ▶ Strukturierte, geordnete und erfolgreiche Projektplanung und -realisierung im gegebenen Zeit- und Kostenrahmen mit Erreichung aller Projektziele

Leitfragen

- ▶ Wer verantwortet das Projekt bei der Kommune?
- ▶ Wann sind die Bürgerinnen und Bürger zu informieren und beteiligen? Welche unterstützenden Beratungsangebote können angeboten werden?
- ▶ Welche Ämter der Kommunalverwaltung sind von dem Vorhaben betroffen?

- ▶ Welche übergeordneten Ämter und Behörden sind vom Projekt betroffen?
- ▶ Welches Team führt das Projekt zum Erfolg?

Vorgehen

Für die Kommune besteht eine der ersten Aufgaben in der Projektumsetzung darin, herauszuarbeiten, welche Ämter und Behörden innerhalb der eigenen **Kommunalverwaltung** vom Projekt betroffen sein werden und wer das gesamte Projekt seitens der Kommune koordiniert. Im Sinne integrierter Planungsansätze sollte dabei auch über die mit dem Projekt direkt befasste Ebene hinaus geprüft werden, ob beispielweise weitere infrastrukturelle Maßnahmen zeitgleich durchgeführt werden können und welche Abstimmungen dafür nötig sind. Zusätzlich werden übergeordnete Behörden vom Projekt betroffen sein und damit in den Projektablauf eingebunden werden müssen. Hierbei ist zu beachten, dass die meisten Kommunen beschränkte Personalressourcen haben. Hier ist denkbar, in der Kommunalverwaltung einen **zentralen Ansprechpartner** (Sanierungsmanager, Wärmeplaner o. Ä.) über eine Förderung zu installieren.

Die Realisierung eines Wärmenetzes erfordert die aktive, auch finanzielle Beteiligung der zukünftigen Wärmeabnehmer und damit der Bürgerinnen und Bürger insbesondere außerhalb der Bürgervertretung (Gemeinde- oder Stadtrat). Zudem führt die Nutzbarmachung von vielen der Niedertemperaturwärmequellen zu Eingriffen in öffentliche Belange. Eine transparente und frühzeitige **Bürgerbeteiligung** war in vielen der bisherigen Projekte Basis einer erfolgreichen Projektrealisierung, sie ermöglicht die Vermeidung von Konflikten und die Stärkung der Akzeptanz. Diese Bürgerbeteiligung ist durch die kommunale

Verwaltung zumindest zu initiieren und zu begleiten. Im Rahmen von Bürgerbeteiligungsprozessen können auch die Notwendigkeiten und Möglichkeiten für Energieeffizienz- und Energiesparmaßnahmen auf Seite der Gebäudeeigentümer kommuniziert, diskutiert und im besten Fall realisiert werden.

Die Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen kann für viele Kommunen ungewohnte, teilweise auch überraschend aufwändige **Genehmigungsabläufe** erfordern. Insbesondere bei Tiefengeothermieanlagen (siehe Projektbeispiel der Tiefen Geothermie Freiham), bei Freiflächensolaranlagen im Außenbereich und bei Oberflächenwassernutzung in wasserrechtlich relevanten Gegenden sind die verwaltungsrechtlich notwendigen Genehmigungs- und Beteiligungsverfahren umfangreich. Für eine Solarthermieanlage kann z. B. die notwendige Baugenehmigung die Erstellung eines Bebauungsplanes erfordern, der wiederum im Vorlauf eine Änderung des Flächennutzungsplans erfordert. Weitere Informationen hierzu sind z. B. im „Handlungsfaden Freiflächensolaranlagen“ des Landes Baden-Württemberg zu finden.¹⁷

Auch für die Umsetzungsphase der Nutzbarmachung von Niedertemperaturwärmeströmen in Wärmenetzen stehen **Förderprogramme** zur Verfügung, meist auf Bundes-, aber auch auf Landesebene¹⁸ oder von weiteren Fördermittelgebern¹⁹. Die Nutzung von Fördermitteln kann verbunden sein mit der Anforderung, dass vor Projektbeginn ein Antrag gestellt und dessen Genehmigung erteilt wurde. Die Erstellung der Antragsunterlagen und die Wartezeit bis zur Genehmigung der beantragten Förderung sind in der Projektentwicklung zu berücksichtigen.

Die **technische Projektumsetzung** baut auf den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie auf und folgt den klassischen Projektphasen der Genehmigung und Ausführungsplanung, der Ausschreibung und Vergabe, des Baus, der Inbetriebnahme und des Übergangs bzw. der Übergabe in den Regelbetrieb. Hierin gleicht die Projektumsetzung zur Nutzung von Niedertemperaturwärmeströmen der von klassischen Wärmequellen oder Wärmeerzeugern. Insbesondere

im öffentlichen Bereich ist darauf zu achten, dass Ausschreibungsverfahren so durchgeführt werden, dass nicht nur nach dem Preis, sondern nach dem Preis-Leistungsverhältnis bewertet wird. Dadurch können spezifische Fachkenntnisse, Referenzen in der Nutzung von Niedertemperaturwärmeströmen u. ä. berücksichtigt werden.

Je nach Projektrandbedingungen, Art der Niedertemperaturwärmeströme, lokalen Gegebenheiten etc. bestehen zu Projektbeginn und entstehen während des weiteren Projektverlaufs völlig unterschiedliche Probleme und Hemmnisse. Die wissenschaftlich-technische Begleitung von Pilotanlagen zeigt, dass viele aufgetretene Probleme eher dem „Stand der Technik“ als den innovativen Systemteilen zuzuordnen waren.

Mit entscheidend für eine erfolgreiche Projektumsetzung ist das Projektteam, das zusammen das Projekt zum Erfolg führen soll. Dieses Team umfasst nicht nur die ggf. vorhandenen Projektsteuerer und den Investor, sondern alle Planer, Bauüberwacher und selbstverständlich auch die ausführenden Firmen.

Fazit

Während die meisten Investitionsvorhaben aus kommunaler Sicht mit der Bereitstellung der finanziellen Mittel und der Beauftragung der Planer beginnen und danach mehr oder weniger „automatisch“ ablaufen, erfordert die Realisierung von Wärmenetzen mit Niedertemperaturwärmeströmen ein Vorgehen insbesondere der kommunalen Verwaltungsebenen, das im Vorlauf wesentlich umfassender ist und frühzeitiger begonnen und durchgeführt werden muss. Eine frühzeitige und offene Bürgerbeteiligung kann nicht nur dazu beitragen, die aus wirtschaftlicher Sicht notwendigen Kundinnen und Kunden für einen Anschluss an das Wärmenetz zu gewinnen, sondern auch Akteursgruppen für das Projekt zu gewinnen oder zu initiieren, die die Kommune bei der Durchführung des Projektes unterstützen. Eine frühzeitige Abstimmung, im besten Fall eine Kooperation der unterschiedlichen Ämter und Behörden erleichtert hierbei meist die zielstrebige Durchführung des Projektes.

