



7 Ableitung zentraler Erkenntnisse aus der Analyse der Städte

Die folgenden Abschnitte beinhalten eine Synthese aus der Analyse der 10 ausgewählten europäischen Städte zu gewonnenen Erkenntnissen im Hinblick auf bestehende Vorgehensweisen in der Dekarbonisierung des Wärmesektors mit Fokus auf die Dekarbonisierung und den Ausbau der Fernwärme sowie in einer Ableitung von Aspekten mit besonderer Relevanz für Wien.

7.1 Zentrale Erkenntnisse zur Dekarbonisierungsstrategie auf Stadtebene

Ziele und Strategien für die Dekarbonisierung des Wärmesektors sind immer in einem gesamtheitlichen Kontext zur Dekarbonisierung einer bestimmten Stadt zu sehen. Die Untersuchung der 10 ausgewählten Städte zeigte, dass alle Städte über sektorübergreifende Zielformulierungen verfügen. Diese werden häufig im Rahmen einer ganzheitlichen Strategie zur Dekarbonisierung adressiert. Die Städte verfügen in den meisten Fällen über klar definierte Zielgrößen in den einzelnen Hauptsektoren und setzen sich in vielen Fällen auch zeitliche Zwischenziele (z. B. München, Helsinki, Paris oder Berlin). Auch wird häufig zwischen Zielen auf gesamtstädtischer Ebene und Zielen auf Ebene der Stadtverwaltung unterschieden. Um eine Vorbildwirkung zu entwickeln und Erfahrungen zu sammeln, werden häufig zeitlich wesentlich ambitioniertere Ziele auf Ebene der Stadtverwaltung als auf gesamtstädtischer Ebene ausgerufen (z. B. München, Hamburg, Amsterdam). Die Formulierung und Abgrenzung von Zielen zur Erreichung von Klimaneutralität sind dabei über die 10 Städte hinweg nicht zu 100 % konsistent. Abweichungen finden sich in der sektoriellen Abgrenzung und in der Anwendung des Territorialprinzips bei der Berücksichtigung von Emissionen. Innerhalb des Wärmesektors wird klar zwischen Zielen im Fernwärmeausbau bzw. in der Fernwärmeversorgung und dem Wärmebedarf, der auch künftig nicht über Fernwärme abgedeckt werden kann, differenziert.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, ist eine sektoral umfassende Betrachtungsweise der Dekarbonisierung von Städten unerlässlich, da die Energiewende zwingend die Kopplung verschiedener Sektoren (Gebäude, Mobilität, Industrie, Energie, Raumplanung) erfordert. Die Voraussetzungen für die Dekarbonisierung des Wärmesektors werden maßgeblich von mehreren Verbrauchssektoren und den dazugehörigen Treibern beeinflusst. Die Sanierung des Gebäudebestands im Wohnbereich wurde von allen untersuchten Städten als zentrale Stellschraube für die Dekarbonisierung des Wärmesektors erkannt. Sie beeinflusst direkt den Wärmebedarf, wodurch die Abstimmung von Sanierungszielen im Gebäudebereich und dem Ausbau der Fernwärme essenziell ist. Dies wird in den Dekarbonisierungsstrategien der Städte durchwegs berücksichtigt. Aber auch andere Sektoren wie die Industrie oder Rechenzentren sind für die Dekarbonisierung des Wärmesektors aufgrund ihrer Potenziale in der Abwärmenutzung relevant und sollten daher in den ganzheitlichen Kontext der Dekarbonisierungsstrategien eingebunden werden. Hier haben sich Amsterdam und Stockholm als Vorreiter hervorgetan.

In manchen Fällen führten die hohen zeitlichen Ambitionen zu Kontroversen. Das prominenteste Beispiel hier ist Kopenhagen. Die Stadt hatte ursprünglich das Ziel der Klimaneutralität bis 2025 ausgerufen. Heute ist klar, dass dieses Ziel nicht erreicht wurde. Die Hauptgründe hierfür liegen in Fehleinschätzungen zur zeitlichen Verfügbarkeit von Technologien (CCS), aber auch in der generell zu optimistischen Herangehensweise bei der Formulierung des Ziels. Die Stadt Zürich ist ein weiteres Beispiel für die Neuausrichtung bereits ausgerufenen Klimaziele. So wurde im Kanton Zürich in einem Volksentscheid gegen das Ziel der Klimaneutralität auf Kantonsebene bis 2040 gestimmt. Die gesetzliche Verankerung des Ziels auf Stadtebene bis 2040 wurde dadurch geschwächt. Auch wenn ambitionierte Ziele machbar erscheinen, sollten die damit verbundenen Maßnahmen klar dokumentiert und deren Auswirkungen auf die lokale Bevölkerung quantifiziert



werden. So kann die Planungs- und Umsetzungsqualität bei der Dekarbonisierung des Wärmesektors von Großstädten gesteigert werden. Das Beispiel des gescheiterten Volksentscheids „Berlin 2030 klimaneutral“ unterstreicht zudem die Relevanz realistischer Zielsetzungen.

7.2 Status der Fernwärme in den analysierten Städten

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse zum Status der Fernwärme in den ausgewählten Städten sowie zu deren Dekarbonisierungsstrategien dargestellt. Anzumerken ist, dass in vielen Fällen Informationen zur aktuellen Fernwärmeerzeugung und zum Anteil der unterschiedlichen Erzeugungsarten öffentlich nur eingeschränkt verfügbar sind, unklar bzw. nicht eindeutig ausgewiesen sind. Auch sind die Referenzjahre unterschiedlich. Hier wurden teilweise Abschätzungen getroffen bzw. Bandbreiten angegeben. Weitergehende Informationen zum Status der Fernwärme in einzelnen Städten finden sich in den Städteprofilen im Abschnitt 9.

7.2.1 Fernwärme basiert (fast ausschließlich) auf Verbrennungsprozessen

Eine wesentliche Erkenntnis zum Status der Fernwärme in den untersuchten Städten ist, dass die Fernwärmeerzeugung aktuell fast ausschließlich auf verbrennungsbasierten Prozessen basiert. Nennenswerte Ausnahmen bilden nur München mit 11,3 % Geothermie, Helsinki mit 15,5 % Großwärmepumpen bzw. Power-to-Heat (PtH) und Stockholm mit 34 % Strom und Abwärme. Wesentliche Brennstoffe bzw. Erzeugungsanlagen sind die Müllverbrennung und Erdgas.

In Helsinki, Paris, Zürich, Kopenhagen und Stockholm werden nennenswerte Mengen biogener Brennstoffe eingesetzt. Der Anteil von biogenen Brennstoffen variiert stark, von unter 5 % in den betrachteten deutschen Städten bis zu 30 % und mehr in den skandinavischen bzw. nordischen Städten. In diesen Städten wird die Verwendung von Biomasse durch einen Meereszugang mitsamt Häfen begünstigt, während der starke forstwirtschaftliche Sektor in Schweden gute Voraussetzungen für die Nutzung von Biomasse in der Fernwärmeversorgung schafft. Paris und Zürich liegen im Mittelfeld mit 8,6 bzw. 17,7 % (Tabelle 2).

Außer Helsinki¹ erzeugen alle untersuchten Städte einen mehr oder weniger signifikanten Anteil der Fernwärme aus der Müllverbrennung, mit Anteilen von ca. 5 % in Berlin und Turin, 16-32 % in Hamburg, München, Kopenhagen und Stockholm. Spitzenreiter sind Paris und Zürich mit 40 bzw. 51 %.

Der fossile Anteil (ohne fossilen Müll) liegt in Berlin, Turin, Hamburg, München, Helsinki und Paris bei z.T. weit über 50 %. Kopenhagen und Stockholm haben es geschafft, die fossile Fernwärmeerzeugung auf 12 % bzw. 2 % zu reduzieren; Zürich liegt im Mittelfeld mit 31 %. Der fast überall eingesetzte fossile Brennstoff ist Erdgas. In den untersuchten deutschen Städten und in Helsinki wird dazu noch Kohle verwendet. Während Erdgas oftmals als „Brückentechnologie“ für Wasserstoff oder Biomethan argumentiert wird (siehe Abschnitt 7.3.7), wird der Ausstieg aus Kohle bis spätestens 2030 prioritär vorangetrieben.

¹ Das Fernwärmenetz von Helsinki ist verbunden mit dem Fernwärmenetz von Vantaa (in dem eine Müllverbrennungsanlage betrieben wird).

