

xia

# intelligente architektur

10-12/12 Zeitschrift für Architektur und Technik



**Henning Larsen Architects**  
**Bolles+Wilson**  
**Strunz Architekten**  
**Buttler Architekten**  
**Banz+Riecks**

04  
AUSGABE 81  
OKT. - Dezember 2012  
D EUR 12,50  
A EUR 13,70  
L EUR 13,80  
CH Sfr. 24,50  
4 195135 012502



Abb. 01



Abb. 02

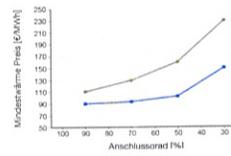


Abb. 03

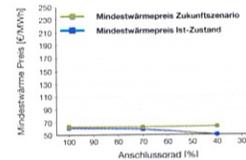


Abb. 04

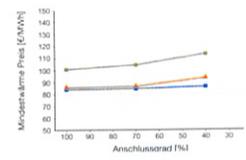


Abb. 05

Abb. 06

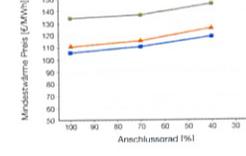


Abb. 07

## Wärmenetze in historischen Altstadtquartieren

Von Dipl.-Ing. Architekt Oliver Zadow

Historische Altstadtquartiere weisen per se ein hohes Potenzial für die Umsetzung zentraler Wärmenetze auf. Grund dafür ist die hohe Energieabnahmedichte und die bessere Anlagenauslastung gegenüber dezentralen Heizungssystemen. Einen entscheidenden Einfluss für die Auslegung eines Wärmenetzes hat die zu erwartende Wärmedichte des zu versorgenden Gebietes. Ist im Verhältnis zur Länge der Netzleitungen die Wärmeabnahme zu gering, führt dies zu sinkendem Durchfluss und niedrigen Fließgeschwindigkeiten. Dies wiederum führt zu steigenden Netzverlusten und sinkender Effizienz.

Einen ersten Anhaltspunkt für die Beurteilung einer Wärmenetzversorgung bietet der in [1] genannte grobe Schwellenwert der Wärmebedarfsdichte von 150 MWh/ha im Jahr. Zur weiterführenden Untersuchung von Wärmenetzen ist am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, Prof. Gerhard Hausladen, TU München, die Netzsimulationssoftware rWärme entwickelt worden. „Diese dimensioniert einerseits das Verlegenetz auch über große Distanzen, andererseits berechnet es sofort die entstehenden Bau- und Betriebskosten.“ ([2] S. 52). Als Kenngröße für die Wirtschaftlichkeit wird ein Mindestwärmepreis für die simulierte Netzvariante ausgegeben. Dabei werden Mindestwärmepreise von 90 Euro/MWh als gerade noch wirtschaftlich eingestuft. Enthalten sind hier sämtliche anfallenden Netto-Kosten. Unberücksichtigt bleiben Förderprogramme und das hydraulische Optimierungspotenzial des Wärmenetzes.

Die Wärmedichte wird hierfür gebäudescharf für den Ist-Zustand und für verschiedene Zukunftsszenarien mit der ebenfalls am Lehrstuhl entwickelten Bilanzierungssoftware GemEB 2.0 (Gemeinde-Energieberatung) ermittelt. Die Software berechnet verbrauchsangepasst für jedes einzelne Gebäude des Untersuchungsgebietes in einem vereinfachten Heizperiodenverfahren den Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf. Grundlage für die Berechnung sind Daten zum Gebäude wie z. B. Baualter und Gebäudegeometrie aus einer GIS-Datei eines Geoinformationssystems. Für den Sanierungsstand des Ist-Zustandes und die untersuchten Zukunftsszenarien werden per Zufallsgenerator energetische Maßnahmen nach zuvor gewählten Vorgaben durchgeführt.

Ein Rückschluss auf Einzelgebäude ist somit nicht möglich.