¹⁷ <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikationen/publikation/did/handlungsfaden-freiflaechensolaranlagen>

¹⁸ mit den entsprechenden Deskriptoren, z. B. „Wärmenetz“ sind diese über die zentrale Plattform <https://foerderdatenbank.de/> zu finden

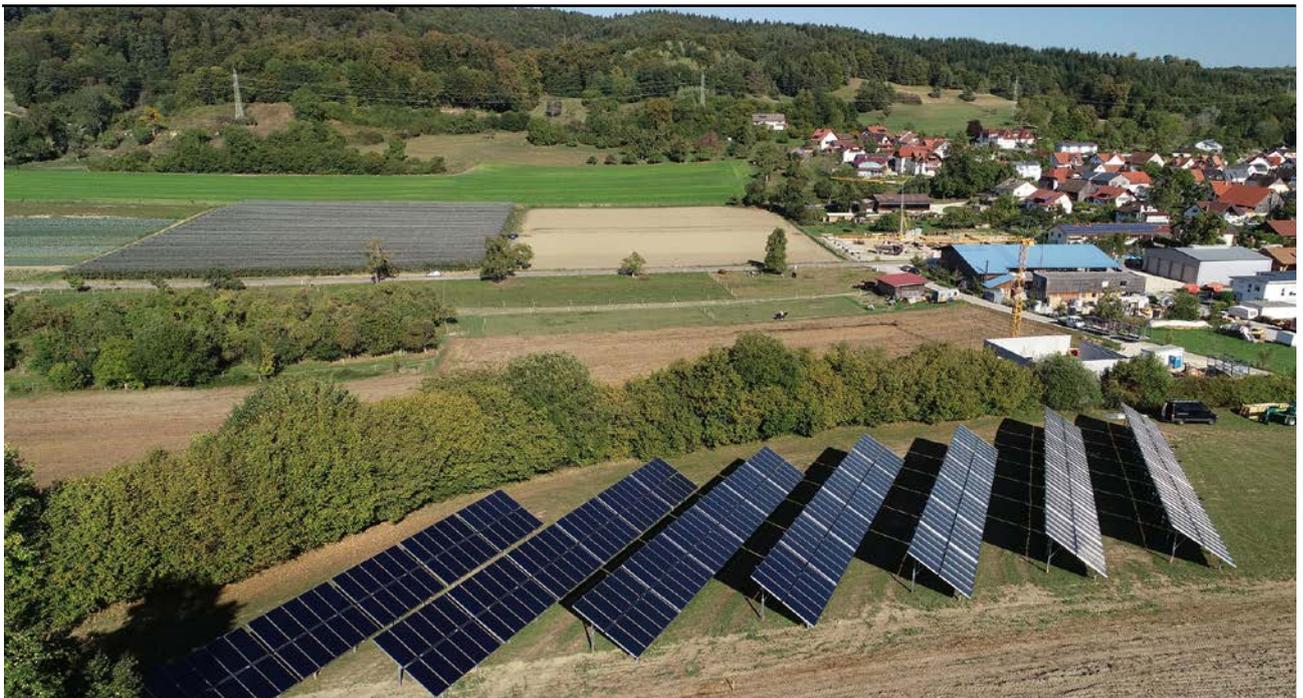
¹⁹ z. B. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU

PROJEKTBEISPIEL UMSETZUNG: Solarenergiedörfer

Als im Jahr 2013 in Büsingen das erste deutsche Solar-Bioenergie-Dorf mit einem Kollektorfeld von rund 1.000 Quadratmetern an den Start ging, ahnten nur wenige, dass dies zur Blaupause für viele andere Projekte werden könnte. Denn damals wurden neue

Im Jahr 2018 sind fünf neue Solar-Bioenergie-Dörfer in Betrieb gegangen: in Randegg und Liggeringen in Baden-Württemberg, in Mengsberg in Hessen, in Breklum in Schleswig-Holstein und in Ellern in Rheinland-Pfalz. In all diesen Dörfern wird übers

Freiflächen-Solarthermieanlage in Liggeringen



Quelle: Stadtwerke Radolfzell GmbHs

Bioenergiedörfer in der Regel auf Basis einer Bioenergieanlage versorgt. Deren Betreiber verdienen ihr Geld über den durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantierten Stromverkauf. Die Verteilung der Abwärme war lediglich ein Zusatzgeschäft. Inzwischen allerdings ist dieses Geschäftsmodell durch Änderungen im EEG für neue Biogasanlagen unattraktiv geworden. Dorfgemeinschaften, die ihre Wärmeversorgung umstellen wollen, denken deshalb eher über die Kombination von Solarthermie und Biomasse und im hohen Norden auch zunehmend über Windenergie nach.

Jahr zu rund 80 % mit Holzhackschnitzeln geheizt, während ein Fünftel der Energie für Heizung und Warmwasser von der Sonne kommt. Dabei bleibt der Holzkessel in den Sommermonaten ganz ausgeschaltet. Dann übernimmt die Solarthermieanlage die Restwärmeversorgung des Dorfes.

Dies hat aus Sicht der Wärmenetzbetreiber gleich mehrere Vorteile. Zum einen wird durch die Solarwärmeanlage Holz eingespart, das zwar als Brennstoff deutlich günstiger ist als Gas und Öl, dessen Preis allerdings aufgrund der steigenden Nachfrage in den letzten Jahren angezogen hat. Vor diesem Hintergrund ist die Solarwärme heute schon eine wirt-

schaftliche Alternative. Die Kombination mit der Solaranlage bringt für die Holzkessel den zusätzlichen Vorteil, dass diese im Sommerhalbjahr nicht mehr so oft im Teillastbetrieb arbeiten müssen, was mit einem schlechten Wirkungsgrad und somit überproportional hohem Brennstoffverbrauch verbunden wäre. Zudem kann die jährliche Wartung der Kesselanlage in der sommerlichen Stillstandspause durchgeführt werden.

Vielfältig sind auch die Möglichkeiten, den Betrieb der Wärmenetze zu organisieren. In Mengersberg und Breklum haben sich dafür lokale Bürgerenergiegenossenschaften gebildet, während in Ellern und Liggeringen ein kommunaler Versorger als Betreiber fungiert. Inzwischen bieten sich allerdings auch professionelle Ökoenergieunternehmen, die ursprünglich im Strombereich entstanden sind, als Wärmenetzbetreiber an.