Tabelle 2: Übersicht der Fernwärmeerzeugung in den ausgewählten Städten für die jeweils verfügbaren Referenzjahre (sortiert nach dem fossilen Anteil); * Abschätzung, da Werte nicht öffentlich verfügbar oder unklar bzw. nicht eindeutig ausgewiesen. Details zu einzelnen Städten finden sich in Abschnitt 9.

	Fernwärmeerzeugung / -absatz	Anteil Müllverbrennung	Anteil Erdgas, Kohle, Öl	Anteil Biogene (ohne Müll)	Anteil anderer
Berlin	9,98 TWh	4 %	95 %, Erdgas + Kohle	1 %, Biomasse	-
Amsterdam (2 unterschiedliche Systeme)	0,6 TWh – 1,55 TWh*	6 %-68 %*	1 %-94 %*, Erdgas	31 %-0 %*	-
Turin	2,5 TWh	5 %	80 %-85 %, v.a. Erdgas	-	-
Hamburg (Stadtnetz)	3,7-4 TWh*	16-30 %*	70 %-84 %*, v.a. Kohle	0,3 % - 4,9 %*	14-30 %*, Abwärme
München	4,67 TWh	22 %	54,3 %, Erdgas + Kohle	0,04 %, Biogas	11,5 %, Geothermie
Helsinki	5,98 TWh	0 % ²	56 %, Erdgas + Kohle	32 %, Biomasse	12 %, v.a. Wärmepumpe
Paris	5,9 TWh	39,6 %	50,1 %, v.a. Erdgas	8,59 %, v.a. Biomasse	0,77 %, v.a. Wärmepumpe
Zürich (Wärmeverb. KVA/ Holz)	0,9 TWh	51,6 %	30,7 %, v.a. Erdgas	17,7 %, v.a. Biomasse	-
Kopenhagen (Übertragungsnetz)	11 TWh	31,9 %	12 %, v.a. Erdgas	55,9 %	0,2 %, Strom
Stockholm	8,14 TWh	27 %	2 %, Öl	37 %, v.a. Biomasse	34 %, v.a. Strom, Abwärme
Wien (2024) [17]	5,9 TWh	21 %	53,7 %	2,1 %	23,2 %, v.a. Abwärme

7.2.2 Hohe Netztemperaturen, teilweise noch dampfbasiert

Aufgrund der historischen Entwicklung der Fernwärmenetze der ausgewählten Städte in Kombination mit der guten Verfügbarkeit (fossiler) Brennstoffe in der Vergangenheit sind die Netztemperaturen in den betrachteten Städten durchgehend hoch; die Vorlauftemperaturen betragen im Winter über 100 °C, im Regelfall 110-120 °C. Paris und München betreiben noch großteils Dampfnetze. Hohe Netztemperaturen sind eine große Herausforderung für eine dekarbonisierte Wärmeversorgung, da erneuerbare Wärmequellen (außer Biomasse) diese Temperaturen nur schwer erreichen bzw. Wärmepumpen in solchen Fällen eine geringere Effizienz aufweisen. Weiterführende Informationen zu diesem Bereich finden sich in Abschnitt 7.3.11.

7.2.3 Fernkälte im gewerblichen Bereich, Synergien zum Fernwärmenetz

Fast alle untersuchten Städte bieten (Fern-)Kältelösungen an, von großen zentralen Fernkältesystemen in Paris, Stockholm, Kopenhagen und Helsinki bis zu kleineren dezentralen Systemen in Zürich, München, Berlin und Hamburg. Allen gemein ist, dass diese fast ausschließlich gewerbliche Kund*innen versorgen – in Dänemark ist die Fernkälte aus dem „Non-

² Das Fernwärmenetz von Helsinki ist verbunden mit dem Fernwärmenetz von Vantaa, wo eine Müllverbrennungsanlage betrieben wird

Profit“-Prinzip ausgeschlossen und kann kommerziell vertrieben werden. Synergien mit dem Fernwärmenetz bestehen hauptsächlich in der Nutzung der Abwärme aus den Fernkälteanlagen.

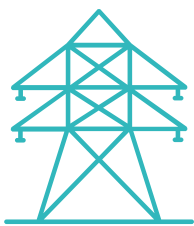
7.3 Dekarbonisierung der Fernwärme

Bei der Dekarbonisierung der Fernwärme lassen sich in den betrachteten Städten verschiedene Strategien unterscheiden. Allen gemein ist, dass gewisse Anteile an Verbrennungsprozessen, also Müllverbrennung, Biomasse oder Wasserstoff, auch in einer vollständig dekarbonisierten Fernwärme voraussichtlich erhalten bleiben. Wichtig ist anzumerken, dass teilweise keine oder nur wenig konkrete Dekarbonisierungsstrategien innerhalb der Fernwärmeversorgung in den betrachteten Städten vorliegen oder diese aktuell aktualisiert oder erstellt werden.



7.3.1 Die steigende Rolle von Großwärmepumpen

Großwärmepumpen spielen in allen untersuchten Städten, außer Zürich³, eine wesentliche Rolle bei der Dekarbonisierung der Fernwärme. Hierbei sind vor allem die nordischen Städte Vorreiter. So nutzt Helsinki bereits gereinigtes Abwasser, Kühlwasser aus dem Kraftwerk, Meerwasser und Außenluft als Wärmequellen. Stockholm nutzt ebenso gereinigtes Abwasser und Abwärme aus Rechenzentren. In Kopenhagen werden als Wärmequellen für Großwärmepumpen Seewasser/Abwasser, industrielle Abwärme und Abwärme aus der Fernkälte genutzt. Weitere Großwärmepumpenprojekte werden derzeit umgesetzt und sind geplant. Szenarien für die Fernwärme im Großraum Kopenhagen zeigen, dass Großwärmepumpen im Jahr 2050 mehr als die Hälfte der Wärmeerzeugung decken könnten. In Berlin und München wird ein Anteil von ca. 17-20 % geplant.



7.3.2 Elektrifizierung und Sektorenkopplung

In vielen der betrachteten Fernwärmenetze wird es zu einer zunehmenden Elektrifizierung der Wärmeerzeugung über Power-to-Heat (PtH) kommen. Dies betrifft einerseits die oben erwähnten Großwärmepumpen, andererseits aber auch Elektrodirektheizungen. Letztere werden vor allem dann betrieben, wenn Strom günstig und reichlich verfügbar ist bzw. zur Stabilisierung des Stromnetzes sowie zur Spitzenlastabdeckung in der Fernwärme. So wird bereits jetzt in Hamburg eine 45-MW-Elektrodirektheizung zur Stabilisierung des Stromnetzes betrieben. Der Anteil an der Wärmeerzeugung ist gering (in Berlin werden beispielsweise 6 % erwartet), der Beitrag zur Spitzenlastabdeckung und Versorgungssicherheit ist aber wesentlich.

Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die KWK-Anlagen in den meisten der betrachteten Städte deutlich seltener in Betrieb sein werden. Somit wird sich das Verhältnis von Stromerzeugung zu Stromverbrauch signifikant ändern, was einen entsprechenden Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung, insbesondere aus Windkraft, bedingt. Gleichzeitig wird es in Zukunft wesentlich sein, auch in den Ausbau und die Modernisierung bzw. Stabilisierung des Stromnetzes zu investieren, um den erneuerbar generierten Strom in die Städte zu bringen. So plant der Fernwärmenetzbetreiber Helsinkis (Helen) zur Unterstützung der signifikanten Elektrifizierung des Fernwärmenetzes in den kommenden zehn Jahren Investitionen von rund 450 Millionen Euro im Ausbau und in der Modernisierung des Stromnetzes zu tätigen.