## Einflussfaktoren auf Wärmenetze geringer baulicher Dichte

In Abb. 01 ist das Wärmenetz „Fischerhäuser“ aus der Studie [2] dargestellt. Das Siedlungsgebiet aus den 1950er- und 1960er-Jahren ist überwiegend mit Einfamilienhäusern bebaut und weist deshalb trotz eines schlechten energetischen Standards der einzelnen Gebäude eine geringe Wärmedichte auf.

In Abb.03 sind die Mindestwärmepreise für dieses Wärmenetz dargestellt. Dabei zeigt die Kurve unten das Verhalten des Mindestwärmepreises für den Ist-Zustand bei den Anschlussgraden 30, 50, 70 und 90%. Die obere Kurve gibt entsprechend die Ergebnisse für das energetisch sanierte Siedlungsgebiet an. Angenommen wurde hier eine Vollsanierung aller Gebäude entsprechend den Vorgaben der Energieeinsparverordnung 2009. Dabei zeigt sich, dass der Einfluss der energetischen Sanierung und des Anschlussgrades entscheidend ist. Ist die Wirtschaftlichkeit im Ist-Zustand ab einem Anschlussgrad von unter 50% in Frage zu stellen, zeigen sich im Zukunftsszenario bereits bei 90% Anschlussgrad unwirtschaftliche Werte. Der Mindestwärmepreis steigt zudem mit abnehmendem Anschlussgrad deutlich stärker an als beim Ist-Zustand.

## Einflussfaktoren auf Wärmenetze hoher baulicher Dichte

Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes hängt bei historischen Altstädten mit einer hohen baulichen Dichte in einem geringen Maß vom zu erwartenden Anschlussgrad und der zukünftigen Entwicklung der energetischen Sanierung ab. Dies soll der folgende Vergleich der beiden Wärmenetze „Fischerhäuser“ (Abb. 01) und „Altstadt“ (Abb. 02) veranschaulichen. Die Randbedingungen und Ergebnisse werden in Tab. 01 gegenübergestellt.

Beide Netze bewegen sich mit etwa 8 km Trassenlänge in einer vergleichbaren Größenordnung. Auch die Aufteilung Spitzenlast zu Grundlast ist mit etwa 30% zu 70% vergleichbar. Der Grundlastanteil beider Netze wird aus Abwärme für 5 Euro/MWh gedeckt. Der Gaspreis (Spitzenlast) wird mit 40 Euro/MWh angesetzt.

Aufgrund der höheren baulichen Dichte weist das

Netz „Altstadt“ einen fast doppelt so hohen Wärmeumsatz auf. Dies macht sich in den Netzverlusten bemerkbar. So schlagen diese bei einem Anschlussgrad von 70% im Netz „Fischerhäuser“ mit 22%, im Netz „Altstadt“ mit 13% zu Buche.

Für den Ist-Zustand errechnet sich somit ein Mindestwärmepreis von 93 Euro/MWh bei einem Anschlussgrad von 70% im Netz „Fischerhäuser“ und 57 Euro/MWh im Netz „Altstadt“ (vgl. Tab. 01). Der deutlich geringere Mindestwärmepreis lässt sich dabei auf die prozentual geringeren Netzverluste zurückführen.

Im Vergleich zu Abb.03 werden in Abb.04 die Mindestwärmepreise für das Netz „Altstadt“ dargestellt. Die Kurve unten zeigt wieder das Verhalten des Mindestwärmepreises für den Ist-Zustand bei den Anschlussgraden 40, 70 und 100%. Die obere Kurve gibt entsprechend die Ergebnisse für das energetisch sanierte Siedlungsgebiet an. Angenommen wird auch hier eine Vollsanierung aller Gebäude. Es zeigt sich, dass das Netz unempfindlich auf das Vollsanierungsszenario und auf einen abnehmenden Anschlussgrad reagiert. So ergeben sich beim Zukunftsszenario für alle Anschlussgrade wirtschaftliche Werte. Im Ist-Zustand fällt der Mindestwärmepreis sogar mit abnehmendem Anschlussgrad trotz steigender Netzverluste von 11% auf 16%. Dies lässt sich mit dem stark abnehmenden Spitzenlastanteil von 39% auf 10% erklären. Der Anteil der mit Gas erzeugten Wärme nimmt erheblich ab und wirkt dem Effekt der steigenden Netzverluste entgegen.