Übersicht der wichtigsten Daten der fünf im Jahr 2018 realisierten Solarenergiedörfer

Solar-energiedorf	Liggeringen	Randegg	Mengersberg	Breklum	Ellern
Betreiber	Stadtwerte Radolfzell GmbH	Solarcomplex AG	Bioenergiegenossenschaft Mengersberg BEGM eG	Bürger-GemeindeWerke Breklum eG	Kommune
Hausanschlüsse	90 (1. BA)	150	150	42 (1. BA)	105
Netzlänge	5 km	6,6 km	9 km	3,8 km	5,3 km
Kollektortyp	HT-Flachkollektor	Vakuurröhrenkollektoren	HT-Flachkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren
Kollektorfläche	1.100 m ²	2.400 m ²	3.000 m ²	652 m ²	1.245 m ²
Erwarteter solarer Jahresertrag	470 MWh/a	1.100 MWh/a	900 MWh/a	289 MWh/a	555 MWh/a
Erwarteter solarer Deckungsanteil	20 %	20 %	17 %	8 %	15 %

BA: Bauabschnitt, HT: Hochtemperatur
 Alle fünf Nahwärmenetze haben eine maximale Vorlauftemperatur von unter 95 °C im Winter, die Rücklauftemperaturen liegen meist im Bereich von 50 °C.

VERTIEFUNG: Tiefe Geothermie

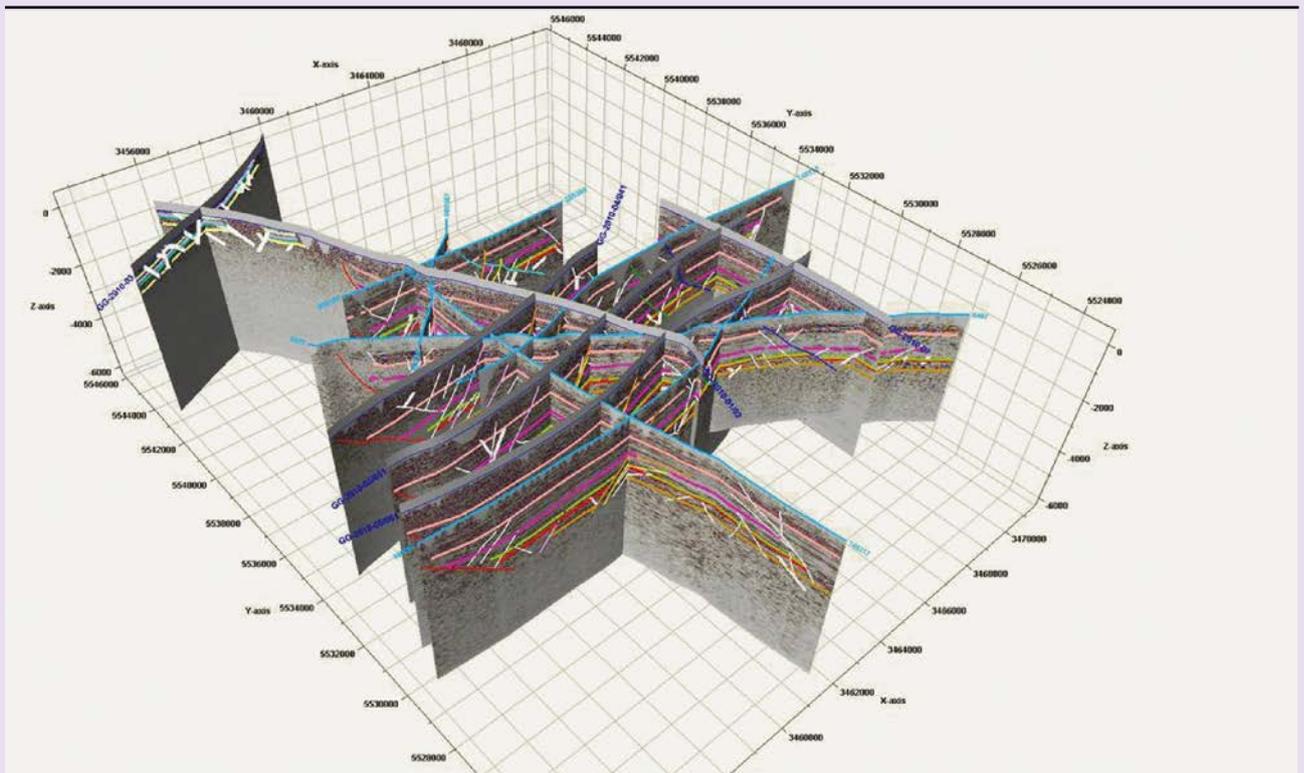
Die Entwicklung eines Tiefen Geothermie Projekts erfolgt Schritt-für-Schritt in mehreren Phasen mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten und Zielsetzungen. Am Ende eines jeden Schritts steht eine Meilensteinentscheidung, ob das Projekt auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse wie geplant fortgeführt werden kann.

Den ersten Schritt in der Projektentwicklung stellt eine Vorstudie („Desktop Study“) dar, in der typischerweise frei verfügbare Informationen über den

und Mächtigkeit möglicher Nutzhorizonte sowie den erwarteten Temperaturen. Als Datengrundlagen dienen Literaturquellen sowie Fachdatenbanken wie GeotIS²⁰, Web-Anwendungen wie GeORG für den Oberrheingraben²¹ oder andere 3D-Untergrundmodelle²². Neben der Auswertung projektrelevanter Daten gibt die Vorstudie auch Handlungsempfehlungen für die weitere Projektentwicklung.