³ Während im hier primär betrachteten Wärmeverbund KVA/Holz die Integration von Großwärmepumpen derzeit nicht geplant ist, existieren mehrere dezentrale Systeme, die mittels Großwärmepumpen z. B. den Zürichsee als eine der zentralen Quelle für Wärme und Kälte nutzen



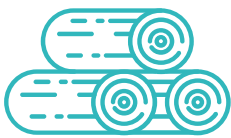
7.3.3 Tiefengeothermie

Speziell in Städten ohne Zugang zu großen Wasserkörpern stellt Geothermie neben Abwärmenutzung und Müllverbrennung das wichtigste lokale erneuerbare Erzeugungspotenzial dar. Insbesondere München profitiert hierbei von den besonders guten Bedingungen im Münchner Becken (Thermalwassertemperaturen von bis zu 140 °C), und von der langjährigen Erfahrung bzgl. der Nutzung dieser Potenziale. Geothermie wird derzeit aber auch in Städten wie Kopenhagen, Paris und Berlin untersucht. Es wird jedoch hervorgehoben, dass nur wenig Erfahrung vorliegt und die Potenziale größtenteils unbekannt sind. Entsprechend finden teilweise konkrete Untersuchungen wie 3D-Seismik und Probebohrungen statt. In Berlin wurde für die Nutzung der Geothermie ein rechtlicher Rahmen geschaffen: eine koordinierte, landesweite Steuerung geothermischer Projekte zur Dekarbonisierung der Fern- und Nahwärmeversorgung bis 2045.



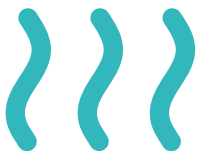
7.3.4 Die bleibende Rolle der Müllverbrennung

Während Berlin und Zürich die Wärmeerzeugung aus der Müllverbrennung im nächsten Jahrzehnt verdoppeln wollen (Berlin allerdings auf einem niedrigen Eingangsniveau), setzen Hamburg und München in den nächsten Jahren neue Müllverbrennungsanlagen um (wenn auch nur zum Ersatz alter Anlagen). Auch in Paris denkt man über weitere Müllverbrennungskapazitäten nach; hingegen zeigen Szenarienrechnungen im Großraum Kopenhagen, dass eine Reduktion des Anteils der Müllverbrennung an der Fernwärmeerzeugung von derzeit 31,9 % auf ca. 14 % im Jahr 2050 möglich ist. Anzumerken ist, dass das Szenario ohne Verbrennung von Müll und Biomasse die höchsten Systemkosten aufweist.



7.3.5 Unterschiedlicher Umgang mit Biomasse

Der aktuell dominierende erneuerbare Energieträger ist die Biomasse. Während sie in Städten wie Helsinki und Kopenhagen lediglich eine Übergangslösung zur Sicherstellung der Wärmeversorgung darstellt und perspektivisch auf ein Minimum reduziert werden soll, setzen Städte wie Zürich, Berlin und Paris weiterhin auf Biomasse als Energieträger. In Stockholm sollen negative CO₂-Emissionen erzeugt werden, indem die bei der Biomasseverbrennung entstehenden CO₂-Emissionen abgeschieden werden, siehe auch Abschnitt 7.3.10 .



7.3.6 Weitere (Ab-)Wärmequellen

Als weitere Wärmequellen wurden in den analysierten Städten vor allem die Abwärmepotenziale aus diversen Prozessen untersucht, insbesondere aus:

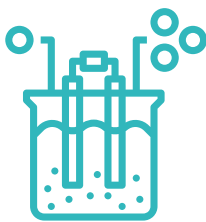
Rechenzentren, die beispielsweise in Stockholm derzeit etwa 1,4 % der Fernwärme liefern. Im Jahr 2017 wurde dafür die Initiative Stockholm Data Parks bzw. die Plattform Open District Heating gegründet, die es Betreibern von Rechenzentren (und anderen Abwärmelieferanten) ermöglicht, ihre Abwärme an das Fernwärmenetz zu verkaufen bzw. Kühlung als Dienstleistung zu kaufen. Darüber hinaus wurden 2017 Steuersenkungen für Betreiber von Rechenzentren eingeführt. Schätzungen zeigen, dass künftig 10 % des Heizbedarfs in Stockholm mit zurückgewonnener Wärme aus Rechenzentren gedeckt werden können.

Power-to-X (PtX) bezeichnet die strombasierte Erzeugung von Brennstoffen, insbesondere durch Elektrolyse. Dabei entsteht Abwärme, die in der Fernwärme wiederverwendet werden kann. Für den Großraum Kopenhagen zeigen Analysen, dass der Anteil der Fernwärmeerzeugung aus PtX-

Abwärme zukünftig bis zu 28 % ausmachen kann. Hierbei bestehen allerdings Unsicherheiten, inwieweit die Technologien marktreif sein werden und ob sie sich im Hauptstadtgebiet etablieren. Zudem ist die Wahl der PtX-Technologie entscheidend für die Temperatur der Abwärme und dafür, ob das Abwärmeangebot eher stabil oder überwiegend schwankend sein wird.

CCS: Einerseits benötigt das Aminverfahren zur CO₂-Abscheidung Wärmeenergie zum Antrieb, andererseits kann aus den verschiedenen Prozessen (Aminkühlung, Absorberkühlung, Stripperkühlung) die entstehende Abwärme über Wärmepumpen in der Fernwärme wiederverwendet werden (siehe Abschnitte 7.3.6 und 7.3.10).

Nuklearenergie: In Helsinki wurde ein Nuklearenergieprogramm gestartet. Ziel ist die Nutzung von Kleinmodulreaktoren (SMRs) zur Wärmeerzeugung in Helsinki. Da diese Technologie kaum auf Wien übertragbar ist, wird darauf nicht weiter eingegangen.



7.3.7 Erdgas als Brückentechnologie und die Rolle von Wasserstoff

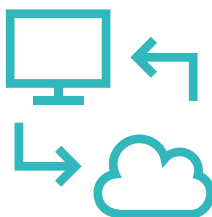
Manche der Fernwärmenetzbetreiber in den untersuchten Städten sehen Erdgas als Brückentechnologie für Wasserstoff. So kommen in Hamburg in der Übergangsphase erdgasbasierte Anlagen zum Einsatz, die perspektivisch durch erneuerbare Brennstoffe ersetzt werden sollen. Die neuen KWK-Anlagen werden bereits heute – soweit technisch möglich – für einen späteren Betrieb mit grünem Wasserstoff ausgelegt. In Berlin soll Wasserstoff im Jahr 2045 zu 26 % zur Wärmeversorgung des Fernwärmenetzes beitragen (gemäß Dekarbonisierungsfahrplan des ehemaligen Eigentümers der Fernwärme). Hierbei ist allerdings anzumerken, dass dieses von der nachhaltigen Verfügbarkeit und einem „angemessenen“ Preis von grünem Wasserstoff abhängt.

Wichtig zu erwähnen ist, dass bei der Herstellung von Wasserstoff über Elektrolyseprozesse (PtX) Abwärme entsteht, die im Fernwärmenetz wiederverwertet werden kann – siehe Abschnitt 7.3.6.



7.3.8 Speicher und Flexibilität immer wichtiger

Die Integration der genannten Wärmequellen erfordert eine wesentlich höhere Flexibilität des Fernwärmenetzes. So zeigen Szenarien für die Fernwärmeversorgung im Großraum Kopenhagen, dass es wirtschaftlich ist, die Wärmespeicherkapazität signifikant (um das 3- bis 6-fache im Vergleich zu heute) zu erhöhen. Entsprechend werden bereits jetzt diverse neue Speicher angekündigt. In Zürich ist ein Wärmespeicher mit einer Größe von 10.000 m³ geplant, der fünfmal größer als die bisher im Fernwärmenetz vorhandene Speicherkapazität ist, und in Hamburg sind Wärmespeicher mit einem Gesamtvolumen von 90.000 m³ geplant bzw. in Ausschreibung. Auch Berlin plant, ab 2030 neue Speicherkapazitäten zu installieren; ab 2035/40 sollen zudem saisonale Speicherkapazitäten ausgebaut werden. Im Fernwärmenetz Vantaa, das mit Helsinki verbunden ist, wird derzeit der größte saisonale Kavernenspeicher weltweit gebaut, der ein Volumen von ca. 1 Mio. m³ hat.



7.3.9 Digitalisierung als Voraussetzung für die Optimierung des Netzbetriebs

Eine wesentliche Maßnahme zur Optimierung des Netzbetriebs ist die Digitalisierung. Diese inkludiert unterschiedlichste Maßnahmen. In Stockholm wird z. B. eine Cloud-Plattform zur Netzwerkweitenoptimierung, Leistungsausgleich, Betriebsüberwachung und Echtzeitdatenerfassung eingesetzt. Helsinki hat einen digitalen Zwilling des Netzes erstellt, um Vorhersagen,

Optimierungen und die intelligente Steuerung des Fernwärmesystems zu ermöglichen. Das Turiner Fernwärmesystem nutzt eine „virtuelle Speicherstrategie“, also optimierte Gebäudeanlaufzeiten, um Spitzenlasten zu reduzieren, die Effizienz der KWK zu verbessern und den Bau neuer KWK-Anlagen zu vermeiden.