## Anschlussgrad – Sanierung – Energiebereitstellung

Um den Einfluss der Energiebereitstellung näher zu betrachten, wird im Weiteren für das Wärmenetz „Altstadt“ der Mindestwärmepreis verschiedener Varianten der Energieerzeugung berechnet. In den betrachteten Varianten wird jeweils der Grund- und Mittelastanteil von 1300 kW<sub>ther</sub> auf verschiedene Arten bereitgestellt. In Variante 1 steht wie zuvor Abwärme zu 5 Euro/MWh zur Verfügung. In Variante 2 wird die Grundlast über ein Hackschnitzelheizwerk gedeckt. Die Hackschnitzel werden zu 26 Euro/MWh eingekauft. In Variante 3 wird schließlich die gesamte Wärme über Gaskessel bereitgestellt. Der Gaspreis beträgt 40 Euro/MWh.

Die Randbedingungen sind in Tab. 02 zusammen gefasst dargestellt. Die Mindestwärmepreise sind in

Fischerhäuser: Altstadt:	
Trassenmeter	7.519 t/m 8.144 t/m
Anschlussgrad	70 % 70 %
Grundlast (Abwärme)	5 €/MWh 5 €/MWh
Spitzenlast (Gas)	40 €/MWh 40 €/MWh
<b>Ist-Zustand</b>	
Wärmeumsatz	4.943 MWh/a 10.436 MWh/a
Spitzenlast Gas	29 % 27 %
Netzverlust	22 % 13 %
Gewinnschwelle	93 €/MWh 57 €/MWh
<b>Zukunftsszenario</b>	
Sanierungsrate	1,5 %/a 1,5 %/a (bis 2035)
Wärmeumsatz	k.A. 9.129 MWh/a
Spitzenlast Gas	k.A. 21 %
Netzverlust	k.A. 14 %
Gewinnschwelle	k.A. 57 €/MWh
<b>Zukunftsszenario</b>	
Sanierungsrate	100 % 100 %
Wärmeumsatz	3.289 MWh/a 6.064 MWh/a
Spitzenlast Gas	9 % 5 %
Netzverlust	32 % 19 %
Gewinnschwelle	122 €/MWh 62 €/MWh

Energiebereitstellung	
Grund- und Mittellast (Varianten)	1300 kW
(1) - Abwärmepreis	5 €/MWh
(2) - Hackschnitzelpreis	26 €/MWh
(3) - Gaspreis	40 €/MWh
Spitzenlast (Gas)	variabel
Gaspreis	40 €/MWh
Strompreis	200 €/MWh
<b>Wirtschaftlichkeitsberechnungen</b>	
Energiepreissteigerung Strom	6 %/a
Energiepreissteigerung Gas	5 %/a
Kapitalzins	4 %/a
allgemeine Preissteigerung	2 %/a
Lohnkostensteigerung	2 %/a
Betrachtungszeitraum	20 Jahre

< Tab. 01

Denkmalschutzstatus	Sanierungswahrscheinlichkeit			Erreichbares enEV-Niveau		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
<b>Bauteil</b>						
Dach/ Ob. Geschoßdecke	80 %	90 %	90 %	100 %	100 %	100 %
Kellerdecke/Bodenplatte	10 %	10 %	10 %	60 %	80 %	80 %
<b>Hofseite</b>						
Außenwand	80 %	80 %	80 %	80 %	100 %	100 %
Fenster	60 %	70 %	80 %	80 %	100 %	100 %
<b>Straßenseite</b>						
Außenwand	10 %	50 %	80 %	80 %	80 %	100 %
Fenster	50 %	60 %	70 %	70 %	80 %	100 %