Wird auf Basis der Vorstudie eine Fortführung des Projekts beschlossen, erfolgt im nächsten Schritt die

Darstellung explorationsseismischer Daten zur Identifizierung von Formationen und Störungszonen im Untergrund



Quelle: GeoThermal Engineering GmbH / DMT GmbH & Co KG

Untergrund und mögliche geothermische Zielhorizonte von einem spezialisierten Planungsbüro zusammengetragen und ausgewertet werden. Die Desktop Study klärt, ob an einem Standort grundsätzlich ein geothermisches Potenzial vorhanden ist. Sie gibt erste Einschätzungen zum geologischen Aufbau des Untergrunds, insbesondere der Tiefenlage

Beantragung der Aufsuchungserlaubnis für das Untersuchungsgebiet beim zuständigen Bergamt. Grund ist die Tatsache, dass es sich bei Tiefer Geo-

²⁰ www.geotis.de

²¹ www.geopotenziale.eu

²² https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Home/GeoL_3D_Modelle/geoL_3d_modelle_node.html

thermie rechtlich gesehen um Bergbau handelt, der dem Bundesberggesetz (BBergG) unterliegt. Die Aufsuchungserlaubnis gewährt das ausschließliche Recht, im „Erlaubnisfeld“ Explorationsmaßnahmen durchzuführen, d. h. Maßnahmen zur näheren Charakterisierung des Untergrundes in Hinblick auf das geothermische Potenzial. Gleichzeitig wird auf diese Weise das Vorrecht für die spätere Nutzung reserviert. Im Rahmen des Erlaubnisanspruchs müssen ein detailliertes Arbeitsprogramm mit Beschreibung der geplanten Arbeiten vorgelegt und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Antragsstellers nachgewiesen werden. Die Aufsuchungserlaubnis wird für maximal 5 Jahre erteilt. Danach ist nur unter gewissen Voraussetzungen eine Verlängerung möglich.

Als nächster Schritt empfiehlt sich die Durchführung einer Infrastrukturanalyse. Dabei werden unter anderem Gebiete innerhalb des Erlaubnisfeldes identifiziert, in denen die Umsetzung eines Geothermieprojekts untersagt oder nur eingeschränkt möglich ist bzw. mit einem zeitintensiven Genehmigungsverfahren gerechnet werden muss. Gleichzeitig werden Gebiete ausgewiesen, die für eine Projektumsetzung besonders geeignet sind, beispielsweise aufgrund größerer Freiflächen oder günstiger Einbindungsoptionen. Auf Basis der Ergebnisse der Infrastrukturanalyse können die geplanten Aufsuchungstätigkeiten frühzeitig angepasst werden.

Die Erkundung des tiefen Untergrundes erfolgt dann durch verschiedene Explorationsmaßnahmen. Dazu zählen im ersten Schritt der Ankauf und die Auswertung bereits vorhandener Untergrunddaten (z. B. 2D-Seismiklinien, Bohrungsdaten) oder – falls für das Erlaubnisfeld keine Altdaten vorliegen – die Planung und Durchführung einer 2D-seismischen Messkampagne. Operative Maßnahmen wie seismische Messungen müssen dabei gesondert beantragt und genehmigt werden. Dazu ist es zwingend erforderlich, dass die Aufsuchungserlaubnis bereits vorliegt. Die Auswertung der 2D-Seismiklinien dient der näheren Charakterisierung des Untergrundes, darunter der Suche nach potenziell hydraulisch durchlässigen Zonen im Untergrund. Auf Basis der 2D-Seismik kann ein erstes Untergrundmodell erstellt und eine Standortvorauswahl getroffen werden. Die Ergebnisse werden in einer zweiten Vorstudie, der „Pre-Feasibility Study“ zusammengefasst.

Sind die Ergebnisse der Pre-Feasibility Study vielversprechend, bilden diese die Grundlage für die weitere Projektentwicklung. In den meisten Fällen sind sie noch nicht ausreichend für eine Bohrfeldplanung, sodass entweder ergänzende 2D-seismische Messungen oder die Durchführung einer 3D-Seismik erforderlich sind. In der Regel ist eine 3D-Seismik zu empfehlen, da diese – im Gegensatz zur 2D-Seismik – Aussagen zur räumlichen Lage und Ausdehnung von Formationen, Störungssystemen und Strukturen im Reservoir erlaubt. Die 3D-Seismik stellt dann die Basis für ein detailliertes geologisches Untergrundmodell und die umfassende Charakterisierung des Reservoirs im Rahmen der Machbarkeitsstudie dar.

Die Machbarkeitsstudie stellt den letzten großen Meilenstein vor der Niederbringung der Bohrung(en) dar. Auf der geologisch-technischen Seite umfasst sie neben einer umfassenden Lagerstättenbeschreibung inklusive Abschätzung von Temperaturen und Förderraten unter anderem die Definition der Bohrziele („Targets“) im Untergrund, das Erschließungskonzept einschließlich einer vorläufigen Bohrplanung sowie ggf. die Ergebnisse einer seismischen Gefährdungsanalyse falls die geplanten Bohrungen innerhalb einer Erdbebenzone liegen. Auch das Konzept zur Integration der Wärme in das kommunale Wärmenetz wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie entwickelt und bewertet, ebenso wie das Finanzierungskonzept und die Wirtschaftlichkeit (vgl. Schritt 4). Im Falle von Tiefen Geothermieprojekten stellt dabei das erforderliche Kapital in mehrstelliger Millionenhöhe für das Abteufen der Tiefbohrungen eine besondere Herausforderung dar, da sich die tatsächlichen Untergrundverhältnisse erst mit der Bohrung zeigen. Das Fündigkeitsrisiko, d. h. das Risiko, dass nicht die erwarteten Temperaturen und insbesondere zu geringe Fließraten angetroffen werden, stellt daher auch das größte wirtschaftliche Risiko dar. Daneben sind auch die allgemeine technische Risikodeckung sowie das bohrtechnische Risiko zu berücksichtigen. Weiterhin stellen die mit dem seismischen Risiko verbundenen Fragestellungen zu Bergschäden und der Haftpflicht wichtige Aspekte dar, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie erörtert werden. Sowohl das Fündigkeitsrisiko, das bohrtechnische Risiko als auch das Haftpflichtrisiko von Bergschäden können über privatwirtschaftliche Versicherungslösungen abgesichert werden. Parallel empfiehlt sich die jedoch Konzipierung von Alterna-

tivkonzepten, sollte(n) die Bohrung(en) nicht die erwartete Fündigkeit aufweisen.

Wird auf Basis der Machbarkeitsstudie die Umsetzung des Geothermieprojekts beschlossen, sind vor Beginn der Bohrarbeiten zunächst noch einige Zwischenschritte erforderlich. Dazu zählen die notwendigen Genehmigungsprozesse, Ausschreibungs- und Vergabeverfahren, technische Detailplanungen sowie die Errichtung des Bohrplatzes. Im Anschluss kann mit der Niederbringung der ersten Bohrung begonnen werden, deren Erfolg über das weitere Vorgehen entscheidet.

Die zentralen Anträge vor Beginn der Bohrarbeiten sind die Betriebspläne für den Bohrplatzbau, die Bohrungen und die hydraulischen Testarbeiten. In den Betriebsplänen müssen die geplanten Arbeiten detailliert beschrieben werden. Dies umfasst unter anderem die technische Ausführungsplanung. Das Genehmigungsverfahren ist komplex, da von dem Bergamt weitere Behörden am Zulassungsverfahren beteiligt werden, wenn ihre Aufgabenbereiche durch die vorgesehenen Maßnahmen tangiert werden. Dies betrifft beispielsweise wasserrechtliche Fragestellungen.