7.3.10 CCS nicht nur für unvermeidbare CO₂-Emissionen?

Carbon Capture and Storage (CCS) ist die Abscheidung und Lagerung bzw. Verwertung von CO₂-Emissionen aus Verbrennungsprozessen. Hierfür verfolgen die Strategien der untersuchten Städte unterschiedliche Ansätze.

Aufgrund des fossilen Anteils des Mülls⁴ werden in Zukunft die fossilen CO₂-Emissionen aus der Müllverbrennung für das Erreichen der Klimaneutralität abgeschieden werden müssen. So werden in der Schweiz Betreiber von Müllverbrennungsanlagen dazu verpflichtet, bis 2030 mindestens eine CO₂-Abscheidungsanlage in Betrieb zu nehmen. In Hamburg sind Planungen bzgl. CO₂-Abscheidung aus den Müllverbrennungsanlagen, die aber teilweise bis zur Verbesserung der rechtlichen, finanziellen und infrastrukturellen Voraussetzungen bzw. aus Platzgründen zurückgestellt werden.

Konkrete Aktivitäten in dem Bereich sind Versuchs- bzw. Pilotanlagen in Kopenhagen (Müllverbrennung) und Stockholm (Biomasse-KWK). Während in Kopenhagen Planungen für die Integration von „full-scale“ CCS-Anlagen in die Müllverbrennung und die Biomasse-KWK laufen, gab Stockholm Exergi im März 2025 die endgültige Investitionsentscheidung zum Bau der weltweit größten CCS-Anlage bei der Biomasse-KWK bekannt („Bioenergy with Carbon Capture and Storage“, BECCS). Die Integration von CCS in Biomasse-Anlagen wird jedoch kontrovers diskutiert, da so einerseits negative CO₂-Emissionen⁵ erzeugt werden können, andererseits ein Lock-in-Effekt für Biomasse entstehen könnte. Berlin plant, CCS-Anlagen in der Erdgas-KWK einzusetzen, was wohl ähnlich zu bewerten wäre.

Anzumerken ist, dass CCS eine investitionsintensive Technologie ist, deren Errichtungs- und Betriebskosten noch nicht vollständig geklärt sind. Gleichzeitig erfordern CCS-Prozesse einen erheblichen Energieeinsatz, der einerseits in der energetischen Gesamtbilanz der Fernwärmeerzeugung berücksichtigt werden muss und andererseits als nutzbare Abwärme über Großwärmepumpen in das Fernwärmenetz zurückgeführt werden kann (siehe Abschnitt 7.3.6).



7.3.11 Absenkung der Netztemperaturen, Umstellung von Dampf auf Heißwasser

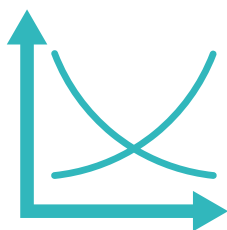
Niedrige Netztemperaturen werden als Schlüsselmaßnahme für die Dekarbonisierung der Fernwärme über Geothermie, Großwärmepumpen und Abwärme betrachtet. Entsprechend sollen die Dampfnetze in München und Paris schrittweise bis 2030 auf Heißwassersysteme umgestellt werden, wobei in München aufgrund des hohen Aufwands keine vollständige Umstellung geplant ist, und Teilbereiche durch Müllverbrennung und Biomassenutzung versorgt werden. Städte wie Berlin planen, die hohen Temperaturniveaus aber auch durch die Umrüstung bestehender Gas-KWK-Anlagen zur Nutzung von synthetischem Methan oder Wasserstoff bereitzustellen, gleichzeitig aber lokale Niedertemperaturbereiche einzurichten. Helsinki plant eine Absenkung der

⁴ Es ist anzunehmen, dass es voraussichtlich auch im Jahr 2040 / 2050 noch einen Restbestand an nicht recyclebarem Müll geben wird, da langlebige, nicht klimaneutrale Produkte aus den 2020er und 2030er Jahren erst nach und nach ausgetauscht werden [20]

⁵ Biomasseverbrennung mit CCS (Carbon Capture and Storage) kann negative CO₂-Emissionen erzeugen, wenn das bei der Verbrennung entstehende CO₂ abgeschieden und dauerhaft gespeichert wird. Da Biomasse CO₂ während des Wachstums aus der Atmosphäre entnimmt, entsteht bei dieser Kombination ein Nettoentzug von CO₂, was als BECCS (Bio-energy with Carbon Capture and Storage) bezeichnet wird.

Versorgungstemperatur von 115 °C auf 90 °C, wobei die Sanierung der Rohrleitungen der erste Schritt zur Umstellung auf eine niedrigere Versorgungstemperatur und geringere Wärmeverluste ist. In Stockholm wird ein sogenannter Kollektor eingesetzt – eine dritte Leitung, die die Energieversorgung durch Wärmeumverteilung optimiert und Rücklauftemperaturen reduziert. Kopenhagen gilt hier als Best-Practice-Beispiel bzgl. der Durchführung und Planung konkreter Maßnahmen zur Absenkung der Netztemperaturen (Vorlauf und Rücklauf) der Fernwärme zu nennen. Während das Übertragungsnetz in Kopenhagen noch mit hohen Vorlauftemperaturen betrieben wird, sollen die Vorlauftemperaturen im Städtnetz von aktuell 95 °C auf 75 °C abgesenkt werden. Dafür sind in Kopenhagen folgende Maßnahmen geplant:

- Die Nutzung temperaturabhängiger Komponenten im Fernwärmetarif für den Endkunden, also beispielsweise ein Bonus-Malus-System⁶.
- Ein Monitoring der Kund*innenstationen mit anschließender Bestandsaufnahme und Beratung zu Optimierungsmaßnahmen
- Förderprogramm für die Optimierung von Heizungen bei den Endkund*innen
- Die Implementierung von Booster-Lösungen für Kund*innen, die nicht umgestellt werden können und weiterhin hohe Vorlauftemperaturen benötigen.
- Fernwärmenetzseitige Erhöhung der Pumpen- und Wärmetauscherkapazitäten um ausreichende Wärmemengen auch bei geringeren Vorlauftemperaturen zu übertragen
- Die Etablierung bzw. Nutzung lokaler Niedertemperatur bzw. Verteilnetze, um vor Ort verfügbare Wärme aus lokalen Energiequellen mit geringen Temperaturniveaus und Speicherpotenziale effizient nutzen zu können.



7.3.12 Wirtschaftlichkeit und Fernwärmepreise

Bei den untersuchten Städten lassen sich kaum Informationen zu den aktuellen oder zukünftigen Wärmeerzeugungskosten oder Wärmegestehungskosten finden.

Fest steht jedoch, dass die Dekarbonisierung der Fernwärme umfassende Investitionen mit sich bringt. So wird beispielsweise Hamburg für die Entwicklung der modularen Erzeugerparks zwischen 2025 und 2029 ca. 2,5 Mrd. Euro investieren; und in Zürich ist es vorgesehen, einen Rahmenkredit in der Höhe von ca. 2,3 Mrd. CHF für den Ausbau und die Dekarbonisierung der Fernwärme bis 2040 in einer Volksabstimmung genehmigen zu lassen. Für die BECCS-Anlage in Stockholm (siehe Abschnitt 7.3.10) wurden umfangreiche Förderungen in Höhe von weit über 2 Mrd. Euro gewährt, wobei unklar ist, wem die Kosten für CCS zuzurechnen sind. Die Stadtwerke München weisen Kosten von 9,5 Mrd. Euro für den Transformationspfad aus. Dazu kommen sinkende Erlöse aus dem Stromverkauf aus der KWK und steigende Kosten für den Bezug von Strom und erneuerbaren Brennstoffen bzw. Abwärme (siehe Abschnitte 7.3.1 7.3.6). Studien für Kopenhagen zeigen, dass die Systemkosten im Vergleich zu einer nicht dekarbonisierten Fernwärme im Jahr 2050 um 13–21 % steigen werden, wobei erzeugungsseitig diversifizierte Systeme wirtschaftlich am robustesten sind. Eine Analyse für Hamburg zeigt, dass mit der Transformation der Fernwärmeverversorgung voraussichtlich auch die Preise für die Endkund*innen steigen werden. Hierbei ist jedoch immer der Vergleich mit einer dezentralen Wärmeversorgung anzustellen, die in Zukunft auch die gesetzlichen Anforderungen eines steigenden Anteils an erneuerbaren Energien erfüllt. Wesentlich hierbei sind ebenso die langfristige Stilllegung des Erdgasverteilnetzes und die Rolle des CO₂-Preises (ETS2), die bei der individuellen Versorgung zu berücksichtigen sind.