Tab. 02

Bauteil	Grundpreis	Zusatzkosten
Außenwand	15,00 €/m <sup>2</sup>	2,43 €/m <sup>2</sup> cm
Dach/ Ob. Geschoßdecke	0,00 €/m <sup>2</sup>	2,21 €/m <sup>2</sup> cm
Kellerdecke/Bodenplatte	26,50 €/m <sup>2</sup>	1,04 €/m <sup>2</sup> cm
<b>Fenster</b>	<b>U-Wert</b>	<b>Kosten</b>
	1,10 W/m <sup>2</sup> K	285 €/m <sup>2</sup>
	0,90 W/m <sup>2</sup> K	335 €/m <sup>2</sup>
	0,70 W/m <sup>2</sup> K	395 €/m <sup>2</sup>

Tab. 03

Tab. 04

den Abb. 05 bis 07 für den Ist-Zustand und für zwei Zukunftsszenarien dargestellt. Die Zukunftsvarianten unterscheiden sich dabei in der angenommenen Sanierungsrate bis ins Jahr 2035. Szenario „Moderat“ entspricht einer jährlichen Sanierungsrate von 1,5%, wohingegen beim Szenario „Vollsanierung“ nahezu alle Gebäude energetisch saniert werden.

Der Wärmebedarf der verschiedenen Sanierungsszenarien wird mit der eingangs erwähnten Bilanzsoftware GemEB 2.0 gebäudescharf für die historische Altstadt berechnet. Die in [2] entwickelte Software ist hierfür um historische Gebäude erweitert worden. Sanierungen von nicht historischen Gebäuden werden dabei nach Maßgabe der EnEV 2009 durchgeführt. Historische Gebäude werden je nach „Denkmalschutzstatus“ (Denkmallisteneintrag, ortsbildprägend und ortstrukturprägend) betrachtet.

Energetische Sanierungen historischer Gebäude bedürfen immer einer Einzelfallprüfung bezüglich Denkmalschutz und Bauphysik. Jedes Bauteil der thermischen Hülle ist in einem Gesamtkonzept individuell zu betrachten. So lassen sich oberste Geschoßdecken meist problemlos energetisch nachrüsten, die Dämmung der Außenwände hingegen ist oftmals nicht oder nur eingeschränkt möglich. Diesem Umstand wird wie folgt Rechnung getragen: Zunächst wird abhängig von oben genanntem Denkmalschutzstatus für jedes einzelne Gebäudebauteil mit der nach Tab. 03 vorgegebenen Sanierungswahrscheinlichkeit entschieden, ob das Bauteil überhaupt energetisch ertüchtigt wird. Wird dies mit ja entschieden, erfolgt in einem zweiten Schritt nach einem entsprechend vorgegebenen Prozentsatz die Bestimmung des energetischen Niveaus der Bauteilsanierung. Referenz ist hierbei der entsprechende in der EnEV geforderte U-Wert bei energetischer Sanierung.

Da die Berechnungen auf Wahrscheinlichkeiten beruhen und basierend darauf im Zufallsprinzip über Sanierungsmaßnahmen entschieden wird, lässt sich trotz gebäudescharfer Betrachtung nicht auf Einzelgebäude zurückschließen. Die vorgestellten Ergebnisse beschreiben deshalb das Altstadtquartier als Ganzes.

Beim Vergleich der Abb. 05 bis 07 ist wiederum nur ein geringer Einfluss des Anschlussgrades festzustellen. Auch der Einfluss einer „moderaten“ Sanierungsrate von jährlich 1,5% ist gegenüber dem Ist-Zustand gering. Entscheidender ist diesmal die Art der Ener-

giebereitstellung. Hier ist der Abwärme eindeutig der Vorzug zu geben (vgl. Abb. 05).

### Einfluss der Sanierung auf Gebäudeseite

Wird also die Energiebereitstellung nach Variante 1 (Abb. 05) oder 2 (Abb. 06) gewählt, so ist eine zumindest „moderate“ Sanierung des untersuchten Gebietes von der Seite des Wärmenetzes her nicht schädlich. Für die Variante 2 wird im folgenden Verlauf die Wirtschaftlichkeit deshalb noch von Gebäudeseite betrachtet.