Spätestens im Zuge der Planungen von Bohrplatzbau und Bohrungen muss auch geprüft werden, ob eine Umweltverträglichkeitsvorprüfung oder gar eine vollumfängliche Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt werden muss. Eine UVP-Pflicht besteht derzeit lediglich in Naturschutzgebieten und Natura-2000-Gebieten für Bohrungen ab 1.000 m Tiefe sowie für Tiefbohrungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme unter Aufbrechen von Gestein unter hydraulischem Druck bei Einsatz von wassergefährdenden Stoffen oder Lage in einer Erdbebenzone 1 bis 3. Ansonsten entscheidet die UVP-Vorprüfung, ob für das Vorhaben die Pflicht zur Durchführung einer vollständigen UVP besteht. Da sich die Bestandsaufnahme vorhandener Schutzgüter zeitintensiv gestalten kann, ist es von Vorteil, entsprechende Voruntersuchungen bereits in einer früheren Projektphase durchzuführen.

Die Unternehmen für den Bohrplatzbau, der Bohrunternehmer sowie weitere Servicefirmen (z. B. für Bohrlochgeophysik, hydraulische Testarbeiten etc.) werden üblicherweise im Rahmen von Ausschreibungsverfahren ermittelt. Diese werden idealerweise zeitlich auf den Genehmigungsprozess abgestimmt.

Im Anschluss an das Vergabeverfahren kann die Ausführungsplanung in enger Abstimmung mit den jeweiligen Serviceunternehmen weiter konkretisiert werden.

Liegt die Betriebsplanzulassung vor, kann mit dem Bohrplatzbau begonnen werden. Parallel empfiehlt sich der Aufbau eines seismischen Monitoringsystems sowie eines Grundwasser-Monitorings im Umfeld des Bohrplatzes.

Die Niederbringung der Bohrungen erfolgt in mehreren Teilabschnitten, sogenannten Sektionen, die teleskopartig aufeinander aufgebaut sind. Dabei wird mit großen Bohrdurchmessern begonnen und dann mit zunehmend kleineren Durchmessern weitergebohrt. Nach Fertigstellung einer Sektion und Abschluss bohrlochgeophysikalischer Messungen wird die Verrohrung eingebaut, die das Bohrloch stabilisiert und gegenüber dem Gebirge abdichtet. Der Ringraum zwischen dem Gestein und den eingesetzten Stahlrohren wird mit Zement verfüllt.

Während der Bohrarbeiten werden wichtige Parameter wie beispielsweise die aktuelle Tiefe und der Bohrfortschritt kontinuierlich aufgezeichnet. Das vom Bohrmeißel gelöste Gesteinsmaterial wird auf dem Bohrplatz fortlaufend untersucht und dokumentiert. Auf Basis der Ergebnisse wird das geologische Untergrundmodell kontinuierlich verifiziert und gegebenenfalls angepasst.

Hat die erste Bohrung ihre Endteufe erreicht, werden im Zielhorizont hydraulische Testarbeiten zur Ermittlung der Reservoireigenschaften durchgeführt. Die Bohrung gilt als fündig, wenn eine Mindest-Förderrate bei einer maximal vertretbaren hydraulischen Druckabsenkung erreicht werden kann und eine Mindest-Reservoirtemperatur vorliegt. Die entsprechenden Schwellenwerte müssen bereits vor Beginn der Bohrarbeiten auf Basis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen definiert werden.

Wird zwar die Mindest-Temperatur, nicht jedoch die erforderliche Förderrate angetroffen, können Ertüchtigungsmaßnahmen helfen, die gewünschte Förderrate zu erzielen. Dazu zählt im Falle karbonatischer Gesteinsminerale das (Druck-)Säuern mit Salzsäure (chemische Stimulation). Hydraulische Stimulationsmaßnahmen werden klassischerweise bei petrothermalen Systemen eingesetzt, können

jedoch auch bei hydrothermalen Projekten Anwendung finden. Darüber hinaus kann auch eine Ablenkung aus der bestehenden Bohrung heraus (ein sogenannter „Sidetrack“) oder die Vertiefung des Bohrlochs eine Option darstellen.

Falls auch nach den Ertüchtigungsmaßnahmen keine ausreichende Förderrate nachgewiesen werden kann, wird meist vom geplanten Vorhaben Abstand genommen und alternative Nutzungen der Bohrung geprüft. Dazu zählt der Einbau einer Tiefen Erdwärmesonde. Wird beschlossen, die Bohrung nicht zu nutzen, so ist sie ordnungsgemäß zu verfüllen.

Ist die erste Bohrung jedoch fündig, wird auf Basis der gewonnenen Daten die Planung für die zweite Bohrung nochmals geprüft und entsprechend angepasst. Die Niederbringung der zweiten Bohrung erfolgt dann analog zur Ersten, meist vom gleichen Bohrplatz aus. Ist auch die zweite Bohrung erfolgreich, empfiehlt sich die Durchführung einer thermohydraulischen Modellierung auf Basis des geologischen Untergrundmodells und der hydraulischen Kennwerte. Dabei werden die Auswirkungen der Thermalwasserzirkulation im Untergrund simuliert, um darauf aufbauend das System optimal für eine nachhaltige Nutzung auslegen zu können.

Es folgt ein Zirkulationstest zwischen den beiden Bohrungen, bei dem Thermalwasser aus einer der Bohrungen gefördert und anschließend in einem geschlossenen Kreislauf über die andere Bohrung wieder in das Reservoir zurückgeführt wird. Der Zirkulationstest sollte den späteren Dublettenbetrieb so genau wie möglich abbilden, um auf Basis der Ergebnisse die Nutzungskonfiguration gegebenenfalls nochmals anzupassen zu können.

Danach enden die Aufsuchungstätigkeiten für das Geothermieprojekt. Alle Arbeiten im Zusammenhang mit der späteren, kommerziellen Förderung gelten als Gewinnung. Dafür ist ein Bewilligungsantrag bei der Bergbehörde zu stellen. Die Größe des Bewilligungsfelds richtet sich nach der Reichweite der hydraulischen und thermischen Beeinflussung und ist üblicherweise kleiner als das ursprüngliche Erlaubnisfeld. Liegt die Bewilligung vor, ist ein Betriebsplan für die Gewinnung zu erstellen. Der Geltungsbereich des Bundesberggesetzes endet dabei am Übergang zum Thermalwasserkreislauf der Anlage.