⁶ Vergleichbare Tarifsysteime werden derzeit im nationalen Projekt DeRiskDH für Österreich untersucht: <https://www.ait.ac.at/themen/flexibilitaet-geschaeftsmodelle/projekte/deriskdh>



7.3.13 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Integration von Abwärme Dritter

Hinsichtlich des Drittzugangs zum Fernwärmenetz gibt es derzeit kaum spezifische Vorschriften oder verpflichtende Regelungen⁷. In allen untersuchten Städten bedarf es für den Drittzugang fast immer einer bilateralen Verhandlung bzw. Vereinbarung zwischen der dritten Partei und dem Fernwärmenetzbetreiber. Anzumerken ist, dass diese Vereinbarungen in Helsinki der Aufsicht der finnischen Behörden unterliegen. In Kopenhagen unterliegen alle Investitionsprojekte für Fernwärmenetze der Prüfung bzw. Freigabe nach festgelegten Kriterien durch den bzw. die Eigentümer, die fast immer die Gemeinde oder die Kund*innen (Genossenschaften) sind.

Marktähnliche Ansätze zur Integration von Abwärme werden in Stockholm und Kopenhagen verfolgt. In Stockholm besteht die Initiative „Open District Heating“, bei der die Bedingungen für Abwärmeeinspeisung seitens des Fernwärmeunternehmens offen kommuniziert werden. Im Kopenhagener Übertragungsnetz besteht zwischen den beteiligten Fernwärmenetzbetreibern ein day-ahead- und ein intra-day-Markt, die jedoch nicht offen für Dritte sind.

Eine Ausnahme ist Berlin, wo Bestimmungen für eine „diskriminierungsfreie“, „vorrangige“ und „unverzögliche“ Einspeisung erneuerbarer Wärme durch Drittanbieter erlassen wurden. Für deren Umsetzung wurde eine Regulierungsbehörde eingerichtet. Diese legt u.a. die Höhe einer wirtschaftlich angemessenen Vergütung für die von Dritten eingespeisten Wärme fest, bzw. kann den Netzanschluss in begründeten Fällen (wirtschaftliche Untragbarkeit etc.) verweigern. Weitere Aufgaben der Behörde sind die Überprüfung der Dekarbonisierungspläne der Fernwärme, die Überwachung ihrer Umsetzung, die Überwachung der Transparenzpflichten sowie die Prüfung der Verbraucherpreise.



7.3.14 Zentrale Handlungsfelder zur Dekarbonisierung der Fernwärme

Aus der Analyse der betrachteten Städte ergeben sich folgende zentrale Handlungsfelder, mit denen Politik und Stadtplanung die Dekarbonisierung der Fernwärme gezielt und nachhaltig vorantreiben können:

- Die Umstellung der Fernwärmeerzeugung erfordert ein Zusammenspiel von Energie- und Raumplanung. Hier ist es wesentlich Flächen für die zukünftigen Erzeugungsanlagen und Speicher zu sichern bzw. bereitzustellen, die optimal in Bezug auf die Fernwärmeversorgung gelegen sind. Dazu zählt auch die kostengünstige Verlegung von Rohren über stadteigene Flächen. Bei hohen Dekarbonisierungsgraden werden saisonale Speicher immer wichtiger, was eine besondere Herausforderung bzgl. des Platzbedarfs mit sich bringt.
- Die Zusammenarbeit mit benachbarten Gemeinden zur Unterstützung des Aufbaus überregionaler Wärmenetze und der Nutzung lokaler Potenziale erneuerbarer Wärme und Abwärme, bzw. Speicherpotenziale, insbesondere saisonaler Speicher mit hohem Platzbedarf.
- Soweit möglich sollten erneuerbare Brennstoffe wie Wasserstoff, Biomethan und Biomasse (ggf. Bioöl) für die Nutzung in der Fernwärme in Spitzenlastzeiten und nicht zur

⁷ Anzumerken ist hierbei, dass z. B. in Deutschland aktuell mehrere Ansätze bzgl. des Drittzugangs diskutiert werden. So wird seitens der DENA ein Prozess aus Marktabfrage, Portfolio-Erstellung und -Auswahl vorgeschlagen [21]. Die Monopolkommission schlägt ein verpflichtendes Ausschreibungsverfahren für Wärmebedarf bzw. erneuerbare Wärmeerzeugung vor [22].



Grundlastdeckung priorisiert werden und nicht für elektrifizierbare Anwendungen eingesetzt werden.

- Eine zügige Planung der Gasnetzstillegung bzw. des Fernwärmeausbaus und eine klare Kommunikation mit den betroffenen Gebäudeeigentümer*innen.
- Eine Verbesserung des finanziellen und rechtlichen Rahmens der Fernwärme kann es ermöglichen, eine Transformation der Fernwärme mit wettbewerbsfähigen Preisen umzusetzen. Hierzu könnten die Verlängerung der Abschreibungsdauern bestehender und neuer Infrastruktur sowie die Ermöglichung langfristiger und günstiger Finanzierungen z. B. durch die Reduktion der benötigten Eigenmittel, die Bürgschaft für die notwendigen Kredite und die Absenkung der Renditeerwartungen an das Fernwärmeunternehmen zählen.
- Die Unterstützung bei der Durchführung von Maßnahmen zur Absenkung der Netztemperaturen, z. B. durch
 - die Einführung von einem Förderprogramm für die Optimierung der Heizsysteme im Gebäude sowie
 - die Unterstützung bei dem „Investor-Nutzer-Dilemma“ bzgl. der Optimierung der Heizsysteme und Sanierung der Gebäude. z. B. durch Regelungen bzgl. der Zurückzahlung der Investitionen.

7.4 Zentrale Rahmenbedingungen für den Ausbau von Fernwärmeausbau

Bis auf die bereits gut ausgebauten Fernwärmenetze in Kopenhagen, Helsinki und Stockholm planen alle untersuchten Städte einen teilweise signifikanten Ausbau der Fernwärme. Die wesentlichen Rahmenbedingungen hierzu werden im Folgenden zusammengefasst.

7.4.1 Gesetzgeberische und planerische Kompetenzen



Die durchgeführten Städteanalysen zeigen, dass ambitionierte Ziele und detaillierte Pläne zur Dekarbonisierung einer Stadt und ihres Wärmesektors oft mit ihrer Stellung im lokalen Regierungs- und Verwaltungsrahmen einhergehen. Städte mit erweiterten Befugnissen in Planung und Gesetzgebung haben einen erweiterten Handlungsspielraum und nutzen diesen auch zur Erstellung detaillierter Dekarbonisierungspläne und zur Formulierung von Zielen. In Fällen wie Berlin oder Hamburg wurden die lokalen Befugnisse zum Erlass eines „Klimaschutz- und Energiewendegesetzes“ genutzt, wodurch ambitionierte Ziele zur Erreichung von Klimaneutralität lokal gesetzlich verankert und die Rahmenbedingungen für die Dekarbonisierung des Wärmesektors verbessert wurden. Erweiterte lokale Befugnisse können aber auch zur Entschärfung von Klimazielen genutzt werden. So wurde in Zürich kürzlich das Ziel der Klimaneutralität mittels Volksentscheides auf 2050 verschoben [18]. Währenddessen führte das Instrument des Volksentscheides kürzlich in Hamburg zu einer Verschärfung des lokalen Klimaziels [19]. Diese beiden Volksentscheide zeigen zudem bestehende Diskrepanzen in der Einstellung zu Klimazielen und deren Erreichbarkeit innerhalb verschiedener Bevölkerungsgruppen auf.

Während auf Stadtebene in allen berücksichtigten Städten ambitionierte Ziele zur Erreichung von Klimaneutralität formuliert wurden, zeigt sich – unabhängig von lokalen gesetzgeberischen Kompetenzen – ein Mangel an ausreichend detaillierten Zwischenzielen sowie daran geknüpften verbindlichen und umsetzbaren Maßnahmen, die eine Erreichung der Klimaneutralität im angestrebten Zeitraum sicherstellen könnten.