Die Kosten der Sanierung werden hierfür den eingesparten Energiekosten gegenübergestellt und unter Berücksichtigung des jeweiligen Mindestwärmepreises die Amortisationszeiten errechnet. Betrachtet werden hierbei lediglich die am Wärmenetz angeschlossenen Gebäude.

Die Amortisationszeit liefert eine einfache und leicht nachvollziehbare Möglichkeit der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer energetischen Maßnahme. Sie kann jedoch nur Tendenzen aufzeigen, da z. B. steigende Energiepreise unberücksichtigt bleiben. Den durchgeführten Sanierungen sind die in Tab. 04 aufgeführten Kosten nach [3] hinterlegt. Dabei sind bei Dach, oberster Geschossdecke und Außenwanddämmung die energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt.

Da zu den Größenanteilen von Kellerdecke und Bodenplatte keine Informationen vorliegen, werden die Kosten für die Dämmung der Bodenplatte mit denen der Kellerdecke gleich gesetzt. Weiter wird in Ermangelung einer verlässlichen Datengrundlage von energetischen Sanierungskosten bei historischen Gebäuden, zunächst zwischen „historisch“ und „nicht-historisch“ nicht unterschieden.

Es ergibt sich für eine jährliche Sanierungsrate von 1,5% bis ins Jahr 2035 bei einem Anschlussgrad von 70% bzw. 100% eine Amortisationszeit von etwa 9 Jahren. Bei einem Anschlussgrad von 40% steigt der Mindestwärmepreis über 90 Euro/MWh. Das Wärmenetz wäre somit nicht mehr effizient zu betreiben. Trotz des hohen Wärmepreises liegt die Amortisationszeit weiterhin relativ niedrig bei 12 Jahren. Im Weiteren soll abgeschätzt werden, wie sich die Amortisationszeit mit steigenden Kosten für die energetische Sanierung historischer Gebäude verhält. Dazu werden die Sanierungskosten für historische Gebäude pauschal verdoppelt. Ergebnis ist ein ge-

ringer Effekt auf die Amortisationszeit. Bei einem Anschlussgrad von 70% ergibt sich so eine Amortisationszeit von 16 Jahren für das Zukunftsszenario mit einer Sanierungsrate von jährlich 1,5%.

Es zeigt sich für das dichte Altstadtquartier, dass keine Gründe gegen eine bauphysikalisch richtige und historisch verträgliche Sanierung sprechen. Eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs bedeutet gleichzeitig eine Reduzierung des Primärenergieeinsatzes. Bei Verwendung von erneuerbaren Energien oder Abwärme für das Wärmenetz lässt sich dieser nochmals reduzieren. Die Sanierungen sollten allerdings mit Bedacht ausgeführt werden und nur dort, wo sie aus bauphysikalischen Gründen notwendig sind. Diese Gründe können beispielsweise die unzureichende thermische Behaglichkeit, sehr schlechte U-Werte oder der Schutz der Konstruktion sein.

### Quellen:

- [1] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzschentschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011
- [2] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff: Wärme Pilotprojekt Ismaning – Energieleitplanung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.). Stand 24.09.2012, München, 2012
- [3] Hinz, E.: Kosten energetischer Modernisierungen im Gebäudebestand, IWU Institut Wohnen und Umwelt, Vortrag in Wels am 03.03.2011, URL: [www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download\\_presentations/32\\_Hinz.pdf](http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download_presentations/32_Hinz.pdf)

 ClimaDesign e.V.

Technische Universität München  
 Arcisstraße 21, 80333 München  
 Vorstand: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen,  
 Prof. Dipl.-Ing. Architekt Hermann Kaufmann,  
 Dr.-Ing. Petra Liedl  
 Geschäftsstelle/Geschäftsführung:  
 Dipl.-Ing. Univ. Katrin Rohr  
 T: +49 (0)89 289-22875 (Sekretariat)  
 F: +49 (0)89 289-23851  
 verein@climadesign.de  
 www.climadesignverein.de