Die beiden letzten Schritte in der Projektentwicklung stellen die Planung und der Bau der Anlage sowie die Einbindung in das lokale Wärmenetz dar. Die damit beauftragten Serviceunternehmen werden üblicherweise im Zuge von Ausschreibungsverfahren ermittelt. Für den obertägigen Anlagenbau ist ein Baugenehmigungsverfahren erforderlich. Nach Errichtung startet die Anlage zunächst für einen definierten Zeitraum in den Probetrieb. Kann dieser erfolgreich abgeschlossen werden, geht die Anlage in den Dauerbetrieb über.

PROJEKTBEISPIEL TIEFE GEOTHERMIE: Freiam

Da die geologischen Voraussetzungen im Münchner Raum besonders günstig sind, setzen die Stadtwerke München (SWM) in erster Linie auf Tiefe Geothermie um ihr Ziel zu erreichen, bis zum Jahr 2040 die Fernwärme zu 100 % aus regenerativen Energien zu gewinnen.

Fernwärme wird in München bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts genutzt. Seither haben die SWM das Fernwärmenetz in München kontinuierlich ausgebaut. Heute zählt es mit rund 800 km Länge zu einem der größten in Europa. Gleichzeitig treiben die SWM den Fernwärmeausbau weiter voran. Dabei werden bestehende Fernwärmegebiete verdichtet und weitere Stadtviertel erschlossen, so auch der neue Stadtteil Freiam, der im Westen von München entstehen soll.

Für München ist Freiam das bedeutendste Wohnungsbauvorhaben dieses Jahrzehnts. Das Gebiet untergliedert sich dabei in zwei Bereiche, den Gewerbestandort „Freiam Süd“, der sich bereits seit 2006 im Bau befindet sowie das Neubaugebiet „Freiam Nord“, für das die ersten Erschließungsarbeiten im Jahr 2015 begannen. Die Entwicklung des Neubaugebietes Freiam Nord wird dabei mit der Sanierung des Bestandsgebietes im benachbarten Stadtteil Neuaußing verknüpft. Auf diese Weise verbindet das Projekt beispielhaft energieeffizienten Neubau und Bestandsentwicklung.

Kern des energetischen Konzepts zur Wärmeversorgung des bestehenden sowie des neuen Stadtteils ist die Nutzung von regenerativer und nahezu CO₂-neut-

Bohrkronen zur Herstellung der Geothermie-Bohrung in Freiam



Quelle: Stadtwerke München

raler Wärme aus Tiefer Geothermie. Zielhorizont im Untergrund stellen wie im gesamten bayerischen Molassebecken die Karbonatgesteine des Oberjura (Malm) dar. 2D- und 3D-seismische Messungen wurden in Freiam im Jahr 2012 durchgeführt und in der Folgezeit ausgewertet. Darauf aufbauend erfolgte eine konkrete Erschließungsplanung. Mit den Bohrarbeiten wurde Ende September 2015 begonnen. Die erste Bohrung (Förderbohrung) erreichte nach zwei Monaten Ende November 2015 ihre Endteufe in 2.518 m Tiefe. Da die Bohrung abgelenkt ausgeführt wurde, betrug die Bohrstrecke insgesamt 3.132 m. Die darauffolgenden Pumpversuche zeigten eine Thermalwassertemperatur von 90 °C sowie eine Schüttung von 90 l/s. Beide Größen lagen über den Erwartungen. Im Anschluss wurde die Bohranlage demontiert und rund drei Kilometer weiter nördlich auf einem zweiten Bohrplatz wieder errichtet, von dem aus die Injektionsbohrung niedergebracht wurde. Diese erreichte ihre Endteufe in 2.457 m Tiefe Anfang Februar 2016 nach sieben Wochen Bohrzeit und 2.600 Bohrmeter. Die anschließenden Pumpversuche ergaben eine Förderrate von > 100 l/s und lagen damit nochmals über den Erwartungen. Im Mai 2016 wurde die Förderpumpe in die Produktionsbohrung eingebaut; im Sommer 2016 folgte ein Langzeitpumpversuch.

Mit den Arbeiten für das Heizwerk in Freiam war bereits im Herbst 2010 begonnen worden. Dieses hatte dann bereits zur Heizperiode 2012/2013 seinen Betrieb aufgenommen. Bis zur Fertigstellung der Geothermiebohrungen erfolgt die Wärmeversorgung über ein Erdgas-befeuertes Blockheizkraftwerk. Die Bereitstellung von geothermischer Wärmeenergie begann im Herbst 2016, wobei die Geothermie zur Grundlastdeckung eingesetzt wird.

Die Wärme aus dem Geothermieheizwerk wird über zwei miteinander gekoppelte Wärmenetzkreisläufe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus verteilt. Während ein Wärmenetz mit relativ hohen Vorlauftemperaturen von 75-90 °C das Gewerbegebiet „Freiam Süd“ und die Bestandsgebiete in Neuauubing versorgt, wird ein Netz mit einer geringeren Vorlauftemperatur von 60 °C die Wärmeversorgung der Neubauten in „Freiam Nord“ übernehmen. Die Nutzung der Wärme auf zwei Temperaturniveaus steigert die Effizienz der Wärmeerzeugung beträchtlich. Auf diese Weise kann dem Thermalwasser besonders viel Wärmeenergie entzogen werden, ohne

dass sich der technische Aufwand dadurch nennenswert erhöht. Außerdem tragen die niedrigen Temperaturen im Wärmenetz dazu bei, die Wärmeverluste bei der Verteilung zu minimieren. Gleichzeitig sind Maßnahmen zur Absenkung der Rücklauftemperaturen bei den Wärmekunden erforderlich. Durch die Lage der Heizzentrale zwischen Freiam Nord und Freiam Süd sind die Voraussetzungen für die Energieverteilung besonders günstig. Nur Optimierungen bei Erzeugung, Netz und Kunden gemeinsam ermöglichen das Gelingen der Nachhaltigkeitsvision.