Erweiterte Befugnisse werden jedoch nicht nur zur Verankerung von Zielen genutzt. So führt die Stadt Berlin im Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) unter anderem verpflichtende

Anforderungen zu Dekarbonisierungsfahrplänen für lokale Fernwärmenetzbetreiber ein, regelt die Preistransparenz in der Fernwärme und sieht – unter bestimmten technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen – sogar eine grundsätzliche Verpflichtung zum Netzzugang für Drittversorger vor, wobei diese Voraussetzungen einen gewissen Interpretationsspielraum lassen.



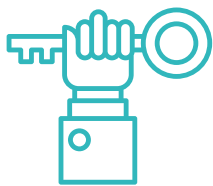
7.4.2 Anschlussverpflichtungen

Ein zentrales Instrument für Städte mit erweiterten gesetzgeberischen Befugnissen sind Anschlusspflichten an Fernwärmenetze. Diese werden in vielen Fällen in der Form von räumlich differenzierten Wärmeplänen umgesetzt. Diese definieren häufig Zonen, in denen die Wärmeversorgung in neuen Gebäuden oder Gebäuden, welche umfassenden Sanierungsarbeiten unterzogen werden, nur über Fernwärme (oder gleichwertige Systeme) erfolgen darf. Die Kompetenz zur Erstellung solcher Wärmepläne und damit potenziell einhergehender Anschlussverpflichtungen kann sich auch aus dem nationalen Kontext ergeben, wie die Beispiele Paris, Hamburg, (vormals) Kopenhagen und (vormals) Helsinki zeigen. Andere Städte wie München möchten Anschlusspflichten hingegen vermeiden und kommunizieren dieses Ziel auch offen. Anschlusspflichten werden – wenn genutzt – heute häufig ähnlich den Wiener Energieraumplänen gestaltet.

Paris weist in seiner „Obligation de raccordement à un réseau de chaleur classé“ den wohl striktesten und detailliertesten Rahmen auf. Hier klassifiziert der nationale Gesetzgeber zunächst bestehende Fernwärmenetze anhand bestimmter Kriterien als besonders nachhaltig und damit einer Anschlusspflicht würdig. Damit können betreffende Gemeinden Gebiete ausweisen, in denen der Anschluss von Gebäuden an das klassifizierte Fernwärmenetz unter bestimmten Voraussetzungen verpflichtend ist. In Paris sind diese Voraussetzungen klar definiert und umfassen unter anderem eine bestimmte Anschlussleistung sowie die Verfügbarkeit einer zentralen Wärmeversorgung im Gebäude. Alternative Heizsysteme mit ähnlichen CO₂-Emissionswerten (etwa Wärmepumpen) können Ausnahmen von dieser Anschlusspflicht darstellen – dies ist jedoch nicht automatisch der Fall. Die Ausgestaltung der Anschluss- und Benutzungspflicht wurde in **Hamburg** freier ausgestaltet, sieht alternative Heizsysteme jedoch nicht automatisch als Ausnahme für eine Anschlussverpflichtung vor. Das Prinzip des Bestandsschutzes wird in beiden Fällen gewahrt, sodass nur Neubauten oder Gebäude mit größeren Sanierungsarbeiten betroffen sein können.

Im Vergleich zwischen **Paris und Wien** lässt sich festhalten, dass die Ausgestaltung der „Energieraumpläne“ in Wien offenere Regeln hinsichtlich Ausnahmen von der Anschlussverpflichtung vorsieht. Sie zielen in ihrer Ausformulierung mehr auf ein Verbot der Nutzung fossiler Energieträger als auf eine Anschlussverpflichtung an die Fernwärme ab. Wenngleich dieses Verbot durch die Voraussetzungen im besonders dichten urbanen Raum einer Anschlussverpflichtung gleichkommen könnte. Wie auch in **Wien** ist die Einführung dieser Instrumente neu, sodass sich deren Effekt und potenzielle Konflikte in den nächsten Jahren zeigen werden.

In Städten mit historisch strikteren Anschlusspflichten haben diese zu sehr hohen Fernwärmeanschlussraten geführt, auch wenn diese Regelungen heute vielfach gelockert wurden. Die dadurch entstandene Planungssicherheit in der Fernwärmeversorgung hat mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zur Preisstabilität und damit zur Kundenzufriedenheit beigetragen. Das Beispiel von **Helsinki** zeigt jedoch, dass auch ohne flächendeckende Anschlussverpflichtungen hohe Anschlussraten erreicht werden können.



7.4.3 Eigentümerschaft des Fernwärmenetzes

Neben gesetzgeberischen und planerischen Kompetenzen spielen die Eigentumsverhältnisse über das jeweilige Fernwärmenetz eine zentrale Rolle bei der Erreichung von Dekarbonisierungszielen. Die direkte Eigentümerschaft über ein Fernwärmenetz bietet das höchste Maß an Entscheidungsgewalt über Investitionen und Vorgehensweisen bei der Dekarbonisierung des Netzes – **Dänemark** ist hier ein Extrembeispiel. Somit kann eine bestehende (langjährige) Eigentümerschaft über das Fernwärmenetz als zentraler Erfolgsfaktor gewertet werden.

Die Gegenbeispiele **Berlin und Hamburg** zeigen, welche große Rolle dieser Aspekt spielen kann. Durch die in den letzten Jahren erfolgten Käufe dieser Fernwärmenetze samt Versorgungsanlagen vom Vattenfall-Konzern hat man zwar Entscheidungsgewalt gewonnen, Investitionen in diesem Ausmaß binden jedoch auch Kapital und können politische Diskussionen anheizen. Aus diesem Grund ging dem Kauf des Fernwärmenetzes in Hamburg ein Volksentscheid voraus.

Paris weist in dieser Hinsicht eine Besonderheit auf. Das Fernwärmenetz befindet sich hier im Eigentum der Stadt. Der Betrieb und der Ausbau werden allerdings von einem Konzessionär (aktuell CPCU mit 65 % Eigentümerschaft Engie und 33,5 % Stadt Paris) abgewickelt. Diese Konzession läuft 2026 aus und wird zur Zeit der Berichtserstellung neu ausgeschrieben.



7.4.4 Regionale Wärmenetze

Regionale und bidirektionale Wärmeübertragungsnetze zwischen einer Stadt und den Umlandgemeinden bzw. zwischen verschiedenen Städten schaffen die Möglichkeit des Austauschs zwischen Erzeugern und Verbrauchern bzw. die Möglichkeit der Einbindung von (Ab-)Wärmequellen und Speichern außerhalb des Fernwärmenetzes. Regionale Wärmeplanung und die Implementierung regionaler Wärmenetze können daher dazu beitragen, Kosteneffizienz, Flexibilität und Versorgungssicherheit zu steigern. Der durchgeführte Städtevergleich zeigt hier einige hervorzuhebende Beispiele.

Ein bekanntes Beispiel für ein regionales Wärmenetz ist der Großraum **Kopenhagen**, wo die Fernwärmenetze von Kopenhagen und den umliegenden Städten und Gemeinden seit den 80er-Jahren bzw. 90er-Jahren verbunden sind. Dieses Verbundsystem wurde ermöglicht durch eine verpflichtende Wärmeplanung inkl. vorübergehenden Fernwärme-Anschlusszwang, langfristigen Finanzierungsmodellen, einem „Non-Profit-Prinzip“ für die Netzbetreiber, verpflichtenden und standardisierten sozio-ökonomischen Kosten-Nutzen-Analysen und Steuern auf fossile Energieträger. Auch das Fernwärmenetz von **Stockholm** ist mit den Fernwärmesystemen umliegender Städte verbunden, wodurch eines der weltweit größten und komplexesten Fernwärmenetze entsteht. In diesem optimierten Modell können die kooperierenden Fernwärmebetreiber Wärme kaufen und verkaufen. Ein ähnliches System gibt es im Großraum Helsinki. Hier bestehen Verbindungsleitungen zwischen den Fernwärmenetzen von **Helsinki** und den benachbarten Gemeinden Espoo, Vantaa und Kauniainen. Dazu wurde eine Wärmeaustauschvereinbarung zwischen den jeweiligen Fernwärmeanbietern zur gemeinsamen Nutzung von Energie getroffen. Auch im Beispiel von **Turin** zeigt sich, dass regionale Fernwärmenetzverbindungen auch unter erschwerten Rahmenbedingungen attraktiv sind und auch umgesetzt werden. Durch diese Verbindungen können bestehende Versorgungsanlagen und Wärmespeicher effektiver genutzt werden, wodurch Synergieeffekte entstehen und die Investition in neue Erzeugungskapazitäten vermieden wird.

Regionale Wärmeplanung und die Abstimmung zwischen Großstädten und umliegenden Gemeinden gewinnen nicht nur aufgrund bestehender Synergieeffekte zwischen bereits errichteten Erzeugungsanlagen an Relevanz. Vor dem Hintergrund eingeschränkter lokaler erneuerbarer Wärmequellen innerhalb von Stadtgrenzen und zunehmender Flächenkonkurrenz rücken die regionale Planung und Einbindung umliegender Gemeinden in vielen Städten ebenfalls in den Vordergrund von Dekarbonisierungsaktivitäten. Mit dem Ziel, die umfassende Nutzung tiefer Geothermie in der Fernwärmeversorgung zu fördern, bezieht die Stadt **München** bereits heute umliegende Gemeinden in die Wärmeplanung ein. Da nicht für alle der geplanten 65 zusätzlichen Geothermie-Bohrungen ausreichende Flächen zur Verfügung stehen werden, werden bereits heute Flächen für diese Nutzung sichergestellt. Aber nicht nur Anwendungen der tiefen Geothermie werden eine erhöhte Abstimmung mit umliegenden Gemeinden erfordern. Die in vielen Fällen eingeplanten Anteile von Wasserstoff zur vollständigen Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung (siehe Abschnitt 7.3) werden erhöhte Energieimporte aus dem direkten Umfeld oder internationalen Märkten voraussetzen. Da sich die internationalen Marktbedingungen für Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen in den 2030er- und 2040er-Jahren noch nicht seriös abschätzen lassen, scheint eine frühzeitige Einbindung regionaler Partner zur Umsetzung solcher Pläne notwendig.



7.4.5 Wärmeplanung

Besonders im deutschsprachigen Raum werden Instrumente der Energieraumplanung oder auch der kommunalen Wärmeplanung zur Steuerung von Entwicklungen in der Wärmeversorgung eingesetzt. Der **Münchner** Wärmeplan kann hier als besonders gutes Beispiel hervorgehoben werden. In ihm finden Nutzer*innen detaillierte Informationen zu geeigneten dekarbonisierten Wärmeversorgungssystemen auf Gebäudeblockebene. Zudem werden die Verdichtungs- und Erweiterungsgebiete für die Fernwärme in zeitlichen Etappen auf Gebäudeblockebene ersichtlich gemacht. So können Gebäude- und Wohnungseigentümer*innen frühzeitig über die verfügbaren Optionen für den Heizungstausch informiert werden. Das ist besonders relevant für den Ausbau der Fernwärme, da die Stadt München die Anwendung von **Anschlusszwängen** zur Erreichung der Dekarbonisierungsziele vermeiden möchte.

Auch wenn der Prozess der Wärmeplanung in Berlin aktuell noch nicht abgeschlossen ist und die damit einhergehenden Empfehlungen für einzelne Gebiete zum Heizungstausch noch nicht verfügbar sind, stellt der **Energieatlas** Berlin eine Besonderheit in dieser Studie dar. In ihm veröffentlicht die Stadt Energieverbrauchsdaten für Fernwärme, Strom und Erdgas auf der Ebene von Gebäudeblöcken, sofern die entsprechende räumliche Aggregation eine datenschutzrechtlich konforme Veröffentlichung zulässt. Eine derart detaillierte und qualitativ hochwertige öffentlich zugängliche Informationsgrundlage zur **Energieplanung** ist in anderen Fällen kaum zu finden. Sie könnte auf wissenschaftlicher Ebene neue Wege eröffnen, indem sie die verbesserte Modellkalibrierung anhand realer Verbrauchsdaten ermöglicht.

7.5 Allgemeine Herausforderungen

Im Folgenden werden die identifizierten Herausforderungen bei der Dekarbonisierung des Wärmesektors und der Fernwärme in den analysierten Städten diskutiert. Dabei werden verschiedene infrastrukturelle, organisatorische, regulatorische und wirtschaftliche Aspekte sowie die Rolle lokaler Stakeholder*innen betrachtet, die den Übergang zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung beeinflussen.



7.5.1 Investitionskapital

Große Fernwärmesysteme erfordern erhebliche infrastrukturelle Investitionen (siehe Abschnitt 7.3.12). Ihr Ausbau sowie ihre vollständige Dekarbonisierung setzen ein hohes Maß an **langfristig verfügbarem Investitionskapital** voraus, das viele Städte und lokale Versorgungsunternehmen ohne zusätzliche Verschuldung oder attraktive Finanzierungsbedingungen kaum bereitstellen können. Vor diesem Hintergrund stellen eine starke institutionelle Verankerung der Fernwärme auf nationaler Ebene, geeignete Förder- und Finanzierungsinstrumente sowie eine hinreichende Kapitalmarktdurchdringung und Sichtbarkeit der Branche gegenüber institutionellen Investoren zentrale Voraussetzungen für die Dekarbonisierung des urbanen Wärmesektors dar. Die fehlende Relevanz der Fernwärme auf nationaler Ebene in Italien spiegelt sich in den wenig detailliert ausgearbeiteten Plänen zur Dekarbonisierung der Fernwärme in **Turin** wider. Fehlende Unterstützung auf nationaler Ebene wird von Seiten der Stadt als Barriere für die Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes angegeben. Aber auch besonders ambitionierte Städte wie **München** weisen in ihren Strategien mehrfach auf den massiven **Investitionsbedarf** hin und fordern eine Erhöhung nationaler Fördertöpfe zur Dekarbonisierung von Fernwärmenetzen. Weiters wird in Stadtratsbeschlüssen in München auf die Konsequenzen erhöhter Neuverschuldung und auf fehlende Möglichkeiten zur Nutzung abgeschöpfter Gewinne aus dem Betrieb der Fernwärmenetze im Falle der raschen Dekarbonisierung hingewiesen.



7.5.2 Gasetagenheizungen / dezentrale Wärmeversorgung auf Wohnungsebene

Das Bestehen zentraler Wärmeversorgungssysteme ist in Bestandsgebäuden eine wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Umstellung auf Fernwärmeversorgung oder andere emissionsfreie Wärmeversorgungssysteme. Entsprechend stellt eine hohe Durchdringung von Gasetagenheizungen eine besondere Herausforderung für die Dekarbonisierung des Wärmesektors in einer Stadt dar. Während Gasetagenheizungen in Wien eine enorm hohe Durchdringung aufweisen (Gasetagenheizungen befinden sich in etwa 475.000 Wohnungen), hat sich gezeigt, dass diese Herausforderung in den meisten untersuchten Städten zwar ebenfalls besteht, jedoch eine wesentlich geringere Rolle spielt. Kopenhagen, Stockholm und Helsinki weisen bereits eine Fernwärmedurchdringung von über 90 % auf. In München (6 %) und Berlin (13 %) machen Gasetagenheizungen einen weitaus geringeren Anteil der Wärmeversorgung aus als in Wien. In Hamburg, Zürich, Turin und Amsterdam ist Erdgas zwar der relevanteste Energieträger für die Wärmeversorgung in Gebäuden, spezifische Informationen zur Durchdringung von Gasetagenheizungen ließen sich jedoch nicht finden. In Paris sind Gas- und elektrische Individualheizungen äußerst verbreitet, sodass Paris in dieser Hinsicht mit ähnlichen Herausforderungen konfrontiert ist. Auch in Städten, in denen die Zentralisierung von Wärmeversorgungssystemen innerhalb von Bestandsgebäuden von hoher Relevanz ist, konnte im Rahmen dieser Studie keine allgemeingültige Best-Practice-Lösung für dieses Problem identifiziert werden. Wenngleich einige Unternehmen bereits an wohnungsindividuellen Wärmepumpenlösungen arbeiten, bleibt dieser Aspekt eine zentrale Herausforderung.



7.5.3 Abstimmung zwischen lokalen Verwaltungsebenen und Fernwärmebetreibern

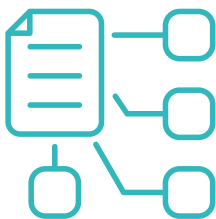
Eine weitere identifizierte Herausforderung besteht in der Abstimmung ambitionierter politischer Ziele zwischen Stadtregierungen und lokalen Energieversorgern und Netzbetreibern – selbst wenn diese im Eigentum der

Stadt sind. Im Fall von München zeigt sich dies in der Diskrepanz zwischen dem Ziel der bilanziellen Klimaneutralität auf Stadtebene bis 2035 und dem der Klimaneutralität in der Fernwärmeversorgung bis 2040. Auch wurde im Senatsbeschluss zur Festhaltung dieser Ziele auf die Abhängigkeit von Rahmenbedingungen auf Landes- und Bundesebene verwiesen. Damit Dekarbonisierungsziele langfristig verfolgbar bleiben, müssen sie realistisch formuliert und in enger Abstimmung mit lokalen Stakeholdern entwickelt werden. Besonders ambitionierte Zielsetzungen erhöhen zudem den Druck auf eine entsprechend hohe Umsetzungsgeschwindigkeit in der Gegenwart. Weicht die tatsächliche Transformationsdynamik jedoch vom dafür erforderlichen Pfad ab, kann dies das Vertrauen der lokalen Bevölkerung in die Erreichbarkeit der Ziele nachhaltig beeinträchtigen. Instrumente wie Volksentscheide können genutzt werden, um die lokale Bevölkerung in die Formulierung von Dekarbonisierungszielen einzubinden, und wurden beispielsweise in Hamburg, Zürich und Berlin in unterschiedlicher Form und mit unterschiedlichen Ergebnissen eingesetzt.



7.5.4 Öffentliche Wahrnehmung Fernwärme nationale Rahmenbedingungen

Die Voraussetzungen für die Dekarbonisierung des Wärmesektors und vor allem der Fernwärmeversorgung und des Fernwärmeausbaus werden vom gesellschaftlichen Kontext stark geprägt. In Amsterdam stellt die Nutzung von Fernwärme im nationalen Kontext Herausforderungen dar. Amsterdam weist traditionell eine breite Verfügbarkeit von Erdgas auf, dessen Nutzung bei den Einwohner*innen der Stadt fest verankert ist. Amsterdam kämpft gegen die Stimmung seiner (meist älteren) Einwohner*innen, die sich weigern, sich vom Gasnetz abzukoppeln und von Gasheizung auf Fernwärme sowie von Gas- auf Elektroherde umzusteigen. Darüber hinaus ist die Einstellung der Verbraucher*innen in Amsterdam gegenüber der Fernwärme generell negativ. 51 % der befragten Einwohner*innen gaben an, eine negative Meinung zu Fernwärme zu haben, während nur 12 % eine positive Meinung hatten. Nur 32 % gaben an, dass sie ein Angebot zum Anschluss an ein Wärmenetz annehmen würden, während 48 % dies ablehnen und sich für eine Alternative, z. B. eine Wärmepumpe entscheiden würden.



7.5.5 Nationale Rahmenbedingungen

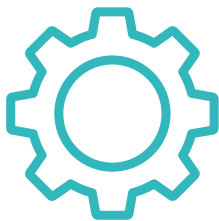
Nationale Rahmenbedingungen sind für den Ausbau und die Dekarbonisierung von Fernwärmesystemen von besonderer Relevanz. Dies zeigt sich an einigen Beispielen aus dieser Studie.

Zum einen sind hier gesetzlich verankerte Anschlussverpflichtungen in verschiedener Form zu erwähnen. Diese waren im Beispiel von Kopenhagen beispielsweise auf nationaler Ebene verankert. Auch das heute bestehende Instrument der „Obligation de raccordement à un réseau de chaleur classé“ in Paris basiert auf einer gesetzlichen Grundlage, die auf nationaler Ebene geschaffen wurde. Zum anderen zeigt sich, wie nationale Rahmenbedingungen den Ausbau von Fernwärmesystemen erschweren, am Beispiel von Amsterdam. Hier unterstützt die Regierung sowohl den Ausbau der Fernwärme als auch die Installation lokaler Wärmepumpen durch sich überschneidende Förderprogramme. Dadurch überstieg die Zahl der neuen Wärmepumpeninstallationen in den Niederlanden die Zahl der neuen Fernwärmeanschlüsse um ein Vielfaches, wobei dieser Trend in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Zudem unterliegen die Fernwärmepreise für Kleinverbraucher in den Niederlanden dem „No-more-than-otherwise“-Prinzip, das sicherstellt, dass Haushalte, die an das Fernwärmenetz angeschlossen sind, nicht mehr bezahlen als bei einer herkömmlichen Erdgas-Zentralheizung. Als direkte Folge davon erklärte Vattenfall, den Bau von

Fernwärmeanschlüssen für bereits bestehende Häuser aufgrund wirtschaftlicher Unrentabilität einzustellen. Auch die Amsterdamer Wohnungsbaugesellschaften erklärten, dass sie aufgrund der hohen Preise keine neuen Anschlüsse an das Fernwärmenetz mehr vornehmen würden. Sie argumentierten, dass unabhängig von der anhaltenden Energiekrise Nachhaltigkeit nicht auf Kosten bezahlbaren Wohnraums gehen dürfe.

Mit dem § 556c BGB findet sich in Deutschland eine ähnliche Einschränkung beim Anschluss von Bestandsgebäuden an die Fernwärme. Er sieht vor, dass sich die Betriebskosten bei Warmmieten für Mieter*innen bei der Umstellung auf Fernwärmeversorgung nicht erhöhen dürfen. Zudem sieht das Gesetz vor, dass beispielsweise die Vollkosten eines Fernwärmeanschlusses nicht über die Betriebskosten abgerechnet werden können. Insbesondere in einem Umfeld niedriger Gaspreise stellt diese Regelung eine Barriere für den Anschluss von Bestandsgebäuden an Fernwärmenetze dar. Fernwärme spielt in Italien auf nationaler Ebene eine vergleichsweise untergeordnete Rolle, was sich auch in der Relevanz von Fernwärme und der Unterstützung durch nationale Förderungen in Turin im Vergleich zu anderen Städten widerspiegelt.

Gesetzliche Rahmenbedingungen und Finanzierungsmöglichkeiten, die häufig auf nationaler Ebene geschaffen werden, beeinflussen die Attraktivität und Wirtschaftlichkeit des Ausbaus von Fernwärmenetzen maßgeblich. Eine enge Abstimmung zwischen Städten und Regierungen auf nationaler Ebene ist daher bei der Formulierung von Dekarbonisierungsstrategien und Zielen sowie beim Ausbau und bei der Dekarbonisierung von Fernwärmenetzen von zentraler Bedeutung. Daher sollten bestehende Interessenskonflikte zwischen einzelnen Stakeholdergruppen auch auf dieser Ebene berücksichtigt und abgewogen werden. Langfristig bestehende Rahmenbedingungen, entschieden auf nationaler Ebene, schaffen die notwendige Planungssicherheit für den großen Investitionsbedarf zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung von Städten. Angeführte Beispiele zeigen, wie diese Rahmenbedingungen einen nachhaltigen Ausbau von Fernwärmesystemen begünstigen, aber auch behindern können.



7.5.6 Besondere lokale Gegebenheiten

Im Beispiel Amsterdams erschweren nicht nur nationale Regularien wie das „No-more-than-otherwise“-Prinzip den Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur. In diesem Fall sind auch die besonderen lokalen Gegebenheiten eine zentrale Hürde. Amsterdam ist praktisch auf Wasser gebaut – mit Hunderten von Kanälen im Stadtzentrum. Diese Stadtstruktur macht den Bau jeglicher Art von Netzwerkinfrastruktur im Zentrum der Stadt zu einer großen wirtschaftlichen Herausforderung. Obwohl das Fernwärmenetz von Amsterdam, das am schnellsten wachsende Fernwärmenetz in Europa ist, hat es Schwierigkeiten, mit anderen Städten hinsichtlich der Abdeckung zu konkurrieren und die Fernwärme im Stadtzentrum einzuführen. Ähnlich verhält es sich mit **Stockholm**, das auf Dutzenden von Inseln erbaut wurde. Allerdings wurde die Fernwärme in Stockholm bereits in den 1950er Jahren eingeführt, während das erste Fernwärmenetz in Amsterdam erst in den 1990er Jahren gebaut wurde.

Schlussfolgerung und Ausblick