Die Tiefe Geothermie soll in Freiam künftig 80 % des Wärmebedarfs decken. Die verbleibende Wärmeenergie wird vorwiegend über eine Kraft-Wärme-Kopplung oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung bereitgestellt. Als Spitzenlastabdeckung sowie Redundanzversorgung, sollte die Geothermieanlage ausfallen, dienen erdgasbetriebene Heizkessel, die sich bei Bedarf im Heizwerk hinzuschalten lassen. Darüber hinaus gibt es eine Verbindung zum großen Fernwärmenetz in der Münchner Innenstadt: Wird die Wärme im Bereich des Freiamer Netzes mit der höheren Vorlauftemperatur im Sommer nicht vollständig benötigt, kann diese an die Münchner Innenstadt abgegeben werden. Gleichzeitig sichert die Anbindung an das große Münchner Fernwärmenetz die Versorgung in den neuen Gebieten im Westen zusätzlich ab.²³

Kontakt

- ▶ Stadtwerke München,
Landeshauptstadt München –
Referat für Stadtplanung und Bauordnung,
Stadtplanung

²³ <https://www.swm.de/dam/doc/schulen/unterrichtsmaterial/broschuere-gestalter-waermewende.pdf>
<https://www.muenchen.de/rathaus/Freiam/download.html>

EXKURS: Wärmespeicherung

Wärmespeicher ermöglichen die zeitliche Entkopplung der Wärmeerzeugung vom Wärmebedarf. Je größer die Unterschiede zwischen Wärmeangebot und -nachfrage sind und je länger diese dauern, umso mehr Wärme muss ein Wärmespeicher speichern können.

Die einzelnen Niedertemperaturwärmequellen zeigen eine unterschiedliche Korrelation zum typischen jährlichen Verlauf des Wärmebedarfs: Während der höchste Wärmeverbrauch in die kalten Wintermonate fällt, konzentriert sich das Angebot an solarer Wärme auf das Sommerhalbjahr. Industrielle und gewerbli-

Bau des saisonalen Wärmespeichers im Projekt solare Nahwärme Ackermannbogen in München



Quelle: Solites

Die Wärmespeicherung erfolgt im Volumen des Wärmespeichers, in dem dieses erwärmt und wieder abgekühlt wird. Neben dem Speichermedium (meist Wasser) ist die Höhe der Temperaturänderung (minimale zu maximaler Temperatur) entscheidend für das notwendige Wärmespeichervolumen. Bestehen starke Volumenbeschränkungen, kann die Verwendung von latenten Wärmespeichern mit Phasenwechsel oder thermochemischen Wärmespeichern betrachtet werden.

che Abwärme fällt je nach den industriellen Prozessen und Produktionsmengen an. Die Nutzung der Wärme aus Tiefer Geothermie ist über das ganze Jahr gleichbleibend möglich.

Ein Wärmespeicher erzeugt selbst keine Wärme. Daher wird sein möglicher Nutzen für eine Wärmeversorgung vorwiegend durch seine Be- und Entladung bestimmt. Damit sind Fragen zur Bauweise und Größe eines Wärmespeichers immer zusammen mit

seiner hydraulischen und regelungstechnischen Systemintegration zu bearbeiten.

Basis jeder Konzeption eines Wärmespeichers muss sein Nutzen sein. Dieser wird definiert durch die Wärmemengen und -leistungen, die der Wärmespeicher zur Verfügung stellen muss (Entladung) und die ihm zur Beladung angeboten werden. Dieses Angebot muss der Wärmespeicher nicht vollständig nutzen. Die größte Wärmemenge, die während eines Speicherzyklus gespeichert werden muss, lässt eine Abschätzung seines möglichen Volumens zu. So kann z. B. Wasser rund $1,16 \text{ kWh/m}^3$ Wärme speichern, wenn es um 1 K erwärmt wird.

Wenn das mögliche Volumen des betrachteten Wärmespeichers abgeschätzt ist, können mögliche Standorte für den Wärmespeicher gesucht werden. Technisch wünschenswert ist, dass der Wärmespeicher möglichst nahe an der ihn beladenden Wärmequelle und der ihn entladenden Wärmesenke platziert werden kann. Je nach Bauweise des Wärmespeichers, seiner Integration in das Siedlungs- oder Landschaftsbild etc. kann dies jedoch zu notwendigen Standortänderungen oder -varianten führen.

Für die möglichen Standorte eines Wärmespeichers ist der Untergrund auf dessen statische Tragfähigkeit und, bei einer thermischen Nutzung des Untergrundes zur Wärmespeicherung, auf dessen Eignung hierfür zu untersuchen (z. B. durch eine hydrogeologische Analyse des Untergrundes). Hierbei können auch schon vorhandene Daten der geologischen Landesämter etc. helfen.

Je nach den erarbeiteten Randbedingungen kann es sein, dass ein iteratives Vorgehen notwendig ist. So kann sich z. B. ergeben, dass ein etwas kleinerer Wärmespeicher weitaus einfacher und dadurch kostengünstiger realisierbar ist. Oder es kann sein, dass anstatt eines angedachten großen Wasservolumens die Nutzung des vorhandenen Untergrundes zur Wärmespeicherung wesentliche Genehmigungs- und Kostenvorteile ergibt, dies jedoch eine Anpassung des wärmeerzeugenden Systems, des Wärmenetzes und ggf. sogar der Wärmeübergabe an die Gebäude erfordert. Wie eingangs beschrieben ist der mögliche Wärmespeicher immer zusammen mit seiner Systemintegration zu bearbeiten.

Zur genaueren Dimensionierung des Wärmespeichers und zur technischen und ökonomischen Optimierung seiner Systemeinbindung sind dynamische Systemsimulationen zu empfehlen, die den Wärmespeicher sowie zumindest das Teilsystem, in das der Wärmespeicher hydraulisch und regelungstechnisch eingebunden ist, betrachtet. Im Rahmen einer Simulationsstudie können auch zukünftige Einsatzvarianten des möglichen Wärmespeichers betrachtet werden. Meist zeigen Wärmespeicher eine technische Lebensdauer von 30 bis über 50 Jahren, so dass davon auszugehen ist, dass diese Bauwerke zukünftig auch in anderen Systemeinbindungen als den aktuell betrachteten betrieben werden sollen.

Als Ergebnis der Betrachtungen zu Wärmespeichern liegt eine Grobdimensionierung des notwendigen Wärmespeichervolumens, ein Konzept zur Bauweise des Wärmespeichers und ein Entwurf zu dessen hydraulischer Systemintegration vor.

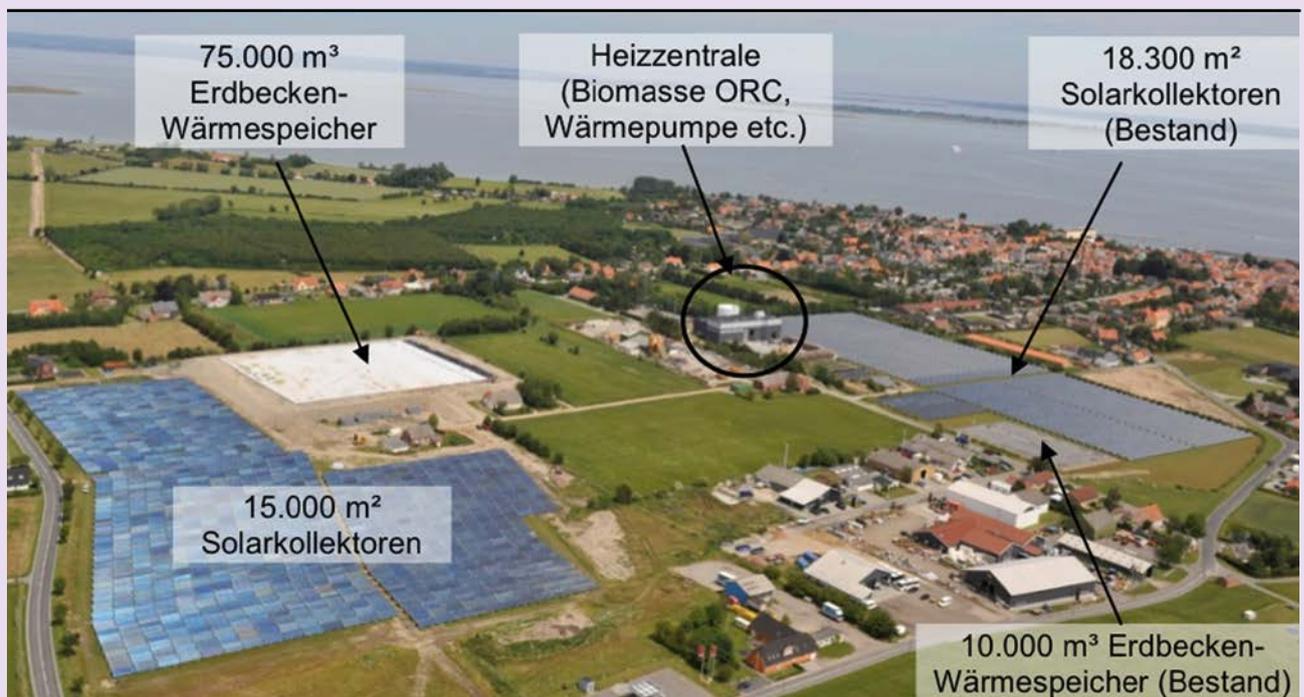
Da der Wärmespeicher durch seine Systemeinbindung geprägt wird, kann im folgenden Schritt der Machbarkeitsstudie aufgrund der dann näher zu betrachtenden Systemwirkung die Speichergröße oder die Bauweise des Wärmespeichers geändert werden müssen.

PROJEKTBEISPIEL WÄRMESPEICHER: Marstal

In Marstal auf der dänischen Insel Aerö wurde im Jahr 2012 ein neuartiges, auf 100 % erneuerbaren Energien basierendes Anlagenkonzept für das örtliche Fernwärmesystem umgesetzt. Zentrale Komponenten sind eine solarthermische Großanlage

In der Sommerzeit liefern die Solarkollektoren Wärme zur direkten Nutzung an das Fernwärmenetz und beladen zusätzlich die Wärmespeicher. Sinken die Temperaturen der Wärmespeicher im Herbst bzw. im Winter unter ein zur direkten Nutzung erforderliches

Ansicht der solaren Fernwärme in Marstal, Dänemark



Blau-graue Flächen: Solarthermie, weiße Fläche: Multifunktions-Wärmespeicher

Quelle: Marstal Fjernvarme und Solites

mit einer thermischen Nennleistung von 23,4 MW_{th}, ein Multifunktions-Wärmespeicher mit 75.000 m³ Wasserinhalt und ein Biomasse-Heizkraftwerk mit ORC-Anlage. Das als „Smart District Heating“ bezeichnete Gesamtkonzept ermöglicht dem lokalen Wärmeversorger eine wirtschaftlich attraktive Teilnahme am Strom-Regelenergiemarkt. Die Solarthermieanlage deckt rund 33 % des jährlichen Wärmebedarfs von rund 32 GWh. Das Gesamtsystem ermöglicht eine zu 100 % auf erneuerbaren Energien basierende Versorgung des jährlichen Wärmebedarfs von rund 32 GWh.

Temperaturniveau, muss mit Hilfe von Wärmepumpen und eines Biomassekessels nachgeheizt werden.

Die Wärmepumpen laufen vorwiegend bei niedrigen Strompreisen und kühlen den Speicher weiter ab, um Nutzwärme an das Fernwärmenetz bzw. in einen Pufferspeicher zu liefern. Der Biomassekessel liefert eine Wärmeleistung von 4 MW, aus denen in einer ORC Anlage 750 kW Strom erzeugt werden. Die restliche Wärmeleistung wird an das Fernwärmenetz abgegeben. Im Bedarfsfall kann der Biomassekessel auch ohne Betrieb der ORC-Anlage Wärme direkt an das Fernwärmenetz liefern.

„Der Erdbecken-Wärmespeicher hat ein Wasservolumen von 75.000 m³. Er ist als umgekehrter Pyramidenstumpf mit rechteckiger Grundfläche ausgebildet. Die horizontalen Dimensionen des Speichervolumens im Deckenbereich betragen 113 x 88 m, im Bodenbereich 48 x 23 m, die Höhe liegt bei 16 m. Die Auskleidung der Speicherbaugrube besteht aus einer HD-PE-Folie, die im Wand- und Bodenbereich auf einem Schutzvlies ausgelegt und verschweißt wurde. Nach dem Befüllen der Baugrube mit Wasser wurde der Speicher mit einer schwimmenden und wärmege-dämmten Abdeckung versehen. Als Dämmmaterial wurde kreuzvernetzter Polyethylenschaum mit einer Dämmstärke von 240 mm eingesetzt. Das Dämmmaterial wurde in Form großer Matten in mehreren Lagen auf der auf der Wasseroberfläche schwimmenden Auskleidungsfolie ausgelegt. Die Wand- und Bodenbereiche blieben als Folge einer Kosten-Nutzen-Rechnung ungedämmt.“²⁴

Kontakt

► www.solarmarstal.dk

²⁴ Schmidt, T., Mangold, D. (2013): Solar unterstützte Kraft-Wärme-Kopplung mit saisonalem Wärmespeicher – das dänische Pilotprojekt „SUNSTORE 4“. Symposium Thermische Solarenergie. Bad Staffelstein <http://www.solvarmedata.dk>



► **Unsere Broschüre als Download**
**[www.umweltbundesamt.de/
publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen)**

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt